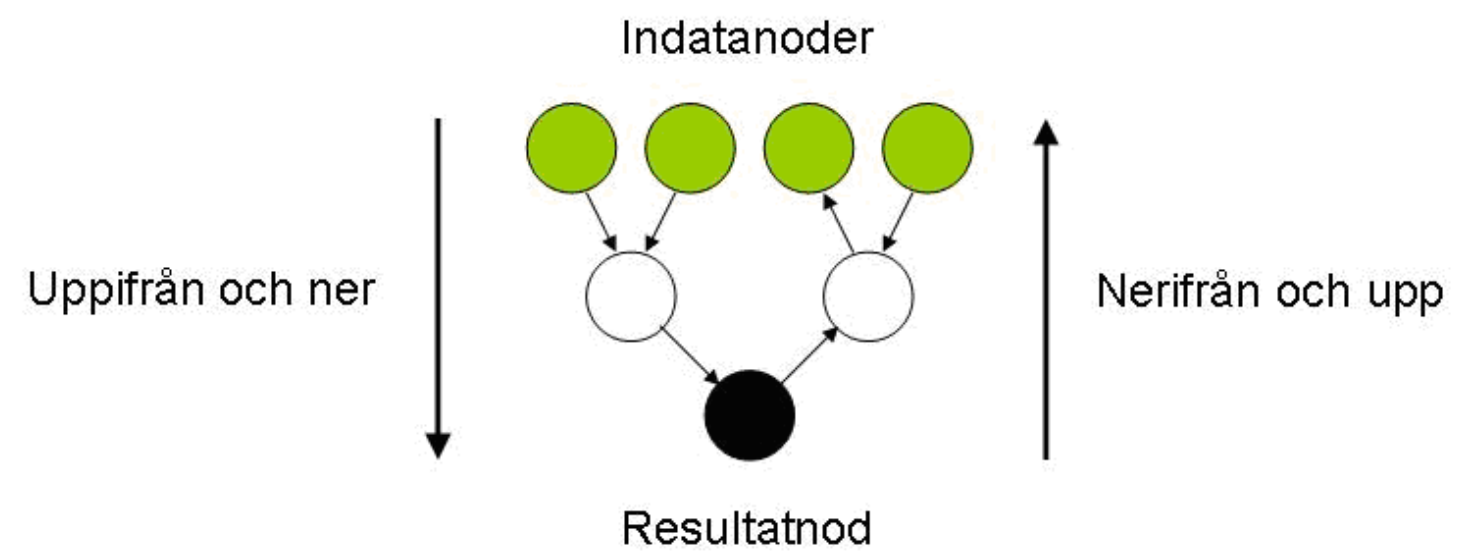


Att utforma Bayesianska nätverk

Diskussion, erfarenheter och metodik för
tillämpningar av Bayesianska nätverk

ALEXANDER AHL, ANNA LINDBERG, ANN-SOFIE STENÉRUS



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Förvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Alexander Ahl, Anna Lindberg, Ann-Sofie
Stenérus

Att utforma Bayesianska nätverk

Diskussion, erfarenheter och metodik för tillämpningar av

Bayesianska nätverk

Titel	Att utforma Bayesianska nätverk
Title	To design Bayesian networks
Rapportnr/Report no	FOI-R--2680--SE
Rapporttyp Report Type	Metodrapport Methodology report
Sidor/Pages	56 p
Månad/Month	November
Utgivningsår/Year	2008
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde Programme area	2. Operationsanalys, modellering och simulering 2. Operational Research, Modelling and Simulation
Delområde Subcategory	22. Metod- och utredningsstöd 22. Operational Analysis and Support
Projektnr/Project no	E11101
Godkänd av/Approved by	Nils Olsson
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI , Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Försvarsanalys	Division of Defence Analysis
164 90 Stockholm	SE-164 90 Stockholm

Sammanfattning

Den här rapporten har skrivits inom ramarna för projektet OA-metoder som en del i arbetet att dokumentera kompetens kring metoden Bayesianska nätverk på FOI Försvarsanalys. Rapporten avser att bygga vidare på tidigare arbete och baseras i huvudsak på Försvarsanalys samlade erfarenheter av att arbeta med Bayesianska nätverk som metod och beslutsmodell, framför allt för olika tillämpningsområden inom Försvarsmakten. Materialet till rapporten utgörs av intervjuer med medarbetare på Försvarsanalys och på författarnas egna erfarenheter. Artiklar och annat skriftligt material inom området har också utgjort en del av informationsunderlaget. För att exemplifiera erfarenheter, resonemang och diskussioner beskrivs löpande två exempel på Bayesianska nätverk som utvecklats inom FOI, RiskVärderingsModellen för oexploderad ammunition (RVM) samt Militär Analysmetod för Reliabila Taktiska värderingar (MARTA).

Rapporten börjar med att översiktligt beskriva vilka typer av problem som lämpar sig för Bayesianska nätverk och under vilka förutsättningar som nätverken kan användas. Vidare beskrivs tre faser för uppbyggandet av ett Bayesianskt nätverk. I första fasen ska en tydlig frågeställning skapas. Det är en förutsättning för att bygga ett Bayesianskt nätverk och rapporten beskriver olika metoder för hur denna kan uppnås. I nästa fas ska en tydlig struktur för nätverket skapas. Här finns det flera fallgröpor som modellutvecklare bör vara medvetna om och som bör undvikas. Den sista fasen i skapandeprocessen är att bestämma de identifierade variabelernas tillstånd och sannolikhetsfördelningar. Experter utgör en viktig del i nätverksbyggandet, deras kunskaper är ofta oersättliga vid arbetet exempelvis med att ta fram sannolikhetsstabeller.

Modellutvecklarnas och slutanvändarnas behov i form av gränssnitt skiljer sig ofta åt, både under utvecklingen av nätverket och vid den slutliga tillämpningen. För att lösa detta problem kan alternativa gränssnitt utvecklas. Validering och verifiering är viktiga delar för att säkerställa modellens giltighet och kan göras både via funktioner i den använda mjukvaran samt med hjälp av andra tillvägagångssätt.

Utifrån de erfarenheter som dokumenterats kring arbetet med Bayesianska nätverk är det möjligt att dra ett flertal slutsatser om metoden och dess användning. En slutsats är att det oftast är bättre med en förenklad struktur med begränsade osäkerheter i data än en komplex men korrekt struktur med stora osäkerheter i data .

Nyckelord: Bayesianska nätverk, Bayesianska modeller, BN, sannolikhetsfördelningar, betingade sannolikheter, sannolikhetslära, beslutsmodell, beslutsstödsmodell, expertkunskap, RVM, MARTA

Summary

This report has been written as part of the project Operational Analysis Methods (OAM) to build competence on the applications of Bayesian network theory at the Division of Defence Analysis, FOI. The report is a continuation on previous work and is mainly based upon experiences from within the division when working with the method as a decision support tool for Swedish defence applications. Interviews with colleagues and the authors' personal experiences constitute the main basis of the report but articles and other sources of information have also been used. To exemplify knowledge, experiences and discussions, two Bayesian network models developed at the division are described continuously throughout the report. One of the models is used to assess risk in proving grounds namely *The risk assessment model for UnExploded Ordnance*, (RVM for UXO). The other model, *A Military Analysis method for Reliable Tactical Assessments*, (MARTA), combines AHP analysis with Bayesian theory and is used to assess an army battalion's capabilities during an exercise.

The report initially discusses the types of problems suitable for Bayesian network modelling and when and how the networks can be used. The process of developing a Bayesian network can be separated into three phases. First, to build a network a defined problem is required. Different methods to obtain this and to find variables important for the problem are therefore described. Second, once the problem has been limited and the variables found, a clear structure must be created. There are several critical issues the modeller should be aware of and which should, if possible, be avoided. Third, to create the final Bayesian network structure the variable conditions must be found and their probabilities determined. At the Division of Defence Analysis, external experts are often invaluable sources of information in all phases.

The needs of an interface often discriminate between the modeller and end users during the whole process, from development to implementation of the network. To solve this user related problem different interfaces can be developed. Equally important is the validation and verification to secure the model structure and data. The above mentioned problems can be solved in different ways, in part by the software used for modelling, and this is discussed in the final sections of the report.

Several conclusions can be drawn from the experiences of working with and using Bayesian networks. One conclusion is that a simplified structure with limited uncertainties often is preferred over a complex and more correct structure with larger uncertainties in the data and tables.

Key words: Bayesian network theory, Bayesian modelling, BN, probability, distribution, conditional distribution, decision support, decision support models, expert knowledge, RVM, MARTA

Innehållsförteckning

1	Inledning	9
1.1	Rapportens syfte och målgrupp	9
1.2	Metod.....	9
1.3	Disposition	9
2	Användningsområden för Bayesianska nätverk	11
2.1	Exempel	12
2.1.1	Bakgrund till RiskVärderingsModellen	12
2.1.2	Bakgrund till MARTA.....	12
3	Att utforma Bayesianska nätverk	14
3.1	Begreppsförklaring	14
3.2	Problemformulering.....	15
3.2.1	Metod à la Alta (problemavgränsning och problemstrukturerings med gula lappar)	15
3.2.2	Morfologisk Analys	15
3.2.3	Exempel	17
3.3	Strukturbyggande	19
3.3.1	Två arbetssätt för att bygga ett nätverk	19
3.3.2	Att tänka på vid strukturbyggandet	21
3.3.3	Exempel	24
3.4	Att bestämma tillstånd och sannolikheter.....	26
3.4.1	Variabler och deras tillstånd.....	26
3.4.2	Sannolikhetsfördelningar.....	29
3.4.3	Användande av experter	30
3.4.4	Exempel	34
3.5	Erfarenheter av tidsramar och Hugin	34
3.5.1	Tidsramar	34
3.5.2	Att använda mjukvaran Hugin	35
4	Produktifiering	36
4.1	Gränssnitt.....	36
4.2	Produktifiering av RVM.....	36
4.2.1	Behov av gränssnitt.....	36
4.2.2	Fördelar med gränssnittet	37
4.2.3	Nackdelar med gränssnittet	38
4.2.4	Reflektioner	38
4.2.5	Fortsatt arbete	39
4.3	Produktifiering av MARTA.....	39

4.3.1	Behov av gränssnitt	39
4.3.2	Fördelar med gränssnittet	40
4.3.3	Nackdelar med gränssnittet	40
4.3.4	Reflektioner	41
4.3.5	Fortsatt arbete	41
5	Validering och verifiering	42
5.1	Användbara finesser i Hugin	42
5.1.1	Value of Information	42
5.1.2	Känslighetsanalys	42
5.2	Osäkerhet i sannolikhetstabeller	43
5.2.1	Expertkunskap för validering och verifiering	43
5.2.2	Struktur	43
5.3	Exempel	43
5.3.1	RVM	43
5.3.2	MARTA	44
6	Diskussion och sammanfattning	46
6.1	Bayesianska nätverk är ingen universal metod	46
6.2	Bayesianska nätverk som metod för problemförståelse/konceptuell modellering	46
6.3	Val av metod för problemstrukturerings	46
6.4	Att använda de skapade modellerna	47
6.5	Validering och verifiering	47
6.6	Enkel kontra komplex struktur	47
6.7	Problem med det Bayesianska nätverket i MARTA	48
7	Slutsatser	50
8	Referenser	51
	Bilagor	52
	Bilaga 1 – RVM:s gränssnitt	52
	Det färdiga gränssnittet	52
	Utveckling av gränssnittet	53
	Reflektion	54
	Bilaga 2 – MARTA:s gränssnitt	55
	Det färdiga gränssnittet	55
	Utveckling av gränssnittet	56

1 Inledning

Den här rapporten har skrivits inom ramarna för projektet OA-metoder (OAM) som en del i arbetet att dokumentera erfarenheter kring Bayesianska nätverk på FOI Försvarsanalys.

Under 2005 sammanställdes för OAM rapporten *Bayesianska nätverk och dess tillämpningar inom OA-verksamheten*¹ vilken presenterar en grundläggande beskrivning av vad Bayesianska nätverk är, när och hur nätverken kan användas samt vilka olika programvaror som finns tillgängliga på marknaden för modellering av Bayesianska nätverk. Den här rapporten avser att ytterligare fördjupa kunskaperna kring Bayesianska nätverk genom att dokumentera erfarenheter av arbete med metoden.

Rapportens innehåll grundas på Försvarsanalys samlade erfarenheter av att arbeta med Bayesianska nätverk som metod och beslutsmodell, framför allt för olika tillämpningsområden inom Försvarsmakten.

Erfarenheterna diskuteras och exemplifieras med hjälp av två relativt stora modeller, RVM² och MARTA³, som utvecklats inom FOI. För att läsaren ska få en förståelse för hur och varför modellerna skapats och vilka problem modellerna syftar till att lösa, beskrivs bakgrunden till båda modellerna i avsnitt 2.1.

1.1 Rapportens syfte och målgrupp

Syftet med rapporten är att fördjupa kunskapen om Bayesianska nätverk genom att sammanfatta praktiska erfarenheter från dem som arbetat med metoden inom Försvarsanalys. Två av frågeställningarna som behandlas är under vilka förutsättningar som ett Bayesianskt nätverk kan vara lämpligt att använda och hur en fungerande modell ser ut och byggs upp. Därutöver diskuteras validering och verifiering av Bayesianska nätverk samt hur modellen genom produktifiering kan anpassas för att bli ett lättillgängligt verktyg för den slutliga användaren.

Målgruppen för rapporten är främst analytiker inom FOI som har ett intresse av och som eventuellt själva tillämpar metoden Bayesianska nätverk. Förhoppningsvis kan även intressenter utanför FOI läsa rapporten med behållning. Tillsammans med metodrapporten *Bayesianska nätverk och dess tillämpningar inom OA-verksamheten* utgör rapporterna en grund för dem som inte haft någon tidigare kontakt med Bayesianska nätverk.

1.2 Metod

Informationsinhämtningen till rapporten har främst skett genom intervjuer med medarbetare på Försvarsanalys som praktiskt arbetat med Bayesianska nätverk alternativt kommit i kontakt med metoden på annat sätt. Därutöver bygger rapporten på författarnas egna erfarenheter. Artiklar och annat skriftligt material inom området har också utgjort en del av informationsunderlaget.

1.3 Disposition

Kapitel 2 presenterar de två exempelnätverk som löpande beskrivs i rapporten samt behandlar översiktligt när och hur Bayesianska nätverk kan användas. I kapitel 3 beskrivs arbetssätt för att bygga upp ett Bayesianskt nätverk, från problemformulering och

¹ Blixt et al. (2005).

² RiskVärderingsModellen för oexploderad ammunition.

³ Militär Analysmetod för Reliabila Taktiska värderingar.

strukturering av nätverket till hur data tillförs modellen. Kapitel 4 diskuterar skillnader mellan utvecklarnas och slutanvändarnas behov av att mata modellen med data och att se resultat. Kapitlet visar även på hur alternativa gränssnitt kan utvecklas för att lösa dessa problem. Vid utveckling av Bayesianska nätverk är validering och verifiering en viktig del av arbetet vilket beskrivs i kapitel 5. Diskussion kring övriga erfarenheter presenteras i kapitel 6. Slutligen presenteras rapportens slutsatser i kapitel 7. Referenser till både litteratur och intervjuer återfinns i kapitel 8.

2 Användningsområden för Bayesianiska nätverk

Bayesianska nätverk är en metod som kan användas inom en rad olika tillämpningsområden. Generellt används metoden för att kvantitativt svara på frågeställningar samt lösa och strukturera problem och information.

Modeller är ett försök att avbilda en viss, begränsad del av verkligheten. Därför kommer en modell att bero på vad modellskaparen och medarbetarna har för världsbild. Bayesianska nätverk är en matematisk metod som grundas på sannolikhetslära. En sannolikhet kan baseras på kunskap och erfarenhet eller statistiska underlag. Tidiga Bayesianska tillämpningar baserades allt som oftast på relativa frekvenser insamlade från längre observationer alternativt experiment. Idag baseras nätverken ofta på en kombination av kvantitativ och kvalitativ data. Kvalitativ data är inte stokastisk och baseras på tro, kunskap eller erfarenhet. Dessa subjektiva sannolikhetsfördelningars användbarhet vid modellering har varit ett hett diskussionsämne. Modellskaparen måste ha metoder för att kunna avgränsa komplexa problem där den största delen av data baseras på expertkunskap, det vill säga tro, vilket strider mot de tidiga Bayesianska tillämpningarna. Kunskap i matematik och statistik avgör därför inte enbart om modellen speglar verkligheten väl.

I den föregående OAM-rapporten⁴ diskuterades mer ingående under vilka förutsättningar som Bayesianska nätverk kan användas. Fokus i denna rapport är på skapandet av Bayesianska nätverk, men även att på ett övergripande plan, om än inte heltäckande, nämna några få tillämpningsområden och kriterier för användning av Bayesianska nätverk.

I Bayesianska nätverk beräknas sannolikheter. Nätverken lämpar sig därför för:

- Modellering av situationer där full säkerhet i indata inte kan erhållas, dvs. problem där det finns genuina⁵ eller stokastiska osäkerheter i data. Riskvärdering i samband med blindgångare utgör ett typexempel på beslut under osäkerhet.
- Problem som innehåller logiska och funktionella samband mellan parametrar, såsom härledningar, sökningar och beräkningar för att optimera resultat. Exempel är felsökningar i tekniska system.

Genom att strukturera problem i Bayesianska nätverk kan olika mervärden skapas. Med Bayesianska nätverk är det exempelvis möjligt att:

- ”Räkna baklänges”. När kunskap finns om ett sluttillstånd kan användaren vilja ha en vägledning om vad som orsakat ”nuläget” och vilka parameterutfall som gett resultatet.
- Jämföra och använda subjektiva och objektiva data i samma modell.
- Mata en modell med kvalitativa och kvantitativa data som bägge bidrar till resultatet.

Utöver ovan nämnda användningsområden kan Bayesianska nätverk fylla följande funktioner:

- Ge en visuell bild av ett problem
- Ge ett kvantitativt beslutsstöd för att exempelvis synliggöra risker och osäkerheter
- Känna igen repeterande eller avvikande mönster
- Skapa en gemensam uppfattning av ett problem
- Ange kostnader och bestämma nytta

⁴ Blixt et al. (2005).

⁵ Kunskapsrelaterad osäkerhet, osäkerhet som härstammar från avsaknaden av information eller kunskap.

Den intresserade kan med fördel läsa vidare i litteraturen som berör sannolikheteori och Bayesianska nätverk. Förslag, men en långtifrån fullständig lista, på litteratur är:

Jensen, F. V. & Nielsen, T.D. (2007). *Bayesian Networks and Decision Graphs*, ISBN-10: 0-387-68281-3

Kjaerulff, U.B. & Madsen, A.L. (2008). *Probabilistic Networks for Practitioners – A Guide to construction and analysis*, ISBN 978-0-387-74100-0

För ytterligare läsning kring sannolikhetslära:

Jaynes, E.T. (2003). *Probability Theory, the Logic of Science*, ISBN 0 521 59271 2

2.1 Exempel

Inom Försvarsanalys har två stora modeller med Bayesianska nätverk utvecklats under 2000-talet. Två av författarna⁶ har också varit involverade i arbetet med dessa modeller som genomgående används som exempel i rapporten. För att läsaren ska få en förståelse för problemområdena beskrivs bakgrunden till nätverken närmare i detta avsnitt.

2.1.1 Bakgrund till RiskVärderingsModellen

Försvarsmakten har sedan 1880-talet skjutit med explosiv ammunition på markområden runt om i landet. Ibland uteblir explosionen och kvar på, eller i, marken finns då OeXploderad Ammunition (OXA), även kallade blindgångare. Idag har behovet av övningsfält minskat och vissa övnings- och skjutfält ska därför avvecklas.

RVM är ett resultat av ett flerårigt, tvärvetenskapligt forskningsprojekt, initierat och finansierat av Försvarsmakten, där FOI har varit projektledare och metodutvecklare. RVM har skapats i syfte att stötta Försvarsmakten och Fortifikationsverket i deras gemensamma uppgift att på ett kostnadseffektivt sätt avveckla övnings- och skjutfält och via försäljning överföra dessa till civila markägare.

