



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

FORSKNING/STUDIE

Studie om dataanvändning och databehov för riskmodellering och -analys

**Studie om dataanvändning och databehov för riskmodellering och -
analys**

Tidsperiod: 2020

Utförare: RCR - Mittuniversitetet

Ansvarig: Prof. Dr. Aron Larsson, Dr.Christine Große

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktpersoner: Anders Jonsson, 010-56 73, Viveca Norén, 010-40
99

Publ. nr: MSB1971 – maj 2022

ISBN: 978-91-7927-270-8

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna studierapport.
Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Innehåll

1	INLEDNING	4
2	TEORETISK BAKGRUND	6
2.1	Katastrofriskreducering i samhället	6
2.2	Risikanalys – bakgrund och utveckling	7
2.3	Från teori till tillämpning.....	8
3	METOD OCH MATERIAL	9
3.1	Insamling av material	9
3.1.1	Urvalsprocessen.....	9
3.1.2	Material.....	10
3.2	Analys av litteraturen	11
3.3	Avgränsningar	12
4	RESULTAT OCH ANALYS	13
4.1	Tillämpningsområde	15
4.1.1	Översikt.....	15
4.1.2	Exempel på tillämpningar	16
4.2	Formella egenskaper och logiska grunder.....	18
4.2.1	Indexmodeller och probabilistisk riskanalys, 28 artiklar.....	18
4.2.2	Simulering, 27 artiklar	18
4.2.3	Beslutsanalys och multikriterieanalys, 19 artiklar	19
4.2.4	Optimering, 16 artiklar	20
4.2.5	Input-Outputmodeller, 6 artiklar	20
4.3	Tillämpat datorstöd	21
4.3.1	Översikt.....	21
4.4	Databehov och databaser.....	22
4.4.1	Överblick.....	22
4.4.2	Datakällor	24
5	DISKUSSION	29
	KÄLLFÖRTECKNING	31

1 Inledning

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) gav våren 2020 Risk and Crisis Research Centre vid Mittuniversitetet uppdraget att genomföra en studie om behov och användning av data relaterat till stora olyckor och kriser. Föreliggande studie inriktar sig därför på tillämpningar av kvantitativ eller semi-kvantitativ riskanalys inom området samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur. Typiskt handlar det om metoder som avser allokering av medel för risk- och krishantering i samhället, eller val av strategier för riskreducering eller tillämpningar av metoder som möjliggör framtida planering där risk och sårbarhet beaktas. Syftet med studien är att belysa vilket databehov tillämpningarna har, samt i vilken mån befintliga databaser använts för att tillgodose behoven när metoder tillämpas.

Utgångspunkten för undersökningen är att det finns ett initiativ till att se över MSB:s och Sveriges behov av data när det gäller arbete med riskhantering för kritisk infrastruktur. Det har visat sig att de befintliga svenska databaserna idag inte täcker behovet av data för rapporteringen enligt Sendairamverket och ger långt ifrån tillräckligt underlag för riskbedömningar och riskmodellering. MSB har två databaser för information om stora händelser – Stora olyckor och Naturolycksdatabasen, dock har de inte uppdaterats sedan 2015 och håller på att stängas¹. Stora olyckor omfattar alla typer av händelser med minst fyra dödsfall, minst tio personer har skadats eller där konsekvenserna bedömts vara särskilt omfattande. Informationen i databasen är mycket kortfattad, Naturolycksdatabasen omfattar enbart naturolyckor och fokus har varit att samla händelser där det finns lärdomar att dra. Informationen är mer omfattande i Stora olyckor men uppgifterna om effekter och konsekvenser är inte konsekventa. På grund av tekniska problem har Naturolycksdatabasen lagts ner och innehållet nås endast i form av en Excel fil. Samtidigt pågår det internationellt aktiviteter relaterat till datainsamling och användning av data som MSB och Sverige behöver förhålla sig till.

För närvarande pågår utvecklingsarbete inom ramen för att implementera det globala Sendairamverket för katastrofriskreducering (UNISDR, 2015), vilket involverar insamling och analys av både kvalitativa bedömningar och kvantitativ data från olika typer av mätningar. Arbetet med att utveckla ländernas insamling och användning av data samt rapportering av data till globala indikatorer pågår också inom EU och nationella nivåer. Ambitionen är att länderna ska ha en nationell databas för katastrofdata som leder till förbättringar inom ramen för riskstyrning, samhällets resiliens och krisberedskap. I synnerhet betonas vikten av ett gemensamt ansvar för att hantera effekterna av samhällsstörningar i komplexa samhällen och en nödvändighet att utveckla en form av kollektiv intelligens för att ta vara på möjligheterna av en kombination av avancerade metoder för användning av ”big data” med mänsklig kreativitet och värdegrund (UNDRR, 2019). Inom konceptet ’collective intelligence’ lyfts också behovet av sammanhang och mening vid analyser

¹ <https://www.geodata.se/geodataportalen/GetMetaDataById?id=c75452c9-f2de-4198-a000-7ea601367ca0>
<https://www.msb.se/sv/verktyg--tjanster/naturolyckor---nedladdningstjanst/>
<https://www.msb.se/sv/verktyg--tjanster/stora-olyckor---nedladdningstjanst/>

och att utveckla en bredare kunskap om och djupare förståelse av metoderna, som bland annat inkluderar en diskussion om etiska och samhällliga aspekter för att öka förtroende för data-baserade beslutsprocesser och automatiserad riskbedömning (Peeters et al. 2021).

Målet med studien är därför att ta fram en kunskapsöversikt och kartläggning av behov och användning av data relaterat till riskbedömningar och riskmodellering i det förebyggande arbetet mot stora olyckor och kriser. Detta för att bidra till ökad förståelse för vilken typ av data som faktiskt används i publicerade källor där olika data-baserade metoder tillämpas vilket i sin tur kan bidra till MSB:s fortsatta planering och arbete med att skapa förutsättningar för att tillhandahålla sådan data som bevisligen brukar användas. Den här studien fokuserar specifikt på presentation av tillämpningar av kvantitativ eller semi-kvantitativ riskanalys i vetenskaplig litteratur inom området samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur.

Som grund till att utreda databehov kartlägger studien vilka metoder och vilket datorstöd som tillämpats i den vetenskapliga litteraturen under de senaste tio åren, samt vilken typ av data dessa tillämpningar kräver. Studien tar till visst omfång även hänsyn till referenslitteratur, tidigare kartläggningar och utveckling av datainsamling och datorbaserade modeller samt nationella och internationella policys.

Rapporten är strukturerad på följande sätt. Efter inledningen följer en kortfattad bakgrund till katastrofriskreducering i samhället och beskrivning av de teoretiska utgångspunkterna inom ramen för riskanalys, som avslutas med att ge en överblick över de perspektiv som utgör utgångspunkter för undersökningen. Metodavsnittet beskriver tillvägagångssättet för insamling och analys av vetenskaplig litteratur samt valda avgränsningar. I efterföljande kapitlet presenteras de detaljerade resultat från analysen, åtföljt av ett diskussionskapitel som lyfter områden med behov av fortsatt utveckling och forskning. En kort summering och några slutsatser avrundar rapporten.

2 Teoretisk bakgrund

2.1 Katastrofriskreducering i samhället

Den föreslagna studien om dataanvändningen och databehov inriktar sig främst på tillämpningar av kvantitativ eller semi-kvantitativ riskanalys inom området samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur. Typiskt handlar det om metoder som avser stödja val av strategier för riskreducering eller metoder som möjliggör bedömningar av sårbarhet eller allokering av medel för risk- och krishantering i samhället, exempelvis kopplat till större olyckor och kriser.

Samhällsviktig verksamhet definieras av MSB enligt:

”...en samhällsfunktion av sådan betydelse att ett bortfall av eller en svår störning i funktionen skulle innebära stor risk eller fara för befolkningens liv och hälsa, samhällets funktionalitet eller samhällets grundläggande värden.” (MSB, 2011:5)

Med denna definition menas också att det kan vara verksamheter som behövs för att hantera en pågående samhällsstörning, såsom en allvarlig händelse eller kris. Vidare definieras *kritisk infrastruktur* enligt:

”...fysisk struktur vars funktionalitet bidrar till att säkerställa upprätthållandet av viktiga samhällsfunktioner.” (MSB, 2011:6)

Under förstudiens gång uppdaterades den offentliga definitionen för att tydliggöra ett perspektivskifte från bortfall av viktiga funktioner i specifika händelser till rollen att säkerställa samhällsfunktioner. Den nya definitionen av samhällsviktig verksamhet avser:

”Verksamhet, tjänst eller infrastruktur som upprätthåller eller säkerställer samhällsfunktioner som är nödvändiga för samhällets grundläggande behov, värden eller säkerhet.” (MSB, 2020)

Det kan tolkas som ett skifte bort från störningar och konsekvenser av ett funktionsbortfall fram till att säkerställa en önskad/tillräcklig nivå rörande samhällets funktionalitet, vilket inkluderar att värna samhällets grundvärden och därmed en inneboende förmåga att samhället ska tolerera störningar i viss mån. Detta återspeglas även i den angivna motiveringen att anpassa sig till internationella definitioner samt att omfatta alla tillstånd och händelser i samhället, även bortom stora olyckor och kriser. Den nya definitionen ger dock ingen närmare specifikation av vad eller vilka nivåer som avses med grundläggande behov, värden och säkerhet.

En närmare definition av grundläggande behov, värden och säkerhet bör föregås och åtföljas av en konstruktiv dialog på alla samhällsnivåer. Inte minst under den pågående pandemin har det blivit tydligt att risker och kriser i allt högre grad blir en fråga för offentlig debatt och djup konflikt när riskerna eskaleras genom olika kommunikationskanaler, varningsmeddelanden och själva innehållet som sprids (tex. rykten, falska nyheter, osv.). Detta innebär ytterligare en utmaning för krishanterare och beslutsfattare, som inte längre endast kan fokusera på hanteringen

av direkta risker (t.ex. en översvämning eller skogsbrand), utan måste också förbereda sig för och hantera situationer som potentiellt eskalerar och leder till någon form av verbalt eller fysiskt våld (sekundär risk).

Därtill lyfter FN:s Sendairamverk för katastrofriskreducering (UNISDR, 2015) betydelsen av ett ”delat ansvar” och principen av ”allmänt samhällsengagemang och partnerskap” för att hantera kommande risker och kriser, även med hänsyn till med globala utmaningar, så som klimatförändringar, informationspåverkan och leveranskedjor. I det globala Sendairamverket (UNISDR, 2015) är därför det första av de fyra prioriteringarna att uppnå en god förståelse för katastrofrisker. Att samla in data och möjliggöra för att denna förståelse är tillgänglig i riskreduceringsarbete beskrivs som viktigt för att uppnå detta. Dessutom innebär uppföljningen av Sendairamverkets sju målområden att alla länder ska samla in data och rapportera indikatorer för konsekvenser av inträffade händelser och vissa åtgärder som vidtagits. Tanken är att insamlad data kan ligga till grund för att bedöma möjliga framtida konsekvenser av olyckor eller andra händelser och med det förbättrar riskstyrning, samhällets resiliens och krisberedskap.