Användare av RVM är SWEDEC⁷ som är ansvariga för klassificering av övnings- och skjutfält med avseende på OXA. Dessutom kan RVM möjligtvis användas av personal vid Fortifikationsverket, som är ansvariga för försäljning av övnings- och skjutfält till civila markägare.

RVM är en modell som beräknar sannolikheten för att en olycka kan ske på ett studerat område inom ett övnings- och skjutfält, givet att en viss aktivitet som strövning, ridning eller skogsbearbetning äger rum på området. Modellen kan exempelvis användas för att uppskatta vilka typer av användningsområden som är möjliga att tillåta på ett nedlagt övnings- och skjutfält. Det finns många faktorer som påverkar resultatet, exempelvis vilken typ av mark som finns på området, mängden ammunition som har använts samt dess kaliber och nedslagsvinkel.

2.1.2 Bakgrund till MARTA

MARTA är en metod som FOI har utvecklat tillsammans med Försvarsmakten i syfte att värdera markstridsförbandens förmågor. Utvecklingen av MARTA startade 2003, då försök gjordes i samband med *Arméslutövning 2003*. Målet var då att bedöma hur samtränat ett

⁶ Alexander Ahl (MARTA), Anna Lindberg (RVM)

⁷ Totalförsvarets ammunitions- och minröjningscentrum. SWEDEC står för Swedish EOD and Deming Centre där EOD står för Explosive Ordnance Disposal.

förband var. Syftet med metoden idag är bedöma ett förbands förmåga under insats, nationell som internationell.

Observationer under övningar ligger som grund till bedömandet av ett förbands förmåga. Observationerna sammanställs och analyseras. Resultatet från verktyget blir förutom ett mått på förmåga även en lista över förbandets styrkor och svagheter.

Genom att tidigt identifiera förbandets styrkor och svagheter skapas beslutsunderlag för att anpassa målsättningar, utbildning och resurser både under genomförande och inför kommande utbildning av motsvarande förbandstyper.

MARTA nyttjar de två operationsanalytiska metoderna Bayesianska nätverk och AHP⁸. Det Bayesianska nätverket används för att uppskatta övningens svårighetsgrad samt bedöma förbandets förmåga. Ingångsvärdena till det Bayesianska nätverket är övningens betingelser såsom vind, nederbörd och omvärldsfriktioner samt röd och blå sidas⁹ prestation.

⁸ Analytic Hierarchy Process

⁹ Inom Försvarsmakten benämns motståndaren som röd sida och det egna förbandet som blå sida.

3 Att utforma Bayesianska nätverk

Vid utformning av Bayesianska nätverk krävs ett metodiskt tillvägagångssätt. En enighet kring vad som ska skapas och grundläggande information kring problemet behövs, liksom tillgång till data och bedömningar. De samlade erfarenheterna från Försvarsanalys av att skapa Bayesianska nätverk beskrivs i detta kapitel.

Kapitlet är indelat i de övergripande delar som ingår i processen för att bygga upp ett Bayesianskt nätverk. En tydlig frågeställning är en förutsättning för att bygga ett Bayesianskt nätverk, avsnitt 3.2 beskriver därför metoder för att identifiera, avgränsa och formulera problem. Skapande av nätverksstrukturen är nästa steg i processen. I avsnitt 3.3 beskrivs olika tillvägagångssätt för detta. Avsnitt 3.4 beskriver det avslutande steget i arbetsprocessen, hur information och data kan tillföras modellen.

3.1 Begreppsförklaring

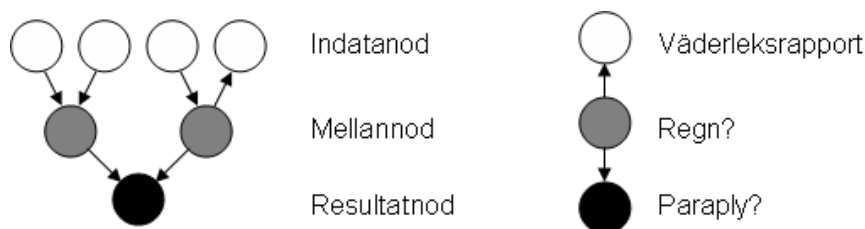
I texten återkommer ett flertal olika begrepp som rör Bayesianska nätverk. I detta avsnitt ges en kortfattad beskrivning av några av dem.

Noder: Representationen av variabler i Bayesianska nätverk.

*Indatanoder*¹⁰: Noder där information/observationer tillförs nätverket.

Resultatnod: Noden som besvarar frågan som nätverket är skapat för.

Mellannoder/beräkningsnoder: Noder skapade för att fylla en annan funktion än de som beskrivs ovan. Mellannoder kombinerar eller beräknar data från indatanoder eller andra mellannoder och för resultatet vidare till mellannoder eller resultatnoden. Mellannoder gör att modellen speglar verkligheten bättre samtidigt som sannolikhetsstabellernas storlek minskas.



Figur 1. Exempelnätverk med nodbeteckningar

Hugin: Programvara som Försvarsanalys har använt för att utveckla Bayesianska nätverk.

Sannolikhetsstabell (Conditional probability table, CPT): En tabell där de betingade sannolikheterna fylls i. Tabell 1 visar de betingade sannolikheterna för väderleksrapportens olika tillstånd (*Regn*, *Molnigt*, *Solsken*) givet att vi vet om det kommer att regna.

Tabell 1. Exempel på sannolikhetsstabell för noden Väderleksrapport

<i>Regn?</i>	<i>Sant</i>	<i>Falskt</i>
Regn	80 %	5 %
Molnigt	15 %	40 %
Solsken	5 %	55 %

¹⁰ Jensen (2001).

Betingade sannolikheter: En betingad sannolikhet beskriver sannolikheten för ett utfall givet den information som redan finns. Betingade sannolikheter kan exemplifieras med frågan ”givet att det regnar idag vad är sannolikheten att det regnar imorgon?”. Mer matematiskt beskrivet; sannolikheten för händelsen A givet händelsen B ges av Bayes sats;

$$P(A|B) = P(B|A)P(A)/P(B) \text{ där } P(B) > 0.$$

3.2 Problemformulering

Att identifiera, avgränsa och formulera ett problem är grundkomponenter för att kunna bygga ett Bayesianskt nätverk. Utan en klar frågeställning kan det vara svårt att skapa ett giltigt nätverk. Likaså är det svårt att skapa ett nätverk utifrån en ofullständig problemförståelse. Därmed kan det vara bra att lägga ner möda på att få en ökad problemförståelse samt att avgränsa problemet då detta förmodligen underlättar det fortsatta arbetet.

Det finns flera olika metoder för att hitta och avgränsa en problemställning. Nedan beskrivs de två metoder som har använts på Försvarsanalys.

3.2.1 Metod à la Alta (problemavgränsning och problemstrukturerings med gula lappar)

Metod à la Alta¹¹ har utvecklats av Alta de Vaal på CSIR¹². I metoden används en jackpotfråga för att formulera och avgränsa problemet. Kännetecknande för en jackpotfråga är att det är den viktigaste frågan som en beslutsfattare vill ha svar på. Frågan syftar till att tidigt i processen skapa en tydlig problemformulering och ge avgränsning av problemet. Frågan kan variera beroende på sammanhang och problemställning, men besvaras ofta direkt av resultatnoden i ett Bayesianskt nätverk.

I Altas metod finns en processägare, facilitator och gruppdeltagare, som ofta är sakkunniga. Jackpotfrågan används som utgångspunkt för att få gruppen att diskutera och hitta intressenter som berörs av problemet. Efter diskussionerna arbetar gruppen vidare med att identifiera variabler som påverkar jackpotfrågans resultat. Variablerna antecknas på gula lappar som fästs på en whiteboard. För att skapa en struktur klustrar gruppen lapparna och pilar ritas för att visa beroenden. Efter detta fortsätter arbetet med de betingade sannolikheterna. Ett exempel på en relativt spetsig och användarinriktad jackpotfråga skulle kunna vara, ”Bör jag ta med mig paraplyet till jobbet idag?”. Metoden förutsätter att man har god kännedom om problemställningen och problemområdet.

3.2.2 Morfologisk Analys

Morfologisk analys¹³ (MA) är en metod som kan användas för att på ett spårbart och strukturerat sätt bygga ickekvantitativa modeller. Resultatet är morfologiska fält där begrepp och ord relateras till varandra i matrisform. Metoden förutsätter att det finns sakkunniga, en eller flera facilitatorer och helst även en processägare till problemområdet. Arbetet bedrivs ofta både i workshops och separat av processägaren och facilitatorn mellan workshops.

¹¹ Blixt et al. (2005).

¹² The Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Sydafrikas motsvarighet till FOI.

¹³ Texten om metoden morfologisk analys baseras både på samtal med personer som arbetar eller tidigare arbetat på FOI, se referenser, samt FOI rapporter.

Metoden består grovt sett av fem olika steg¹⁴:

1. Analysfas där variabler/parametrar identifieras.
2. Analysfas där variablernas tillstånd, dvs. variablernas möjliga värden, anges och definieras.
3. Syntesfas där tillstånden relateras till varandra för att se vilka som kan, respektive inte kan, samexistera.
4. Syntesfas där datormjukvaran CASPER/MA¹⁵ analyserar de angivna samexistensförhållandena. Som resultat fås scenarier som visar tillståndens möjliga samexistens med alla andra tillstånd.
5. Granskningsfas där de olika konfigurationerna analyseras för att se om dessa är rimliga eller inte.

Ibland upptäcks samband som inte verkar stämma. Det ovan beskrivna arbetet itereras då till dess att ett bra resultat uppnåts.

För att få gruppdeltagarna att delge så mycket relevant information och kunskap som möjligt i relation till frågeställningen används en fokusfråga. Fokusfrågan syftar till att förenkla arbetet med att definiera eller lösa det ofta svårgreppbara problemet och skiljer sig ofta från en jackpotfråga genom att vara mindre specifik.

Morfologisk analys har fördelen att på ett spårbart sätt bland annat vara en metod för:

- Problemformulering och problemavgränsning
- Att identifiera och i arbetsgruppen få en samstämmig definition av variabler och tillstånd som påverkar problemet
- Strukturskapande, där de funna variablerna och deras tillstånd ordnas och kopplas till varandra för att på så sätt skapa en bild av problemområdets struktur och samband.

Genom metoden skapas ofta en konsensus kring ett problem vilket gör det möjligt att finna scenarier, utföra analyser och dra slutsatser. Ett särdrag för metoden är att gruppdeltagare mer eller mindre är tvingade att klargöra betydelser av de termer och begrepp som används, detta för att metoden ska ge ett användbart resultat. Ofta är därför processen och vägen till resultatet lika viktig som resultatet i sig.

En fördel med morfologisk analys är att det finns en transparens i arbetsprocessen och att det på så sätt är möjligt att se hur en grupp nått sitt resultat.

Utifrån variablerna och tillstånden i ett morfologiskt fält är det möjligt att bygga konceptuella modeller, där relationerna mellan variablerna framgår. Om variablerna är kvantifierbara kan den konceptuella modellen senare ligga till grund för en Bayesiansk nätverksmodell.

För mer information se FOI/FOA rapporter och www.swemorph.com.

¹⁴ Stenström & Ritchey, (2000)

¹⁵ I arbetet med morfologisk analys används datormjukvaran CASPER/MA (Computer Aided Scenario and problem Evaluation Routine) som är utvecklad och ägd av FOI. Mjukvaran visualiserar de morfologiska fält, som gruppen gemensamt sätter samman. CASPER/MA används även för beräkningar och vid scenarioskopande. För mer information, se Eriksson et al. (2000).

3.2.3 Exempel

RVM

Metodutkastet *Ur kaos till betingade sannolikheter genom morfologisk analys*¹⁶ och rapporten *Att lära sig leva med OXA*¹⁷ beskriver hur RVM har utvecklats. För att klargöra och begränsa problemet användes metoden morfologisk analys och mjukvaran Casper/MA. Morfologisk analys passade bra då:

- Problemet var odefinierat, det vill säga en oräda
- Det fanns flera olika intressenter såsom Försvarmakten, SWEDEC och Fortifikationsverket
- Personer med många skilda kompetenser behövdes i arbetet
- Det inte gick att enkelt räkna ut ett svar på problemet, eftersom det fanns många osäkerheter i data

Under den morfologiska analysen utvecklade den tvärvetenskapliga arbetsgruppen iterativt ett flertal morfologiska fält för att beskriva problemrymden. Exempel syns i figur 2.

Delområde	Bedömd typ av område	Delområdets karaktär	Bedömd OXA-täthet	Ammunitions-typ	Mediandjup för OXA	Känslighetstyp detonation som kan identifieras	Förutsättningar för ytsökning	"Första beslut"
1	Hotspot i målområde	Ej så komplext God kunskap	1 000/ha eller fler	Typ 20 mm spränggranat ca 0.12 kg	0 - 0,3 m	Kopparacidbildning	Ytsökning "lätt"	Friklassa för alla aktiviteter
2	Målområde exkl hotspots	Komplext God kunskap	100/ha	Typ 30 mm spränggranat ca 0.22 kg	0.3 - 0,5 m	AD mekanisk	Ytsökning "medel"	Gå vidare i värderingsprocessen
3	Riskområde	Ej så komplext Svag kunskap	10/ha	Typ 40 mm spränggranat ca 0.9 kg	0,5 - 1 m	Mekaniskt tändsystem	Ytsökning "svår"	Behåll t.v.
4	Övrig mark	Komplext Svag kunskap	1/ha eller färre	Typ 57 mm spränggranat 2.4 kg	Djupare än 1 m	Elektriskt tändsystem med torrladdade batterier		Samla mer OXA-fakta
5				Typ 80 mm GRK-am 3.4 kg		Elektriskt tändsystem		
				Typ 12 cm GRK-am alt 10.5 cm spränggranat		Pyrotekniska tändsystem		
				Typ 15.5 cm spränggranat 50 kg		AD elektrisk		
				Bomb typ sprängbomb				

OXA-bildning	Ammunitions-typ	Andel OXA av skjutna ammunition	Hur mycket har man skjutit?	Bedömd OXA-täthet
Mjukt nedslag	Typ 20 mm spränggranat ca 0.12 kg	30%	100 000 skott/ha eller mer	1 000/ha eller mer
Nedslag i tät skog	Typ 30 mm spränggranat ca 0.22 kg	10%	30 000 skott/ha	100/ha
Hårt nedslag	Typ 40 mm spränggranat ca 0.9 kg	3%	10 000 skott/ha	10/ha
	Typ 57 mm spränggranat 2.4 kg	1 %	3 000 skott/ha	1/ha eller mindre
	Typ 80 mm GRK-am 3.4 kg	0,1 %	1 000 skott/ha eller mindre	
	Typ 12 cm GRK-am alt 10.5 cm spränggranat 13 kg	0,01%		
	Typ 15.5 cm spränggranat 50 kg			
	Bomb typ sprängbomb 120 kg			

Figur 2. Det översta morfologiska fältet är en sammanfattning av flera olika fält och ger en överblick av OXA-läget. *Bedömd OXA-täthet*, *Mediandjup för OXA* och *Förutsättningar för ytsökning* stöds av tre morfologiska fält. Den nedre bilden visar det morfologiska fältet för *OXA-täthet*.

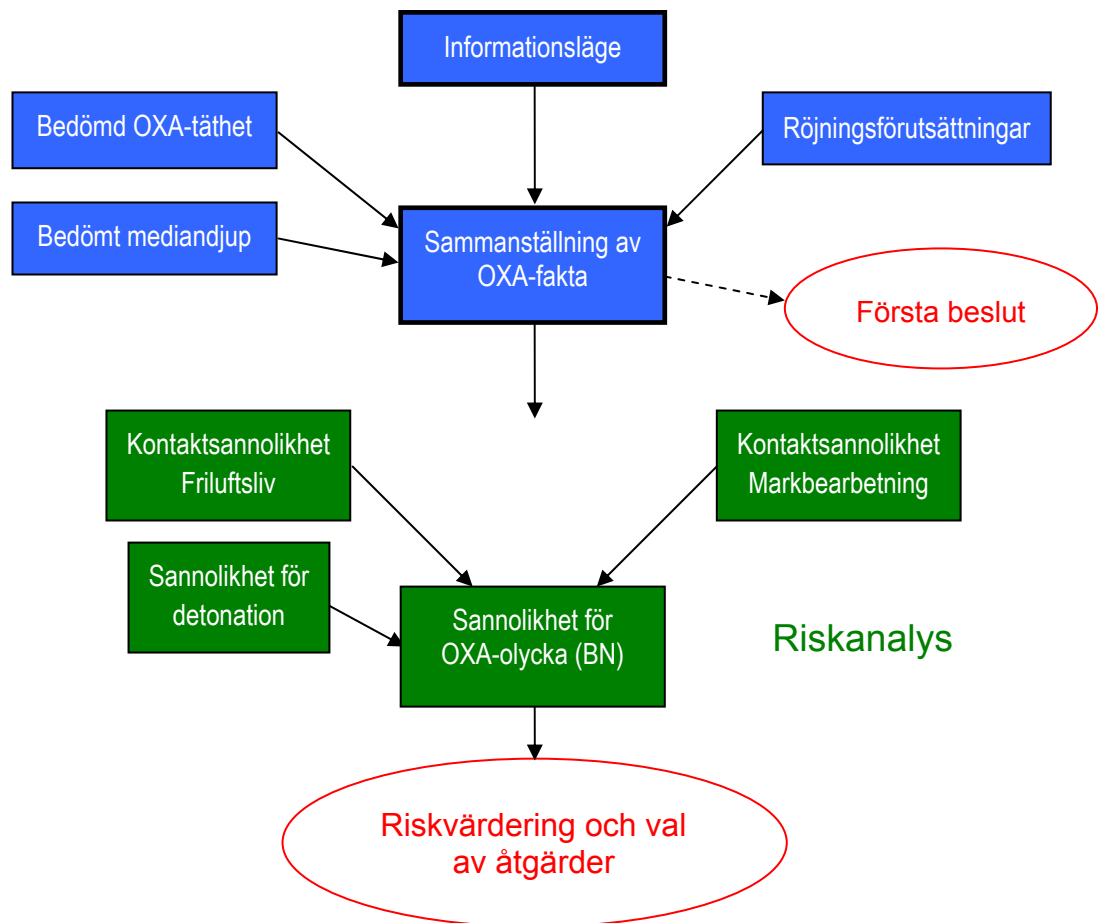
¹⁶ Stenström & Westrin (2004).

¹⁷ Stenström & Westrin (2008).

Genom att skapa morfologiska fält med variabler och tillstånd, var det möjligt att avgöra vad i problemet som måste vara baserat på sakkunnigas värderingar respektive fakta. De morfologiska fälten visade även på beroenden mellan variabler, som baserades på gruppens parvisa jämförelser mellan tillstånd. Utifrån den morfologiska analysen skapades en metamodel, och Bayesianiska nätverk identifierades som en bra metod för den riskanalys som behövde utvecklas. De morfologiska fälten ligger därför som bas till metamodellen (med kausalitet) och den tillämpade Bayesianiska modellen. Dagens RVM stämmer relativt väl överens med den metamodel som skapades i början av projektet efter den morfologiska analysen, även om vissa samband och tillstånd ändrats. Kausalitet samt orsaks- och verkanssamband innefattas normalt sett inte i morfologi, utan är ett analyssteg som utförs efter det att ett morfologiskt fält har skapats.

”En MA-modell visar *vilka* variabler som hänger ihop med varandra, men den beskriver inte *hur* de hänger ihop via orsakssamband och hierarkinivåer.”¹⁸

RVM är en beslutsstödsmodell, istället för en riskmodell som var den första ansatsen. Liksom en vanlig riskmodell kan RVM uppskatta riskens storlek men den kan även användas av beslutsfattare för att utvärdera riskreducerande åtgärder och alternativa användningsområden för de analyserade markområdena.



Figur 3. Metamodel för hantering av OXA-problematiken (Stenström & Westrin, 2004).

¹⁸ Stenström & Westrin (2004).

MARTA

Problemformuleringen för det Bayesianska nätverket i MARTA har vuxit fram successivt. Redan vid första förbandsvärderingsförsöket samlades betingelser in som hade en inverkan på förbandens prestation. Betingelserna var omständigheter som förbanden inte kunde påverka, såsom vind, nederbörd, terräng och motståndarens agerande. Betingelserna användes sedan vid analysen av förbandets prestation. Det Bayesianska nätverket skapades senare för att beräkna förbandets förmåga genom att kombinera övningsbetingelserna med förbandets prestation.

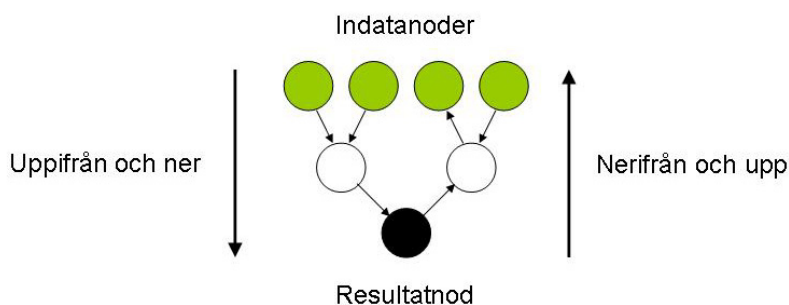
3.3 Strukturbyggande

När problemformuleringen är fastställd är nästa steg att skapa strukturen i det Bayesianska nätverket. Strukturen har en avgörande roll för nätverkets giltighet. I detta avsnitt beskrivs de metoder och tillvägagångssätt som FOI har använt för att skapa nätverken. Dessutom presenteras erfarenheter av nätverksbyggandet avseende tidsramar och programvaran Hugin.

3.3.1 Två arbetssätt för att bygga ett nätverk

Generellt sett har två olika tillvägagångssätt för att utforma ett nätverk lyfts fram under intervjuerna. Endera utgår nätbyggaren från de indatavariabler som finns tillgängliga för att, via eventuella mellannoder, arbeta sig mot resultatnoden. Detta arbetssätt benämner vi i rapporten ”uppifrån och ner” och illustreras till vänster i figur 4. I det andra arbetssättet utgår nätbyggaren istället från resultatnoden för att därefter arbeta sig utåt mot indatanoderna. Det arbetssättet benämns ”nerifrån och upp” och illustreras till höger i figur 4. Observera att benämningarna inte är vedertagna. ”Uppifrån och ner” skulle även kunna benämnas som ”utifrån och in”, och ”nerifrån och upp” skulle kunna benämnas som ”inifrån och ut”. Det är utgångspunkten som är det som skiljer arbetssätten åt, antingen utgår man från resultatnoden och arbetar sig mot indatanoderna eller tvärtom.

I följande avsnitt beskrivs de båda tillvägagångssätten närmare och en jämförande tabell med deras för- respektive nackdelar presenteras.



Figur 4. Illustration för tillvägagångssätten ”uppifrån och ner” samt ”nerifrån och upp”.

Uppifrån och ner – indata är utgångspunkt

Med tillvägagångssättet ”uppifrån och ner” inleds strukturbyggandet med att identifiera de mätbara faktorer (indatanoder) som kan tänkas vara relevanta för det formulerade problemet. Det betyder att arbetsgruppen funderar kring vilka observationer och/eller mätningar som skulle kunna påverka och ge underlag till resultatnoden. När ett antal faktorer identifierats påbörjas arbetet med att hitta orsakssamband mellan faktorerna och att bygga upp strukturen med mellannoder. Genom att arbeta nedåt i modellen mynnar den slutligen ut i resultatnoden.

Arbetsättet kan exemplifieras med problemet om man bör ta med sig ett paraply eller inte när man går hemifrån. Med metoden ”uppifrån och ner” skulle nätbyggaren i det här fallet börja med att fundera kring vilka observationer eller mätningar som skulle kunna stödja beslutet att ta med sig ett paraply. Det rådande vädret, väderleksrapporten och om grannen tog med sig paraplyet är exempel på faktorer som kan användas för att underlätta beslutet. Med utgångspunkt i de identifierade faktorerna letar nätbyggaren sedan efter kausala samband för att koppla faktorerna till resultatnoden.

”Uppifrån och ner” har både fördelar och nackdelar. Den kanske största fördelen är att det blir lättare att kontrollera storleken på nätverket genom att modellen begränsas av valet av uppsättningen med indatanoder. Nackdelarna är att det finns en viss risk att man övervärderar den information som man har tillgång till och att man kan missa väsentliga faktorer för nätverket på grund av att sambanden med resultatnoden inte är helt självklara. Dessutom finns risken att man tvingar fram sammankopplingar som kan verka logiska men som inte representerar verkligheten.

Nerifrån och upp – resultat är utgångspunkt

Med tillvägagångssättet ”nerifrån och upp” skapas nätverket nerifrån i motsats till den ovan presenterade modellen. Tanken med detta arbetsätt är att utgå från resultatnoden och arbeta sig utåt (uppåt) genom att identifiera och följa de kausala sambanden. Detta innebär att noder/faktorer och samband ofta hittas samtidigt i takt med att nätverket byggs upp. Ibland identifieras också mellannoder innan de slutliga indatanoderna bestäms. Utgångspunkten är den fråga som resultatnoden syftar till att besvara.

Paraplyproblemet som beskrivs ovan kan också användas för att illustrera det här tillvägagångssättet. Med metoden ”nerifrån och upp” skulle nätbyggaren utgå från resultatnoden och ställa sig frågande till vad det är som avgör om man ska ta med ett paraply eller inte. Detta görs för att försöka bestämma vilka faktorer som kan påverka beslutet. Ett paraply kan exempelvis användas för skydd både mot sol och regn. Dessutom skulle det kunna användas som skydd vid rånförsök. Genom att bygga vidare på de faktorer som avgör beslutet kan nätbyggaren kartlägga strukturen. Betydelsen av att kunna använda paraplyet vid rånförsök beror exempelvis på förekomsten av kriminella i området vilket i sin tur kanske beror på fattigdom eller dåliga skolor. I och med att de flesta kausala samband kartläggs på detta sätt leder det till ett förhållandevis stort nätverk, förmodligen större än om metoden ”uppifrån och ner” hade använts.

Fördelarna med metoden ”nerifrån och upp” är att chanserna för att hitta alla avgörande kausala samband ökar och kopplingarna mellan indatanoderna och resultatnoden blir tydligare. Dessutom framgår osäkerheter tydligare i modellen genom att även de noder som inte kan observeras och mätas visas i nätverket. Detta leder å andra sidan också till en ökad risk för att nätverket blir oanvändbart när det inte finns tillgängliga data för vissa noder som sedan inte tas bort ur nätverket. En ytterligare nackdel med tillvägagångssättet är att nätverket kan växa snabbt och bli orimligt stort i omfattning. I sådana fall blir avgränsningsproblemet extra viktigt.

Tabell 2. För- och nackdelar med arbetssätten "uppiifrån och ner" och "nerifrån och upp".

Uppiifrån och ner - Indata	Nerifrån och upp - Resultatet
<i>Fördelar</i> Det är lätt att kontrollera storleken på nätverket Enbart observerbara faktorer	<i>Fördelar</i> Chansen att hitta alla kausala samband ökar Kopplingar blir tydligare Osäkerheten framgår tydligare när man även tillför noder som inte kan mätas
<i>Nackdelar</i> Risk för att man övervärderar den information man har Risk för att man glömmar väsentliga faktorer eftersom sambanden inte är helt självklara Risk för felaktiga kopplingar	<i>Nackdelar</i> Risk för att nätverket blir orimligt stort Risk för att modellen blir oanvändbar då man inte kan tillföra pålitliga bevis eller observationer

3.3.2 Att tänka på vid strukturbyggandet

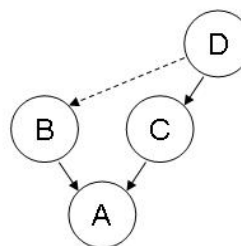
Vid intervjuerna beskrevs ett antal olika faktorer som är viktiga att tänka på vid byggandet av ett Bayesianiskt nätverk. Dessa och några av författarnas egna erfarenheter presenteras nedan.

Struktur

Strukturen hos ett Bayesianiskt nätverk spelar stor roll för modellens giltighet. En problemformulering kan uppfattas på vitt skilda sätt av olika personer. Det leder till att individer kan ha olika uppfattningar om hur nätverksstrukturen bör utformas. Problem där flera fundamentalt skilda strukturer kan skapas passar därför sannolikt inte för att modelleras med Bayesianiska nätverk. Nätverk som bygger på problem utan uppenbar struktur lämpar sig inte heller för Bayesianiska nätverk, utan kräver vidare analys och bearbetning.

Dolda beroenden

Vid uppbyggandet av nätverksstrukturen ska man försöka undvika beroendeförhållanden mellan noder som inte beaktas i modellen. För att exempelnätverket i figur 5 ska vara giltigt måste man försäkra sig om att nod B inte är mer än marginellt beroende av nod D. Om det skulle finnas ett starkt kausalt samband mellan B och D måste detta beaktas i strukturen.

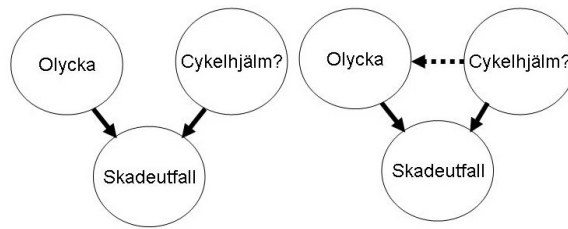


Figur 5. Exempelnätverk – dolda beroenden.

Problemet kan belysas med exemplet om man bör använda cykelhjälm eller inte när man cyklar. Tre noder kan användas för att modellera beslutsproblemet, en som beskriver valet cykelhjälm eller inte, en som beskriver olyckstyperna och en nod som beskriver skadeutfallet givet en olyckstyp samt om man använt hjälm eller inte.

I figur 6 skulle den vänstra modellen kunna beskriva problemet. I den modellen finns inget tvivel om att man bör använda cykelhjälm om man vill minimera skaderisken. Däremot framgår inte den dolda kopplingen mellan olycksstatistik i noden *Olycka* och användandet av cykelhjälm. Användandet av cykelhjälm skulle kunna öka cyklistens risktagande vilket

i sin tur leder till fler och/eller andra typer av olyckor. Om man inför det sambandet i modellen är det inte längre lika självklart att man bör använda hjälm.



Figur 6. Exempelnätverk med dolda beroenden – cykelhjälm och skadeutfall.

Skapande av mellannoder

Vid modellering kan det finnas behov att skapa noder som underlättar förståelsen av nätverket samt minimerar storleken av vissa sannolikhetstabeller. För att återgå till exemplet med paraplyet, som beskrivs i avsnitt 3.3.1, skulle det vara möjligt att koppla alla indatanoder direkt till resultatnoden *paraply* och få ett användbart resultat. Det skulle innebära att paraplynoden skulle få en stor sannolikhetstabell där faktorerna väderleksrapport, grannens paraply, fattigdom och dåliga skolor direkt skulle avgöra huruvida man bör ta med paraplyet eller ej. Vid införslen av mellannoderna regn, sol och skydd mot brott minskar sannolikhetstabellen och ökar förståelsen för hur indatanoderna påverkar resultatet.

Modulbaserat nätverksbygge

För att underlätta skapandet av större modeller är det bra att bryta ner problemet i verifierbara delmodeller som sedan sammanfogas till den slutgiltiga modellen. Ett alternativ kan också vara att först skapa en förenklad modell med de viktigaste noderna för att därefter vidareutveckla till den färdiga strukturen.

Förenklingar av nätverket

Stora nätverk kan vara svåra att hantera. I dessa fall är det möjligt, och viktigt, att reducera nodantalet genom att ta bort de noder som tillför minst information i modellen. Noderna som tas bort bör dokumenteras då osäkerheten i modellen ökar och modellens validitet påverkas.

Kausala samband

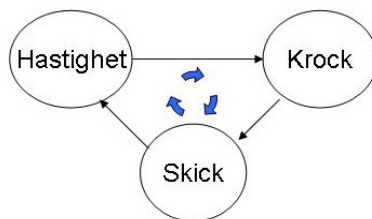
Kausala samband, även benämnda som orsaks- och verkanssamband, är oerhört viktiga för ett nätverks giltighet. Är sambanden felaktiga så blir även nätverket felaktigt och förmodligen oanvändbart. Ibland ges sambanden direkt av kontexten och är då lätta att modellera. Exempelvis, om x antal granater skjutits inom ett visst område och y procent sannolikt blir blindgångare är det möjligt att dra slutsatser om hur många blindgångare som finns i området. De kausala sambanden i detta fall är enkelt då sambandet ges direkt av kontexten. Ett annat exempel kan vara att man bränner sig om man dricker vatten som är varmare än en viss temperatur. Vattnets temperatur har därför en kausal koppling till huruvida man blir bränd eller ej.

Det finns dock andra fall som inte är lika självklara. Det finns tre bekymmersamma områden vid modellering av kausalitet som kan orsaka problem, varav ett redan beskrivits

ovan under rubrik *Dolda beroenden*. De andra två är särskiljandet mellan deduktivt och abduktivt resonemang samt kausala loopar.¹⁹

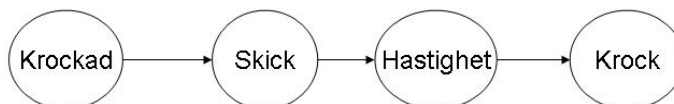
Det första fallet, deduktivt resonemang eller ej, beror på människans vilja att dra slutsatser från det som har observerats. Detta leder till att vi i regel även vill dra pilarna, dvs. visa på kausalitet, i samma riktning som våra egna resonemang och observationer. Om till exempel väderleksrapporten visar att det ska regna imorgon så har man 1) observerat väderleksrapporten och 2) dragit slutsatsen att det kommer regna. Detta gör att man blir benägen att låta orsaken till regnet vara väderleksrapporten. Ur ett kausalt tänkande är detta felaktigt, det är inte väderleksrapporten som orsakar regnet, utan tvärtom faktiska observationer och beräkningar av väder som skapar väderleksrapporten. Det är därför morgondagens regn som påverkar väderleksrapportens utfall. För att undvika detta problem är medvetenhet det enda som författarna kan rekommendera. Granskningen av samtliga kopplingar med detta i åtanke kan vara en metod för att undvika fel.

Kausala loopar kan även de orsaka bekymmer. Med en kausal loop menas att det finns ett cirkelberoende. Om vi återgår till exemplet med cykeln och olycka, så vet vi att cykelns hastighet kan bero av cykelns skick. Krockar man med en cykel försämras skicket. Samtidigt vet man att högre hastigheter ökar sannolikheten till krock. Som vi tidigare sagt påverkar en krock cykelns skick vilket gör att vi har ett cirkelresonemang som illustreras i figur 7.



Figur 7. Kausal loop. Samband mellan krock och hastighet.

Kausala loopar och feedbackmekanismer kan inte modelleras i Bayesianska nätverk. En loop skulle upptäckas direkt och ett färdigt nätverk kan på så sätt aldrig innehålla en loop. Orsaken till det ovan beskrivna cykelproblemet är att det finns ett tidsberoende i det kausala sambandet, det är dynamiskt. Genom att dela upp krocken i två noder, tidigare krock med cykel (innan cykling = förut) och krock med cykel under cykling (=nu), kan vi lösa problemet.



Figur 8. En alternativ modellering av cykelproblemet där hänsyn har tagits till tidsberoendet.

Dynamiska förlopp är svåra att modellera i Bayesianska nätverk då tiden påverkar variabler och tillstånd. Därför lämpar sig metoden sällan för dessa typer av tidsberoende problem.

¹⁹ Nadkarni & Shenoy (2004).

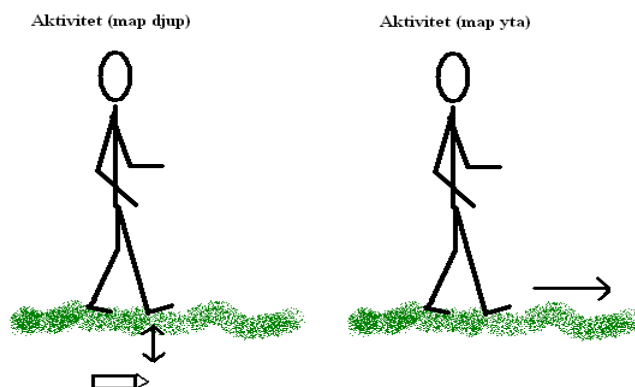
3.3.3 Exempel

RVM

RVM har i princip byggts utifrån arbetssättet ”nerifrån och upp”, men man har utgått från den metamodel som den morfologiska analysen resulterade i. Modellen har successivt förändrats under hela projektets gång och såväl indatanoder som resultatnod har reviderats. Den grundläggande strukturen är kvar även om noder tillkommit, försvunnit eller fusionerats. Även tillstånd i vissa noder har förändrats.

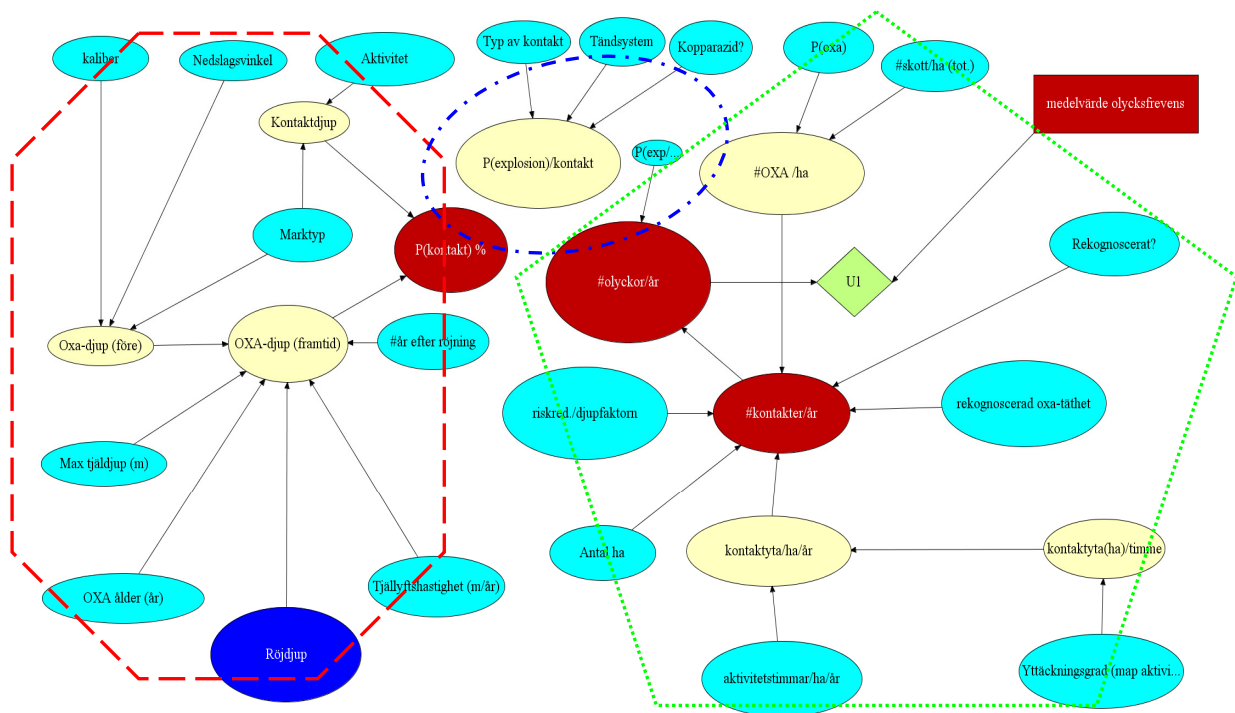
Under den tidiga utvecklingen bedrevs arbetet som beskrivs i avsnitt 3.2 Problemformulering. Utvecklingsarbetet under den senare delen av projektet har varit att lösa de problem med modellen som upptäckts vid användning. Under det senare utvecklingsarbetet har angreppssättet varit både ”nerifrån och upp” och ”uppifrån och ner”.