FN:s Global Assessment Report (UNDRR, 2019) specificerar indikatorerna och relevant data för att kunna bedöma de sju målområdena (s. 211–212), men konstaterar också att implementeringen är i ett så pass tidigt skede att det inte är möjligt att kunna evaluera indikatorernas värde för att uppnå en reducerat global katastrofrisknivå. I samma rapport påpekas därför vikten av öppna data för att möjliggöra utveckling av avancerade metoder, modeller och analyser samt att förbättra kvalitén och transparensen vid offentliga beslutsprocesser. Samtidigt beskrivs en rad egenskaper som förknippas med ’FAIR’ öppna data, så som att data ska kunna hittas (**F**indable), vara tillgänglig (**A**ccessible), interoperabel (**I**nteroperable) och återanvändbar (**R**e-usable) (Wilkinson et al. 2016). Dessutom ska öppna data tillgodose de etiska och säkerhetsrelaterade anspråken i samhället samt kommersiella äganderätsfrågor; bl.a. betonas skyddet av landets säkerhet, personlig integritet, utsatta sociala grupper, kulturella artefakter och utrotningshotade arter genom att tillämpa rimliga restriktioner. För att rapportera data kring förluster i samband med katastrofer (mål 1–4) hänvisas till Desinventar Sendai databasen (se Tabell 5). Mål 5, 6 och 7 avser nationella och regionala riskreduceringsstrategier (ska vara implementerade år 2020), internationella samarbeten och tillgänglighet till system för tidig varning och riskinformation och -analyser för allmänheten (år 2030). Dessa mål involverar kvalitativa bedömningar, årliga statistiska rapporter och en komplex uppsättning uppgifter om effektiva nationella system (se minimum data standards för all mål (UNISDR, 2017)).

2.2 Riskanalys – bakgrund och utveckling

Denna rapport avgränsar sig till tillämpningar av *kvantitativ* eller *semi-kvantitativ* riskanalys. Det innebär att metoden som tillämpas ska vara formellt definierad och därmed programmerbar, till exempel en beräkningsmodell, eller behandla kvalitativa

utsagor eller data med en programmerbar algoritm i syfte att värdera risk, sårbarhet eller riskreducerande åtgärder och därmed utgöra ett beslutsstöd.

Den klassiska ansatsen till kvantitativ riskanalys kan sägas vara att *risk*, som ett kvantitativt nummer eller tal, är en funktion av ett antal variabler vilka representerar sådant som frekvenser av händelser, sannolikheter för olika konsekvenser givet en händelse, samt olika mått på hur allvarliga konsekvenserna är givet en händelse. Denna typ av ansats till riskmodell förordas av bland annat Society for Risk Analysis (SRA) och i etablerad litteratur inom området, t.ex. Aven (2012) och Kaplan & Garrick (1981). Med semi-kvantitativ menas modeller som inte direkt kräver eller arbetar med strikt numeriska data, det kan till exempel handla modeller som arbetar på ordinal data eller rangordningar eller kategoriseringar utan ordning. *Sårbarhet* kan i samma modell sedan definieras som risken givet att en händelse inträffar. Till exempel kan en sådan händelse vara en viss översvämning vilken i sin tur har olika sannolikheter för olika allvarliga konsekvenser. Om frekvensen av denna översvämning ökar, så ökar också risken, minskar frekvensen så minskar risken, men sårbarheten skulle bestå så länge översvämningens följdkonsekvenser har samma sannolikheter och allvarlighetsgrad. Ett begrepp som ligger nära sårbarhet och som fått större synlighet under det senaste årtiondet i litteraturen är begreppet *resiliens* vilket ofta definieras som förmågan för ett samhälle att absorbera sin sårbarhet och återgå till den kapacitet eller prestanda det hade före händelsen och dess följdkonsekvenser (Hosseini et al. 2016b). I denna litteraturstudie inkluderas alster som fokuserar på något av dessa begrepp.

2.3 Från teori till tillämpning

De perspektiv som vägleder studien reflekterar frågeställningar om behov och användning av data vid tillämpning av metoder, modeller eller angreppssätt för databaserade bedömningar av risk, sårbarhet eller resiliens och därtill andra beslutsunderlag för riskhantering, med särskild hänsyn till samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur. En granskning av forskningsartiklar som fokuserar på tillämpningar av metoder som kräver data utgår här från följande tre perspektiv;

- 1) Tillämpningsområdet i vilket kvantitativ eller semi-kvantitativ riskanalys tillämpas
- 2) Formella egenskaper och logisk grund för metoden som appliceras.
- 3) Datorstöd som används för att genomföra databaserade analyser

Med termen *tillämpning* menas här att en forskningsartikel eller studie innehåller en beskrivning av *kontexten* i vilken en specifik modell har applicerats och en demonstration av hur modellen tillämpas i nämnda kontext. Exempelvis innebär detta att alster som enbart behandlar och redogör för en matematisk eller datavetenskaplig modell och diskuterar dess logiska grund och egenskaper inte är del av studien. Det följande metodavsnittet konkretiserar studiens tillvägagångssätt för insamling och analys av forskningsartiklarna.

3 Metod och material

3.1 Insamling av material

3.1.1 Urvalsprocessen

För att kartlägga behov och användning av data inom kvantitativ eller semi-kvantitativ riskanalys var första steget i den här studien att samla in forskningsartiklar som fokuserar på tillämpningar inom området. Datainsamlingen involverade litteratursökningar inom vetenskapliga databaser såsom Primo, Google Scholar och Scopus. **Tabell 1** demonstrerar kortfattat insamlingsprocessen med söktermer, träffar och vidare avgränsning.

Tabell 1. Söktermer och urval vid litteratursökningen i SCOPUS

Sökterm	Antal Träff	Läst
Risk assessment	781.983	---
AND Decision support	18.503	---
AND critical infrastructure	442	Titel, nyckelord
Resilience OR risk OR vulnerability AND method AND critical infrastructure	6.596	---
AND data AND decision AND case AND application	1.228	Titel
LIMITED TO PUBYEAR 2010-2020	1.155	Titel
LIMITED TO articles	801	Sammanfattning
AND NOT TITLE review	776	Sammanfattning + 76 fulltext
AND (disaster OR crisis) AND reduction AND strateg*	213	Sammanfattning
AND (national OR regional OR local)	183	Fulltext

Urvalet av litteraturen för närmare analys förfinades sedan genom att applicera en fyra-steps process; 1) Granskning av titel och nyckelord, 2) Översiktlig genomgång av sammanfattningar och innehåll, 3) Identifikation av artikelns fokus och tillämpningsområde, och 4) Noggrann genomgång av artiklarnas innehåll.

Vid närmare genomgång visade det sig att urvalet efter sökningen innehöll 14 artiklar som inte var tillgängliga samt ett mindre antal bokkapitel och litteraturöversikt. Dessutom bedömdes ca 40 artiklar att inte vara relevant för att kunna svara mot förstudiens mål och syfte. Dessa artiklar togs bort från urvalet. Urvalsprocessen resulterade slutligen i att 170 artiklar bestämdes för att närmare analysera vilka metoder och vilket datorstöd som forskningen har inriktat sig på de senaste tio åren för att hantera problemen med målkonflikter och osäkerhet som ofta föreligger i risk- och krishanteringsdomänen i samhället, exempelvis rörande allokering av medel för hantering av stora olyckor och kriser eller val av strategier för riskreducering samt minskad sårbarhet.

3.1.2 Material

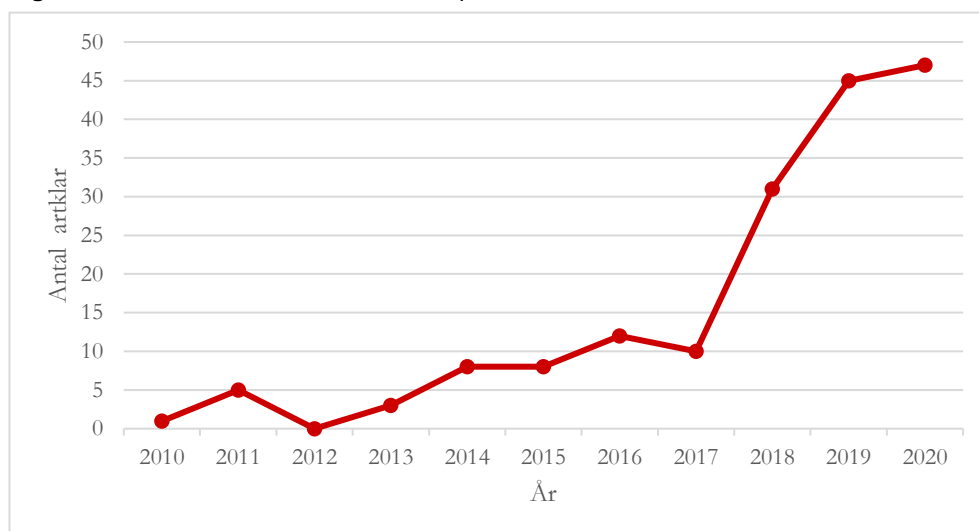
De forskningsartiklar som ingår i den här förstudien har blivit publicerade av totalt ca 600 författare inom 83 olika vetenskapliga tidskrifter. **Tabell 2** visar de mest frekvent förekomna tidskrifter.

Tabell 2. Mest frekventa källor

Antal artiklar	Tidskrift	Cite score 2019
19	International Journal of Disaster Risk Reduction	4.4
10	Sustainability (Switzerland)	3.2
8	Natural Hazards	5.0
8	Natural Hazards and Earth System Sciences	5.1
8	Reliability Engineering and System Safety	8.8
8	Risk Analysis	5.1
6	Sustainable Cities and Society	7.5
5	Transportation Research Part A: Policy and Practice	7.1
3	Annals of Operations Research	5.0
3	Applied Energy	16.4
3	Ecology and Society	7.5
3	Journal of Cleaner Production	10.9
3	Journal of Volcanology and Geothermal Research	5.1
3	Water (Switzerland)	3.0

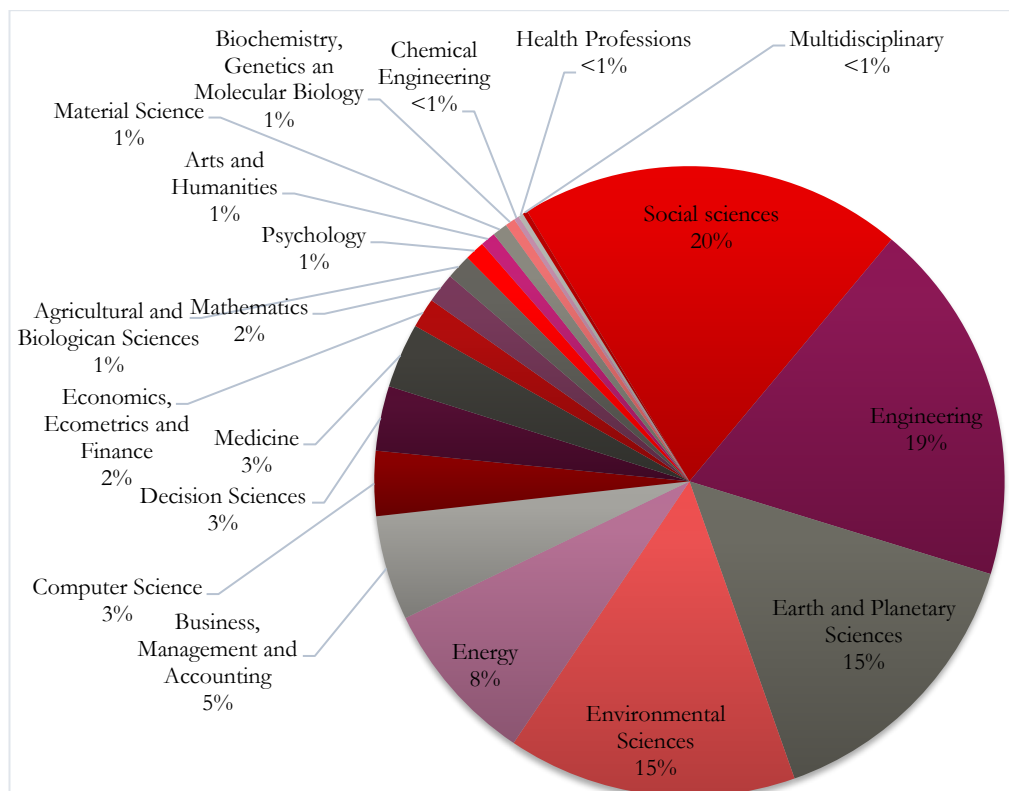
Trots att inte alla publikationer som kommer att räknas till år 2020 kunde inkluderas i denna förstudie går det att identifiera i **Fel! Hittar inte referensälla.** en växande trend av publikationer inom det studerade området. Den ökade publiceringstakten i förstudiens forskningsområde indikerar ett tilltagande intresse i databaserade bedömningar av risk, sårbarhet eller resiliens i samband med samhällsviktiga verksamheter, kritisk infrastruktur och strategiskt beslutstöd.