De viktigaste förändringarna i nätverket har gällt beroenden. I modellen anges olika *aktiviteter*, exempelvis att ströva, rida, köra motorfordon eller att bedriva skogsbruk. Aktivitet angavs till och en början endast i en nod. Detta gav dock beroenden då en indatanod påverkade resultatet i flera olika led. En aktivitet har en tvådimensionell påverkan på marken; djupet och ytan som berörs. För att skapa en struktur med större logik har noden *aktivitet* ersatts med noder som syftar till det djup och den yta som berörs av en aktivitet.



Figur 9. Jämförelse av markpåverkan med avseende på djup och yta.

RVM består av flera oberoende delar som har utvecklats samtidigt. Strukturen är därför inte optimal (figur 10). I RVM:s fall var det nödvändigt att dela upp modellen i underdelar på grund av matematiska begränsningar i Hugin. Uppdelningen gör att modellen är svår att köra i Hugin. Tack vare användande av ett Excelgränssnitt har strukturproblemet undvikits genom att det i Excel är matematiskt möjligt att binda samman delarna på ett bra och enkelt sätt. Alternativt hade RVM kunnat byggas om till ett objektorienterat Bayesianskt nätverk, dvs. ett nätverk bestående av submodeller på flera olika nivåer.



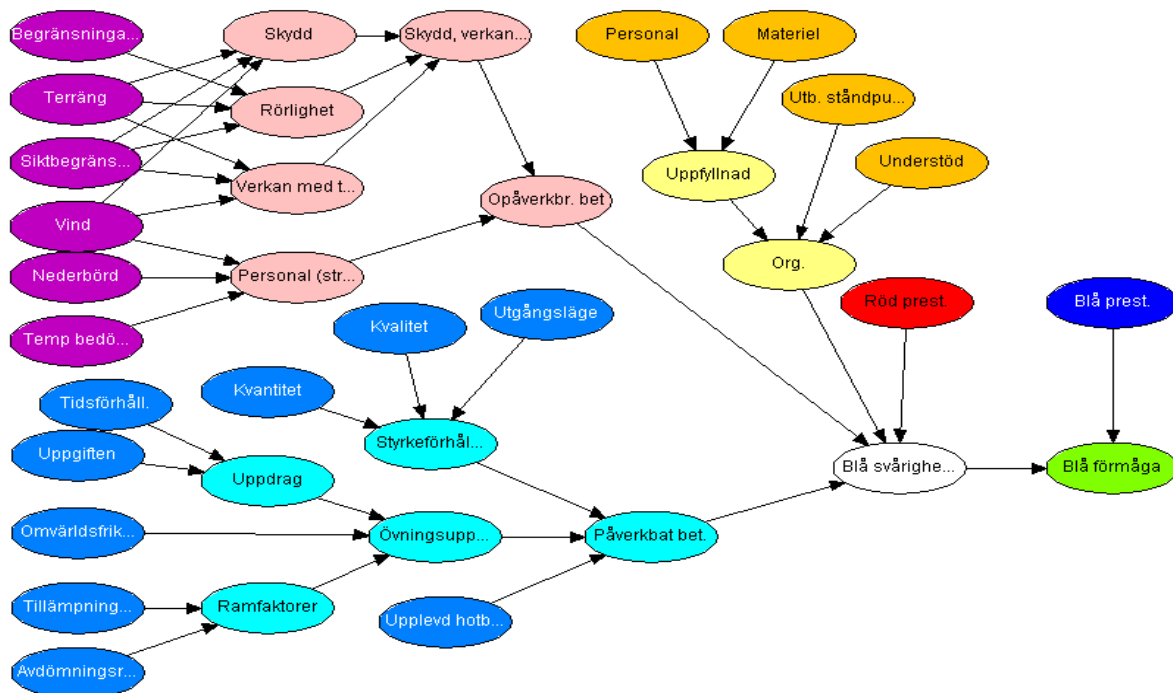
Figur 10. Nätverksbild av RVM från Hugin. Turkosa (och blå) noder representerar indatanoder, gula noder är mellannoder och röda är resultatnoder. De streckade linjerna visar RVM:s tre delar. Den röda delen visar OXA:s läge i marken och hur stor andel av OXA en viss aktivitet kan komma i kontakt med. Den blå delen beräknar hur stor risken är för att OXA ska bringas att explodera vid en viss kontakt med avseende på olika tändsystem. Den gröna delen tar hänsyn till areal, antal besökare och antal skott och infogar resultaten från de två tidigare beskrivna delarna. Det är den gröna delen som innehåller slutresultatet i form av en sannolikhetsfördelning av beräknat antal olyckor per år.

MARTA

I MARTA-projektet var nästan alla noder identifierade och fastslagna innan arbetet med att skapa en struktur och nätverk påbörjades. Eftersom problemet ansågs vara logiskt till sin natur tog det inte mer än en och en halv dag för arbetsgruppen att skapa strukturen för det Bayesianska nätverket. Tillvägagångssättet för att bygga modellen har varken varit renodlat ”uppifrån och ner” eller ”nerifrån och upp”. Gruppen arbetade i båda riktningarna, både från indatanoderna och resultatnoden, för att hitta sambanden mellan noderna.

Liksom RVM har MARTA varit under ständig utveckling. Till skillnad från RVM där strukturen i stort accepterats, har MARTA:s Bayesianska nätverksstruktur kontinuerligt diskuterats och ifrågasatts. Variablernas inverkan på resultatet samt dolda beroendeförhållanden mellan variabler är de viktigaste orsakerna till att strukturen ännu idag inte är fastställd. Det har funnits en önskan att flytta starkt inverkan indatanoder närmare resultatnoden för att på så sätt öka dess inflytande på resultatet. Det är en pedagogisk bra lösning, men det skulle också gå lika bra att ändra i sannolikhetsstabellerna för att få samma genomslag. Denna problematik diskuteras vidare i avsnitt 6.7.

Figur 11 visar en nätverksbild av MARTA. I MARTA är blå sidas förmåga en funktion av blå sidas prestation samt övningens svårighetsgrad. Till höger i figuren kan man se noderna som utför denna beräkning, *Blå förmåga* (grön nod), *Blå prestation* (blå nod) och *Blå svårighetsgrad* (vit nod). De övriga noderna används för att beräkna övningens svårighetsgrad. Den röda noden, de orangea, lila samt ljusblå noderna är indatanoder, där information tillförs nätverket. Resterande noder, mellan indatanoder och noden *Blå svårighetsgrad* är beräkningsnoder.



Figur 11. Nätverksbild av MARTA:s Bayesianska nätverk från Hugin.

3.4 Att bestämma tillstånd och sannolikheter

Innan ett Bayesianskt nätverk är färdigt att använda måste tillstånden i noderna bestämmas. Dessutom måste varje nod förses med en sannolikhetstabell (CPT)²⁰ som beskriver de betingade sannolikheterna för de olika tillstånden.

För att bestämma sannolikhetsfördelningar utgår modellbyggarna antingen från matematiskt eller empiriskt framtagna sannolikheter, alternativt från experters uppskattade sannolikheter. I detta avsnitt beskrivs de intervjuade personernas samlade erfarenheter av att bestämma tillstånd, ta fram sannolikhetstabeller och för- och nackdelar med de olika arbetssätten. Dessutom beskrivs olika alternativa arbetssätt för hur man kan få en expertgrupp att uppskatta sannolikheter.

3.4.1 Variabler och deras tillstånd

De olika noderna, eller variablerna, är de faktorer som bidrar mest till att förklara en given frågeställning och bäst modellerar den del av verkligheten som nätverket ska avbilda. Variablerna innehåller tillstånd som representerar de förhållanden och förutsättningar som variabeln kan variera mellan. Tillstånden ska vara oberoende och av varandra uteslutande. Att bestämma vilka tillstånd som är representativa för variabeln är en process med varierande svårighetsgrad. Tillstånden kan vara givna av variabeln medan de i andra fall kan vara svåra att definiera. Några viktiga aspekter att ta fasta på vid bestämning av variabler och tillstånd beskrivs nedan.

Variabler existerar i fyra olika former. I intervallnoder är tillstånden beskrivna som ett ökande intervall, numeriska noder har exakta värden angivna i tillståndstabellen, booleska noder består av ett sant eller falskt alternativ och beteckningsnoder (eng. labelled) är kvalitativa och tillstånden beskrivs med ord.

²⁰ Eng. = Conditional Probability Table.

Tabell 3. Exemplifierade variabeltyper

Intervall	Numerisk	Booleansk	Beteckning
0 – 1	1	Ja (Sant)	Grön
1 – 10	2	Nej (Falskt)	Gul
10 – 100	3		Röd
100 – 1000	4		
1000 – 10 000	5		
Exempel:			
Antal personer som får biverkningar av ett läkemedel i en population på 100 000 personer	Betygsskala	Regn?	Trafikljus

Tillstånd kan vara givna utifrån variabeln, sökas fram i studier eller bedömas med hjälp av experter. Ett stoppljus kan representera en variabel där de tre tillstånden är uppenbara och objektiva: grönt, gult och rött. Väder är ett exempel på en variabel där tillstånden är subjektiva, beroende av experter och svåra att definiera. Vädret kan vara kallt, varmt, lagom eller hett. Vädret kan även innebära nederbörd, uppehåll eller sol. För en vädernod blir det sannolikt svårt att på ett enhetligt och systematiskt sätt bedöma vilka tillstånd som är relevanta och hur de definieras. Vad betyder lagom och hur hanteras vädret molnigt eller disigt om användaren enbart kan välja mellan nederbörd, uppehåll eller sol? Svårdefinierbara variabler med otydliga tillstånd kan därför leda till att användarna inte är konsistenta i sina bedömningar. Exempelvis kan en person tycka att molnigt väder är detsamma som uppehåll medan en annan person snarare tycker att moln innebär stor chans för nederbörd. En variabls tillstånd bör därför vara väldefinierade och en problemfylld variabel som väder kan med fördel brytas upp i flera olika variabler.

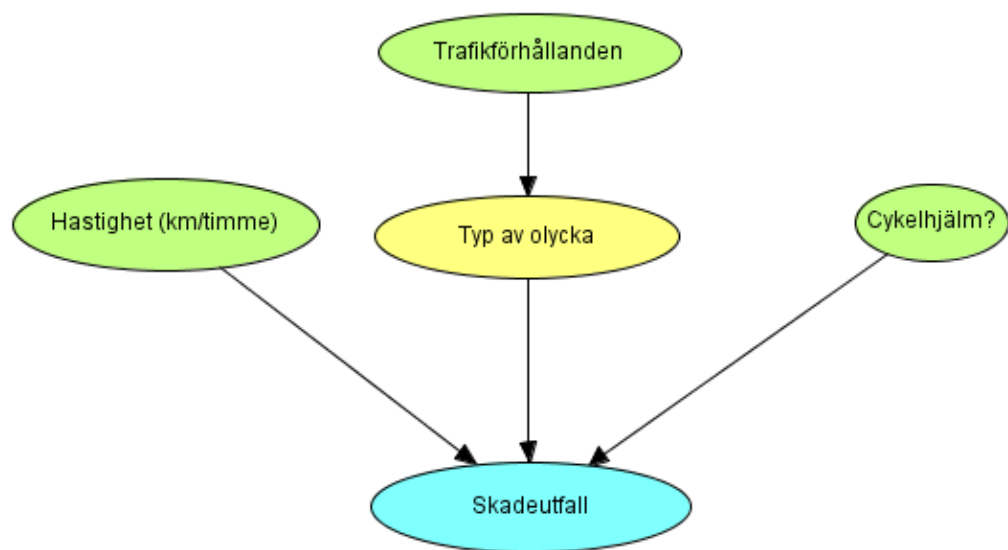
I vissa variabler krävs ett alternativ utöver de kända tillstånden. Ett ickeval i form av ett *inget* eller *inte relevant* tillståndsalternativ gör det möjligt att markera att information saknas eller att tillstånden inte är relevanta eller tillräckliga. I exemplet med stopplyset skulle tillståndet kunna vara *inget av de tre*. Lyset kanske är ur funktion, en trafikpolis kan ersätta stopplyset eller så kan det vara en gul blinkande signal. I de fall där utfallsrummet är givet behövs inget sådant alternativ. En tärning är ett sådant fall.

I Hugin kan kvantitativa variabler beskrivas med kvalitativa termer för att underlätta användandet. En skala från ett till fem kan exempelvis beskrivas som *mycket dåligt* till *mycket bra*.

Exempel

För att förtydliga vad variabler är och de olika typerna av tillstånd återknyter vi till diskussionen om en cykelolycka i avsnitt 3.3.2 och figur 6. Det eventuella beroendet mellan moderna *Cykelhjälm?* och *Typ av olycka* kommer för enkelhetens skull att frånbises.

När frågan ställs om vad som påverkar vilken typ av skada en cyklist får vid en olycka, kan flera olika svar ges. Om cyklisten till exempel bär hjälm minskar risken för en huvudskada. Andra faktorer som kan påverka skadans art är förslagsvis cyklistens hastighet och trafikförhållandena. Moderna, eller variablerna, *Cykelhjälm*, *Typ av olycka*, *Hastighet* och *Trafikförhållanden* kommer alltså att påverka resultatnoden *Skadeutfall*.



Figur 12. Olika faktorer som kan påverka skadeutfallet vid en cykelolycka.

Variablerna beskriver de förhållanden och förutsättningar som rådde vid olyckan, och dessa förhållanden brukar kallas tillstånd. Exempel på möjliga tillstånd för variabeln *Trafikförhållanden*, utan att vara fullständigt beskrivande eller korrekta, kan vara: stad – tät trafik, gles trafik och ingen trafik. För variabeln *Cykelhjälm?* kan tillstånden Ja och Nej definieras, där Ja endast inkluderar de fall där cyklisten burit en cykelhjälm som varit knäppt och korrekt påsatt på huvudet. Variabeln *Hastighet* kan vara lite svårare att definiera. Tillstånden skulle kunna vara Låg, Normal och Hög hastighet. Vad dessa beskrivningar innebär är dock svårt att enhetligt avgöra. Därför är det bättre att ange hastigheten som km/timme.

Tabell 4. Exemplifiering av cykelexemplets variabler och dess olika tillstånd. Observera att variabeltypen *numerisk* inte används

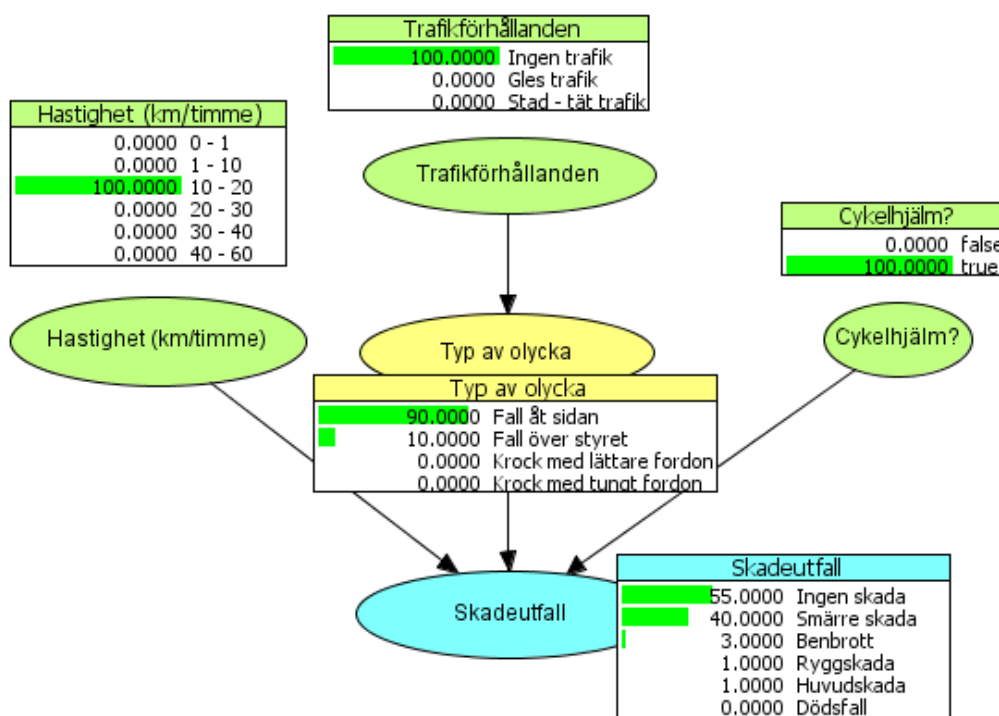
Intervallnod	Booleansk nod	Beteckningsnoder		
<i>Hastighet (km/timme)</i>	<i>Cykelhjälm?</i>	<i>Trafikförhållanden</i>	<i>Typ av olycka</i>	<i>Skadeutfall</i>
0 – 1	Ja (Sant)	Ingen trafik	Fall åt sida	Ingen skada
1 – 10	Nej (Falskt)	Gles trafik	Fall över styret	Smärre skada
10 – 20		Stad – tät trafik	Krock med lättare fordon	Benbrott
20 – 30			Krock med tungt fordon	Ryggskada
30 – 40				Huvudskada
40 - 60				Dödsfall

3.4.2 Sannolikhetsfördelningar

Sannolikhetsfördelningar för en variabels olika tillstånd anges i det Bayesianska nätverket. Sannolikheter som inte överensstämmer med verkligheten gör att modellen ger ett felaktigt resultat, vilket leder till att modellen blir oanvändbar. Av den anledningen är matematiskt säkerställda eller empiriskt grundade sannolikheter ofta att föredra i Bayesianska nätverk. Allt som oftast saknas dock statistiska data och inom Försvarsanalys byggs modeller som till stor del baseras på expertkunskap.

Exempel

Det fiktiva exemplet om skadeutfallet vid en cykelolycka visas i figur 13, nu även med sannolikhetsfördelningstabellerna. När ett nätverk liknande det i figur 13 skapas, skulle som nämnts tidigare i kapitlet, sakkunniga först bestämma variabler och deras olika tillstånd. Vid användning av nätverket skulle användarna ange de observerade fördelningarna mellan tillstånden i de gula indatavariablerna. I exemplet har cyklisten råkat ut för en olycka cyklat 10-20 km/timme i ett område utan trafik och burit hjälm. Det är mest sannolikt att cyklisten fallit åt sidan, medan en krock med ett fordon är helt uteslutet.



Figur 13. Cykelexempel med fiktiva sannolikhetsfördelningar. I de olika tabellrutorna visas variabelns (nodens) namn, tillstånd och sannolikhetsfördelningarna mellan tillstånden. Sannolikhetsfördelningarna visas i Hugin som både stapeldiagram (gröna staplar), samt numeriskt som en procentfördelning.

Även om användaren anger fördelningar i indata (gröna noder) måste de personer som skapar nätverket bestämma hur tillstånden och variablerna förhåller sig i relation till varandra innan nätverket kan användas. De sakkunniga måste därför bestämma mellannodernas (gul) och resultatnodens (blå) sannolikhetsstabeller. Sannolikhets Tabellen för *Typ av olycka* visas i tabell 5.

Tabell 5. Tabellen visar noden *Typ av olyckas sannolikhetstabell*. De typer av olyckor som förväntas kunna ske, dvs. variabelns tillstånd, anges i kolumnen längst till vänster. Eftersom noden *Trafikförhållanden* påverkar noden *Typ av olycka* måste experter avgöra hur relationen ser ut och detta görs i sannolikhetstabellen. I detta fiktiva fall har man ansett att cyklister i trafikförhållanden utan trafik aldrig kommer att krocka med fordon, utan endast falla av cykeln. I *Gles trafik* finns däremot en sannolikhet att krocka med fordon, och sannolikheten ökar vid cykling i *Stad – tät trafik*. Fördelningarna är satta som procentsatser och ska därför kolumnvis summeras till 100%.