Figur 1. Publikationer över senaste tio-årsperioden



Figur 2 redogör för de forskningsområdena i vilka de utvalda artiklarna har publicerats. Samhällsvetenskaplig och teknisk forskning och utveckling representeras med flest antal artiklar, följt av forskning som särskilt fokuserar på miljöaspekter, geografiska och geologiska konstellationer samt energifrågor.

Figur 2. Forskningsområden som är representerade i urvalet



Särskilt nämnvärt är att enbart en av artiklarna klassas som multi- eller tvärvetenskaplig, vilket kan tolkas illustrera svårigheter kring etablering av sådana forskningsmiljöer och -projekt, exempelvis gällande val av angreppssätt, forskningsdesign och publiceringskanaler.

3.2 Analys av litteraturen

Andra steget i den här studien var att analysera det insamlade materialet för att belysa det framtida behovet av data som underlag för risk- och krishantering kopplat till stora olyckor och kriser. Tre perspektiv vägleder och strukturerar analysen av det insamlade materialet som fokuserar på tillämpningar;

- 1) Tillämpningsområde
- 2) Formella egenskaper och logisk grund för tillämpad metod
- 3) Tillämpat datorstöd

För att undersöka den utvalda litteraturen användes ramverk i Tabell 3 i syfte att närma sig och konkretisera de ovannämnda perspektiven.

Tabell 3. Forskningsguide

Perspektiv	Frågeställningar
Tillämpningsområde	<ul style="list-style-type: none"> • Hur karakteriseras tillämpningsområdet? • Vad är syftet med tillämpningen? • Vilket databehov kommuniceras? • Hur täcker befintliga databaser behovet? • Till vilka beslutsfattare riktar sig tillämpningen? • Vilken nivå adresseras, t.ex. regional, nationell och europeisk nivå?
Formella egenskaper och logisk grund för tillämpad metod	<ul style="list-style-type: none"> • Vilken teori/modell underbygger tillämpningen? • Vilka antaganden baseras metoden på? • Hur hanteras målkonflikter eller/och osäkerhet? • Vilka begränsningar redovisas?
Tillämpat datorstöd	<ul style="list-style-type: none"> • Vilka data och databaser används? • Hur värderas behov och tillgång till data? • Vilken typ av datorstöd demonstreras? • Hur värderas datorstödet?

Ramverket i Tabell 3 guidade både den översiktliga genomgången av sammanfattningar och innehåll och också den noggranna detaljanalysen av artiklarnas innehåll. Det efterföljande resultat- och analyskapitlet strukturerades utifrån de beskrivna perspektiven och frågeställningarna för att ge en utförlig bild över områden som beforskats, datorstödet som har använts och på vilka formella och logiska grunder forskningen baserats på. Med hjälp av utvalda exempel konkretiseras de tre perspektiv samt identifieras problemställningar i kunskapsområdet.

3.3 Avgränsningar

I och med att tidsramen för förstudien var begränsad, avgränsades även förstudien i motsvarande omfattning. En större detaljriktighet i analyserna och kartläggningen av forskningsområdet kräver mer tid för analysarbete. Därför begränsades förstudien i omfånget av redovisningen kring den detaljerade litteraturgenomgången och koncentreras huvudsakligen på 13 särskilt utvalda artiklar (se Detta avsnitt redogör för utvalda resultat av litteraturstudien. Utöver en kartläggning av det insamlade materialet inom området valdes 13 artiklar (se **Tabell 4**) ut för att exemplifiera och konkretisera förstudiens fynd. Resultaten ger insikt i vilken typ av data som saknas eller är svår att inhämta för en tillämpning av de identifierade metoder, vilket databehov som kan uppstå från utvecklingar av avancerade metoder och modeller, samt i vilken riktning forskning i metodutveckling omsätts i konkreta tillämpningar.

Tabell 4). Dessa artiklar uppfyller i synnerhet de initiala krav på konkreta tillämpningar av kvantitativ eller semi-kvantitativ riskanalys inom området samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur som reflekterar behov och användning av data och databaser relaterat till riskbedömningar och riskmodellering. Denna begränsning sker med hänsyn till förstudiens syfte att skapa ett underlag för ökad förståelse för vilken typ av data som faktiskt används (eller saknas) i

publicerade källor där olika metoder tillämpas i samband med det förebyggande arbetet mot stora olyckor och kriser.

4 Resultat och analys

Detta avsnitt redogör för utvalda resultat av litteraturstudien. Utöver en kartläggning av det insamlade materialet inom området valdes 13 artiklar (se **Tabell 4**) ut för att exemplifiera och konkretisera förstudiens fynd. Resultaten ger insikt i vilken typ av data som saknas eller är svår att inhämta för en tillämpning av de identifierade metoder, vilket databehov som kan uppstå från utvecklingar av avancerade metoder och modeller, samt i vilken riktning forskning i metodutveckling omsätts i konkreta tillämpningar.

Tabell 4. Översikt över urvalet av artiklar för detaljanalys

Artikel	Tillämpningsområde	Datorstöd	Formell metod
<i>Exploring the future: Runtime scenario selection for complex and time-bound decisions</i> – Comes et al. (2015)	Krisberedskap och krishantering, evakuering, farliga ämnen / materialier. Nationell till lokal nivå	Generell mjukvara för matematisk modellering	Scenarioanalys, Multikriteriebeslutsanalys
<i>Risk-informed assessment of regional preparedness: A case study of emergency potable water for hurricane response in Southeast Virginia</i> – Crowther (2010)	Försörjning med rent dricksvatten under och efter storm. Region i sydväst Virginia (USA). Lokal and regional nivå.	Hazus-MH3 - ett GIS-baserat verktyg	Probabilistisk riskanalys, statistisk analys, simulering av konsekvenser, Multimålbeslutsträd
<i>Quantification of climate change impact on dam failure risk under hydrological scenarios: a case study from a Spanish dam</i> – Fluixá-Sanmartin et al. (2019)	Dammsäkerhet, klimatförändringar, riskvärdering. Lokal och regional nivå.	Verktöget RS MINERVE och statistikprogrammet R	Probabilistisk riskanalys, indexmodell, hydrologisk simulering av konsekvenser
<i>Modeling the damage and recovery of interdependent civil infrastructure network using Dynamic Integrated Network model</i> – He & Cha (2020)	Konsekvenser på kritisk infrastruktur och deras beroenden i händelse av orkan. Regional nivå.	Generell mjukvara för matematisk modellering	Dynamisk input-output modell
<i>A model-based systems engineering approach to critical infrastructure vulnerability assessment and decision analysis</i> – Huff et al. (2019)	Fokus på kritisk infrastruktur och konsekvenser av angrepp och sårbarheter.	Generell mjukvara för matematisk modellering	Optimering – liniär programmering

<i>Using geographic information systems to support decision making in disaster response – Jefferson & Johannes (2016)</i>	Situationsmedvetenhet under jordbävningar. New Madrid Seismic Zone (USA). Lokal, regional och nationell nivå.	Hazus-MH 2.2 (GIS-baserat), Esri ArcGIS software, Unibalance (TU Delft)	Simulering av konsekvenser, Statistisk analys, Thurstone C modell för gruppbeslut
<i>A framework for assessing the resilience of a disaster debris management system – Kim et al. (2018)</i>	Analys av alternative scenarier för bortsläpning av bråte efter orkan. Regional nivå.	Hazus-MH och Vensim för systemdynamik.	Systemdynamik.
<i>Sequential Hazards Resilience of Interdependent Infrastructure System: A Case Study of Greater Toronto Area Energy Infrastructure System – Kong et al. (2019)</i>	Resiliens i kritisk infrastruktur i händelse av multipla naturkatastrofer. Lokal nivå.	Egen programmering (framgår ej)	Probabilistisk riskanalys, Monte-carlo simulering
<i>Identification and prioritization of critical transportation infrastructure: Case study of coastal flooding – Lu et al. (2015)</i>	Tillgång till kritisk transportinfrastruktur, priorisering av kritikaliteten i samband med översvämningar vid kusten. Kustområde i Florida (USA) Lokal nivå.	ArcGIS verktyg	Indexmodell, nätverkmodell, simulering av konsekvenser
<i>A framework for comprehensive impact assessment in the case of an extreme winter scenario, considering integrative aspects of systemic vulnerability and resilience – Molarius et al. (2015)</i>	Extrem vinter med elbortfall och dess påverkan på samhället och hushåll. Hypotetiskt område i närhet av Torneå (Finland). Lokal nivå.	VTT House building simulator och CRISECON, ett verktyg för ekonomiska analyser	Indexmodell, simulering av konsekvenser i samband med temperaturförändringar, Ekonomisk modell
<i>A spatial-temporal vulnerability assessment to support the building of community resilience against power outage impacts – Münzberg, (2017)</i>	Samhällets sårbarheter och resiliens med fokus på kritisk infrastruktur och samhällsviktig verksamhet vid elavbrott. Lokal nivå.	Generisk modell, GUS visualisering	Monte-Carlo simulering, Delphimetod, Sårbarhetsindex
<i>Developing a geographic information capacity (GIC) profile for disaster risk management under United Nations framework commitments – Tomaszewski, et al. (2020)</i>	Fokuserar på intressenternas förmåga att förstå, få tillgång till och arbeta med geografisk information för katastrofriskhantering.	ArcGIS verktyget för att visualisera profilen.	Ramverk-/ metodutveckling, statistiska analyser

A federated pre-event community resilience approach for assessing physical and social sub-systems –
Yang et al. (2020)

Resiliens och prestation av kritisk infrastruktur, såsom rörledningar vid extrem nederbörd. Lokal nivå.

Generiska verktyg
ArcGIS och
Matlab.

Simulering

4.1 Tillämpningsområde

4.1.1 Översikt

På grund av söktermen förhåller sig alla utvalda artiklar till samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur. Runt 50 av artiklarna behandlar ingen specifik verksamhet eller typ utan använder sig av en generell hänvisning till viktiga samhällsfunktioner. Specifika områden som återfinns frekventa i litteraturen är transport, energi, vatten, olika typer av byggnader och anläggningar samt industri.

Inom transportområdet är vägnätet och framkomlighet viktiga förutsättningar som ca 20 artiklar närmare undersöker. Gällande sjötransporter koncentrerar sig sju artiklar sig på hamnfunktionerna och en på inlandsvattendrag. Tre artiklar i urvalet har flygtransportsfunktionen som tema och två andra texter kan relateras till järnväg. Ytterligare tre artiklar studerar tunnelbana-, buss- och taxitransportsystem och tre undersöker risker inom transportområdet med ett mer övergripande synsätt. Energiförsörjning är ett annat relevant område som många artiklar riktar sig in på. Många av dessa artiklar relaterar till energiförsörjning i allmänhet. Tretton av artiklarna undersöker olika aspekter inom elförsörjningen, en av artiklarna intresserar sig på gasförsörjning och en annan på oljeledningar.

De flesta artiklar inom området vatten tittar på olika aspekter av dricksvattenförsörjning och avloppsvatten. Två artiklar undersöker risker i samband med skyddsanläggningar mot översvämning och två andra fokusera på dammsäkerhet, vilket kan relateras både till energi- och vattenförsörjning och till skydd av befolkningen mot av människohand skapade katastrofer.

En del av artiklarna har sin huvudfokus på olika typer av byggnader, exempelvis bostadshus, lokaler där samhällsviktiga verksamheter bedrivs och lagerbyggnader. Särskilt nämnvärt är enstaka artiklar som rör tillfälliga (skydds-)bostäder och efterlämningar av historiska byggnader av ett stort kulturellt värde. Som specifika anläggningar som togs upp av få artiklar kan nämnas både ett urbant nätverk av sensorer för att mäta olika förändringar i samhället för att förutspå händelser och ett system av sirener för kriskommunikation.

Även om några artiklar anser informations- och kommunikationstechnologi i allmänhet att vara samhällsviktig, är det bara fyra artiklar som närmare analyserar risker i samband med denna typ av infrastruktur med konkreta fall i kontexten som denna förstudie använder sig av. Vidare är det få artiklar som analyserar olika typer av beredskapsinfrastruktur och vård i samband med stora olyckor och kriser. Några av artiklarna använder sig av en industriell kontext, exempelvis för att upprätthålla

produktionskapacitet. Områden som kan återfinnas bland artiklarna är jordbruk, produktion av kemikalier, logistik och varuflöden.

Litteraturen utgår i de flesta fall från naturliga katastrofer inklusive följderna av negativa klimatförändringar eller ett perspektiv som omfattar alla typer av risker. Ett 20-tal av artiklarna är mer specifikt inriktat, sju koncentrerar sig på fel i tekniska system, sex relaterar till risker som är skapade av människohand, tre tittar på risker i CBRN (kemiskt, biologiskt, och radiologiskt och nukleärt material) området och en vardera adresserar ekonomiska, terroristiska, brand- och cyberhot.

Med anledning av söktermen står infrastrukturens och samhällets sårbarhet och motståndskraft (resiliens) i centrum av den undersökta litteraturen. Majoriteten av artiklarna undersöker ett lokalt begränsat fall. Risk- och sårbarhetsanalyserna av olika slag syftar till att bland annat öka medvetenheten och förståelsen för olika sammanhang hos olika målgrupper, så som beslutsfattare, beredskapssamordnare, stadsplanerare samt andra forskare. Exempelvis fokusera runt 10% av artiklarna vardera på ekonomiska effekter, katastrofinsatser och beroenden bland samhällsviktiga verksamheter. Andra artiklar intresserar sig för återställning, tillförlitlighet och upprätthållandet av infrastrukturer samt hållbarhetsaspekter. Några texter koncentrerar sig på teknologiska lösningar, skapandet av policyer och beteendeförändringar. Enstaka artiklar tematiserar rymdbaserade system, markanvändning och lokalisering samt identifiering och prioritering av samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur. En av artiklarna diskuterar mångfald i kritisk infrastruktur i mening av att skapa alternativ, exempelvis olika transportslag som kan kompensera varandra vid störningar till viss mån.

4.1.2 Exempel på tillämpningar

En av de utvalda studierna undersöker hur dricksvatten har blivit utplacerat och fördelat under krishantering i samband med en storm i ett regionalt område i Virginia, USA. Syftet med studien var att demonstrera vikten av information och kommunikationsprocesser för att utvärdera regional risk och förmåga samt att betona behovet av en samtidig utvärdering av respons och beredskap. Författarna uttrycker att det finns osäkerhet angående den specifika byggnadskonstruktionen och användarens ansvarsområden för varje anläggning samt att det saknas uppgifter om särskilda delar av befolkningen, så som papperslösa invandrare och strandade turister. I denna studie används en rad olika data, till exempel finns olika uppgifter om vattenanläggningar i en databas som FEMA (Federal Emergency Management Agency) underhåller. Vidare tog studien del av data om strömavbrott från offentliga rapporter av tidigare stormar, kartor från US Army Corps of Engineers, digitala höjdkartor, och befolkningsstatistik. Som andra datakällor nämns tidigare undersökningar kring modellering av mänskligt beteende under en storm samt andra offentliga rapporter. Den GIS-baserade modelleringen och simuleringen av regionala förluster i samband med naturliga katastrofer riktas särskilt till regionala beslutsfattare, utvecklare av beslutsstöd och andra forskare. (Crowther 2010)

En annan studie koncentrerar sig på ett vägnät av motorvägar och andra viktiga vägar i en kustregion i Florida, USA. Studien syfte var att utforska en tillgänglighetsbaserad prioriteringsmetod för att för att identifiera och prioritera kritisk transportinfrastruktur. Som i många andra studier bortses även i denna från att specificera databehovet, fokus läggs istället på hur och vilken data som användes genom studien. Även i denna studie lyftes många olika datakällor in, exempelvis väguppgifter och destinationsdata från Florida DOT:s (Department of Transportation) modeller vilka i sin tur är baserat på data från Florida Transportation Survey samt regionala och lokala stadsplaneringsorganisationer. Vidare användes befolkningsstatistik från Florida Bureau of Economic and Business Research, ljuddetekterings- och höjddata från National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) och kustens servicecenter samt olika estimeringar som andra studier har tagit fram. Genom skapandet av en tillgänglighetsindex för kritiska vägvägar vänder sig studien till lokala beslutsfattare och andra forskare. (Lu et al. 2015)

Ett tredje exempel av tillämpningsområden är ett hypotetiskt område som lokaliseras i norra Finland, närmare bestämt i gränsstaden Haparanda-Torneå med omnejd. Därtill konstruerades ett väderscenario kring extrema vinterförhållanden som baserats på expertutlåtanden. Syftet med studien var att undersöka potentiella systemiska konsekvenser av ett långvarigt elavbrott vid en pågående vinterstorm. Studien använde sig av data från nationella register och databaser, till exempel Finnish Population Information System² som innehåller basinformation om alla byggnader och invånare, och territoriella kartor och kartinformation. Därtill användes en rad satellit-baserade väderövervakningssystem, till exempel Operational Linescan System från Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) och Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) på National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System Preparatory Project (NPP).

Författarna identifierade ett framtida databehov för att kunna utföra en jämförande analys av nattbilder för visuell detektering av lokala eller regionala strömvabrott. I samband med detta ses också möjligheten för bättre analyser på lokal nivå med hjälp av framtida högupplösande sensorer. Utöver detta påpekades att det saknas både tillräckligt med forskning och också adekvata verktyg och data för att stödja kostnadsanalyser för kriser, inte bara relaterade till direkta kostnader utan också angående avbrott i beroende verksamheter, kostnader för krishantering och andra indirekta och immateriella kostnader i relation till osäkerhet i samband med samhällsstörningar. Med sin undersökning av ett lokalt område vänder sig författarna till organisation på olika nivåer av offentligt beslutsfattande, såsom myndigheter, regioner och kommuner, och räddningstjänster samt försäkringsbolag. (Molarius et al. 2015).

Tabell 4 ger en kortfattad överblick över några andra tillämpningsområden som litteraturen inriktar sig på för att utveckla data-baserade metoder för kvantitativa

² <https://dvv.fi/en/population-information-system>

och semi-kvantitativa riskbedömningar och riskmodellering samt att illustrera behoven av adekvat databearbetning, tillgänglig information och meningsfull visualisering för olika grupper av beslutsfattare.

4.2 Formella egenskaper och logiska grunder

Nedan görs en kort presentation av de fem mest förekommande formella metoderna som tillämpas i syfte att fungera som beslutsstöd i bred bemärkelse. Noterbart är att dessa metoder inte är ömsesidigt uteslutande och kombinationer av metoder är inte helt ovanligt och gäller framförallt simulering i kombination med någon av de övriga metoderna. Att tillämpa fler än en systemanalytisk modell för att studera en domän brukar benämnas som integrerad modellering. Metodernas generella egenskaper inklusive begränsningar diskuteras inte nämnvärt i urvalet. En förklaring till det kan vara att detta diskuteras i andra, mer teoretiska forum än i artiklar som snarare syftar till att demonstrera en tillämpning.

4.2.1 Indexmodeller och probabilistisk riskanalys, 28 artiklar

Indexmodellen är en grundbult i klassisk kvantitativ riskanalys och är generellt en funktion $r = f(\mathbf{x})$ som ger ett mått på risk, sårbarhet eller resiliens givet en vektor \mathbf{x} av värden på ingående variabler. Syftar till att rangordna enheter som verksamheter, områden, lösningar etc. efter deras mått på risk, sårbarhet eller resiliens. Databehov kopplas till att variablerna måste observeras eller skattas utifrån historiska data, faktiska data för en plats, experiment, simuleringar eller expertutsagor. Probabilistisk riskanalys kan sägas vara en form av indexmodell, där variablerna utgörs av värden på konsekvensers allvarlighetsgrad, sannolikheter för dessa givet en händelse (som t.ex. jordbävning) och frekvensen av dessa händelser. I fall där händelser med karaktären låg sannolikhet men stora konsekvenser behandlas hamnar ansatsen i det som kallas för extremvärdesteori (Bier et al. 2004). Se t.ex. Aven (2012) och Kaplan (1997) för övergripande referenslitteratur.

Exempel från urvalet är Fluixá-Sanmartín et. al (2019) där risk för dammbrott värderas med hänsyn till klimatförändringar där risken värderas utifrån antalet socio-ekonomiska negativa konsekvenser per år givet en sannolikhetsfördelning över frekvensen av årliga riskhändelser. Databehovet, utöver GIS-data för en region, i denna studie täcks av temperaturdata över tid tillhandahållet av en spansk myndighet för meteorologi (AEMET) tillsammans med klimatmodeller från EURO-CORDEX på en regional nivå samt historiska data över vattennivåer tillgängliga från respektive damms planeringsdata.

4.2.2 Simulering, 27 artiklar

Simulering förekommer i olika former men är i sammanhanget en framträdande metod för att skapa artificiella konsekvenser vilka sedan kan vara föremål för värdering, både i syfte att skapa en uppfattning om konsekvensers sannolikheter och

dess allvarlighetsgrad. Den vanligaste typen av simulering är så kallad Monte-Carlo simulering, där händelser slumpas fram, men även simulering av fysiska fenomen som vattenflöden (hydrologisk simulering) och sociala fenomen som trafikflöden och en populations agerande (agent-baserad modellering) förekommer. Systemdynamik är en form av simulering syftar till att förstå hur komplexa system med icke-linjära samband mellan systemkomponenter presterar eller utvecklas under olika scenarier, där kausala samband och så kallade ”feedback loopar” mellan komponenter modelleras. Ursprungligen utvecklades metoden för att studera industriella system men tillämpningsområdet har breddats till att studera allt från ekosystem till internationell policy. Databehovet för simuleringsansatser kopplas till att dels parametersätta simuleringen i syfte att konfigurera den att reflektera ett ”verkligt” skeende, och/eller att validera att resultatet är rimligt. Se t.ex. Evans & Olson (2002) för referenslitteratur.

Exempel från urvalet är Münzberg et al. (2017) där Monte-Carlosimulering används för att hantera osäkerheten i konsekvenser av effektbortfall och därigenom indirekt värdera en regions resiliens rörande bortfall av kritisk infrastruktur i händelse av strömavbrott. Databehovet i denna tillämpning täcks av regionala registerdata rörande lokalisering och storlek på kritiska infrastrukturer i kombination med expertutsagor. Ett annat exempel är Kim et al. (2018) där systemdynamik används tillsammans med optimering för att identifiera effektiva strategier för borttagning av bråte efter en orkan. Databehovet täcks av information från Hazus-MH där olika typer av orkaner placerade på en given region skattar mängden bråte som måste tas om hand.

4.2.3 Beslutsanalys och multikriterieanalys, 19 artiklar

Bygger på ett praktiskt förhållningssätt till så kallad normativ beslutsteori och modeller för rationella val. Kräver preferensutsagor från intressenter eller beslutsfattare i kombination med kvantitativa eller semi-kvantitativa mått på konsekvensers allvarlighetsgrad och deras sannolikheter. Syftar oftast till att rangordna alternativa lösningar för riskreducering eller minskad sårbarhet och betraktas ofta som en nödvändig metod när det föreligger målkonflikter eller intressentkonflikter rörande vilken lösning som föredras. I flera fall tillämpas även modeller från multikriterieanalys för att konstruera ett index för resiliens eller sårbarhet givet ett särskilt hot som extrem nederbörd, översvämningar eller explosioner. Databehov kopplas till arbete med att värdera konsekvensers allvarlighetsgrad, ofta via indikatorer, i vissa fall även sannolikheter om konsekvenserna är osäkra, samt preferensdata i form av vikter för kriterier när målkonflikter föreligger, t.ex. mellan kostnad och riskreducering. Den explicita involveringen av preferenser eller idealtillstånd särskiljer denna metodfamilj från övriga, se t.ex. Eisenführ et al. (2010) för referenslitteratur.