Trafikförhållanden	Ingen trafik	Gles trafik	Stad - tät trafik
Fall åt sidan	90	90	85
Fall över styret	10	5	5
Krock med lättare fordon	0	3	7
Krock med tungt fordon	0	2	3

Sannolikhetsfördelningar med hjälp av experter

Även om givna och empiriska sannolikheter i de allra flesta fall ger en mer korrekt bild av verkligheten är det sällan som ett lämpligt underlag finns tillgängligt. Det beror på att en hel del sannolikheter är mycket svåra eller till och med omöjliga att bestämma. Sannolikheten för att Sverige vinner nästa hockey-VM är exempelvis omöjlig att fastställa med statistik. Sannolikheten för att ett kärnkraftverk står emot en flygplanskrasch kan visserligen bestämmas med empiriska experiment, men är en mycket svår, kostsam och synnerligen olämplig process. I dessa fall lämpar sig en uppskattning av sannolikheterna från en eller flera experter mycket bättre.

En fördel med expertutlåtanden är att det i många fall är en snabbare och mindre kostsam arbetsgång än att försöka samla empiriskt material. Dessutom ger användandet av experter möjligheten att addera ytterligare information och erfarenhet i modellen som är svår att fånga med statiska underlag. Expertens tillförlitlighet måste dock alltid värderas. Nackdelar med expertutlåtanden kring olika sannolikheter är att dessa bygger på experternas subjektiva mening. Användare kan även skjuta ansvar vidare och lasta experten för resultat som inte verkar stämma eller som helt enkelt är obekväma att hantera. Ett utlåtande från en expert är dock med största sannolikhet långt bättre än vad gemene man skulle kunna uppskatta.

Vid byggandet av ett Bayesianskt nätverk bör man vara försiktig med att använda expertutlåtanden i flera led i en modell. Osäkerheten i de uppskattade sannolikheterna multipliceras för varje nod som passerar i modellen och kan i värsta fall växa sig stor. När expertutlåtande används bör man därför försöka minska antalet nivåer.

En kombination av insamlad information och expertkunskap kan visa sig vara den bästa lösningen. Fallet med den försvunna ubåten Scorpion²¹ är ett bra exempel där det tillgängliga datamaterialet inte var tillräckligt. På basis av den insamlade informationen trodde de som letade efter ubåten att den skulle finnas inom ett visst område. Det var först när data kombinerades med expertkunskap från ubåtskaptener som den försvunna ubåten till slut kunde hittas.

3.4.3 Användande av experter

Att få experter att uttrycka sin kunskap i sannolikhetsfördelningar kan ibland vara komplicerat. Exempelvis kan det finnas begränsade erfarenheter av frågan, det kan vara känsligt att uttala sig i frågan och det kan vara svårt att representera verkligheten i en tabell. På grund av experternas olika bakgrund behöver de heller inte alltid vara ense om sannolikheterna. Därför bör man låta ett större antal experter uttala sig i frågan och låta dem motivera sina uppskattningar.

²¹ Richardson & Stone (1971).

Det finns en del metoder och tillvägagångssätt som kan underlätta arbetet med expertutlåtanden. I det här avsnittet redovisar vi erfarenheterna inom Försvarsanalys från att använda experter. Vi redovisar också olika angreppssätt för att underlätta framtagandet av sannolikhetsfördelningarna.

Gruppens sammansättning

Expertgruppen bör vara sammansatt så att frågeställningen blir belyst ur olika synvinklar. Det bör därför finnas en kompetensbredd i gruppen så att alla relevanta sakområden täcks. Helst ska samtliga gruppmedlemmars synpunkter och åsikter väga lika. Därför bör hierarkiska strukturer eller etablerade relationer inom gruppen undvikas.

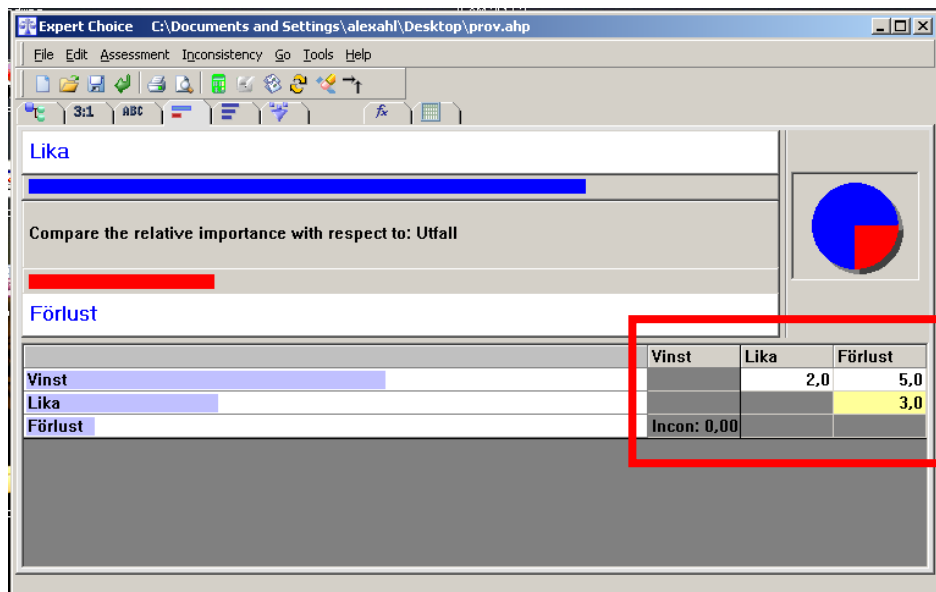
Erfarenheter har visat att antalet experter i gruppen bör vara högst sex personer. Ofta är det ett problem att samla fler experter än så och i många fall finns det kanske bara en person med rätt sakkunskap. Om flera oberoende experter är överens minskar risken för att den uppskattade sannolikhetsfördelningen är bristfällig. I de fall experternas åsikter skiljer sig betydande åt måste man införa en osäkerhet i modellen alternativt rådgöra med fler experter. Osäkerheten i sannolikhetsfördelningen kan också öka om den bygger på en enda experts hypotes.

Parvisa jämförelser

Parvisa bedömningar är en metod som kan användas för att fastställa sannolikhetsfördelningar. Experterna avgör då vilket av två tillstånd som är mest sannolikt att inträffa givet vissa förbestämda betingelser.

Arbets sättet kan illustreras med fallet att en expertgrupp ska bestämma sannolikhetsfördelningen för vinst, oavgjort, förlust givet att fotbollslag A leder med 1-0 i halvtid. I det här fallet finns tre parvisa bedömningar som experterna ska ta ställning till:

- Vinst – Oavgjort
- Vinst – Förlust
- Oavgjort – Förlust



Figur 14. Vad är sannolikheten att resultatet för lag A blir vinst/avgjort/förlust givet att laget leder med 1-0 i halvtid?

I figur 14 framgår de exemplifierade parvisa bedömningarna. I det här fallet har man bedömt att det är två gånger så stor chans att det blir vinst jämfört med oavgjort och fem gånger så stor chans att det blir vinst jämfört med förlust samt tre gånger så stor chans att det oavgjort jämfört med förlust. Vid användning av AHP²² genererades därmed följande sannolikhetsfördelning:

Tabell 6. Sannolikheten att resultatet för lag A blir vinst/avgjort/förlust givet att laget leder med 1-0 i halvtid

Vinst	0,582
Oavgjort	0,309
Förlust	0,109

Fördelen med metoden parvisa jämförelser är att grunden till resultaten framgår tydligt vilket gör att bedömningarna blir mindre partiska. För att beräkna sannolikhetsfördelningen räcker det med att jämföra ett av tillstånden med de resterande. Genom att göra samtliga parvisa jämförelser skapas redundans i modellen. Med hjälp av redundansen kan man avgöra hur konsekventa experterna varit i sitt bedömande.

Nackdelen med metoden parvisa jämförelser är att den är tidskrävande. Antalet parvisa bedömningar ökar exponentiellt med antalet tillstånd. Med få tillstånd kan det också vara lättare att direkt ange fördelningen, snarare än beskriva hur två tillstånd förhåller sig till varandra. För ytterligare läsning om hur AHP kan användas vid bedömande av sannolikhetsfördelningar rekommenderas artikeln *Dealing with the Expert Inconsistency in Probability Elicitation*²³ av Monti och Carenini.

Interpolering mellan givna sannolikhetsfördelningar

När en nod har flera ingående variabler blir sannolikhetstabellen omfattande, vilket leder till att det är tidskrävande att bedöma sannolikhetsfördelningarna. För att underlätta bedömningen kan expertgruppen börja med de sannolikhetsfördelningar som de känner sig mest säkra på och därefter interpolera mellan dem för att få de mellanliggande sannolikhetsfördelningarna. Det här är en lämplig metod i stora sannolikhetstabeller med tillstånd som kan uttryckas på en ordinal skala.

Arbets sättet kan exemplifieras med tabellen nedan där man utifrån variablerna *Terräng* och *Motstånd* ska bedöma sannolikheterna för att en militär övningsuppgift är *Lätt*, *Medelsvår* eller *Svår*. De givna bedömningarna av sannolikhetsfördelningarna blir när både *Terräng* och *Motstånd* visar samma tillstånd. De mellanliggande tillstånden kan sedan interpoleras fram.

Tabell 7. Interpolering mellan givna tillstånd

Terräng	Lätt	Lätt	Lätt	Medel	Medel	Medel	Svår	Svår	Svår
Motstånd	Lätt	Medel	Svår	Lätt	Medel	Svår	Lätt	Medel	Svår
Lätt uppgift	100 %	?	?	?	0 %	?	?	?	0 %
Medelsvår uppgift	0 %	?	?	?	100 %	?	?	?	0 %
Svår uppgift	0 %	?	?	?	0 %	?	?	?	100 %

²² Analytic Hierarchy Process. Det går även att använda andra beräkningssätt såsom minsta kvadratmetoden.

²³ Monti & Carenini (2000).

Vadslagning

I artikeln *Bet on it*²⁴ beskrivs hur vadslagning kan användas som metod för att uppskatta sannolikheterna för olika händelser. Ett exempel beskriver hur utvecklarna av ett mjukvaruprogram slår vad om när de tror att produkten kommer att bli klar. Det visade sig att de flesta medarbetarna trodde att programmet skulle bli tre månader försenat, få trodde att den skulle bli klar i tid och ingen i trodde att den skulle bli klar i förtid. Med resultatet från vadslagningen som underlag beslutade projektledaren att stryka några funktioner och omfördela resurserna. Efter projektledarens agerande ändrade medarbetarna sin tro och började satsa på att projektet skulle bli klart i tid.

Exemplet visar hur man kan använda experter, i det här fallet medarbetare, för att avgöra utfallet av en fråga. Denna metod fungerar väl då det är möjligt att kontinuerligt uppdatera sannolikhetstabellerna. Vissa modeller kräver statistiska sannolikhetstabeller och då krävs en annan tillämpning av metoden. En variant av metoden skulle kunna vara att dela ut en fiktiv hundralapp till experterna i gruppen och be dem satsa pengar på de tillstånd som de tror är mest sannolika givet vissa observationer. Vinsten fördelas proportionellt till satsning på de experter som har satsat på det korrekta tillståndet. Genom att därefter normalisera experternas satsningar ges sannolikheterna för olika tillstånd. Anledningen till att en vinst delas ut beror på det ökade engagemang och den känsla av att något verkligen står på spel som gruppen med stor sannolikhet känner, vilket antas förbättra beslutsunderlaget. Arbetssättet kan exemplifieras med tabell 8 där tre släktingar har satsat på vilket barn de tror kommer att gifta sig först.

Tabell 8. Vilket av barnen gifter sig först?

	Mor	Far	Mormor	Summa	%-fördelning
Dotter (22 år)	10 kr	0 kr	20 kr	30 kr	10 %
Dotter (26 år)	30 kr	50 kr	70 kr	150 kr	50 %
Son (28 år)	60 kr	50 kr	10 kr	120 kr	40 %

Fördelarna med metoden är att alla experter får komma till tals och deras övertygelse speglas av satsningarna. En tveksam expert behöver inte satsa hela hundralappen och istället uttrycka sin osäkerhet genom att bara satsa del av summan. Fadern skulle till exempel kunnat satsat enbart 25 kr istället för de ursprungliga 50 kr och på sått uttrycka sin tveksamhet. Genom att behålla 50 kr har han markerat sin osäkerhet i just denna fråga, då han hellre spenderar 50 kr på något annat än vadslagningen.

En variant av metoden är att variera tillståndens odds alternativt utdelningen till dess att experterna betraktar alternativen som likvärdiga. För att återkoppla till exemplet ovan skulle släktingarna ta ställning till frågan om de fick x antal kronor om sonen gifter sig först vilken summa skulle då krävas för att de skulle anse att de lika gärna skulle kunna satsa på någon av döttrarna. Modern skulle, givet att hon resonerar som ovan, anse att 100 kr i utdelning om sonen gifter sig först är likvärdigt med att få 200 kr om den äldsta dottern gifter sig först och 600 kr om den yngsta dottern gifter sig först. Detta tillvägagångssätt är likt de med de parvisa bedömningarna, då man studerar hur alternativen förhåller sig till varandra.

Det finns en del nackdelar som förknippas med metoden; den moraliska aspekten, partiska satsningar samt tidsåtgången. Att låta medarbetare satsa pengar på något som de själva

²⁴ Cherry (2007).

avgör utfallet av kan skapa problem. Om experterna är partiska skulle de också kunna manipulera resultatet genom att satsa på de alternativ som är fördelaktiga för deras agenda. Att genomföra en vadslagning mellan alla medarbetare är en tidskrävande process, utfallet förändras även med tiden vilket gör att de inte fungerar väl som data för ett Bayesianskt nätverk som kräver låsta sannolikhetsstabeller. Tidsåtgången i de förenklade varianterna, med den fiktiva hundralappen eller att variera oddsen tills alternativen kan betraktas som likgiltigt, är inte mer tidskrävande än att be experterna bestämma fördelning direkt.

3.4.4 Exempel

RVM

I princip alla sannolikhetsfördelningar i modellen är baserade på expertuppgifter. Experterna, främst militärer med god kännedom om OXA, har under modellens utveckling varit den främsta källan till kunskap. Forskare vid svenska universitet har också tillfrågats vid specifika frågeställningar.

Det finns förvånansvärt lite insamlade data om OXA. FOI har granskat experternas värderingar när detta varit möjligt, för att se om antagna hypoteser håller. Inom vissa områden, exempelvis kopparazidbildning, tjälfaktorer, korrosion och OXA:s rörelse efter landning, har publicerade data inom specifika ämnesområden studerats.

Intervall-, numeriska-, booleanska- och beteckningsnoder finns alla representerade i modellen. Noderna har mellan två och tio tillstånd vilket leder till att vissa CPT:er är mycket stora.

MARTA

När projektet MARTA startade fanns inget tillgängligt datamaterial att bygga sannolikhetsstabellerna utifrån. Därför är MARTA baserat på expertkunskap. Experterna utgjordes av två officerare med god kunskap inom området och med god förståelse för problemet. Vid starten av arbetet användes ingen specifik metod vid framtagning av sannolikhetsstabellerna, tanken var att låta officerarna bli bekväma med det Bayesianska nätverket och programvaran Hugin. Efter en stunds arbete skapade officerarna en egen systematik där de skrev ut sannolikhetsstabellerna och interpolerade mellan de säkra tillstånden. Denna metod används än idag även om gruppen har blivit större och vissa medlemmar har bytts ut.

3.5 Erfarenheter av tidsramar och Hugin

3.5.1 Tidsramar

Att bygga ett Bayesianskt nätverk kan tyckas triviale. Faktum är att den initiala modellen ofta kan byggas snabbt och användas direkt, men i och med att modellen i princip alltid måste uppdateras och förändras kan det ta lång tid att nå en färdig produkt. Den totala tidsåtgången blir därför mycket större än tidsåtgången för att ta fram den första konceptuella modellen. Detta kan bero på att man inte ägnar tillräckligt med tid åt att definiera och avgränsa problemet.

RVM

Det tog cirka ett halvår att ta fram den första strukturen för RVM med hjälp av morfologiska fält och metastrukturbildning. RVM har sedan kontinuerligt utvecklats under

drygt tre års tid. Användarna har fortlöpande godkänt och använt modellen och med hjälp av deras frågor och åsikter har det varit möjligt att vidareutveckla och förbättra modellen.

Tidsåtgången för att bestämma tabellernas sannolikhetsfördelningar har varit en mycket begränsande faktor vid utvecklingsarbetet. Experters värderingar, exempelvis i form av sannolikhetsstabeller, är absolut nödvändiga när en modell byggs, men kräver att experter sitter ned, samtalar och bedömer och kommer överens om hur verkligheten ser ut.

MARTA

Eftersom problemet ansågs vara logiskt till sin natur och de flesta noderna var identifierade sedan tidigare, tog det inte mer än en och en halv dag för arbetsgruppen att skapa den initiala nätverksstrukturen. MARTA:s struktur diskuteras fortfarande, vilket gör det svårt att uttala sig om tidsåtgången. Att skapa en ny struktur eller förändra strukturen är en relativt snabb process. Det som har varit tidskrävande är framtagandet av nya sannolikhetsstabeller. En liten förändring i strukturen kan innebära att flera sannolikhetsstabeller måste förkastas och/eller nya tas fram.

3.5.2 Att använda mjukvaran Hugin

Det finns flera mjukvaror som kan användas för att skapa och göra beräkningar i Bayesianska nätverk. På Försvarsanalys har programmen Hugin Explorer och Hugin Developer använts för att bygga modellerna. Developer har några tilläggsfunktioner som saknas i Explorer. Det är bland annat möjligt att använda Developer för beräkningar medan andra program används för inmatning och presentation av modellens data. I kommande avsnitt sammanfattas Försvarsanalys erfarenheter av att använda mjukvaran Hugin för att utveckla och använda modellerna MARTA och RVM.

Modellutvecklare

Hugin har ett gränssnitt som passar bra för modellutveckling. Knapparna har tydliga symboler som klart förmedlar vilken funktion som avses. De mest använda funktionerna har kortkommandon och de flesta inmatningar går att ångra. För mer avancerade användare finns även en del specialfunktioner vilka kan vara svåra att använda och förstå om man inte tidigare jobbat med Bayesiansk sannolikhetslära. En nackdel är att vissa modeller kräver andra beräkningar och kopplingar än de kausala samband som Hugin erbjuder.

Slutanvändare²⁵

Hugin är väl anpassat för att skapa Bayesianska nätverk, däremot är det inte lika väl anpassat för användning när nätverket är färdigutvecklat. Slutanvändare har upplevt Hugin som krångligt och svårt att förstå. Införande av nya observationer i den Bayesianska nätverksmodellen är en process som kräver flera steg, vilket lätt kan leda till fel och gör att inlärningströskeln blir hög. De begränsningar som finns vid presentation av resultatet gör även att slutanvändaren kan ha svårt att ta till sig resultatet och dessutom kan tolka resultatet felaktigt. De slutanvändare som passerat inlärningströskeln och fritt börjat laborera med nätverket och Hugins funktioner, har kommit med värdefulla synpunkter gällande strukturen och sannolikhetsstabellerna. Skillnaderna mellan slutanvändarens och utvecklarnas upplevelse av programmet kan delvis förklaras av de olika användarnas bakgrund. Utvecklarna har bestått av analytiker från FOI som är vana att arbeta med modeller. Slutanvändarna har varit officerare som inte har samma vana.

²⁵ Slutanvändarna är de användare som nyttjar den färdigutvecklade modellen. De matar in data samt tar del av resultatet.

4 Produktifiering

Erfarenheter från arbetet med Bayesianska nätverk inom Försvarsanalys har visat att Hugin är ett bra verktyg för att utveckla modeller. Däremot har programmet begränsade funktioner för att underlätta användandet av färdigutvecklade modeller. För att förbättra användarvänligheten har FOI utvecklat användargränssnitt för RVM och MARTA där bland annat inmatningen av data underlättas. Användaren kan även få resultatet presenterat i en rapportform i exempelvis Excelblad eller Worddokument. Dessutom skyddas modellen genom att bakomliggande beräkningar och värden kan gömmas och låsas.