Ett exempel på tillämpning i materialet finns i Comes et al. (2015) där alternativa evakueringsstrategier i händelse av utsläpp av farligt avfall med osäkra konsekvenser studeras med hjälp av multikriterieanalys. Databehovet, utöver preferensutsagor från experter och beslutsfattare, täcks av registerdata i form av befolkningsregister,

firmaregister och register över känd kritisk infrastruktur inom det geografiska område som studeras. Ett exempel på byggande av resiliensindex via denna ansats finns t.ex. i Yang et al. (2020) där multikriteriebeslutsanalys används för att värdera resiliens mot extrem nederbörd där multikriteriemetoden syftar till att aggregera nio olika indikatorer vilka är uppdelade i indikatorer för transportsystemet, indikatorer för vattenavledningskapacitet, samt sociala indikatorer som inkomstfördelning och demografi. Databehovet i detta arbete täcks via registerdata för populationen.

4.2.4 Optimering, 16 artiklar

Syftar till att hitta en konfiguration av ”beslutsvariabler” så att de skapar maximal nytta (t.ex. resiliens) eller minimal onytta (t.ex. risk) enligt en matematiskt formulerad målfunktion givet begränsningar från en kostnadsbudget och andra villkor. Problemet kan även formuleras som att skapa maximal nytta (intäkt) eller minimal onytta (kostnad) givet att nivåer på risk inte får överstigas. Om olika aspekter (t.ex. olycksrisk och miljöpåverkan) kräver olika målfunktioner får vi så kallad multimåloptimering. Kräver val av mått som definierar nytta och onytta samt en i allmänhet väl definierad matematisk modell av det system som ska optimeras. Databehovet kopplas till att konfigurera en generell optimeringsmodell till ett konkret fall, ofta en stad eller annan fysisk plats som analysen beaktar så att de begränsande villkoren är relevanta. I fall där inte sambandet mellan beslutsvariablers konfiguration och målfunktionens värde är deterministiskt (säkert) så kallas det för stokastisk optimering, där sannolikheter för scenarier som påverkar relationen mellan beslutsvariabler och målfunktion behöver skattas. Se t.ex. Badiru & Thomas (2009) för referenslitteratur.

Exempel från urvalet är Huff et al. (2019) där resursallokering av säkerhetsresurser optimeras givet sårbarhet och budgetvillkor. Databehovet täcks av händelseloggar i kombination med expertutsagor för dessa händelser.

4.2.5 Input-Outputmodeller, 6 artiklar

Ekonomisk systemmodell som beskriver som beroenden mellan element som hushåll, industrier och infrastruktur i ett avgränsat område (som t.ex. en region) där resursflöden mellan dessa element modelleras i syfte att upprätthålla en produktion som motsvarar efterfrågan. Kan användas för att studera kvantitativa effekter på ett område orsakade av ett eller flera elements plötsliga oförmåga att producera, till exempel till följd av en naturkatastrof, och deras och systemets förmåga att återhämta sig. Databehov kopplas till inventeringar av element eller infrastruktur samt till bedömning av händelsens påverkan på infrastrukturen där historiska data från tidigare händelser tillämpas. Se t.ex. Lopez et al. (2012) för referenslitteratur.

Exempel från urvalet är He & Cha (2020) där återhämtningen i en region givet en naturkatastrof studeras. Regionen modelleras som ett system av kritisk infrastruktur, med beroenden mellan infrastrukturerna. Databehov täcks av historiska orkandata från amerikanska NOAA.

4.3 Tillämpat datorstöd

4.3.1 Översikt

Vi har valt att kategorisera datorstöd/mjukvara i följande kategorier:

- Generic modelling environment (GE), 119 artiklar. Detta är mjukvara som inte är riktad mot något särskilt område utan ger användaren förutsättning att fritt skapa program eller modeller som passar för användarens ändamål. Detta är den mest förekommande kategorin i urvalet vilket inte är så förvånande då forskare ofta har utbildning i dessa generella miljöer och kan därmed skapa en beräkningsmodell anpassad för deras ändamål. Det mest förekommande exemplet är ArcGIS (17 artiklar). Andra typiska datorstöd som faller in i denna kategori är statistikprogram som R och SPSS, modelleringsmiljöer som Matlab (11) och simuleringsmiljöer som Netlogo.
- Computational library (CL), 8 artiklar. Detta är mjukvara som inte på egen hand är exekverbar, utan kräver en annan mjukvara som i sin tur utnyttjar de funktioner och beräkningsmetoder som biblioteket tillhandahåller. Biblioteket är typiskt avsett att göra en viss typ av beräkningar, till exempel optimering eller simulering, och ett exempel är bibliotek för att i statistikmiljön R kunna utföra beräkningar med hjälp av AI-modellen Bayesianska nätverk samt optimeringskärnan CPLEX som används tillsammans med modelleringsmiljön GAMS.
- Targeted finished prototype (P), 6 artiklar. Detta är på egen hand exekverbar mjukvara som är utvecklad för ett specifikt ändamål, till exempel en särskild domän eller användargrupp, men mjukvaran befinner sig i prototypstadiet och är inte tillgänglig som kommersiell produkt. Denna kategori är minst förekommande i urvalet, men exempel är REDI Viz som värderar resiliensen mot katastrofer och större olyckor i en stad nedbruten på kvartersnivå.
- Targeted off the shelf product (SP), 19 artiklar. Detta är på egen hand exekverbar mjukvara som är bortom prototypstadiet och utvecklad för ett specifikt ändamål och kan införskaffas direkt. Mjukvaran kan vara en kommersiell produkt men kan också underhållas av en större myndighet till regioner eller delstater. Exempel är framförallt amerikanska FEMAs verktygsfamilj Hazus-MH³ som är det mest utvecklade riktade mjukvarustödet för risk- och sårbarhetsanalyser inkluderande särskilda moduler för jordbävningar, orkaner, översvämningar och tsunamis. Hazus-MH kräver dock ArcGIS, men med det följer då GIS-information för samtliga amerikanska stater. Ett annat exempel är CRISECON som är ett webbaserat datorstöd för att

³ MH står för "multiple hazards"

skatta kostnader för skador till följd av stora olyckor samt värdera effektiviteten i förebyggande åtgärder.

Generellt så är den absolut mest förekommande typen av datorstöd någon form av geografiska informationssystem (24 artiklar). Detta är emellertid inte så märkligt, då en tillämpning företrädesvis innebär en avgränsning till ett avgränsat geografiskt område som en stad eller region vilket är vanligast (135 artiklar hade ett lokalt eller regionalt fokus). Nämnvärt är att datorstödet i sig inte är i fokus i urvalet utan presenteras väldigt kortfattat, vilket också gör att relationen mellan specifikt datorstöd och databehov är inte kan bedömas från vårt urval.

4.4 Databehov och databaser

4.4.1 Överblick

Omkring hälften av de undersökta artiklarna använder sig av olika typer av offentliga data och statistiker, exempelvis från kommunala, regionala eller nationella databaser eller webbsidor. Typiska exempel är census data, historiska och prognosticerade väderdata, seismiska data, utsläppsdata, transportstatistik, OpenStreetMap och GIS-data.

Ett 20-tal av forskningsartiklarna använder sig av en mängd olika datakällor för att komplettera data som saknas i offentliga datakällor eller förankrar studien i ett specifikt område. Exempel av datakällor är specifika och nationella riskkartor, registerdata, kriminalstatistik, globala indexmodeller, nätverksmodeller, statistik från operatörer av samhällsviktiga verksamheter, GPS data och enkäter, terrängmodeller, satellitbilder och dokumentationer av tidigare samhällsstörningar.

Cirka en femtedel av litteraturen koncentrerar sig på fallstudier som antingen samlar in egna data i ett specifikt forskningssammanhang, ofta på lokal nivå, eller använder sig av data från tidigare studier, delvis arkiverade i databaser som tillhandahålls och utvecklas av forskningsinstitut. Det omnämns befintliga datakällor som innehåller:

- Placeringen av varningssirener in Dublin, Ohio (Lei et al. 2014)
- Mycket allvarliga/stora olyckor i energisektorn sedan 1970-talet runt om i världen (Spada, Burgherr 2020)
- 95 seismiska händelser och 'shakemaps' från Palermo, Italien (D'Alessandro et al. 2019)
- 30-bus och 118-bus testfall av ett eldistributionsnätverk (Choi, Song 2020)
- Försörjning-användning (Input/output) tabeller (Galbusera, Giannopoulos 2018)
- Information kring specifika områden i vilka flera studeir har genomförts, t.ex.'Eco-Industrial Park Kalundborg' (Kuznetsova et al. 2017)
- Populära fallstudier, tex. Sioux Fall och Berlin Friedrichshain (Starita, Scaparra 2020)

- Resultat från ett tidigare utvecklingsprogram i Bangladesh som innehåller data om befolkningen, byggnadernas fotavtryck, vägnätverket och områden med begränsat tillgång samt vattenförekomster (Uddin, Warnitchai 2020).

En fjärdedel av studierna använder sig av expertutslagor, vilka i varierande grad utgör grunden för riskanalyser och förmågebedömningar samt diskussioner av framtida utvecklingar. Exempelvis genomfördes workshops, enkäter och intervjuer för att bedöma erfarenheter från tidigare samhällsstörningar, utveckla vädersscenarios eller analysera förhållanden i miljökritiska produktionsmiljöer såsom i produktionsanläggningar för koncentrerad svavelsyra (Hosseini et al. 2016a).

Några av forskningsartiklarna använder fiktiva scenarier för modellering och simulering av till exempel olika typer av störningar och samhällskatastrofer (t.ex. Jefferson, Johannes 2016). Andra genomför rollspel för att undersöka mänskligt beteende under extremväderförhållanden (Mahdavian et al. 2020) eller utvecklar beräkningsmodeller (t.ex. Chou, Ongkowijoyo 2019; Scheele et al. 2020).

En tiondedel av artiklarna använder inga data i bemärkelsen av kvantitativa eller semi-kvantitativa data för riskmodellering och -analys utan baserar diskussionerna på expertuppfattningar, beskrivningar av tidigare samhällsstörningar eller mer teoretiska utlägg.

Data från satellitövervakning har börjat ta plats i forskning i samband med samhällsstörningar och naturkatastrofer. Sex artiklar från urvalet diskuterar användningen av sådan typ av data. Utöver data från andra källor använder Hizbaron et al. (2018) satellitbilder för att undersöka terrängen kring Kelud-vulkanen. Satellitbaserade terrängbilder och GPS spårning användes också i fältstudien av Mossoux et al. (2019) för att simulera lavaflöden. För att upptäcka elavbrott i mer avlägsna områden jämför Molarius et al. (2015) nattbilder och efterlyser bättre upplösning på bilderna för att möjliggöra analyser på lokal nivå. Studien av Papatoma-Koehle et al. (2016) använder sig av satellitbild-baserade yttemperaturmätningar för att undersöka risk för värmeböljor i Rumänien. Andra studier använder satellitdata i huvudsak som komplement till GIS data, socio-ekonomisk statistik och topografiska databaser (Alizadeh et al. 2018; Kong et al. 2019). Därtill används luftövervakningsbilder för att triangulära kartografiska data (Kameshwar et al. 2019; Ogie et al. 2017) och laserscanning från luften för att bedöma terrängtillstånd och jordskred (Schlögl et al. 2019).