4.1 Gränssnitt

Modeller utvecklade i Hugin kan för att underlätta användande ges olika gränssnitt. Hugin Developer har ett API²⁶ som stödjer användandet av programmeringsspråken C, C++, Java och VBA²⁷ för att skapa gränssnitt. API:t gör det möjligt att utveckla egna gränssnitt men att fortfarande utföra beräkningarna i modellen med Hugin. RVM har nyttjat API med dess VBA-funktion genom att i Excel använda makron som även utför vissa beräkningar. Inmatning samt presentation av resultat sker i Excel medan beräkningar i modellen görs av Hugin. Även MARTA Analys har använt Excel, skillnaden är att beräkningarna sker utan att använda Hugin.

Att anlita konsulter för att utveckla gränssnitten skulle ha blivit dyrt och för tidskrävande för FOI:s tillämpningar för att vara ett realistiskt alternativ. Om det Bayesianska nätverket skulle vara en liten del av en större modell kan det ställa krav på gränssnittet som varken kan tillgodoses med Excels eller Hugins funktioner. I dessa fall kan det då vara klokt att låta andra utveckla gränssnittet.

4.2 Produktifiering av RVM²⁸

4.2.1 Behov av gränssnitt

Utvecklingen av RVM har pågått under ett flertal år. Kunden har varit delaktig i processen och även använt flera olika versioner av modellen. Just användandet har varit en svag länk då kunden anser att mjukvaran Hugin är svår att använda och att inmatning av data tar för lång tid.

Kundens behov av en alternativ användarplattform i kombination med behov av att skydda vissa delar av modellen ledde till utvecklingen av ett gränssnitt. FOI valde att själva skapa ett gränssnitt eftersom processen:

- skulle gå fort
- kunden vill ha en lättbearbetad modell
- utveckling av ett gränssnitt måste ske i aktiv kommunikation med kund

I RVM utvecklades ett gränssnitt i Excel med hjälp av makro- och VBA-funktionerna. Kraven på gränssnittet har bland annat varit att:

²⁶ API – Application Programming Interface, gör det möjligt för program skrivna på olika programspråk att kommunicera.

²⁷ VBA – Visual Basic for Applications.

²⁸ För ett exempel på RVM:s gränssnitt, se bilaga *RVM:s gränssnitt*.

- Modellen ska vara skyddad. I gränssnittet ska det endast gå att mata in data och analysera resultat.
- Gränssnittet ska vara användarvänligt. En grundläggande datorvana ska räcka för att använda RVM:s gränssnitt.
- Indata ska vara lätt att ändra och resultat ska vara lätta att jämföra med varandra.
- Det ska finnas en spårbarhet i och mellan utvärderingar.

Med ett egenutvecklat gränssnitt har utvecklarna full kontroll över modifieringar och förbättringar hos gränssnittet. Dessutom undvek FOI processen med att kravställa och specificera gränssnittet till externa utvecklare. En uppenbar nackdel med att själva utveckla ett gränssnitt var den inlärningstid och den kunskapströskel som utvecklaren var tvungen att ta sig över gällande programmeringsspråket VBA.

4.2.2 Fördelar med gränssnittet

Matematiska beräkningsmöjligheter

Excel-gränssnittet har möjliggjort nya och bättre lösningar i modellen. I Hugin finns beräkningsbegränsningar som däremot kan utföras i Excel. Genom att skapa ett gränssnitt och utnyttja Excels beräkningsmöjligheter kunde RVM:s struktur förändras till att bestå av tre fristående delar istället för två (se Figur 10). Utvecklingen av ett gränssnitt har således både underlättat användande av modellen och modellbyggandet.

Visuell överblick med användargränssnitt

Kunden har precis börjat använda det utvecklade gränssnittet och har stora förhoppningar om att det kommer att underlätta utvärderingarna. Gränssnittet har tagits emot med några få utvecklingsförslag och verkar i allmänhet fungera. Modellen är förhållandevis stor och det är fortfarande samma datamängd som måste matas in i modellen, dock sker detta lättare genom att gränssnittet förbättrar den visuella överblicken.

För utvecklarna har gränssnittet lett till en bättre förståelse av Hugin som mjukvara eftersom indata, data från mellannoder och resultat kan visas samtidigt på ett överblickbart sätt. I det utvecklade gränssnittet redovisas data i tabellform och kompletteras i vissa fall med diagram.

RVM innehåller många noder vilket gör att det är lätt att glömma en nod vid inmatning av data, både i gränssnittet och i Hugin. I gränssnittet kan användaren varnas med meddelanderutor eller färgväxlingar i celler om indata inte matats in eller om fördelningen mellan tillstånden är inkorrekta, det vill säga inte summeras till 100%. I Hugin finns inte möjligheten att ge sådana varningar.

Med gränssnittet kan användare och utvecklare få en överblick över variabler och parametrar genom att bläddra mellan olika blad och skriva ut blad av intresse.

Undvikande av bugg

Ett allvarligt problem som uppkommit vid enstaka tillfällen är att fördelningar i indatatabeller inte uppdaterats vid körning när RVM matats med data i Hugin. Detta har lett till felaktiga resultat och det har krävts omkörning för att ta hänsyn till alla nya värden. Problemet upptäcktes vid jämförelse av resultat mellan Excel och Hugin. Slutsatsen är att man vid användande av Hugin riskerar att få felaktigt resultat vid körning av stora modeller. Gränssnittet har lett till att den här buggen har kunnat undvikas.

Tidsvinst

Att mata in data i Excel går i genomsnitt dubbelt så fort som att mata in data i Hugin. Dessutom är resultaten åtkomliga och kan kopieras och användas i andra dokument.

Tydlig deklaration av *State Values* och *State Labels*

Användargränssnittet gör att *State Values* och *State Labels* inte kan förväxlas. I formaten intervallnoder, booleanska och numeriska noder kan användaren välja att visa tillstånd som *State Values* eller *State Labels*. *State Values* representerar tillståndens värden och bildar grund för beräkningar. *State Labels* är avsett att underlätta förståelse genom att ge kvalitativa mått på de kvantitativa tillstånden. När modellen använts i Hugin har det har förekommit att fel läge använts vid inmatande av data. Detta har lett till felaktiga resultat som enbart synliggjorts vid jämförelse med användargränssnittet. Denna förväxling kan inte uppstå i Excel då makrot och koden som gränssnittet är baserat på anropar *State Values* och *State Labels* med olika kommandon.

Spårbarhet

I Excelbladen där användaren matar in sina indata finns även celler där grundläggande information anges för att säkerställa spårbarhet mellan körningar, tabell 9. Denna extrainformation var inte möjlig när RVM enbart kördes i Hugin.

Tabell 9. Data som måste anges för att få spårbarhet mellan körningar. *Version av RVM* uppdateras automatiskt vid körning.

Datum för analys	
Klassificerare	
Skjutfält/Delområden	
Län	
Närmsta stad	
MarkID	
Sökinstrument	
Klassificeringsdokument	
Version av RVM	RVM24okt2007.net

4.2.3 Nackdelar med gränssnittet

Excel-gränssnittet skulle kunna leda till att användarna får en övertro till modellen, slutar kritisera resultat och kanske tappar förståelse kring hur modellen fungerar. Därutöver har Hugins Active X API en begränsad användarhandledning vilket har försvårat utvecklingen.

4.2.4 Reflektioner

Om ett användargränssnitt hade utvecklats tidigare under arbetets gång hade användaren kanske utnyttjat modellen mer under utvecklingsfasen. Behov av gränssnitt vid överlämning av modeller till kund har även poängterats i tidigare rapport²⁹.

²⁹ Blixt et al. (2005), s. 21.

Under starten av gränssnittsutformningen skapade kund och utvecklare ett utkast till gränssnittet. Även kundens vana att använda Excel som program togs i beaktande. Vid en första demonstration av gränssnittet anmärkte kunden på utformning och upplägget gjordes om. Erfarenheterna från arbetet visar att utvecklarna och kund inte alltid har samma målbild.

Valet att inte anlita en konsult för utformning av ett gränssnitt har sparat tid. Att skapa RVM:s gränssnitt tog uppskattningsvis tre till fyra veckor, inklusive tid för diskussion, utformning och test med användare. I dagsläget kan gränssnittet snabbt uppdateras vid behov. I denna tidsuppskattning är inte verifieringen av Excel-gränssnittet inräknad. Verifieringen hade antagligen tagit längre tid om en konsult gjort gränssnittet då buggar varit svårare att hitta.

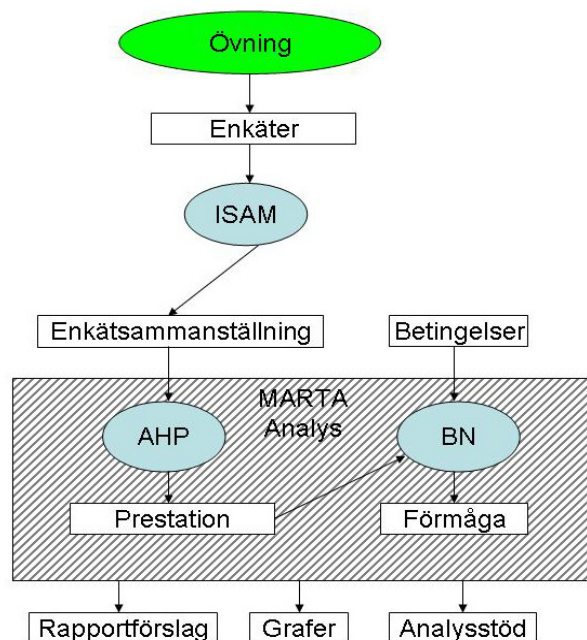
4.2.5 Fortsatt arbete

Fortsatt arbete kommer att inriktas mot stöd vid utvärderingar och rättning av buggar. Detta förutsätter en fortsättning på projektet med ekonomisk finansiering.

4.3 Produktifiering av MARTA

4.3.1 Behov av gränssnitt

En utvärdering med MARTA går till så att ett antal observatörer under eller efter övningen fyller i varsin enkät. Dessa enkäter sammanställs av en värderingsansvarig med programmet ISAM³⁰. Sammanställningen används som underlag för att beräkna förbandets prestation med AHP. Det är övningsbetingelserna samt förbandets prestation som ligger till grund för beräkningen av förbandets förmåga, vilket sker med ett Bayesianskt nätverk.



Figur 15. Flödesschema över hur de olika delarna i MARTA hänger samman.

³⁰ Insamling, Sammanställning, Analys, MARTA. Program utvecklat åt Forsvarsmakten för att sammanställa enkäter för vidare analys med MARTA.

Under våren 2007 inleddes ett arbete för att försöka reducera tiden för inmatningen av data och underlätta analysen. Tidigare har tre program använts för att kunna redovisa resultatet av en värdering; ISAM, Expert Choice (AHP) och Hugin (Bayesianska nätverk). För att föra över resultatet från det ena till det andra programmet krävdes en hel del manuellt arbete vilket var mycket tidskrävande och ökade risken för att det skulle uppstå fel.

Tillsammans med Markstridsskolan (MSS) utvecklade FOI verktyget som idag kallas MARTA Analys. Verktyget är utvecklat med Excel-makron. Ingångsvärdena till programmet är enkätsammanställningen samt betingelsemallen där värderingstillfallets betingelser är ifyllda som används för att beräkna prestationen och förmågan. Programmet presenterar resultatet i form av ett rapportförslag. Utöver rapportförslaget finns ytterligare information i verktyget som kan hjälpa den värderingsansvarige med analysen eller vid presentationen av resultatet. Figur 15 visar hur de olika delarna hör ihop.

4.3.2 Fördelar med gränssnittet

Tidsvinst

Den fördel som användarna framför allt framhäver är tidsvinsten. Processen för att beräkna förmåga, som beskrivs ovan, kunde tidigare ta upp emot tre timmar medan det med MARTA Analys tar cirka 10 minuter. Då får användaren även ett rapportförslag samt stöd till analysarbetet. Detta har gjort det möjligt att ge förbanden en tidigare återkoppling samt möjligheten att förändra något innan nästa övningsmoment påbörjas. Anledningen till tidsvinsten är att det manuella arbetet är minimerat. Idag laddas enkätsammanställningen och betingelsemallen upp vilket även gör att riskerna för fel minskar.

Spridning av verktyget

Ytterligare en fördel med övergången till ett Excel-gränssnitt har varit möjligheten att sprida verktyget. Det enda programmet med licens som krävs för att göra en MARTA-värdering är Excel. Tidigare har både Hugin och Expert Choice behövts. Dessa program är dyra och är dessutom inte auktoriserade för användning inom Försvarsmakten vilket gör att de bara kan användas på ett begränsat antal datorer. Excel är auktoriserat av Försvarsmakten vilket innebär att MARTA Analys kan spridas fritt inom organisationen.

Anpassningsbarhet

Anpassningsbarheten ger nya möjligheter, tidigare har användaren varit låst till de funktioner som Expert Choice och Hugin erbjuder. Nu är det möjligt att presentera resultaten på valfritt sätt. Med övergången har det även blivit möjligt att justera metodernas beräkningar för att bättre passa MARTA:s behov. Denna möjlighet har använts med AHP där utvecklarna byggde upp en egen beräkningsmodell som är baserad på AHP. Justeringar för att kunna lösa tidigare bekymmer med bortfall av data och dess inverkan på resultatet har förts in i Excel.

4.3.3 Nackdelar med gränssnittet

Bayesianska nätverket är osynligt

Vid övergången till Excel blev det Bayesianska nätverket osynligt för användarna vilket medfört några negativa effekter. Användningen av Hugin möjliggjorde att användarna själva kunde laborera med nätverket. Det gav dem en möjlighet att se hur viktningarna slog och hur nätverket var strukturerat. Då införsel av betingelserna sker via betingelsemallen

finns inte denna möjlighet längre, vilket medfört att synpunkter gällande strukturen och hur värdena slår har minskat drastiskt. Dessa synpunkter är värdefulla i en utvecklingsfas.

Tidskrävande modellöverföring

Att föra över nätverket, sannolikhetsstabellerna och strukturen, från Hugin till MARTA Analys är väldigt tidskrävande, uppskattningsvis tar det en halv dag. Det här slår speciellt hårt vid utvecklingsfasen då nätverket ständigt uppdateras. När nya förband introduceras i MARTA krävs det också en del arbete att föra över resultatet av de parvisa jämförelserna från AHP till Excel. Tiden att föra över resultatet kan betraktas som försumbar om man jämför det med tidsåtgången för att införa nya förband.

Avsaknad av funktioner

Expert Choice och Hugin har en del funktioner som tappats vid övergången till Excel. I MARTA:s fall finns det i dagsläget dock inget behov av dessa funktioner. Den viktigaste funktionen kopplat till det Bayesianska nätverket som saknas är möjligheten att räkna i båda riktningarna i de kausala sambanden. Detta skulle kunna användas vid övningsplanering för att få en väl anpassad övning till förbandets förväntade förmåga.

4.3.4 Reflektioner

MARTA Analys kommer aldrig att ersätta programmen Expert Choice och Hugin. Utvecklingen kommer fortfarande att ske i dessa program. Fokus för MARTA Analys har varit att underlätta inmatningen samt analysen av resultatet och har därför inga stödfunktioner som underlättar utveckling av AHP eller Bayesianska nätverk.

4.3.5 Fortsatt arbete

Den utveckling som sker idag av MARTA Analys är kopplat mot den genererade rapportens utformning samt användarvänlighet. Målet är att skapa en standard för rapporten som gör det möjligt att hitta de siffror och resultat som söks oberoende av övning och förband. Andra förslag till utvecklingsvägar är att göra det möjligt att presentera resultatet direkt i PowerPoint. Någon utveckling kopplat mot det Bayesianska nätverket är idag inte planerad. I en framtidsversion vore det önskvärt att hitta ett smidigt sätt att överföra nätverket från Hugin till Excel samt att möjliggöra beräkningar i båda riktningarna i de kausala sambanden.

5 Validering och verifiering

För att en modell ska vara användbar måste den svara på rätt frågor och ge trovärdiga resultat. Det kan även vara viktigt att kombinationer som är högst osannolika men fortfarande möjliga, som svansarna i sannolikhetsfördelningarna, ska generera rimliga resultat.

För att säkerställa kvalitet vid modellutveckling finns riktlinjer kring VV&A (Validering, Verifiering och Ackreditering)^{31, 32}.

- Validering utförs för att avgöra om det som utvecklats representerar vår bild av verkligheten. De syften och krav som modellen som helhet svarar mot ska vara uppfyllda.
- Verifiering utförs för att bekräfta att modellen uppfyller utvecklarnas specifikationer. Vid verifieringen kontrolleras även om kundens kravspecifikation är uppfylld.

Skillnaden mellan validering och verifiering är således att validering granskar om rätt modell byggts, Verifiering visar att modellen uppför sig på rätt sätt, dvs. att modellen byggts på rätt sätt.

I samband med validering och verifiering brukar begreppet ackreditering diskuteras. Med ackreditering menas att tillstånd ges av en organisation till att använda modellen i vissa syften. Ackreditering är inte, och bör inte, vara utvecklarnas ansvar.

5.1 Användbara finesser i Hugin

I Hugin finns flera funktioner som kan underlätta utveckling och verifiering av en modell.

5.1.1 Value of Information

Med *Value of Information* menas hur mycket en viss mängd ytterligare information bidrar till att påverka resultatet. I Hugin är det därför möjligt att avgöra vilken/vilka noder som har störst betydelse för resultatet. Ur utvecklingssynpunkt kan funktionen användas för att prioritera införskaffningen av data till modellen. De noder som bidrar mest går i första hand. Denna prioriteringslista kan utnyttjas både i ett validerings- och verifieringssyfte genom att den möjliggör ett test av hypoteser i modellen.

5.1.2 Känslighetsanalys

Vid en känslighetsanalys kan man avgöra vilka indata som bejaktar, förkastar eller är irrelevanta för den prövade hypotesen. Med hypotes menas den fråga som resultatnoden i modellen besvarar. Hugin erbjuder flera olika funktioner för känslighetsanalyser, bland annat What-If-analys.

Med en What-If-analys kan olika noders påverkan på varandra undersökas. Användaren eller utvecklaren kan ange fördelningar i en eller flera nod(er) för att sedan analysera hur fördelningarna i övriga noder påverkas.

Genom att variera tillstånden i en nod går det att avgöra hur noden påverkar resultatet. Om man vid en känslighetsanalys tolererar en spridning i resultatnoden med $\pm 30\%$ så är noder som har en liten påverkan på resultatet överflödiga. Dessa kan då strykas i modellen utan

³¹ Bergsten (2002).

³² Sommerville (2007).

att resultatet märkbart påverkas. Detta gäller under förutsättning att vissa noder har en stor påverkan på resultatet. Om säkerheten i resultatet däremot ska vara större, det vill säga ha en mindre spridning, bör noder inte strykas.

Om experter är oeniga vid skapande av CPT:er eller om det finns stora osäkerheter i CPT:er är det bra att undersöka hur de olika bedömningarna påverkar resultatet, dvs. hur extremvärdena påverkar resultatet. Vid stora skillnader i resultatet bör ytterligare information och expertbedömningar hämtas in.

5.2 Osäkerhet i sannolikhetstabeller

I Bayesianska nätverk är det möjligt att modellera osäkerhet genom att ange spridning kring ett medelvärde. Därför är det av central betydelse att under arbetets gång inte glömma bort de osäkerheter som datamaterialet medför. Det är viktigt att noga överväga om osäkerheterna i en nod är genuina eller skapade. Ju mer osäkerhet och spridning som tillförs tidigt i modellen, till exempel i indatanoder, desto större spridning och osäkerhet kommer också att finnas i resultatet.

Att bestämma hur stor spridning som finns i expertuppgifter kan vara en tidskrävande process men kan ofta diskuteras fram i expertgruppen. Statistiska värden och mätdata måste kontrolleras för exempelvis antal försöksserier, noggrannhet och använd metod. Mätdata behöver inte nödvändigtvis vara mer tillförlitligt än en expertuppgift.