Nämnvärt är också enstaka studier som sticker ut med något mer ovanliga metoder och data från den undersökta litteraturmängden. Ett exempel är Roy et al. (2019) som använder sig av data från sociala medier, så som Twitter-data i samband med stormen Sandy eller jordbävningen på Bohol (Filippinerna), för att undersöka mobilitet under extrema väderhändelser. Författarna pekar ut behovet om tillgänglighet till omfattande data kring transportinfrastruktur och mobilitet. Ett annat exempel utgör studien av Mendonça et al. (2019) som applicerar ett historiskt perspektiv på samhällets resiliens genom att använda data från en enkät kring samhällseffekter till följd av en jordbävning som genomfördes 1755 i Lissabon

precis efter själva händelsen. Ett tredje exempel är ett fysiskt experiment av Williams et al. (2019) i vilket, utifrån erfarenheter från tidigare vulkanutbrott på nya Zeeland, basaltstenar från ett specifikt område sköts med hjälp av en vindkanon på takpannor för att undersöka effekten av vulkanaska och annat eruptionsmaterial på byggnader. Ett fjärde exempel tar hänsyn till kritisk infrastruktur som utgör ett unikt kulturellt värde och som är därmed relevant – inte bara för det kringliggande samhället – för både bidra till en kulturell identitet och också som förutsättning för utveckling av turistnäringen inom området. Mer konkret, Revez et al. (2019) undersöker hur väderhändelser påverkar ruinerna av Troja och hur en kostnadseffektiv skydd av sådant kulturhistoriskt värde kan åstadkommas. Vissa typer av data kan däremot vara problematiskt att samla in med hänsyn till dataskyddsregleringar som gäller inom Europeiska Unionen. Till exempel användes i studien av Zhu et al. (2020) RFID (Radio Frequency Identification) trafikdata från fordon som rör sig i trafiken. Problemet ligger i att *alla* fordon är tvungna att använda RFID teknologin för att möjliggöra en central trafikövervakning.

Sendai-ramverket för katastrofriskreducering har blivit omnämnd i tre av artiklarna (Revez et al. 2019; Tomaszewski et al. 2020; Zorn et al. 2020). Undersökningarna använder sig av öppna offentliga data och andra data-set från Tyskland, Nicaragua, Nya Zeeland, samt en fallstudie kring kulturarvet vid romerska ruiner i Tróia (Portugal). Det påpekas exempelvis att tillgänglighet till data och information är ett vanligt förekommande problem. Anledning till det är att data kan finnas hos en mängd olika aktörer, så som lokala myndigheter, infrastrukturägare, operatörer och tjänsteleverantörer. Det tyder på att ett stort behov ligger i att det etableras en överblick över var och hur data är tillgängliga och att data tillhandahålls i form och kvalitet som möjliggör en vidareanvändning även i framtida studier.

4.4.2 Datakällor

De flesta av de undersökta artiklarna beskriver insamling och analys av data. Vanligtvis fokuseras det mer på själva användningen och utveckling av det metodiska angreppssättet, varför data och datakällor som kom till användning inte alltid specificeras i detalj. Ofta refereras det i litteraturen till statistik, rapporter och data från offentliga aktörer inom den respektive kontexten. Det kan handla om en omfattande datainsamling från en rad olika källor inklusive databaser till mindre dataset, eller lokal datainsamling samt sekretessbelagt material.

I den här rapporten begränsas redovisningen på de mest frekvent förekommande databaser och datakällor som kan vara relevanta för kvantitativ eller semi-kvantitativ riskanalys inom området samhällsviktig verksamhet och kritisk infrastruktur. Tabell 5 presenterar de datakällor som användes i forskningslitteraturen som ingick i den här studien. Utöver datakällor indikeras också olika attribut; exempelvis huruvida det rör sig om en global, nationell, regional eller lokal datakälla, öppna data, luft- och satellitdata, registerdata, GIS och spatiala data, historiska händelser, klimat- och väderdata eller annat specifikt innehåll.

Tabell 5. Databaser

Datakälla	Global, Nationell, regional, lokal	Öppna data	Luft-/Satellitdata	Registerdata	GIS/Spatiala data	Historiska händelser	Klima-/Väderdata	Specifika data
OpenStreetMap ⁴	G	X	X		X			
FEMA - Federal Emergency Management Agency ⁵	N	X	X	X	X	X		X
U.S. Bureau of Economic Analysis ⁶	N	X		X				
US Census Bureau ⁷	N	X		X				
Census of the UK and Scotland ⁸	N	X		X				
Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) ⁹	G	X				X		X
Emergency Events Database EM-DAT ¹⁰	G	X	X		X	X		X
National Disaster Management Agency of Indonesia ¹¹	N					X		
Australian Government Department of Transport and Regional Services ¹²	N	X		X		X		
The World Bank and Queensland Reconstruction Authority ¹³	R	X		X	X	X		
National Register of Radio Frequencies (New Zealand) ¹⁴	N	X						X
Defense Meteorological Satellite Program platforms' Operational Linescan System, Visible Infrared Imaging Radiometer Suite on-board the National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System Preparatory Project platform ¹⁵	G	X	X		X			
Volusia County's Geographic Information Services branch ¹⁶ Florida Geographic Data Library ¹⁷	R	X			X			
Florida Department of Transportation ¹⁸	R	X	X	X	X			
Florida Bureau of Economic and Business ¹⁹	R	X		X				
Paul Scherrer Institute's ENergy-related Severe Accident Database (ENSAD) ²⁰	G					X		X
World Input-Output Database ²¹	G	X		X				
European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ²²	G	X	X				X	
National Centers for Environmental Prediction (NCEP) ²³	N	X	X				X	

⁴ www.openstreetmap.org

⁵ <https://www.fema.gov/about/openfema/data-sets>

⁶ <https://www.bea.gov/data>

⁷ <https://www.census.gov/data.html>

⁸ <https://www.scotlandscensus.gov.uk/ods-web/home.html>

⁹ <https://cve.mitre.org>

¹⁰ <https://www.emdat.be/>

¹¹ Enligt <https://www.preventionweb.net/organizations/5011>: <http://www.bnnpb.go.id/> (ingen respons)

¹² <https://www.bitre.gov.au/>

¹³ <https://www.qra.qld.gov.au/>

¹⁴ <https://www.rsm.govt.nz/>

¹⁵ <https://ghrc.nsstc.nasa.gov/hydro/#/? k=zjp0sv>

¹⁶ <https://www.volusia.org/services/business-services/information-technology/geographic-information-services/data/>

¹⁷ <https://www.fgdl.org/metadataexplorer/explorer.jsp>

¹⁸ <https://www.fdot.gov/agencyresources/mapsanddata.shtm>

¹⁹ <https://www.bibr.ufl.edu/>

²⁰ <https://www.ensad.ch/>

²¹ <http://www.wiod.org/home>

²² <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>

²³ <https://www.weather.gov/ncep/>

Datakälla	Global, Nationell, regional, lokal	Öppna data	Luft-/Satellitdata	Registerdata	GIS/Spatiala data	Historiska händelser	Klima-/Väderdata	Specifika data
National Centers for Environmental Information at NOAA ²⁴	G	X	X				X	
The Statistical Center of Iran ²⁵	N	X	X					
Ordnance Survey ²⁶	N		X	X	X			
British Geological Survey GeoSure landslide susceptibility data ²⁷	N	X	X		X			X
Dryad digital repositories ²⁸	G	X					X	X
New York City Taxi and Limousine Commission ²⁹	L							X
MONitoring of STRuctures of Strategic Public Buildings - MOSTspb ³⁰	L	X						X
LaMEVE - Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions ³¹	G	X			X	X		X
New Zealand, national baseline data on health, QoL, well-being, and emergency preparedness at the population level ³²	N	X	X					
Federal Office for the Environment (Schweiz) ³³	N	X	X		X		X	
Federal Office of Topography swisstopo (Schweiz) ³⁴	N	X	X		X	X		
Federal Office for Statistics (Schweiz) ³⁵	N	X	X		X			
HAZUS-MR3 database (FEMA) ³⁶	N	X	X	X	X	X		X
IEEE test cases ³⁷	L	X						
Pima County Regional Flood Control District - Alert Map website, (real-time rainfall and streamflow data) ³⁸	R	X	X		X		X	
UN Int Strategy for Disaster Reduction – The Global Assessment Report ³⁹	G	X	X		X			
Human Development Index ⁴⁰	G	X	X		X			
World Data Atlas ⁴¹	G	X	X	X	X	X	X	X
DesInventar – Disaster Information Management System ⁴²	G	X	X		X	X		
Cemaden (Brazil) meteorological monitoring system ⁴³	N	X	X		X		X	
Annual African Property and Construction Handbook ⁴⁴	N	X			X		X	X

²⁴ <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets>

²⁵ <https://www.amar.org.ir/english>

²⁶ <https://www.ordnancesurvey.co.uk/business-government>

²⁷ <https://www.bgs.ac.uk/>

²⁸ <http://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.8835> och

<https://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.15fv2>

²⁹ <https://www1.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page>

³⁰ <http://www.an.ingv.it/MOST>

³¹ <http://www.bgs.ac.uk/vogripa/>

³² <http://www.qolpro.org/qolother1.html> och <https://getinthepicture.org/resource/report-national-targets-and-baseline-data-new-zealand>

³³ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/state.html>

³⁴ <https://www.swisstopo.admin.ch/en/home/meta/supply-structure/freely-available.html>

³⁵ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home.html>

³⁶ <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus>

³⁷ http://motor.ece.iit.edu/data/JEAS_IEEE118.doc

³⁸ <https://alertmap.rfcd.pima.gov/gmap/gmap.html>

³⁹ <https://gar.undrr.org/>

⁴⁰ <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi>

⁴¹ <https://knoema.com/atlas>

⁴² <http://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp>

⁴³ <https://www.cemaden.gov.br/> [spanska]

⁴⁴ https://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2014/07/AEcom-ConstructionHandbookFinal_v2.pdf

Datakälla	Global, Nationell, regional, lokal	Öppna data	Luft-/Satellitdata	Registerdata	GIS/Spatiala data	Historiska händelser	Klima-/Väderdata	Specifika data
Cool Roofs and Cool Pavements Toolkit & Guide ⁴⁵								
NASA Shuttle Radar Topography Mission project website ⁴⁶	G	X	X		X		X	
NASA Earth Science Data ⁴⁷		X	X		X		X	
CSIR [Council of Scientific Industrial Research] repositories ⁴⁸	N	X	X					
Survey of Tanzania's Geological and Mineral Information System ⁴⁹	N		X		X			
World Soil Information data ⁵⁰	G	X	X		X			X
Online Tidal Prediction data ⁵¹	G	X	X				X	
NASA Tropical Rainfall Measuring Mission (data processing ended) ⁵²	G	X	X				X	
NOAA – Bathymetry Digital Elevation Model och data ⁵³	G	X	X		X			
US Geological Survey website ⁵⁴	N	X	X			X		
Instituto Geográfico Nacional ⁵⁵	N	X	X			X		
University of Wyoming, Dept of Atmospheric Science ⁵⁶	N	X					X	
Inventory of New York City's Greenhouse Gas Emissions, 2016 ⁵⁷	L	X	X				X	
Korean Statistical Information Service ⁵⁸	N	X	X					
Korea Meteorological Administration Weather Data Service ⁵⁹	N	X					X	
Disaster management programme of the Government of Bangladesh ⁶⁰	N	X						X
New South Wales Road and Maritime Services database ⁶¹	R	X	X	X	X			X
Provincial Government of Lower Austria datasets ⁶²	R	X	X		X			
Ministry of Transportation and Communications, Taiwan ⁶³	N	X	X	X	X			
INSEE-National Institute of Statistics and Economic Studies, France ⁶⁴	N	X	X					
State Meteorological Agency (AEMET), Spain ⁶⁵	N	X					X	
Earth System Grid Federation ⁶⁶ [software/platform/simulations]	G	X						X
ECMWF- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ⁶⁷	G	X	X				X	