5.2.1 Expertkunskap för validering och verifiering

För att validera och verifiera data bör flera olika oberoende experter inom samma område delta vid skapandet av CPT:er. Nya experter bör granska de skapade tabellerna. Att låta flera av varandra oberoende experter skapa samma tabell kan vara en sätt att verifiera data och bestämma osäkerheterna i den.

5.2.2 Struktur

En struktur kan skapas på många olika sätt. Det måste finnas en klar logik bakom samband mellan noder. Genom att fylla i CPT:er är det relativt lätt att se om samband är korrekta. Om CPT:n är svår att fylla i bör modellskaparen noga fundera över strukturen och beroenden.

5.3 Exempel

5.3.1 RVM

RVM är validerad och verifierad av utvecklarna och av personer anställda hos företaget Hugin. Det har dock inte funnits en fastställd plan att följa för validering och verifiering.

Utvecklarna och kunden har tillsammans skapat den konceptuella modellen och utvecklarna har sedan successivt, i iterativa steg, utvecklat modellen i samråd med kund. Kunden har till stor del bidragit med kunskap till modellens innehåll, dvs. data i modellen. Modellen har verifierats av personer anställda hos företaget Hugin men har delvis vidareutvecklats därefter. De strukturella förändringarna har ökat modellens överensstämmelse med verkligheten och förändringar i data har gjorts i samråd med OXA-experten på SWEDEC. Modellen har därefter interngranskats ett flertal gånger; strukturmässigt, innehållsmässigt och beräkningsmässigt. Verifieringen av RVM har därför utförts kontinuerligt under projektets gång.

Under hela modellens utveckling har fallstudier använts för att se om modellen ger rimliga resultat, om parametrar och tillstånd är riktiga samt för att upptäcka andra användarspecifika frågeställningar.

I dagsläget är modellen principiellt färdig och ett utvecklat gränssnitt har ökat användarvänligheten. Vid användning av RVM kan ofta experterna med erfarenhet av risker med OXA uppskatta det kommande resultatet utifrån viss indata innan beräkningen är utförd. Detta kan ses som en indikation på att sannolikhetsstabellerna överensstämmer med gängse uppfattning.

Resultatet från RVM är svårt att statistiskt verifiera eftersom olyckor i princip aldrig sker, och aldrig ska ske. Inga olyckor har skett på övnings- och skjutfält sedan årtionden tillbaka men aktiviteten har varit begränsad. Det kan förutsättas att övnings- och skjutfält i princip enbart beträffas av personer med kunskap om OXA. I dagsläget kan det antas att experter uppskattat och interpolerat risker och sannolikheter på ett korrekt men restriktivt sätt, vilket gör att modellen till viss del övervärderar riskerna.

SWEDEC, Försvarsmakten eller Fortifikationsverket bör vara ansvariga för ackreditering.

RVM kommer främst att användas av ammunitionsröjare som klassificerar marken. Ammunitionsröjarnas utvärderingar och kunskap kommer att visa om de sannolikhetsfördelningar som är angivna i RVM överensstämmer med verkligheten. Detta gäller främst för OXA-djupet vid olika marktyper. Med ökad användning kan empiri tillföras modellen och på så sätt ökas modellens tillförlitlighet.

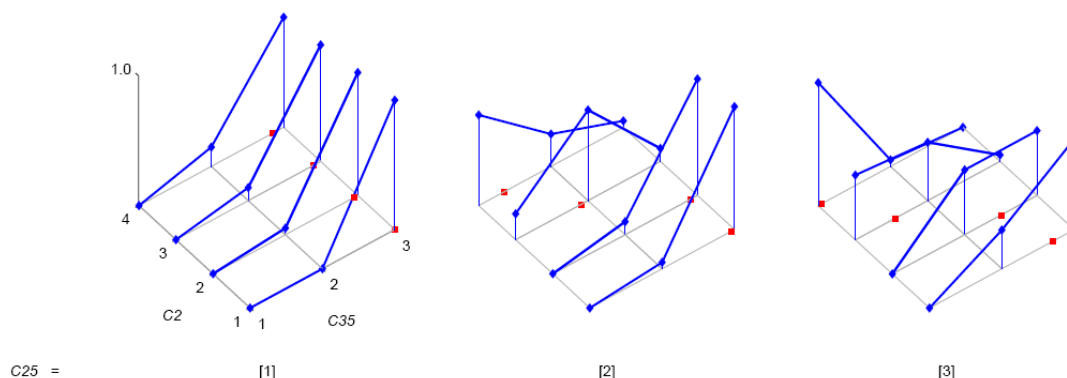
5.3.2 MARTA

Under 2008 kommer ett formellt arbete inledas för att verifiera och validera det Bayesianska nätverket. I syfte att närma sig en validerad och verifierad modell har redan arbete påbörjats. Utvecklingen av det Bayesianska nätverket i MARTA kan liknas med en testdriven utveckling. Nätverket har modifierats och sedan testats för att åter modifieras. Testerna innebär att modellen har använts under övningar för att se om den slår rätt och om resultatet från modellen i stort stämmer med uppfattningen som arbetsgruppen haft. När resultatet inte verkat rimligt har arbetsgruppen försökt identifiera de delar av modellen som är felaktiga för att sedan justera dem. Förhoppningen har varit att nätverket skulle valideras/verifieras genom kalibrering.

För att garantera att data i sannolikhetsstabellerna är korrekta har dessa granskats i detalj. Genom att plotta en variabels sannolikhetsstabell kan man följa hur sannolikhetsfördelningarna förändras med de olika tillstånden. De plottade graferna har granskats och tveksamheter har diskuterats och dokumenterats. I figur 16 kan man utläsa ett tydligt hopp när den optiska sikten går från tillståndet *Dåligt* till *Acceptabelt* samt att skillnaden mellan *Acceptabelt* och *Gynnsamt* är liten. Detta är två verkliga exempel som tagits upp med gruppen för att verifiera att sannolikhetsstabellerna stämmer.

P(C35|C25,C2)

C35 / 'Verkan, und, led' = 1/ 'Gynnsamt' 2/ 'Vissa begräns.' 3/ 'Stora begräns.'
 C25 / 'Vind' = 1/ 'Storm/snöstorm/sandstorm' 2/ '11-20 m/s' 3/ '0-10 m/s'
 C2 / 'Optisk sikt' = 1/ 'Mycket dåligt' 2/ 'Dåligt' 3/ 'Acceptabelt' 4/ 'Gynnsamt'



Figur 16. Graferna visar fördelningen i noden *Verkan, und, led* då tillstånden i noderna *Optisk sikt* och *Vind* varierar. I grafen till vänster kan man utläsa att då *storm* råder kommer alltid utfallet i *Verkan, und, led*, bli *Stora begränsningar* oavsett den *optiska sikten*. I den mittersta grafen, då vinden är *11-20 m/s*, kan man utläsa att när den optiska sikten ändras från *dåligt* till *acceptabelt* förändras förmågan till *Verkan, und, led* radikalt, vilket kan utläsas genom det tydliga hopp som visas i grafen. *Verkan, und, led*:s tillstånd förskjuts från *stora begränsningar* mot *gynnsamt*. Graferna kan således användas för att identifiera tveksamma sannolikhetsfördelningar.

Till skillnad från prestationsbedömningen som är anpassad efter de olika förbanden var det bestämt att det Bayesianska nätverket skulle vara allmänt och gälla för alla förband. Detta har i sig skapat problem eftersom alla förbanden inte är tillfreds med hur nätverket slår. Den viktigaste frågan är hur motståndarens prestation och styrkeförhållanden ska påverka svårighetsgraden och tillslut förbandets förmåga. Problematiken beskrivs vidare i avsnitt 6.7.

6 Diskussion och sammanfattning

6.1 Bayesianiska nätverk är ingen universal metod

Metoden Bayesianiska nätverk är inte en universalmetod trots att den är relativt lätt att förstå och tillämpa på ett övergripande plan. Att utforma ett nätverk kan vara svårt och även i de fall där en struktur snabbt kan skapas kan nätverket i sig vara fel för problemet. För att avgöra om ett problem passar för metoden bör användaren klargöra om problemet är avgränsat och kvantifierbart och om det innehåller en klar logisk följd. Att skapa ett fullständigt Bayesianiskt nätverk är slutsteget i en process, där problemet är väl definierat och utforskat. Ett kritiskt förhållningssätt till det skapade nätverket är viktigt för att inte få en övertro till den egna modellen.

6.2 Bayesianiska nätverk som metod för problemförståelse/konceptuell modellering

Att skapa ett Bayesianiskt nätverk kan vara ett sätt att få överblick och förståelse för ett problem. I sådana modeller behöver inte sannolikheter hos tillstånd eller ens alla tillstånd preciseras. Modellen blir ett konceptuellt schema där det går att läsa hur observationer hör ihop och var osäkerheter kan uppstå. En exempelmodell kan även bidra till att avgöra vilken information som saknas eller är överflödigt. I dessa fall bör Bayesianiska nätverk sammankopplas med andra problemstruktureringsmetoder för att säkerställa att problemrymden spänns upp.

6.3 Val av metod för problemstrukturering

Ett problem kan till sin natur vara allt från väldigt enkelt, konkret och välavgränsat till att i motsats vara väldigt svårdefinierat, komplext och omfattande. Oavsett problemtyp är det en grundförutsättning att problemet är välstrukturerat innan man bygger ett Bayesianiskt nätverk. Beroende på karaktären av ett problem finns det fördelar och nackdelar med olika typer av metoder för att strukturera, definiera och avgränsa problemet. Tillvägagångssätten är därmed mer eller mindre lämpliga för olika typer av problem.

En jackpotfråga³³ kan användas då man har ett avgränsat problem med en tydlig frågeställning. Processen med att bygga nätverket kan startas med en gång då gruppledammarna redan från början har en gemensam föreställningsram kring problemets vidd. Jackpotfrågor bör däremot inte användas då ett problem inte är helt färdigstrukturerat eller definierat. Det kan nämligen leda till att det initiala sökandet efter variabler kan bli alltför begränsat vilket i sin tur kan leda till att man senare behöver revidera nätverket då nya insikter rörande problemet uppdagas. Nya variabler och samband kan därmed behöva tillföras nätverket. Tidsvinsten som ursprungligen vanns med jackpotfrågan kan i det långa loppet därigenom omvandlas till en tidsförlust.

Morfologisk analys kan användas för att reda ut en komplex frågeställning. Innan den morfologiska analysen är genomförd är det svårt att veta om, och i så fall hur, man bör gå vidare med den definierade problemrymden. Om problemet passar för Bayesianisk modellering är den morfologiska analysen till stort stöd vid skapandet av nätverket eftersom de flesta variabler och samband redan på förhand har identifierats och dokumenterats. Metoden Morfologisk analys är däremot inte att rekommendera då man

³³ Exempelvis ”Bör jag ta med mig paraplyet till jobbet idag?”, beskrivet i avsnitt 3.2.1.

redan har ett avgränsat och väldefinierat problem då metoden troligtvis är för tidskrävande i förhållande till den ytterligare information som kan inhämtas.

6.4 Att använda de skapade modellerna

Exempelfallen MARTA och RVM som beskrivits i texten är skapade och har använts i Hugin av både utvecklare och slutanvändare. För utvecklarna har programvaran Hugin varit bra för att få förståelse för samband och beroenden. Som tidigare beskrivits är inte Hugin lika väl anpassat för en slutanvändare och behovet av alternativa gränssnitt divergerar därför mellan användare och utvecklare.

För användarna är behovet av ett tydligt presenterat resultat större än hos utvecklarna. Därför kan det finnas en poäng med att utveckla gränssnitt tidigare än i exempelfallen. En risk med gränssnitten, som inte ska underskattas, är att användarna kan få en övertro till modellen och inte kritisera den i samma utsträckning. Användarvänligheten blir därför en balansgång mellan att på ett tidigt stadium få kunden att använda modellen för att få ytterligare information om vad som stämmer respektive inte stämmer (test av modellen) och att få kunden att fortsatt ifrågasätta och komma med kommentarer kring strukturen. Ett resultat som verkar felaktigt kan både bero på strukturen och på sannolikhetstabeller.

Med ett nätverk syns logiken i strukturen men användandet försvåras. Med ett gränssnitt underlättas användande men en förståelse för strukturen kan minskas.

6.5 Validering och verifiering

För att säkerställa kvaliteten i en modell bör det finnas en plan för validering och verifiering (V&V) när arbetet påbörjas. V&V är ett komplext arbete och kan vara svårt att genomföra på ett bra sätt. Inom Försvarsanalys problemområden finns sällan statistiska data eller mätdata tillgängliga och därför används ofta experter. Modellen måste därför användas för att bli kalibrerad och testad. V&V-processen blir i och med detta extra viktig då det är svårt att testa modellen under utvecklingsfasen. För att göra det bästa av situationen bör flera personer, gärna med kunskap inom problemområdet men utan tidigare inblandning i projektet, vara involverade i validering.

Inom Försvarsanalys skulle en plan för V&V kunna vara generell för de flesta Bayesianska nätverk. Planen skulle kunna beskriva metoder som kan användas för att testa den utvecklade modellens giltighet (validering av struktur och sannolikhetstabeller) och som passar de ofta komplexa problem Försvarsanalys jobbar med.

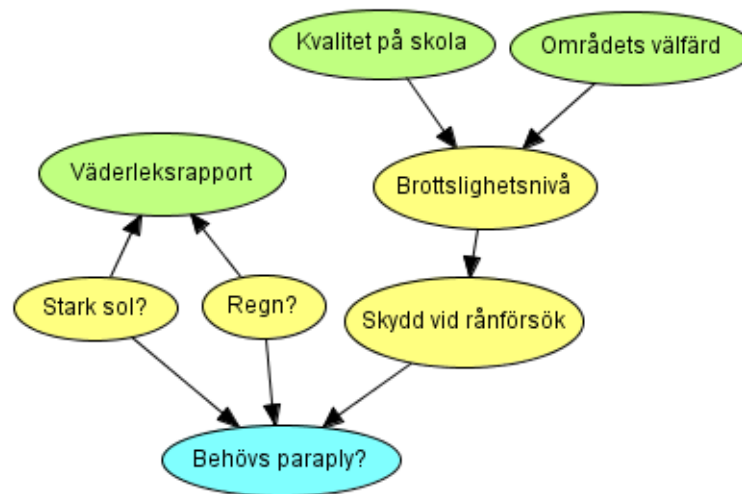
För att ytterligare säkerställa nätverkets struktur kan man låta experter på Bayesianska nätverk granska modellstrukturen och kopplingarna mellan noder. I ett stort projekt bör en första granskning göras på ett relativt tidigt stadium.

I övrigt är det viktigt att det under hela utvecklingsprocessen finns spårbarhet av data, förutsättningar och modellversioner. Detta gäller även senare när modellen används.

6.6 Enkel kontra komplex struktur

Som tidigare nämnts finns det flera fallgropar vid skapandet av nätverk; dolda beroenden, multiplicerande osäkerheter, experters bedömningar samt införsel av mellannoder för att nämna några. Mycket tid kan gå förlorad på att skapa en komplex och fullständigt korrekt men oanvändbar struktur. Även om strukturen är korrekt måste data tillföras vilket kan vara ytterst bekymmersamt. I de flesta fall är det förmodligen bättre att skapa en förenklad struktur där det är enkelt att tillföra tillförlitliga data. De vinster som görs genom att ta

hänsyn till alla dolda beroenden och faktorer som kan påverka resultatet går förlorade om det inte går att tillföra tillförlitliga data.



Figur 17. Bayesianskt nätverk över paraplyproblemet, den komplexa modellen inkluderar alla noder, medan den förenklade modellen bara använder noderna *Regn?*, *Väderleksrapport* och *Behövs paraply?*. Gröna noder är indatanoder, gula är mellanoder och den blå noden är resultatnoden som visar på behovet av paraply.

Om vi återgår till paraplyexemplet har vi där en enkel modell som enbart tar hänsyn till huruvida det kommer regna och en mer komplex, som även tar hänsyn till brottsligheten samt hur stark solen är. Om vi använder den första modellen skulle vi med stor sannolikhet haft med oss paraplyet ifall det regnade, däremot skulle vi inte ha haft med paraplyet för skydd vid ett rånförsök en solig dag. Denna modell tar inte hänsyn till sol och rånare. I den andra modellen skulle vi behövt bedöma sannolikheten för brottsligheten i områden som man vistas i under dagen, givet exempelvis fattigdom och förekomst av dåliga skolor. Dessutom måste man bedöma sannolikheten att man blir utsatt för ett rånförsök, givet tidpunkt på dygnet samt brottsligheten i området. Det här betyder att även om strukturen i en modell är korrekt kan osäkerheterna i bedömningarna göra att den besvarar frågan sämre än en förenklad modell.

6.7 Problem med det Bayesianska nätverket i MARTA

MARTA:s Bayesianska nätverk har ständigt utvecklats och förändrats. Orsakerna har varierat: odefinierade tillstånd, dolda beroenden och felaktiga sannolikhetstabeller för att nämna några få. De flesta problem är lösta, alla noder är väl definierade, de dolda beroendena är identifierade och har antingen åtgärdats eller dokumenterats. De logiska felaktigheter som har funnits i sannolikhetstabellerna är rättade.

Däremot kvarstår fortfarande ett bekymmer, det Bayesianska nätverket är varken uppgifts- eller förbandsanpassat. Nätverket är uppbyggt för att fungera för samtliga markstridsförband, givet vissa tillstånd ska det besvara frågan hur svår övningen varit för det övade förbandet. Bekymret är att övningens svårighetsgrad är starkt beroende av vilket förband som har övat och vilken uppgift förbandet har haft. En jägarbataljon påverkas mer av förändringar i vädret än vad en mekaniserad bataljon gör som tillbringar större delen av övningen i sina fordon. Vad som är bra betingelser skiljer sig betydande om man har en försvars- alternativt anfallsuppgift. Genom att skapa flera förbands- samt uppgiftstypsspecifika nätverk skulle problemet kunna lösas men detta innebär dock mycket

arbete. Istället har MARTA:s arbetsgrupp valt att prova en ny metod, en beräkningsfunktion, för att beräkna ett förbands förmåga med hjälp av prestationen och betingelserna.

Beräkningsfunktionen kräver mer av användaren då denne ska bedöma hur en viss betingelse påverkar förbandet. Det Bayesianska nätverket byggde på objektiva bedömningar såsom temperatur, vindhastighet och antal motståndare. Den nya beräkningsfunktionen kräver att användaren ska bedöma hur förbandet, givet en viss uppgift, har påverkats av väderförhållandena under värderingstillfället.

7 Slutsatser

Erfarenheterna inom Försvarsanalys visar att Bayesianska nätverk framgångsrikt kan appliceras vid komplexa problem. I en ogripbar omvärld kan det vara avgörande att all tillgänglig information kan tillvaratas för att stödja beslutsfattare. I sådana fall lämpar sig Bayesianska nätverk då metoden med fördel kan tillvarata information från såväl experter som statistik och mätdata.

Bayesianska nätverk är inte en generell metod och kan vara svår att tillämpa. Utgångspunkten bör alltid vara problemet, det är metoden som ska identifieras och anpassas efter problemet och inte problemet som ska anpassas efter metoden. Strukturen i ett Bayesianskt nätverk är svår att anpassa efter problem utan att både strukturens och metodens validitet förloras. Därför lämpar sig metoden enbart för problem inom en viss problemsfär.

Även om det kan tyckas trivialt att skapa en initial modell bör man vara försiktig i och med att det finns flera fallgropar. Fallgroparna går att undvika genom att vara medveten om dem samt att anpassa arbetssättet efter problemställning. De olika arbetssätten har både fördelar och nackdelar och det är viktigt att inte glömma bort att det sällan finns ett enda korrekt arbetssätt.

Utifrån FOI Försvarsanalys erfarenheter går det att dra slutsatsen att det presenterade resultatet måste vara begripligt för användaren för att modellen ska nyttjas. Slutsatsen är generell och gäller de flesta modeller men är av extra vikt vid Bayesianska nätverk då resultaten kan vara svåra att tolka.

Bayesianska nätverk i en förenklad form kan med fördel användas för att skapa konceptuella modeller. De konceptuella modellerna kan vara ett bra sätt att strukturera och på så sätt få en ökad förståelse för problemet då de olika variablernas kopplingar och påverkan på resultatet framgår. Avslutningsvis bör det påpekas att en förenklad struktur med begränsade osäkerheter i data ofta är bättre än en komplex och fullständigt korrekt struktur med stora osäkerheter i data.

8 Referenser

- Bergsten, U. (2002). *Ett riskperspektiv på verifiering, validering och ackreditering av simuleringsmodeller*, FOI-R—0738—SE
- Blixt, J., Jansson, B. & Mossberg, K. (2005). *Bayesianska nätverk och dess tillämpningar inom OA-verksamheten*, FOI-R—1411—SE
- Cherry, S. (2007). Bet on it, *IEEE Spectrum*, vol 44, s 48-53, sep 2007
- Eriksson H., Ritchey T. & Stenström M. (2000). *Värdering av räddningstjänstens beredskap för kemolyckor: handledning för användare av värderingsinstrumentet MA/CASPER*, FOA-R—00-01804-990—SE
- Monti, S. & Carenini, G. (2000). Dealing with the Expert Inconsistency in Probability Elicitation, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol 12, nr 4, s 499-508, juli 2000
- Nadkarni, S. & Shenoy, P.P. (2004) A causal mapping approach to constructing Bayesian networks, *Decision Support Systems*, vol 38, issue 2, s 259-281, ISSN:0167-9236
- Richardson, H. R & Stone, L. D. (1971), Operations Analysis during the underwater search for Scorpion. *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 18, nr 2, juni 1971
- Sommerville, I. (2007). *Software Engineering*, ed. 8, ISBN 10: 0-321-31379-8
- Stenström, M. & Ritchey, T. (2000). *Morfologisk analys som metod vid värdering av beredskap för kemolyckor*, FOA-R—00-01510-990—SE
- Stenström, M. & Westrin, P. (2004). Ur kaos till betingade sannolikheter genom morfologisk analys, Utkast till metodrapport
- Stenström, M. & Westrin, P. (2008). *Att lära sig leva med OXA – en socioteknisk modell för hantering av risker med oexploderad ammunition vid avveckling av militära övnings- och skjutfält*, FOI Memo 2008-03-05, Tillhör skrivelse 02-1595:10

Intervjuade personer samt personer som bidragit med kunskap och erfarenhet under våren och hösten 2007:

Camilla Andersson

Karin Mossberg Sonnek

Lars Falk

Peter Westrin

Carin Kaunitz

Personer tillfrågade om metoden Morfologisk analys

Karin Mossberg Sonnek

Peter Westrin

Tom Ritchey

Per Ånäs

Riitta Rätty

Även rapportens tre författare, Alexander Ahl, Anna Lindberg och Ann-Sofie Stenérus har bidragit med egna erfarenheter i texten.

Bilagor

Bilaga 1 – RVM:s gränssnitt

Det färdiga gränssnittet

Gränssnittet³⁴ består av tre olika Excelblad. Indata hanteras i två olika blad och resultatet visas i ett tredje. I alla blad finns celler som användaren själv fyller i för att säkra spårbarhet inom och mellan körningar, se tabell 9.

Indata

Samtliga av RVM:s indatanoder återfinns i Excelbladen. När användaren öppnar ett nytt Excelark, med en ny RVM, är de flesta celler där fördelningar ska specificeras på förhand ifyllda med 1:or. (Undantag för intervall- och booleanska noder.) Användaren anger fördelningar för variabelernas olika värden i tabellerna och trycker sedan på knappen *Uppdatera värden*. Om de(n) inmatade siffran/siffrorna summeras till 100% kommer gråfärgade celler att färgas gröna och 100% kommer att visas i cellen, se figur 18. Körningen visar inte något felmeddelande med avseende på angivna indata. Om summan inte är 100% kommer den grå bakgrunden bli rödfärgad och en ruta kommer påpeka att värden i en eller flera tabeller inte summeras till 100%. Användaren kan nollställa arket, dvs. få tillbaka 1:or i celler, genom att trycka på *Ladda ny modell*-knappen.

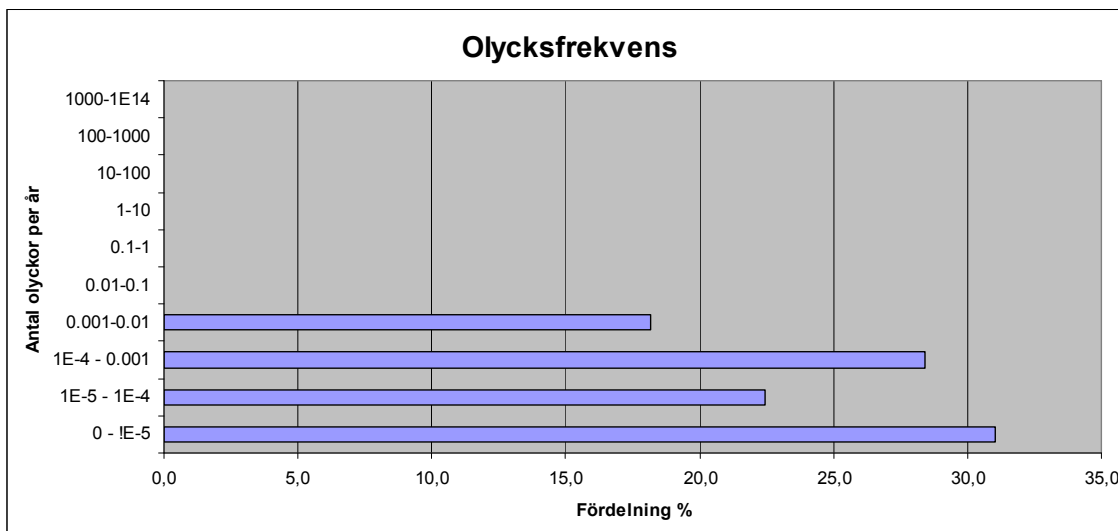
Ladda ny modell	Uppdatera Värden																														
<table><tr><th>Tändsystem</th><th>%</th></tr><tr><td>AD/URV mekaniska</td><td>1</td></tr><tr><td>Mekaniska och bränntröror</td><td>1</td></tr><tr><td>Elektriskt (ej återaktiverbara)</td><td>1</td></tr><tr><td>Farliga elektriska (ex. pizoelektriska)</td><td>1</td></tr><tr><td>Zonrör (återaktiverbara)</td><td>1</td></tr><tr><td>Friktionständning</td><td>1</td></tr><tr><td colspan="2">Värde ej 100%</td></tr></table>	Tändsystem	%	AD/URV mekaniska	1	Mekaniska och bränntröror	1	Elektriskt (ej återaktiverbara)	1	Farliga elektriska (ex. pizoelektriska)	1	Zonrör (återaktiverbara)	1	Friktionständning	1	Värde ej 100%		<table><tr><th>Klassificerat?</th><th>%</th></tr><tr><td>FALSKT</td><td>1</td></tr><tr><td>SANT</td><td>0</td></tr><tr><td colspan="2">Värde ej 100%</td></tr></table> <table><tr><th>Klassificerad OXA täthet</th><th>Antal/ha</th></tr><tr><td>Minimum värde</td><td>1</td></tr><tr><td>Maximum värde</td><td>2</td></tr></table>	Klassificerat?	%	FALSKT	1	SANT	0	Värde ej 100%		Klassificerad OXA täthet	Antal/ha	Minimum värde	1	Maximum värde	2
Tändsystem	%																														
AD/URV mekaniska	1																														
Mekaniska och bränntröror	1																														
Elektriskt (ej återaktiverbara)	1																														
Farliga elektriska (ex. pizoelektriska)	1																														
Zonrör (återaktiverbara)	1																														
Friktionständning	1																														
Värde ej 100%																															
Klassificerat?	%																														
FALSKT	1																														
SANT	0																														
Värde ej 100%																															
Klassificerad OXA täthet	Antal/ha																														
Minimum värde	1																														
Maximum värde	2																														

Figur 18. Exempel på tabeller för indata samt knappar för att uppdatera värden och ladda ny modell.

Resultat

Resultatet redovisas i ett separat blad där resultatnoden som anger olycksfrekvensen (*Antal olyckor per år*) samt vissa mellannoder, $P(\text{kontakt})$, $P(\text{explosion/kontakt})$ samt $OXA \text{ djup}$, visas, se figur 19. För att förtydliga och underlätta tolkningen av resultatet visas fördelningarna i några noder både som tabeller och diagram.

³⁴ RVM:s gränssnitt är skapat av Peter Westrin och Anna Lindberg i samarbete med kund.



		Medelvärde
Antal olyckor/år	%	0,0011
0 - 1E-5	31,0	
1E-5 - 1E-4	22,4	
1E-4 - 0.001	28,4	
0.001-0.01	18,1	
0.01-0.1	0,0	
0.1-1	0,0	
1-10	0,0	
10-100	0,0	
100-1000	0,0	
1000-1E14	0,0	

Figur 19. En översikt av det primära resultatet från en körning i RVM. I ett *Resultatblad* anges *Antal olyckor/år* som fördelning i tabell och diagram, dessutom visas ett medelvärde.

Utveckling av gränssnittet

Arbetet med att utveckla RVM:s gränssnitt kan delas in i olika skeden.

1. Test av Excel med makrofunktion och tilläggsfunktionen Hugin Active X API för att säkerställa möjligheten till egenutveckling inom FOI.

Första skedet bestod till stor del att testa om det överhuvudtaget var möjligt att skapa ett gränssnitt i Excel. Utvecklarna provade att använda makrofunktionerna och byggde små modeller för att säkerställa jämförbara resultat med modellerna när dessa kördes i Hugin.

2. Utveckling av den första versionen av gränssnittet.

Fokus i skede 2 var att utveckla ett användbart gränssnitt. Utformningen bestämdes tillsammans med kund och utvecklarna skapade sedan en första version av gränssnittet.

3. Utveckling av den andra versionen av gränssnittet.

I samband med en kundföredragning av det första gränssnittet drogs slutsatsen att gränssnittet fungerade men att indatas inte var optimalt strukturerade. Därför gjordes vissa ändringar av indatas placering inom och mellan kalkylblad. Vissa mellannoders data ansågs viktiga som delresultat och dessa noders innehåll adderades till resultatbladet.

4. Verifiering av gränssnittet.

För att verifiera gränssnittet kördes RVM parallellt i Excel och Hugin. Denna kontroll hade två aspekter. För det första granskades koden och de matematiska funktioner som adderats i makrofunktionen. För det andra säkerställdes att samma indata gav samma resultat oberoende om denna inmatats direkt i Hugin eller via Excel. Felsökningen var relativt enkel att utföra eftersom man direkt kunde utnyttja informationen i mellannoderna.

Ett problem med Hugins mjukvara som uppmärksammades i detta skede (men som även tidigare noterats) är användandet av State Values och State Labels. För en utförlig diskussion, se avsnitt 4.2.2 (*Tydlig deklaration av State Values och State Labels*). Utvecklarna uppmärksammade även en bugg, se avsnitt 4.2.2 (*Undvikande av bugg*).

5. Redovisning och användande av version två.

Vid en redovisning av det förändrade gränssnittet hade utvecklarna ett gränssnitt som fungerade och uppskattades av användarna. Gränssnittets funktioner genomgicks noggrant i syfte att utbilda användarna. Några nya önskemål för att underlätta hanteringen av data framfördes.

6. Fortsatt användarstöd.

Gränssnittet används nu operativt av kund och i samband med det uppstår nya önskemål och buggar som måste avhjälpas identifieras. De fel som uppkommit är främst till följd av begränsningar i RVM. Det har exempelvis visat sig att vissa mellannoders dataspann är för snålt tilltagna för vissa förekommande indatavärden. Detta leder till att värden hamnar utanför de i RVM definierade sannolikhetstabellerna. Det som användaren ser som buggar är därför ofta undantag (exceptions) som kastas av Hugins mjukvara. Dessa störningar hanteras genom meddelanderutor där användaren informeras om vad som är fel. I vissa fall måste modellutvecklarna ändra spannet i sannolikhetstabellerna, medan problemen i andra fall är användarrelaterade.

RVM:s gränssnitt programmerades i Excel med Visual Basic (VBA) men själva beräkningarna i nätverket görs fortfarande i Hugin genom en anropsfunktion från Excel till Hugin. Makrot består av en huvudmodul med delar (subs), där även vissa beräkningar utförs. Användaren ser endast Excels kalkylblad och matar där in sina värden. För att köra modellen och få resultat trycker användaren på knappar, *Kör RVM*, i de olika bladen. En förutsättning för denna typ av lösning är att Hugins ActiveX API är tillgängligt i Excels tilläggsfunktioner och att mjukvaran Hugin Developer eller motsvarande är installerat på datorn. Excel 2003 eller senare versioner krävs.

Reflektion

Detta gränssnitt visade sig vara relativt enkelt att utveckla och krävde ingen större programmeringsvana.

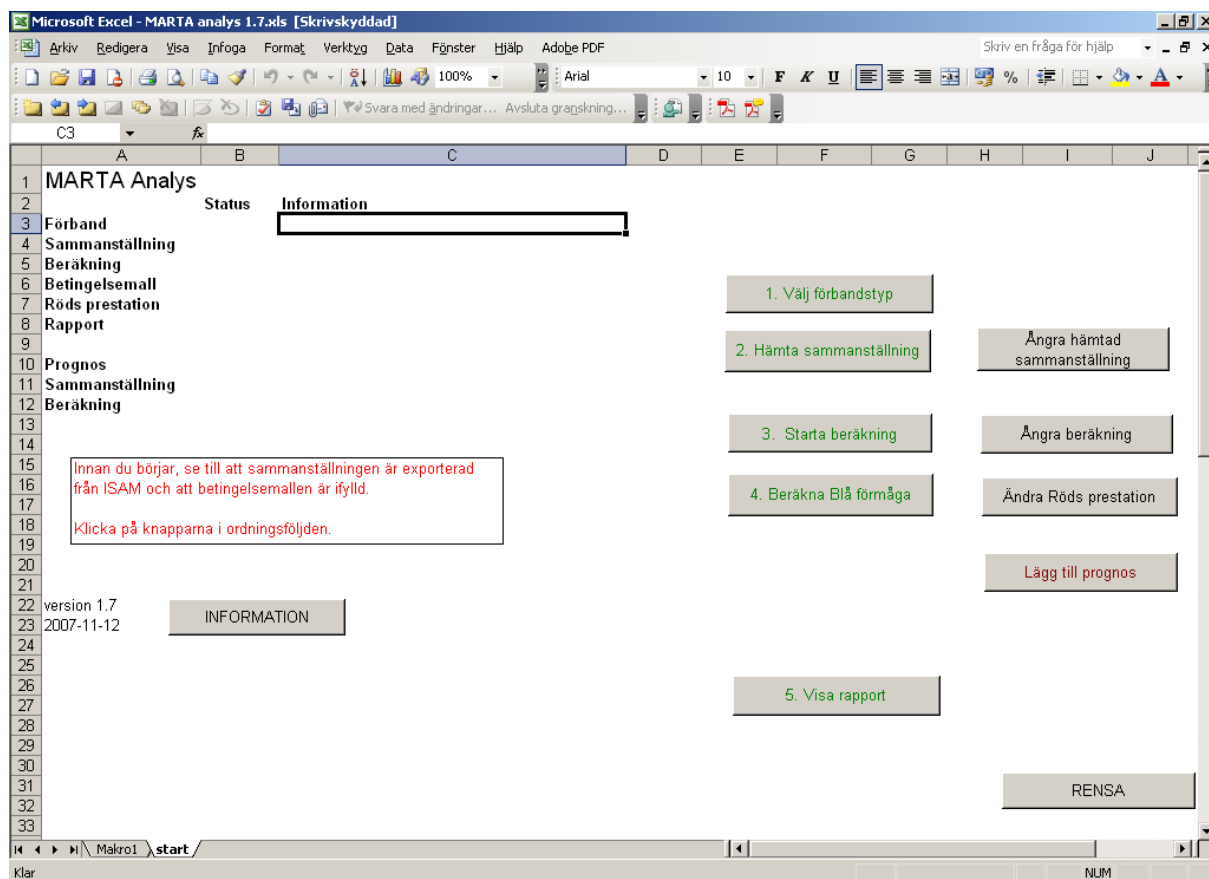
Vid kodning av makrot var Excel-funktionerna relativt lätta att få att fungera.

Hugins ActiveX API och dess funktioner var inte så väldokumenterade. Dock bistod Hugins personal med kompetent support och hög tillgänglighet.

Bilaga 2 – MARTA:s gränssnitt

Det färdiga gränssnittet

Det färdiga gränssnittet³⁵ visas i figur 20. Det är bara fem steg som krävs för att färdigställa en presentation av resultatet från en värdering.



Figur 20. Gränssnittet till MARTA Analys 1.7

En kort användarhandledning följer för att förklara hur användargränssnittet fungerar.

Steg 1. Välj förbandstyp

De olika förbanden är viktade i AHP och för att rätt vikter ska användas måste användare precisera vilken förbandstyp som hon/han vill värdera.

Steg 2. Hämta sammanställning

I ISAM exporteras enkätsammanställningen till en .txt-fil, vilket är filen som laddas upp till Marta Analys. När filen har laddats visas värdena från enkätsammanställningen i ett annat blad. Det ger användaren en möjlighet att granska värdena som sammanställts i ISAM innan beräkningarna påbörjas.

³⁵ MARTA:s gränssnitt är skapat av Alexander Ahl samt Alexandra Johansson och Andrea Manleitner från Markstridsskolan

Steg 3. Starta beräkningar

Här görs prestationsberäkningen. Resultatet presenteras i ett nytt blad för att användaren ska kunna ta del av det innan han/hon gått igenom alla steg.

Steg 4. Beräkna Blå förmåga

Här laddas betingelsemallen upp och om förbandet har haft en motståndare under övningen bes användaren fylla i motståndarens prestation i ett formulär. I betingelsemallen finns data om övningen samt betingelserna som ska användas till beräkningen av blå sidas förmåga samt övningens svårighetsgrad för blå sida. När värden förts över till Excel beräknas Blå förmåga med det Bayesianiska nätverket.

Steg 5. Visa rapport

Alla beräkningar är klara så nu är det bara att visa rapporten. Rapporten genereras och öppnas i Microsoft Word.

Övriga funktioner

Utöver dessa funktioner finns det ett antal ”ångra”-knappar, som gör det möjligt att ångra tidigare beräkningar. Det är även möjligt att ladda upp en prognos. På sätt kan värderingsansvarig jämföra det verkliga resultatet med det prognostiserade.

Utveckling av gränssnittet

Utvecklingen av MARTA Analys kan delas in i fyra skeden:

1. Beräkning av förmåga och prestation med AHP samt Bayesianiska nätverk i Excel

Första skedet bestod till stor del av att testa om det överhuvudtaget var möjligt att beräkna Bayesianiska nätverk samt AHP i Excel. Utvecklarna provade även olika sätt att föra över värdena från Expert Choice till Excel samt från Hugin till Excel.

2. Skapa version 1.0

Fokus i skede två var att skapa ett användbart program. Utvecklarna sammanfogade makron för beräkning av AHP samt Bayesianiska nätverk. Utvecklarna gjorde det möjligt att på ett smidigt sätt föra in data från ISAM och betingelsemallen till Excel.

3. Användarvänlighet och rättning av buggar

I detta skede hade utvecklarna ett program som fungerade och uppskattades av användarna. Fokus låg nu på att underlätta användandet och att avhjälpa de buggar som fanns. Utvecklarna lade till funktioner som möjliggjorde att ladda upp betingelsemallen samt filen från ISAM. Därtill utvecklades navigerings- samt ångrafunktioner.

4. Utveckling av rapportförslag

Det är i detta skede som utvecklingen befinner sig i nu. Fokus ligger på att förfinera rapportförslaget så att det är lättläst och användbart. Det förs även diskussioner om att presentera resultatet i andra format, såsom PowerPoint.