⁴⁵ https://coolrooftoolkit.org/wp-content/pdfs/CoolRoofToolkit_Full.pdf

⁴⁶ <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

⁴⁷ <https://eospso.nasa.gov/content/nasa-earth-science-data>

⁴⁸ <https://www.csir.res.in/knowledge-resource-center/knowledge-repositories>

⁴⁹ <https://www.gmis-tanzania.com/>

⁵⁰ <http://www.soilgrids.org/>

⁵¹ <http://tides.biq.go.id>

⁵² <https://trmm.gsfc.nasa.gov>

⁵³ <https://catalog.data.gov/dataset/bathymetry-digital-elevation-model>

⁵⁴ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

⁵⁵ <https://www.ign.gob.ar/> [spanska]

⁵⁶ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

⁵⁷ https://www1.nyc.gov/assets/sustainability/downloads/pdf/publications/NYC_GHG_Inventory_2014.pdf

⁵⁸ <https://kosis.kr/eng/index/index.do>

⁵⁹ <https://data.kma.go.kr/resources/html/en/ncdci.html>

⁶⁰ https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/poverty-reduction/supporting_transformationalchange/Bangladesh-drr-casestudy-transformational-change/ [case study]

⁶¹ <https://www.rms.nsw.gov.au/about/corporate-publications/statistics/index.html>

⁶² <https://www.geoland.at/geonetwork/srv/eng/main.home>

⁶³ <https://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100&funid=emenu>

⁶⁴ <https://www.insee.fr/en/accueil>

⁶⁵ <http://www.aemet.es/en/serviciosclimaticos>

⁶⁶ <https://esgf.llnl.gov/>

⁶⁷ <https://www.ecmwf.int/>

Datakälla	Global, Nationell, regional, lokal	Öppna data	Luft-/Satellitdata	Registerdata	GIS/Spatiala data	Historiska händelser	Klima-/Väderdata	Specifika data
Global Risk Data Platform ⁶⁸	G	X	X		X			
Department of Homeland Security - National Bridge Inventory ⁶⁹	N	X			X			X
US Census Bureau (TIGER geodatabases) ⁷⁰	N	X	X		X			
UK Power network data ⁷¹	N	X						X
Government of Canada - CanVec, Topographic Data ⁷²	N	X			X			
NOAA - Cyclone intensity and frequency data ⁷³	N	X					X	
USGS Global Visualization Viewer ⁷⁴	G	X	X		X			
JAXA-Japan Aerospace Exploration Agency ⁷⁵	G	X	X				X	
EURO-CORDEX ⁷⁶	G	X			X		X	
Copernicus CORINE Land Cover inventory ⁷⁷	G	X	X		X			
NOAA - Historical hurricane data ⁷⁸	G	X	X				X	
National Wild and Scenic River System ⁷⁹	N	X			X			

Sammanfattningsvis kan sägas att alla studier som publiceras behöver på något sätt förhålla sig till data, antingen genom att välja eller anpassa en lämplig metod till den typen av data som forskarna kan få tillgång till eller så samlas data in från olika källor. Datainsamlingen inkluderar då både rådata från databaser, register, dokument, tidigare studier och egna mätningar och undersökningar. Därtill används också redan bearbetade data, så kallad sekundärdata, och uppskattningar eller estimerade data för att fylla luckor i tillgång till eller kvalitén av data. Många artiklar uttrycker att det saknas data för specifika analyser, att detaljgraden är olämplig, att data är ofullständiga och svår att hitta samt att de inte är tillgängliga eller ens samlas in på grund av sekretessfrågor när det gäller sårbarheter i samhället och samhällsviktiga verksamheter.

De flesta av de undersökta datakällorna erbjuder någon form av öppen tillgång till data, även om tillgång till detaljer kan vara reglerat eller förknippat med en inloggning eller kostnad. Att analysera varje databas i med en mer omfattande detaljrikedom skulle dock kräva mer tid än vad som fanns till förfogande till den här studien. En sådan analys kunde också evaluera om och i vilken utsträckning data och databaser uppfyller de specifikationer som anges i UNISDR (2017).

⁶⁸ <https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=home&lang=eng>

⁶⁹ <https://catalog.data.gov/dataset/national-bridge-inventory-nbi-bridges>

⁷⁰ <https://www.census.gov/geographies/mapping-files/time-series/geo/tiger-geodatabase-file.html>

⁷¹ <https://innovation.ukpowernetworks.co.uk/open-data/>

⁷² <https://open.canada.ca/data/en/dataset/8ba2aa2a-7bb9-4448-b4d7-f164409fe056>

⁷³ <https://www.coast.noaa.gov/>

⁷⁴ <https://glovis.usgs.gov/>

⁷⁵ <https://www.eorc.jaxa.jp/en/index.html>

⁷⁶ <https://euro-cordex.net/060378/index.php.en>

⁷⁷ <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

⁷⁸ <https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=4/32/-80>

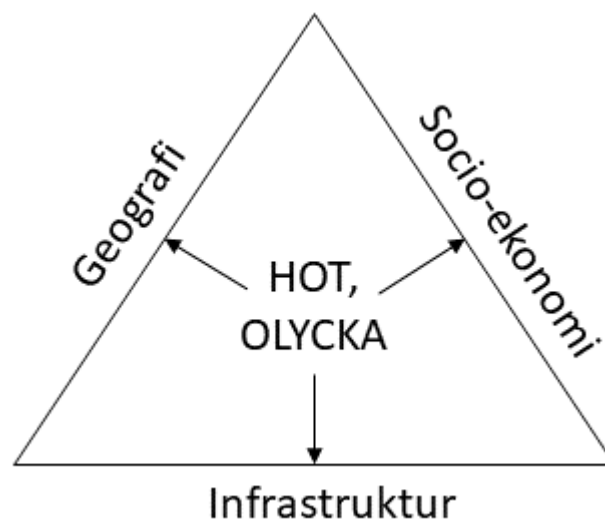
⁷⁹ <https://www.rivers.gov/mapping-gis.php>

5 Diskussion

När det gäller data relaterat till stora olyckor så förfaller det som att data som beskriver skeenden och konsekvenser av historiska händelser har ett stort värde i tillämpningar av formella systemanalytiska metoder. Dock, databaser som till exempel FN:s DesInventar som loggar ”händelser” i form av startdatum, slutdatum, typ av händelse, övergripande vilken region eller stad som drabbades samt eventuella handlingar utförda av myndigheter är inte allena särskilt värdefulla för de artiklar som ingått i litteraturstudien.

Om en databas ska utgöra en värdefull källa för tillämpningar av formell riskanalys eller systemanalys i syfte att utreda samhällelig risk, sårbarhet och resiliens rörande kritisk infrastruktur i händelse av stora olyckor kan vi se att tillämpningarna typiskt söker efter data som underlag för att konstruera möjliga scenarier eller konsekvenser. Dessa scenarier definieras typiskt från tre huvudsakliga dimensioner, geografiskt område och markegenskaper, socio-ekonomi för detta område och infrastruktur i detta område. Data omfattar då dels GIS-data som kan beskriva vilket geografiskt område som påverkas av en händelse samt data rörande topologi (såsom lutning, vattenansamlingspotential), egendomar och infrastruktur inom detta område (såsom hus, vägar och företagsverksamhet och deras funktioner) samt socio-ekonomiska data för detta område (såsom demografi, inkomster och förmågor som populationen besitter). Den generella utgångspunkten för en typisk artikel i urvalet är att dessa tre dimensioner ger tre ”grupper” av data som representerar tillståndet i en region. En systemanalytisk metod ska då ge insikt i hur det tillståndet påverkas av en yttre händelse som en stor olycka, och i vissa fall även värdera hur mycket det tillståndet påverkas negativt för att prioritera mellan åtgärder som minskar risk och sårbarhet. Denna utgångspunkt illustreras i Figur 3.

Figur 3. Tre huvudsakliga dimensioner vilka leder till motsvarande grupper av datakällor som är nödvändiga för scenariomodellering i en typisk artikel från urvalet, där ett scenario innebär hur en olycka påverkar dessa tre dimensioner.



Denna uppsättning av data är inte i någon av artiklarna i urvalet komplett och samlad i en och samma databas, vilket leder till att det av olika skäl inte finns databaser tillgängliga för forskarna med ett explicit syfte att stödja den typ av analys som görs i urvalet. Detta lyfts dock inte fram som ett utpekad problem av författarna i urvalet då de inte systematiskt genomför sina analyser i en verksamhet utan demonstrerar en tillämpning vid ett tillfälle. Däremot, för en mer systematisk tillämpning av de metoder som tillämpas i urvalet kommer datainsamling för formella risk- och sårbarhetsanalyser kopplat till kritisk infrastruktur att vara mycket resurskrävande om det inte finns kunskap om hur dessa dimensioner representeras som data samt var den eventuellt är tillgänglig. Det viktiga för att kunna utföra analyser av det slag som urvalet representerar är däremot inte att datan är samlad på ett ställe, utan att den underhålls och att de med behov har kännedom om den och kontrollerat kan nyttja den. Det är helt enkelt samma egenskaper på datakvalitet som alla datalager har där datan kommer att ligga till grund för beslutsunderlag vare sig det körs analyser på den eller inte; att datan är tillgänglig, tillräcklig (för ett ändamål som bör vara klarlagt), korrekt och finns över tid.

Rörande målgrupp och avnämare av de tillämpningar som studeras i urvalet finner vi att en stor majoritet har ett lokalt eller regionalt fokus, och i de fall där avnämare i praktiken nämns så pekars risk- och sårbarhetsanalytiker inom lokal eller regional planering ut som de typiska avnämarna. Det innebär då att risk- och sårbarhetsanalytiker på kommunal och regional nivå bör ha tillgång till data. En intressant följdfråga är då med vilka medel och verktyg dessa avnämare ska jobba. Utöver att själva datan nu är fördelad över flera databaser så är själva datorstödet för analys i de allra flesta fall modeller skapade i en generell modellerings- eller programmeringsmiljö. Det ställer då krav på avnämarna att de har tillgång till sådan kompetens som kan hantera sådana miljöer, det vill säga relativt avancerade kunskaper i modellering för kvantitativ riskanalys i kombination med kunskap i handhavande av geografiska informationssystem. Ett alternativ är att framhålla en standarduppsättning med färdiga verktyg av SP-typ enligt definitionen i denna rapport, vilket ser ut att vara en väg som FEMA har gått. För att öka kompetensen i generell modellering så är en väg framåt ett mer utvecklat samarbete med lärosäten som har lärarlag som besitter denna typ av kunskap, i kombination med att inspireras av FEMAs onlinekurser i Hazus-MH.

Källförteckning

Alizadeh, M.; Ngah, I.; Hashim, M.; Pradhan, B.; Pour, A. B. (2018): A Hybrid Analytic Network Process and Artificial Neural Network (ANP-ANN) model for urban Earthquake vulnerability assessment. In *Remote Sensing* 10 (6). DOI: 10.3390/rs10060975.

Aven, Terje (2012): Foundations of risk analysis. Chichester: Wiley.

Badiru, Adedeji Bodunde; Thomas, Marlin U. (2009): Handbook of military industrial engineering. Boca Raton: CRC Press (Industrial innovation series).

Bier, Vicki M.; Ferson, Scott; Haimes, Yacov Y.; Lambert, James H.; Small, Mitchell J. (2004): Risk of Extreme and Rare Events. Lessons from a Selection of Approaches. In Timothy McDaniels, Mitchell J. Small (Eds.): Risk analysis and society. An interdisciplinary characterization of the field. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 74–118.

Choi, E.; Song, J. (2020): Cost-effective retrofits of power grids based on critical cascading failure scenarios identified by multi-group non-dominated sorting genetic algorithm. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 49. DOI: 10.1016/j.ijdr.2020.101640.

Chou, J.-S.; Ongkowijoyo, C. S. (2019): Hybrid decision-making method for assessing interdependency and priority of critical infrastructure. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 39. DOI: 10.1016/j.ijdr.2019.101134.

Comes, Tina; Wijngaards, Niek; van de Walle, Bartel (2015): Exploring the future. Runtime scenario selection for complex and time-bound decisions. In *Technological Forecasting and Social Change* 97 (1), pp. 29–46. DOI: 10.1016/j.techfore.2014.03.009.

Crowther, K. G. (2010): Risk-informed assessment of regional preparedness. A case study of emergency potable water for hurricane response in Southeast Virginia. In *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 3 (2), pp. 83–98. DOI: 10.1016/j.ijcip.2010.03.001.

D'Alessandro, A.; Costanzo, A.; Ladina, C.; Buongiorno, F.; Cattaneo, M.; Falcone, S. et al. (2019): Urban Seismic Networks, Structural Health and Cultural Heritage Monitoring. The National Earthquakes Observatory (INGV, Italy) Experience. In *Frontiers in Built Environment* 5. DOI: 10.3389/fbuil.2019.00127.

Eisenführ, Franz; Weber, Martin; Langer, Thomas (2010): Rational Decision Making. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Evans, James R.; Olson, David L. (2002): Introduction to simulation and risk analysis. 2nd ed. Upper Saddle River: Pearson Education.
- Fluixá-Sanmartín, J.; Morales-Torres, A.; Escuder-Bueno, I.; Paredes-Arquiola, J. (2019): Quantification of climate change impact on dam failure risk under hydrological scenarios. A case study from a Spanish dam. In *Natural Hazards and Earth System Sciences* 19 (10), pp. 2117–2139. DOI: 10.5194/nhess-19-2117-2019.
- Galbusera, L.; Giannopoulos, G. (2018): On input-output economic models in disaster impact assessment. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 30, pp. 186–198. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.04.030.
- He, Xian; Cha, Eun Jeong (2020): Modeling the damage and recovery of interdependent civil infrastructure network using Dynamic Integrated Network model. In *Sustainable and Resilient Infrastructure* 5 (3), pp. 152–167. DOI: 10.1080/23789689.2018.1448662.
- Hizbaron, D. R.; Hadmoko, D. S.; Mei, E.T.W.; Murti, S. H.; Laksani, M.R.T.; Tiyanasyah, A. F. et al. (2018): Towards measurable resilience. Mapping the vulnerability of at-risk community at Kelud Volcano, Indonesia. In *Applied Geography* 97, pp. 212–227. DOI: 10.1016/j.apgeog.2018.06.012.
- Hosseini, S.; Al Khaled, A.; Sarder, M. D. (2016a): A general framework for assessing system resilience using Bayesian networks. A case study of sulfuric acid manufacturer. In *Journal of Manufacturing Systems* 41, pp. 211–227. DOI: 10.1016/j.jmsy.2016.09.006.
- Hosseini, Seyedmohsen; Barker, Kash; Ramirez-Marquez, Jose E. (2016b): A review of definitions and measures of system resilience. In *Reliability Engineering & System Safety* 145 (12), pp. 47–61. DOI: 10.1016/j.ress.2015.08.006.
- Huff, Johnathon; Medal, Hugh; Griendling, Kelly (2019): A model-based systems engineering approach to critical infrastructure vulnerability assessment and decision analysis. In *Systems Engineering* 22 (2), pp. 114–133. DOI: 10.1002/sys.21460.
- Jefferson, T. L.; Johannes, T. W. (2016): Using geographic information systems to support decision making in disaster response. In *Intelligent Decision Technologies* 10 (2), pp. 193–207. DOI: 10.3233/IDT-160255.
- Kameshwar, S.; Cox, D. T.; Barbosa, A. R.; Farokhnia, K.; Park, H.; Alam, M. S.; van de Lindt, J. W. (2019): Probabilistic decision-support framework for community resilience. Incorporating multi-hazards, infrastructure interdependencies, and resilience goals in a Bayesian network. In *Reliability Engineering and System Safety* 191. DOI: 10.1016/j.ress.2019.106568.
- Kaplan, Stanley (1997): The words of risk analysis. In *Risk Analysis* 17, pp. 407–417.

Kaplan, Stanley; Garrick, B. John (1981): On the quantitative definition of risk. In *Risk Analysis* 1 (1), pp. 11–28.

Kim, J.; Deshmukh, A.; Hastak, M. (2018): A framework for assessing the resilience of a disaster debris management system. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 28, pp. 674–687. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.01.028.

Kong, J.; Simonovic, S. P.; Zhang, C. (2019): Sequential Hazards Resilience of Interdependent Infrastructure System. A Case Study of Greater Toronto Area Energy Infrastructure System. In *Risk Analysis* 39 (5), pp. 1141–1168. DOI: 10.1111/risa.13222.

Kuznetsova, E.; Louhichi, R.; Zio, E.; Farel, R. (2017): Input-output Inoperability Model for the risk analysis of eco-industrial parks. In *Journal of Cleaner Production* 164, pp. 779–792. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.250.

Lei, Ting L.; Tong, Daoqin; Church, Richard L. (2014): Designing Robust Coverage Systems. A Maximal Covering Model with Geographically Varying Failure Probabilities. In *Annals of the Association of American Geographers* 104 (5), pp. 922–938. DOI: 10.1080/00045608.2014.923722.

Lopez, Javier; Setola, Roberto; Wolthusen, Stephen (Eds.) (2012): Critical Infrastructure Protection. Information Infrastructure Models, Analysis, and Defense. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science).

Lu, Q.-C.; Peng, Z.-R.; Zhang, J. (2015): Identification and prioritization of critical transportation infrastructure. Case study of coastal flooding. In *Journal of Transportation Engineering* 141 (3). DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000743.

Mahdavian, F.; Platt, S.; Wiens, M.; Klein, M.; Schultmann, F. (2020): Communication blackouts in power outages. Findings from scenario exercises in Germany and France. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 46. DOI: 10.1016/j.ijdr.2020.101628.

Mendonça, D.; Amorim, I.; Kagohara, M. (2019): An historical perspective on community resilience. The case of the 1755 Lisbon Earthquake. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 34, pp. 363–374. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.12.006.

Molarius, R.; Tuomaala, P.; Piira, K.; Rönkkö, M.; Anen, M.; Aubrecht, C.; Polese, M. et al. (2015): A framework for comprehensive impact assessment in the case of an extreme winter scenario, considering integrative aspects of systemic vulnerability and resilience. In *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences* 109 (2), pp. 131–158.

Mossoux, S.; Kervyn, M.; Canters, F. (2019): Assessing the impact of road segment obstruction on accessibility of critical services in case of a hazard. In

Natural Hazards and Earth System Sciences 19 (6), pp. 1251–1263. DOI: 10.5194/nhess-19-1251-2019.

MSB (Swedish Civil Contingencies Agency) (2011): Skydd av samhällsviktig verksamhet. DNr 2010-4547. Swedish Emergency Management Agency. Retrieved from https://www.msb.se/Upload/Om%20MSB/Organisation_uppdrag/Nationell%20strategi%20of%20C3%B6r%20skydd%20av%20samh%C3%A4llsviktig%20verksamhet.pdf.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) (2020): Uppdaterad definition samhällsviktig verksamhet. MSB 2020-11275. Stockholm.

Münzberg, T.; Wiens, M.; Schultmann, F. (2017): A spatial-temporal vulnerability assessment to support the building of community resilience against power outage impacts. In *Technological Forecasting and Social Change* 121, pp. 99–118. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.11.027.

Ogie, R. I.; Dunn, S.; Holderness, T.; Turpin, E. (2017): Assessing the vulnerability of pumping stations to trash blockage in coastal mega-cities of developing nations. In *Sustainable Cities and Society* 28, pp. 53–66. DOI: 10.1016/j.scs.2016.08.022.

Papathoma-Koehle, M.; Promper, C.; Bojariu, R.; Cica, R.; Sik, A.; Perge, K. et al. (2016): A common methodology for risk assessment and mapping for south-east Europe. An application for heat wave risk in Romania. In *Natural Hazards* 82, pp. 89–109. DOI: 10.1007/s11069-016-2291-3.

Peeters, Marieke M. M.; van Diggelen, Jurriaan; van den Bosch, Karel; Bronkhorst, Adelbert; Neerinx, Mark A.; Schraagen, Jan Maarten; Raaijmakers, Stephan (2021): Hybrid collective intelligence in a human–AI society. In *AI & SOCIETY* 36 (1), pp. 217–238. DOI: 10.1007/s00146-020-01005-y.

Revez, M. J.; Coghi, P.; Rodrigues, J. D.; Vaz Pinto, I. (2019): Analysing the Cost-Effectiveness of Heritage Conservation Interventions. A Methodological Proposal within Project STORM. In *International Journal of Architectural Heritage*. DOI: 10.1080/15583058.2019.1665141.

Roy, K. C.; Cebrian, M.; Hasan, S. (2019): Quantifying human mobility resilience to extreme events using geo-located social media data. In *EPJ Data Science* 8 (1). DOI: 10.1140/epjds/s13688-019-0196-6.

Scheele, F.; Wilson, T.; Lane, E. M.; Crowley, K.; Hughes, M. W.; Davies, T. et al. (2020): Modelling residential habitability and human displacement for tsunami scenarios in Christchurch, New Zealand. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 43. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2019.101403.

Schlögl, M.; Richter, G.; Avian, M.; Thaler, T.; Heiss, G.; Lenz, G.; Fuchs, S. (2019): On the nexus between landslide susceptibility and transport

- infrastructure - An agent-based approach. In *Natural Hazards and Earth System Sciences* 19 (1), pp. 201–219. DOI: 10.5194/nhess-19-201-2019.
- Spada, M.; Burgherr, P. (2020): Comparative risk assessment for fossil energy chains using Bayesian model averaging. In *Energies* 13 (2). DOI: 10.3390/en13020295.
- Starita, S.; Scaparra, M. P. (2020): Assessing road network vulnerability. A user equilibrium interdiction model. In *Journal of the Operational Research Society*. DOI: 10.1080/01605682.2020.1740621.
- Tomaszewski, B. M.; Moore, E. A.; Parnell, K.; Leader, A. M.; Armington, W. R.; Aponte, O. et al. (2020): Developing a geographic information capacity (GIC) profile for disaster risk management under United Nations framework commitments. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 47. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2020.101638.
- Uddin, M. S.; Warnitchai, P. (2020): Decision support for infrastructure planning. A comprehensive location allocation model for fire station in complex urban system. In *Natural Hazards* 102 (3), pp. 1475–1496. DOI: 10.1007/s11069-020-03981-2.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDDR) (2019): Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) (2015): Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030. Geneva, Switzerland.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) (2017): Technical Guidance for Monitoring and Reporting on Progress in Achieving the Global Targets of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. Collection of Technical Notes on Data and Methodology.
- Wilkinson, Mark D.; Dumontier, Michel; Aalbersberg, I. J.; Brandt, Jan; Appleton, Gabrielle; Axton, Myles; Baak, Arie et al. (2016): The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. In *Scientific data* 3, p. 160018. DOI: 10.1038/sdata.2016.18.
- Williams, G. T.; Kennedy, B. M.; Lallemand, D.; Wilson, T. M.; Allen, N.; Scott, A.; Jenkins, S. F. (2019): Tephra cushioning of ballistic impacts. Quantifying building vulnerability through pneumatic cannon experiments and multiple fragility curve fitting approaches. In *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 388. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2019.106711.
- Yang, Y.; Ng, S. T.; Zhou, S.; Xu, F. J.; Li, D.; Li, H. (2020): A federated pre-event community resilience approach for assessing physical and social sub-systems. An extreme rainfall case in Hong Kong. In *Sustainable Cities and Society* 52. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101859.

Zhu, C.; Wu, J.; Liu, M.; Luan, J.; Li, T.; Hu, K. (2020): Cyber-physical resilience modelling and assessment of urban roadway system interrupted by rainfall. In *Reliability Engineering and System Safety* 204. DOI: 10.1016/j.ress.2020.107095.

Zorn, C.; Pant, R.; Thacker, S.; Shamseldin, A. Y. (2020): Evaluating the magnitude and spatial extent of disruptions across interdependent national infrastructure networks. In *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering* 6 (2). DOI: 10.1115/1.4046327.



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap