



Försvarshögskolan

Försörjningsberedskap för livsmedel, dricksvatten, energi och transporter och dess motståndskraft mot klimatrelaterade extremer

- En kunskapsöversikt

Frederike Albrecht, Jenni Koivisto, Claudia Teutschbein





Försvarshögskolan



Försörjningsberedskap för livsmedel, dricks- vatten, energi och transporter och dess mot- ståndskraft mot klimatrelaterade extremer – en kunskapsöversikt

Frederike Albrecht, Jenni Koivisto, Claudia Teutschbein

Frederike Albrecht
Statsvetenskapliga institutionen, Försvarshögskolan
Centre of Natural Hazards & Disaster Science
<https://orcid.org/0000-0001-7546-6110>

Jenni Koivisto,
Institutionen för samhälls- och kulturvetenskap, Karlstad universitet
Centre of Natural Hazards & Disaster Science
<https://orcid.org/0000-0002-5514-8374>

Claudia Teutschbein,
Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet
Centre of Natural Hazards & Disaster Science
<https://orcid.org/0000-0002-3344-2468>

SWEDISH DEFENCE UNIVERSITY REPORT SERIES 2025:1

Omslagsfoto: iStock.com/ Sophie Debove

Utgivare Försvarshögskolan
Utgivningsår 2025
ISBN 978-91-88975-56-0
ISSN 2004-7894
DOI <https://doi.org/10.62061/tzxi9045>

© författarna
Den här rapporten är licensierad enligt Creative Commons CC-BY-ND 4.0 international
För fullständiga villkor se <https://www.creativecommons.org>
Försvarshögskolan
Box 278 05
115 93 Stockholm
www.fhs.se

Sammanfattning

Denna kunskapsöversikt kartlägger befintlig forskning om försörjningsberedskap för livsmedel, dricksvatten, energi och transport i relation till klimatextremer. Studien undersöker hur klimatrelaterade extremhändelser påverkar dessa försörjningssystem, vilka vetenskapliga modeller och metoder som har utvecklats och använts i tidigare studier, samt vilka behov och utmaningar som kvarstår för framtida forskning. Studien genomförs som en översiktsstudie (scoping review) baserad på en granskning av 140 vetenskapliga artiklar. Resultaten visar att samtliga undersökta sektorer är sårbara för störningar i försörjningskedjor till följd av extrema naturhändelser. Studien redogör för och exemplifierar hur dessa störningar kan uppstå och vilka konsekvenser de kan få inom de olika sektorerna. Försörjningsberedskapen utmanas särskilt av beroendekedjor, som kan finnas inom en sektor eller sträcka sig över flera sektorer. Därför finns ett stort behov av fortsatt forskning om klimatextremers kaskadeffekter som kan påverka försörjningsberedskapen. Mot bakgrund av den pågående klimatförändringen och den ökade risken för sammanlänkade kriser behövs därutöver mer forskning utifrån ett polykrisperspektiv. Översiktsstudien visar även att det finns ett behov att testa och vidareutveckla vetenskapliga modeller som är särskilt anpassade till nordiska förhållanden för att producera mer relevant data och kunskap för regionen.

Ämnesord: Försörjningsberedskap; klimatextremer; extrema väderhändelser; livsmedel; dricksvatten; energi; transport

Abstract

This literature review maps existing research on the security of supply for the food, drinking water, energy, and transport sectors in the context of climate extremes. The study examines how climate-related extreme weather impacts these supply systems, what scientific models and methods have been developed and applied in previous research, and what challenges remain for future studies. This study is conducted as a scoping review based on an analysis of 140 scientific articles. The results show that supply chains in all examined sectors are vulnerable to disruptions directly or indirectly caused by extreme weather events. The study describes how climate extremes trigger such disruptions and outlines their potential short and long-term consequences. Existing interdependencies within and across multiple sectors pose a substantial challenge to the security of supply. Therefore, further research is needed on the cascading effects of climate extremes and their implications for preparedness for supply chain disruptions. As the climate continues to change, the risk for compound events – where two or more crises occur simultaneously or sequentially – is increasing. Addressing this risk requires additional research from a polycrisis perspective. Furthermore, the review highlights the importance of testing and further developing scientific models specifically adapted to Nordic contexts to generate more relevant data and knowledge for this region.

Keywords: security of supply; climate extremes; extreme weather events; food supply; drinking water supply; energy supply; transport

Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	6
1.1	Bakgrund och problembeskrivning	6
1.2	Syfte	7
1.3	Studiens avgränsningar och disposition	8
2	Metod	9
2.1	Översiktsstudie.....	9
2.2	Manuellt urval av relevanta forskningsstudier.....	10
2.3	Klassificering av innehållet i artiklarna.....	12
3	Resultat.....	13
3.1	Sektorsövergripande resultat.....	13
3.2	Sektorsspecifika resultat	14
3.2.1	Livsmedel	14
3.2.2	Transport	18
3.2.3	Energi.....	21
3.2.4	Dricksvatten	23
3.3	Komplexa beroenden och kaskadeffekter	24
3.3.1	Beroenden mellan sektorer	24
3.3.2	Kaskadeffekter av klimatextremer	26
3.4	Vetenskapliga metoder och modeller	27
3.4.1	Översikt över modellstudier	27
3.4.2	Modelltyper.....	31
3.4.3	Karaktärisering av klimatextremer	32
3.4.4	Kvantifiering av klimatextremers påverkan	33
3.5	Utmaningar och behov av framtida forskning	33
3.5.1	Kaskadeffekter och komplexa beroenden.....	33
3.5.2	Sammanlänkade händelser	34
3.5.3	Mer data och lämpliga modeller	34
3.5.4	Hushållens roll och inkludering i försörjningsberedskapen.....	36
4	Slutsatser	38
4.1	Sammanfattning av studiens resultat.....	38
4.2	Begränsningar.....	38
4.3	Studiens implikationer	39
	Referenser.....	40

1 Introduktion

1.1 Bakgrund och problembeskrivning

Torkan i Sverige år 2018 ledde till allvarliga skogsbränder runtom i landet och de fick mycket omfattande konsekvenser för jordbrukssektorn. Skördar minskade med upp till 50 % och fler djur slaktades oplanerat på grund av foderbrist, vilket slutligen resulterade i en brist på svenskt nötkött flera år senare (Grusson et al., 2021; Nälésén, 2021). Hösten 2024 drabbades Spanien av översvämningar efter skyfall som dödade över 200 människor, skadade många hus, vägar och jordbruksmark. Spanien är Europas största producent av citrusfrukter och exporterar även många sorters grönsaker. Omedelbart efter katastrofen ökade priserna på apelsiner med mer än 30 % i andra europeiska länder (Butler & Jones, 2024). I början av december 2024 skadade stormen Darragh hamnen Holyhead i Wales som är en viktig förbindelse mellan Wales och Irland. Skadorna var så omfattande att hamnen behövde hållas helt stängd i mer än en månad och hamnen väntas vara fullt återställd först under sommaren 2025. Störningen har lett till ökade transportkostnader och befaras leda till prisökningar även för konsumenter (O'Connor, 2025).

Vatten, energi och livsmedel är avgörande för människors välbefinnande, men de påverkas av en rad olika faktorer, däribland klimatförändringar och klimatrelaterade extremer eller naturkatastrofer. Vidare är livsmedelsförsörjningen beroende av energi och transportsektorn för att kunna producera, bearbeta, paketera och frakta råvaror och livsmedel innan de kan distribueras till butiker och bli tillgängliga för konsumenter. Livsmedelsförsörjningen kännetecknas på så sätt av komplexa beroenden mellan olika sektorer och när störningar sker i någon av dessa sektorer uppstår en sårbarhet.

Klimatrelaterade extremer, som väntas öka i antal och intensitet i samband med klimatförändringarna, medför en ökad risk för störningar gällande tillgången till rent dricksvatten, energi och livsmedel. Dessa störningar kan ske genom en direkt påverkan på en viss sektor, som till exempel när livsmedelsproduktionen störs av

torka som leder till dålig tillväxt bland grödor och minskad skörd. Störningar kan också uppstå till följd av befintliga beroendekedjor och kaskadeffekter, som till exempel när en översvämning stör energiförsörjningen till pumpning och rening av dricksvatten men även till produktion och bearbetning av livsmedel. Därför är försörjningsberedskapen för livsmedel och dricksvatten en sektorsöverskridande utmaning i samhället. Att kunna hantera denna utmaning kräver i sin tur att vi hanterar risker som orsakas av extrema väder samt förstår hur framtida klimatrelaterade naturkatastrofer kan förebyggas genom en motståndskraftig försörjningsberedskap inom berörda sektorer. För att stärka försörjningsberedskapen krävs därför dels en bättre förståelse för komplexa interaktioner och beroendekedjor mellan de berörda sektorerna men också för de vetenskapliga modeller som tar hänsyn till dessa sektorsöverskridande beroendekedjor.

För att kunna motstå klimatförändringarnas påverkan på försörjningen av livsmedel, dricksvatten, energi och transporter krävs också en ökad kunskap om forskningsläget gällande anpassnings- och utvecklingsbehovet av försörjningsberedskapen inom dessa sektorer, samt förhållandet mellan risker orsakade av extrema väderhändelser och sektorsöverskridande interaktioner och beroendekedjor (Stenérus Dover et al., 2019). Detta behov är särskilt stort då tidigare forskning visar att svenska kommuners beredskapsplaner för vissa klimatextremer såsom torka är markant underutvecklade då många kommuner prioriterar översvämningar i sin planering (Teutschbein et al., 2023). Samtidigt finns det kunskapsluckor i forskningsfronten gällande försörjningssäkerhet kopplat till naturkatastrofer och gällande vetenskaplig modellering av risker för försörjningsberedskapen (Johansson et al., 2017). Försörjning av livsmedel, dricksvatten, energi och transporter utgör en förutsättning för ett fungerande svenskt civilförsvaret. En försörjningsberedskap som förmår att motstå klimatrisker är därför inte enbart relevant för miljörelaterade kriser och katastrofer utan leder dessutom till att samhället blir bättre rustat för andra utmanande situationer under fredstida kriser, krigsfara eller krig. Därför står svenska myndigheter från lokal till nationell nivå och icke-statliga samhällsaktörer inför omfattande utmaningar för att kunna motstå och hantera fler klimatrelaterade extremhändelser.

1.2 Syfte

Syftet med denna kunskapsöversikt är att belysa forskningsfronten och identifiera kunskapsluckor inom försörjningsberedskap för livsmedel, dricksvatten, energiförsörjning och transporter i förändrade klimatförhållanden. Klimatförändringarna är synliga i Sverige genom såväl långsiktigt förändrade klimatförhållanden som extrema klimatrelaterade väderhändelser såsom översvämningar, torka, värmeböljor och stormar, vilka väntas öka i antal och intensitet i samband med klimatförändring-

arna. Klimatrelaterade extremer utgör ett särskilt stort hot i samband med klimatförändringar då de, till skillnad från långsiktigt ändrade klimatförhållanden, kan inträffa plötsligt med allvarliga och kraftiga konsekvenser för svenska samhället.

Vilka utmaningar och förutsättningar skapar klimatrelaterade extremer och naturkatastrofer för försörjningsberedskapen i Sverige? Denna kunskapsöversikt fokuserar på ett antal utvalda sektorer på grund av deras inbördes starka kopplingar och komplexa beroenden mellan varandra. Forskningsfrågor som kunskapsöversikten avser att besvara är:

- Vad säger forskningsfronten om påverkan från klimatrelaterade extremer med fokus på försörjningsberedskap inom sektorerna livsmedel, transport, energi och dricksvatten?
- Hur belyser forskningen möjliga störningar och komplexa beroenden mellan sektorerna livsmedel, transport, energi och dricksvatten för försörjningsberedskapen gällande klimatrelaterade extremer?
- Vilka vetenskapliga metoder och modeller används för att analysera klimatrelaterade extremers påverkan på försörjnings säkerhet inom de valda sektorerna och vilka begränsningar finns det i befintliga modeller?
- Vilka utmaningar och behov av framtida forskning finns det baserat på forskningsfronten inom området klimatrelaterade extremers påverkan på försörjningsberedskapen?

1.3 Studiens avgränsningar och disposition

Denna kunskapsöversikt är avgränsad till ett antal sektorer som har en särskilt stor risk att drabbas av störningar vid extrema klimatrelaterade händelser. Försörjning av livsmedel, dricksvatten, energi och transport är en grundförutsättning för civil beredskap. Denna försörjning riskerar samtidigt att drabbas av klimatrelaterade extremer då naturkatastrofer utgör en betydande risk för kritisk infrastruktur och livsmedelsproduktion. Inom energi- och transportsektorn kommer studien att lägga större vikt vid sårbarheter och beroendekedjor som även är relevanta för försörjningen av livsmedel. Denna avgränsning görs för att kunna analysera komplexa beroenden mellan de valda sektorerna mer ingående.

Studien består av tre huvuddelar. I sektion 2 beskriver vi hur vi samlat in och granskat material. Sektion 3 redogör utförligt för studiens resultat om klimatextremers påverkan på de valda sektorerna samt granskar vetenskapliga modeller i tidigare forskning. Sektionen avslutas med en diskussion kring utmaningar för framtida forskning. I studiens slutsatser reflekterar vi kort över studiens resultat, begränsningar och implikationer

2 Metod

2.1 Översiktsstudie

Det finns olika metoder för litteraturöversikter och tillvägagångssätten varierar beroende på syftet med en specifik översikt (Munn et al., 2018). Denna studie är en översiktsstudie (eng: scoping review) med en abduktiv explorativ ansats. Genomförandet av översiktsstudien beskrivs närmare i nästa avsnitt. Översiktsstudier har givits alltmer uppmärksamhet och har blivit ett viktigt alternativ när systematisk litteraturöversikt inte är lämplig. Metoden är särskilt användbar för att undersöka centrala koncept, begrepp, faktorer och kunskapsluckor som tidigare forskning har belyst (Arksey & O'Malley, 2005). Den abduktiva ansatsen innebär att undersökningsramverket utgår deduktivt från de valda sektorerna (livsmedel, dricksvatten, energiförsörjning och transporter) samt klimatrelaterade extremer. Därutöver tillämpar studien en induktiv aspekt genom en bred inramning av inkluderingskriterier i litteratursökningens första urvalfas. Syftet är att låta forskningsfronten påverka och forma de slutliga kategorierna och att identifiera kunskapsluckor inom försörjningsberedskap för livsmedel, dricksvatten, energiförsörjning och transporter i samband med klimatrelaterade extremhändelser.

En söksträng baserad på tidigare forskning togs fram och kompletterades av projektgruppen. Söksträngen fokuserar på tre aspekter som alla behöver vara uppfyllda för att artikeln ska inkluderas i sökresultatet: 1) en koppling till minst en av sektorerna livsmedel, dricksvatten, energi eller transport, 2) en koppling till klimatrelaterade extrema väderhändelser eller naturkatastrofer, och 3) en koppling till försörjningsproblem eller försörjningsberedskap. Detta resulterade i följande söks-träng som användes i studien:

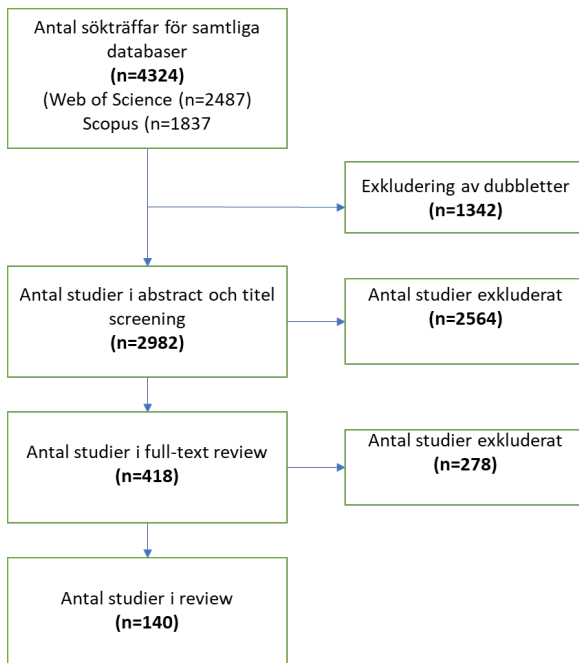
"food product*" OR "food securit*" OR "food system*" OR "food supply" OR "drinking water supply" OR transport* OR "energy supply" AND "climat* chang*" OR "climat* risk" OR "climat* variabilit*" OR "global warming" OR "extreme weather*" OR disaster* OR "natural hazard*" OR heatwave* OR "heavy rainfall" OR flood* OR storm* OR cyclone* OR drought* OR wildfire* OR bushfire* OR "forest fire*" AND "preparedness" OR "supply chain*" OR "supply resilience" OR "supply readiness" OR "security of supply".

Söksträngen användes i de vetenskapliga databaserna SCOPUS och Web of Science, som är de två största multidisciplinära databaser för referentgranskad vetenskaplig

litteratur som täcker natur- och samhällsvetenskap, medicin och teknik. Litteratursökningen begränsades till vetenskapliga forskningsartiklar (original research) och litteraturöversikter (review articles) som var referentgranskade och publicerade i vetenskapliga tidskrifter. Därutöver begränsades sökningen till engelskspråkiga publikationer mellan åren 2015-2025 (datum för sista sökningen: 15 januari 2025) som var klassificerade inom relevanta ämnesområden. Totalt resulterade denna sökning i 1837 artiklar från Scopus och 2487 artiklar från Web of Science, sammanlagt 4324 sökträffar.

2.2 Manuellt urval av relevanta forskningsstudier

Vi använde Covidence, en programvara för systematiska litteraturöversikter, för att genomföra översiktsstudien. Granskningen består av flera steg som presenteras i figur 1. Totalt exkluderades 1342 dubletter. En manuell granskning av titlar och sammanfattningar av totalt 2982 artiklar genomfördes. I detta steg användes inkluderings- och exkluderingskriterier för att säkerställa att det slutliga urvalet endast omfattade vetenskapliga artiklar som fokuserade på klimatrelaterade extremhändelser och deras påverkan på en av de valda sektorerna livsmedel, dricksvatten, energi och transporter.



Figur 1. Flödesschema över urvalsprocessen och antalet artiklar som valdes ut för analys.

Tabell 1 redogör för samtliga inkluderings- och exkluderingskriterier. Den manuella granskningen utifrån titlar och sammanfattningar resulterade i ett urval av 418 relevanta artiklar inför screening av hela artiklar i nästa steg. Forskarna samgranskade dessa 418 artiklar för att säkerställa överensstämmelse inom gruppen. Interbedömaröverensstämmelsen mellan granskare var 88,6 % mellan granskare A och B, 78,4 % mellan granskare B och C, och 71,4 % mellan granskare A och C. Artiklar som bedömdes olika diskuterades för att besluta gemensamt om de skulle inkluderas eller ej. På så sätt fastställdes ett slutligt urval av 140 artiklar för översiktsstudien.

Tabell 1. Inkluderings- och exkluderingskriterier

	Inkluderingskriterier	Exkluderingskriterier
Geografiska områden	Sverige, nordiska länder, Europa, Australien, Nordamerika, Japan (inga geografiska begränsningar för artiklar om vetenskapliga modeller)	Studier utanför det valda geografiska området.
Klimatrelaterade extremer	Klimatrelaterade extremer och katastrofer; extrema väderhändelser (översvämning, skyfall, torka, skogsbrand, storm)	Katastrofer och kriser som inte är relaterade till klimat eller väder (t.ex. jordbävning), COVID-19, krig
Resultat	Klimatextremers påverkan på försörjningsberedskapen; Störningar i leverantörskedjor på grund av extremväder; Vetenskaplig modellering för att analysera klimatextremers påverkan på försörjningsberedskap	Studier om extrema klimatrelaterade extremer som inte tar upp frågor som rör försörjning i de olika sektorerna; Störningar i försörjningskedjan som inte är relaterade till klimatrelaterade extremer
Typ av studier	Empiriska studier Review studier Tillämpad vetenskap Metodologiska studier	Teoretiska studier (utan empiri); Konceptuella studier (utan empiri)
Ämnesområde	Behandlar problematik relaterad till försörjning av livsmedel, dricksvatten, energi eller transport	Studier som inte behandlar dricksvatten, livsmedel, energi eller transport

2.3 Klassificering av innehållet i artiklarna

Totalt valdes 140 artiklar ut för analysen. För att kunna analysera litteraturen kategoriserades varje artikel utifrån ett antal teman. Använda teman och kategorier bygger dels på forskningsfrågorna kring 1) påverkan från klimatrelaterade extremer, 2) möjliga störningar och komplexa beroenden mellan sektorerna, 3) vetenskapliga metoder och modeller, samt 4) utmaningar och behov av framtida forskning, och dels på andra faktorer, såsom typen av klimatrelaterade extremer, det geografiska området och studietypen. Kategorierna formulerades på så sätt att ny information och nya kategorier som identifierades i texterna kunde läggas till utöver befintliga kategorier för att låta artikelinnehållet styra över det slutliga resultatet. Teman och kategorier är sammanställda i detalj i tabell 2. Varje artikel granskades i sin helhet baserat på kategorierna. Artiklar med fokus på vetenskapliga modeller och metoder granskades med ytterligare kategorier.

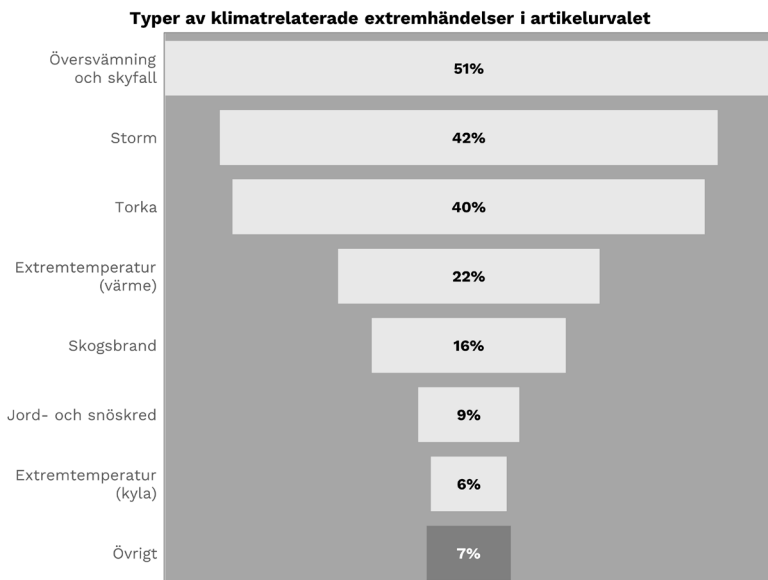
Tabell 2. Analyskategorier i översiktsstudien

Grundinformation	Bibliografisk information
	Geografiskt område av studien
	Studiens syfte
	Typ av studie
Sektor	Livsmedel, transport, energi, dricksvatten
	Sektorsspecifika subkategorier
Klimatrelaterade extremer	Typ av katastrof/extremväder/klimatrelaterad extremhändelse
	Komplexa händelser flera olika sammankopplade händelser
Påverkan på sektorer	Försörjningsproblem på grund av klimatrelaterat extremväder
	Beroenden mellan sektorer
	Kaskadeffekter av händelser
	Utmaningar för framtida forskning
	Övrigt (fritext)
Modellering	Forskningsdesign
	Tidsram
	Rumsliga omfattning
	Datakällor
	Modelldetaljer
	Typ av rumslig resolution
	Karakterisering av klimatextremer
	Typer av påverkan
Begränsningar och framtida forskningsbehov	

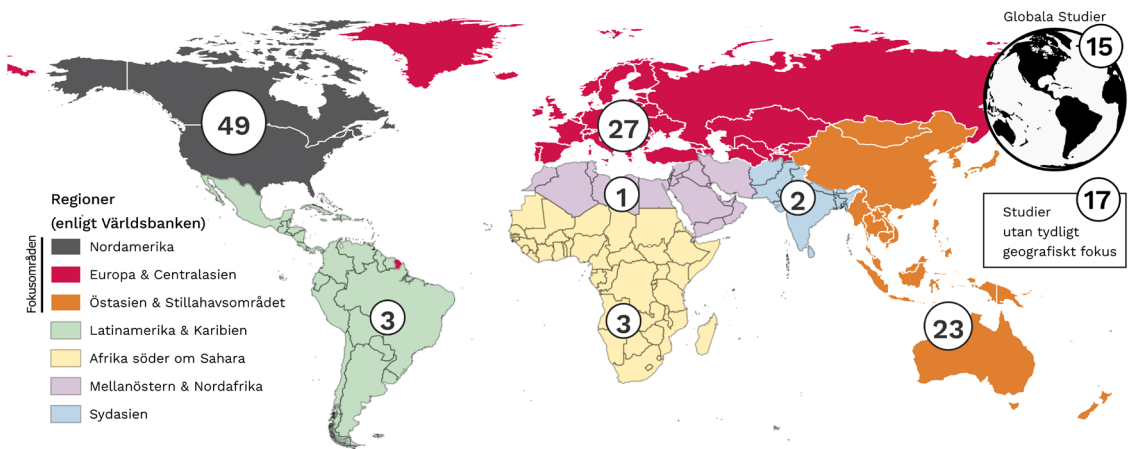
3 Resultat

3.1 Sektorsövergripande resultat

Översvämningar och skyfall behandlades i flest artiklar, följt av stormar och torka. Extremvärme och skogsbränder omnämndes i betydligt färre artiklar. Endast ett fåtal artiklar undersökte jord- och snöskred samt extrem kyla eller kraftigt snöfall. Figur 2 visar vilka olika typer av klimatrelaterade extremhändelser som behandlades i de studerade artiklarna. Utöver kategoriseringen av extremhändelser är det anmärkningsvärt att vissa typer förekom främst i samband med en eller två sektorer. Stormar behandlades främst i studier om transport och energi, medan torka oftast omnämndes i studier om livsmedel och dricksvatten. Översvämningar och extremvärme studerades däremot utifrån samtliga sektorer. Detta övergripande resultat kan givetvis vara ett tecken på att dessa extremhändelser är de mest relevanta för de motsvarande sektorerna, men denna fördelning kan även tyda på blinda fläckar i litteraturen som förbiser exempelvis stormars påverkan på livsmedelskedjan eller torkans effekt på transporter.



Figur 2. Typer av klimatrelaterade extremhändelser i artikelurvalet. Övrigt omfattar händelser utan vidare specifiering och väderextremer med kraftigt snöfall.



Figur 3. Geografisk spridning av studier.

Den geografiska fördelningen av studier visar att majoriteten av alla studier behandlade ett fall eller en kontext i Nordamerika, följt av studier i Europa och Stillahavsområdet (figur 3). Det låga antalet studier i övriga regioner beror delvis på det geografiska urval som tillämpas i denna litteraturoversikt (tabell 1). Det fanns även flera globala studier samt studier utan tydligt geografiskt fokus.

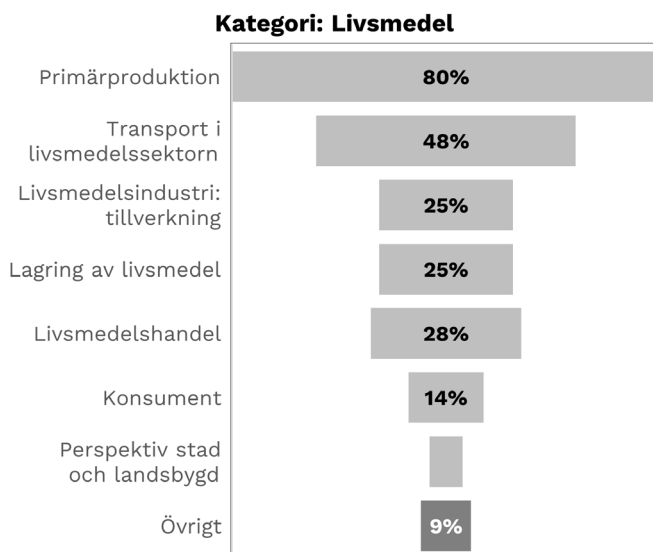
3.2 Sektorsspecifika resultat

3.2.1 Livsmedel

Livsmedelsförsörjningen kan påverkas både direkt och indirekt av klimatrelaterat extremväder. En direkt påverkan sker när extremväder hindrar primärproduktionen av livsmedel och en indirekt påverkan sker när extrema naturhändelser drabbar funktioner eller sektorer som aktörer i livsmedelskedjan är beroende av för att producera, frakta, tillverka, distribuera och sälja livsmedel. Extrema väderförhållanden har redan idag en stor påverkan på livsmedelsförsörjningen. Eftersom klimatrelaterade väderhändelser väntas öka i frekvens och intensitet i samband med klimatförändringarna är det centralt att anpassa livsmedelsförsörjningen till extremväder för att möjliggöra en motståndskraftig försörjningsberedskap (Jagtap et al., 2024).

Primärproduktion

Majoriteten av forskningsartiklarna i vår studie behandlade frågor kring primärproduktionen inom livsmedelssektorn (figur 4). Primärproduktion innefattar exempelvis odling av spannmål, grönsaker eller frukt. Det omfattar även djurhållning för



Figur 4. Teman i forskningsartiklar i kategorin livsmedel. N=64. *Övrigt* omfattar bland annat livsmedelssäkerhet, systemperspektiv på livsmedelssystemet och livsmedelshantering.

kött-, mjölk- eller äggproduktion. Särskilt sårbara är odlingar beroende av regn för bevattning och mindre jordbruksföretag med upp till 5 hektar åkermark, vilka snabbt drabbas ekonomiskt vid minskad skörd (Davis et al., 2021). I Sverige är mer än 90 % av jordbruket beroende av regn för att sin produktion (Grusson et al., 2021). Den mest frekventa påverkan av torka på primärproduktionen är minskad skörd. Torra markförhållanden och brist på regn kan drabba odlingar som är beroende av regn för bevattning hårt. Beroende på både allvarlighetsgraden och tidpunkten då torka drabbar området kan regnvattenberoende odlingar förlora hela eller delar av sin skörd (Berardy & Chester, 2017; Holman et al., 2021; Singh-Peterson & Lawrence, 2017). I andra fall minskar kvaliteten av skörden på grund av växters utseende, exempelvis vanlig skorv som drabbar potatis och andra rotfrukter betydligt lättare vid torra markförhållanden (Parajuli et al., 2019; Sutcliffe et al., 2021). Torka kan också påverka näringsvärden i olika växter, exempelvis genom att proteinhalten blir lägre (Mishra et al., 2021; Davis et al., 2021). Samhällen där jordbrukare använder bevattningsmetoder utan regnvatten drabbas också mer frekvent av torka, eftersom den tillåtna vattenmängden kan vara begränsad under torkperioder, och få har tillgång till egna vattenreservoarer som helt kan täcka deras behov (Sutcliffe et al., 2021).

Vattenbrist anses vara den främsta anledningen till minskade skördar inom jordbruket (Berardy & Chester, 2017). Torka påverkar alla typer av odlingar som spannmål, grönsaker och frukt (White et al., 2023; Zurek et al., 2020) och den har en särskilt allvarlig effekt när den sammankopplas med extremvärme (Tigchelaar et al.,

2025). Extremvärme kopplas därutöver till ökad risk av mykotoxinbildande mikrober vilket ökar risken för kontaminering av exempelvis vete med mykotoxiner i samband med värmeböljor. Detta utgör ett problem för livsmedelssäkerheten (Milićević et al., 2016; Milićević et al., 2020; Wang et al., 2022).

Extremvärme och torra förhållanden drabbar även boskapen. Studier visar en högre dödlighet hos boskap vid extremt torra och varma väderförhållanden (White et al., 2023; Windsor, 2021), samt att boskapens hälsa påverkas och att de blir mer benägna att drabbas av patogena mikroorganismer. Exempelvis medför extremvärme en ökad risk för juverinflammation (mastit) hos kor (Feliciano et al., 2020). Studier visar även att extremvärme leder till att mjölmängden avtar och att sammansättningen av mjölken ändras, vilket minskar halten av protein, kasein och fett, som i sin tur kan medföra problem vid ostproduktion (Davis et al., 2021; Feliciano et al., 2020). En minskad mjölkproduktion, som leder till minskad tillgång och försämrad kvalitet på mejeriprodukter, medför även en risk för otillräckligt näringsintag. Sveriges kalciumdiversitet i livsmedelsproduktionen är låg på grund av beroendet av boskap för att tillgodose befolkningens kalciumbehov (Tigchelaar et al., 2025). Torkans påverkan på djurfoder innebär även att inte tillräckligt med djurfoder kan produceras för att försörja boskapen, vilket leder till försäljning eller slakt av djur, vilket kan medföra långvariga földeffekter de kommande åren (Holman et al., 2021).

En studie om torka i Europa fastslår att den mest allvarliga effekten av torka i Sverige drabbar jordbruk och boskap, följt av brandrisken och påverkan på skogsbruk (Stahl et al., 2016). En global studie om extrema väderförhållanden sedan 1960-talet konstaterar att torra förhållanden påverkar bland annat samtliga sädeslag, potatis, sockerbeta, soja, ris och solros i ökande takt. Även våta förhållanden har drabbat odlingar allt oftare sedan 1960-talet, främst korn, havre och vete samt potatis och sockerbeta (Jackson et al., 2021). Översvämningar som drabbar åkermark kan skada eller förstöra odlingar och försämma jordkvaliteten samt drabba maskiner och byggnader som behövs för primärproduktionen (Feliciano et al., 2020; MacMahon et al., 2015; Umar et al., 2017).

Mikrobiologiska och kemiska kontamineringar i vattnet kan dessutom tas upp av växter från marken, vilket kan påverka livsmedelssäkerheten (Feliciano et al., 2020; Kirezieva et al., 2015). Översvämningar kan också öka risken för att indirekt påverka boskap i närheten av vattendrag som riskerar att förorenas eller kontamineras av bakterier och virus, såsom salmonella eller kolibakterier (Mao et al., 2021).

Betydligt färre studier behandlar effekten av stormar, markbränder och skogsbränder. Risken för förstörda odlingar, förlust av boskap och rökskadade livsmedel nämns som de främsta effekterna av markbränder och skogsbränder på primärproduktionen (Joines et al., 2024; Murphy et al., 2023). Hårda vindar medför främst risker för strömavbrott och avbrott i telekommunikation, vilket kan leda till problem med maskindrift och transporter av insatsvaror som primärproduktionen är beroende av (Marten & Atalan-Helicke, 2015).

Transport, tillverkning och förvaring av livsmedel

Klimatrelaterade extremhändelser kan orsaka livsmedelsbrister och minska tillgången till vissa livsmedel. Det kan hänga ihop med minskad primärproduktion, men det kan även bero på transportstörningar i samband med översvämningar, extremvärme eller stormar som leder till att vissa geografiska områden inte blir lika lättillgängliga, att transportvolymerna behöver minskas eller att alternativa transportvägar eller transportmedel behöver sättas in (Davis et al., 2021; Rojas-Reyes et al., 2024; Umar et al., 2017; se även sektion 3.2.2 Transport för en mer detaljerad beskrivning av transportsektorn).

Transport inom livsmedelssektorn är ett återkommande tema i forskningsartiklar. Detta inkluderar både livsmedelstransporter och transporter av insatsvaror som är nödvändiga för livsmedelsproduktionen. Strömavbrott till följd av extrema naturhändelser kan också medföra problem för transport, tillverkning och livsmedelshandel.

En minskad skörd och störningar i livsmedelstransporter kan också orsaka störningar i livsmedelsindustrin, som därmed kan producera mindre volymer livsmedel och drabbas ekonomiskt, vilket kan få konsekvenser för personalen (Yao et al., 2024; Zurek et al., 2020). Långsiktig förvaring av livsmedel kan försvåras av långa perioder med mycket regn eller extrem värme (Milićević et al., 2020; Umar et al., 2017), och förvaring av färskvaror som kräver kylning är särskilt sårbar vid extremvärme och i situationer där en väderhändelse har lett till strömavbrott (Marten & Atalhelicke, 2015; Perdana et al., 2022).

Livsmedelshandel och konsumenter

Eftersom "just-in-time"-leveranser har blivit allt vanligare inom livsmedelshandeln, leder störningar i livsmedelstransporter snabbt till direkta konsekvenser i butikerna (Fraser et al., 2015). En studie om stormar i USA visar att majoriteten av livsmedelsbutiker i drabbade områden hade begränsad tillgång till varor i upp till tio dagar (Rosenheim et al., 2024).

Samtidigt som livsmedelsbutiker saknar större lagerhållning, visar forskning att hushåll inte heller är väl förberedda på livsmedelsbrist. En studie från Tyskland visar att 88 % av befolkningen har mat hemma för minst tre dagar, men endast 17 % har tillräckligt för 14 dagar – vilket är det antal dagar tyska myndigheter rekommenderar. Studien visar också att personer som upplevt ett fem dagar långt strömavbrott inte blev mer benägna att förbättra sin livsmedelsberedskap (Gerhold et al., 2019).

Därutöver finns många exempel på extrema väderhändelser som utlöst panikköp, vilket ytterligare påskyndar att livsmedelsbutikers lager töms (MacMahon et al., 2015; Serra & Sanchez-Jauregui, 2022; Smith et al., 2016). Vilka produkter som tar slut först varierar. Efter översvämningar i Queensland, Australien, uppstod brist

på färskvaror som bröd, mjölk, frukt och grönsaker eftersom transportererna hindrades och vissa butiker tvingades stänga på grund av strömavbrott eller översvämningar (MacMahon et al., 2015; Smith et al., 2016). Efter orkanen Maria i USA tog dricksvatten och skafferivaror slut i vissa drabbade områden till följd av panikköp. Hushållen undvek kylvaror och valde istället UHT-mjölk, vilket ledde till att en stor mängd färsk mjölk fick kasseras (Serra & Sanchez-Jauregui, 2022).

Prisuppgångar är vanliga vid minskad tillgång på livsmedel och de kan ibland vara dramatiska (Perdana et al., 2022; Smith et al., 2016; Umar et al., 2017). Efter översvämningar i New South Wales, Australien, ökade priserna på färskvaror med upp till 70 % omedelbart efter händelsen (Singh-Peterson & Lawrence, 2015). Sådana prisökningar och försämrad tillgång på basvaror under kriser drabbar i första hand hushåll som redan i normalläget spenderar en stor del av sin inkomst på mat (Munialo & Mellor, 2024). Detta innebär att strukturella sårbarheter i samhället blir än mer påtagliga vid kriser. Strömavbrott i butiker kan ytterligare begränsa tillgången på livsmedel genom att affärer tvingas att hålla stängt eller genom att avbrott i elektronisk kommunikation stör betalningssystem (MacMahon et al., 2015; Serra & Sanchez-Jauregui, 2022).

Bristande kunskap om livsmedel och matlagning kan ytterligare förvärra situationen under en kris. Efter översvämningarna i Australien visade det sig att många hushåll inte kunde skilja på märkningarna *bäst före* och *förbrukas senast*, vilket ledde till onödigt matsvinn. Många konsumenter saknade också kunskap om vilka frukter och grönsaker som fortfarande var säkra att äta och hur de kunde tillagas (MacMahon et al., 2015).

Risken för livsmedelsbrist beror även på hushållens geografiska läge. I städer är många beroende av transporter utifrån, då de befinner sig långt från livsmedelsproduktionen. Detta kan orsaka omfattande problem om staden saknar en diversifierad försörjning av livsmedel (Gomez et al., 2021). Därför kan städer påverkas av händelser som direkt drabbar landsbygden (Joines et al., 2024). Dock kan urban odling ha en viss positiv effekt på livsmedelsförsörjningen under kriser, beroende på säsong och odlingskapacitet (Sioen et al., 2017).

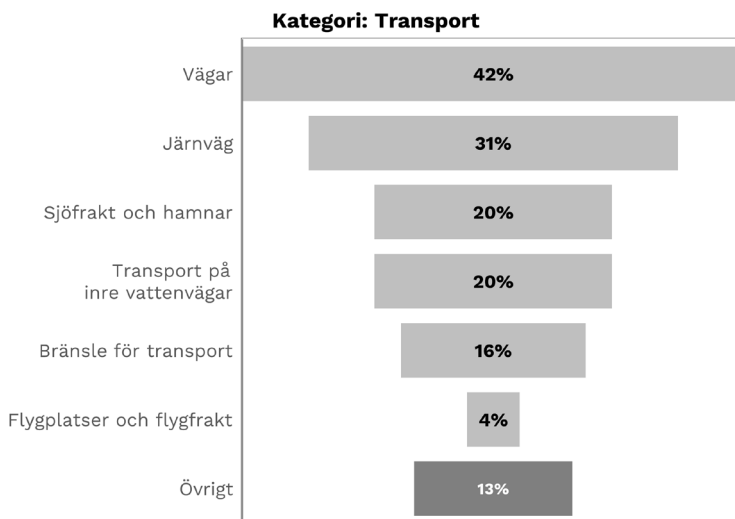
3.2.2 Transport

Transportsektorn utgör en central del av den kritiska infrastrukturen och möjliggör transport av viktiga insatsvaror, råvaror och produkter. I vår studie är extrema naturhändelsers påverkan på vägar det mest behandlade ämnet i vetenskapliga artiklar, följt av studier om järnvägar. Även forskning om hamnar, sjöfrakt och transporter på inre vattenvägar förekommer regelbundet i analyser av klimatextremers inverkan på transportsektorn (figur 5). Utöver detta behandlar en del studier tillgången till och behovet av bränsle. Endast ett fåtal studier i urvalet behandlar luftfarten. Forskare bedömer att kraftiga stormar kan leda till avbrott på flygplatser som varar i flera veckor (Marten & Atalan-Helicke, 2015).

Vägar och järnvägar

Majoriteten av studier som behandlar klimatrelaterade extremhändelsers påverkan på transportsektorn fokuserar på stormar och översvämningar. Ett vanligt förekommande problem vid stormar är risken för snabba störningar och avbrott i vägar, järnvägar och hamnar. Järnvägen är även i normalläge sårbar för strömavbrott, och vid extrema väderhändelser som orsakar strömavbrott kan omfattande störningar uppstå på järnvägar. Även vid mindre allvarliga händelser kan extremväder öka risken för köbildning och olyckor på vägar, exempelvis till följd av signalfel orsakade av strömavbrott (Quinn et al., 2018; Spraktes & McEntire, 2024; Zhu et al., 2021).

Beroende på tillgången till alternativa transportvägar riskerar stormfällda träd att blockera vägar och järnvägar, vilket kan isolera enskilda områden eller byar (Kvarnlöf & Wall, 2021; Souza Almeida et al., 2022). Laviner och jordskred kan också blockera vägar och isolera samhällen, vilket särskilt drabbar befolkningsgrupper som är i behov av hjälp eller vård (Jacobsen et al., 2016). Vidare kan översvämningar som skadar vägar, järnvägar och broar leda till avbrott i transporter av centrala resurser, såsom livsmedel och bränsle, vilket kan orsaka brist på vissa varor (Beheshtian et al., 2018; MacMahon et al., 2015). Beroende på skadeläget kan transportsektorn påverkas i flera månader och kräva mer tid och bränsle, samtidigt som transportvolymerna blir lägre (Woodburn, 2019). Transport på järnvägar kan även drabbas av värmeböljor, då extremt höga temperaturer kan deformera järnvägs-spår. Detta kan bli ett ännu större problem i framtiden, då gränsvärden för maximala



Figur 5. Teman i forskningsartiklar inom kategorin transport. N=45. *Övrigt* omfattar bland annat systemperspektiv på transport, transportkedjor och icke fraktrelaterade transportfrågor som evakuering.

temperaturer förväntas överskridas allt oftare (Hersh et al., 2024; Joines et al., 2024).

För att skydda vägar och järnvägar från längre avbrott till följd av skred rekommenderar en studie i Norge att trädtäckningen nära järnvägar ses över, eftersom risken för skred och plötsliga översvämningar ökar ju mindre trädtäckningen är (Torvanger et al., 2024). I samband med detta utgör även skogsbränder en växande indirekt risk för vägar och järnvägar, då de kan minska trädtäckningen nära viktiga transportleder och orsaka jordskred längre fram i tiden (Joines et al., 2024; White et al., 2023).

Hamnar och inre vattenvägar

På grund av sitt geografiska läge drabbas hamnar särskilt hårt av stormar. I Storbritannien har ungefär hälften av alla hamnstörningar sedan 1950 orsakats av stormar (Verschuur et al., 2020). Beroende på stormens allvarlighetsgrad kan hamnar påverkas av förseningar i verksamheten eller nedstängning i flera dygn (Becker et al., 2018; Chhetri et al., 2020), och i mer extrema fall under flera veckor (Marten & Atalan-Helicke, 2015). En komplicerande faktor är att allvarliga stormar sällan drabbar enskilda hamnar, vilket innebär att den potentiella förlusten blir ännu större eftersom det blir svårare att omdirigera fartyg och diversifiera transportstrategier (Verschuur et al., 2020).

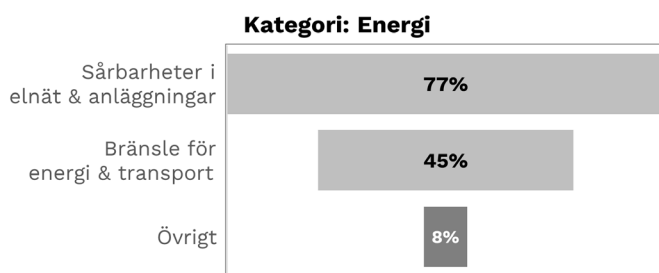
Transporten på inre vattenvägar, såsom vattendrag och sjöar, kan också påverkas av stormar, men drabbas oftare av problem kopplade till extremt höga eller låga vattennivåer i samband med översvämningar och torka (Vinke et al., 2022). Forskning visar att torka, som leder till lägre vattennivåer, generellt har mer allvarliga konsekvenser än översvämningar med högre vattennivåer, främst eftersom perioder med låga vattennivåer kan pågå i flera veckor. Däremot tenderar översvämningar att orsaka problem som sällan varar längre än några dagar (Vinke et al., 2022). En ytterligare försvårande faktor är när skördetider för råvaror sammanfaller med perioder av högre risk för allvarliga väderhändelser (Marufuzzaman & Eksioğlu, 2017). I länder där inre vattenvägar används för transport av primärprodukter och insatsvaror inom jordbrukssektorn kan störningar under kritiska odlingsfaser snabbt leda till omfattande ekonomiska förluster (Welch et al., 2022).

Drivmedel

Ett problem som påverkar flera delar av transportsektorn och orsakar direkta störningar i andra sektorer är risken för brist på drivmedel i samband med extrema väderhändelser. Tillgången till bränsle kan minska på grund av störningar i transportsystemet, exempelvis på grund av skador på oljeplattformar eller problem med rörledningar (Bian et al., 2024). Efter orkanen Sandy i New York City var drygt en tredjedel av alla bensinstationer utan bensin, och i samband med orkanen Harvey ledde avbrott i raffinaderier till bränslebrist (Beheshtian et al., 2018).

Detta är särskilt problematiskt eftersom forskning visar att behovet av drivmedel kan öka dramatiskt vid extrema händelser, exempelvis vid evakueringar, räddningsinsatser eller vid ett ökat behov av bensindrivna elverk vid strömavbrott (Edwards et al., 2023). Samtidigt är många bensinstationer beroende av elektricitet för att driva pumpar och hantera betalningar (Bian et al., 2024). Det ökade behovet av bränsle för att driva elverk som nödresurs vid strömavbrott kan därmed förvärra bränslebristen, vilket bland annat observerades i samband med orkanen Irma (Kolpakov et al., 2022).

Tillgången till bränsle är därför en nyckelresurs för försörjningsberedskapen inom transportsektorn. En ökad andel eldrivna fordon minskar dock inte nödvändigtvis transportsektorns sårbarhet, eftersom dessa fordon istället är beroende av en stabil elförsörjning och tillgång till laddningsinfrastruktur (Joines et al., 2024).



Figur 6. Teman i forskningsartiklar inom kategorin energi. N=26. *Övrigt* omfattar energiproduktion för särskilda ändamål.

3.2.3 Energi

Elnät och elförsörjning utgör en central del av den kritiska infrastrukturen i moderna samhällen. Samhället är starkt beroende av en tillförlitlig energiförsörjning inom alla sektorer. Elnät är känsliga för en rad klimatrelaterade extremer, inklusive översvämningar, stormar, torka och extrema temperaturer. Majoriteten av de analyserade studierna fokuserar på elnät och elförsörjning och identifierar flera sårbarheter i systemet vid extrema naturhändelser.

Ett annat energirelaterat tema som tas upp är bränsleförsörjning för transport och energiproduktion (t.ex. biobränsle). En mindre andel studier behandlar energiproduktion för specifika ändamål (se figur 6).

Elnät och elförsörjning

Energisektorn påverkas av torka, även om vissa studier hävdar att påverkan har minskat över tid (Stahl et al., 2016). Torka minskar exempelvis vattenkraftproduktionen genom att sänka flödesvolymerna och reservoarnivåer (Joines et al., 2024; Stokeld et al., 2023). Termoelektriska kraftverk kan drabbas om kylvatten, som vanligtvis tas från sötvattenkällor, är för varmt eller otillgängligt i tillräckliga mängder

(Hersh et al., 2024). Dessutom kan otillräckligt ytvatten under torrperioder påverka både hydraulisk sprickbildning och naturgasavledning, då dessa processer är beroende av ytvatten (Hersh et al., 2024). Torka kan även påverka energiförsörjningen indirekt. Exempelvis beskriver Wong et al. (2022) hur elförsörjningen stängdes av i vissa delar av Kalifornien 2019 på grund av hög skogsbrandsrisk, eftersom gnistor från elnätet under vissa förhållanden kan orsaka bränder.

Stormar utgör en återkommande risk för energisektorn, där den vanligaste konsekvensen är skador på elnätet (Hersh et al., 2024). Påverkan på energiförsörjningen kan bli långvarig beroende på skadans omfattning (Marten & Atalan-Helicke, 2015). Kraftverk kan också skadas av kraftiga vindar, vilket kan leda till fysiska skador och sekundära effekter såsom bränder (Kvarnlöf & Wall, 2021; Souto et al., 2024). Orkaner och andra stormar orsakar skador inte bara genom starka vindar utan även genom översvämningar, vilket gör kraftverk nära vattendrag särskilt utsatta (Hersh et al., 2024). Skador på kraftverk och elnät till följd av översvämningar leder ofta till strömavbrott (Bross et al., 2019; Joines et al., 2024; MacMahon et al., 2015).

Även extrema temperaturer, både kyla och värme, kan påverka energiförsörjningen. Under värmeböljor kan det vara svårt att kyla kraftverk, samtidigt som efterfrågan på el ökar till följd av ett större behov av kylning (Hersh et al., 2024). På samma sätt kan extrem kyla orsaka omfattande problem. Exempelvis kan kraftledningar kollapsa under kraftigt snöfall och frost, vilket leder till strömavbrott (Gerhold et al., 2019). Spraktes & McEntire (2024) beskriver hur den extrema kylan i Texas 2021 tvingade kraftbolag att genomföra rullande strömavbrott för att avlasta elnätet. När strömmen väl stängdes av kunde dock företaget inte generera tillräckligt med el för att återstarta nätet, på grund av den höga efterfrågan och en infrastruktur som inte var anpassad för sådana temperaturer.

Bränsle för energi och transport

Klimatrelaterade extremer, såsom översvämningar och torka, kan skada biobränslegrödor eller minska deras produktion, vilket i sin tur påverkar tillgången på biobränsle (Hersh et al., 2024). Dessutom kan diesel och andra bränslen stelna och bilda gel i kyla om de inte är vinterbehandlade (Spraktes & McEntire, 2024).

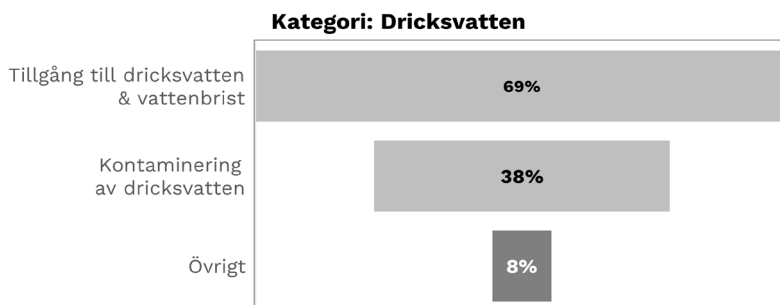
Flera studier belyser sambanden mellan bränsle- och elförsörjning. Exempelvis visar Bian et al. (2024) och Spraktes & McEntire (2024) att bensinpumpar och betalningssystem på bensinstationer blir obrukbara vid strömavbrott. På motsvarande sätt kan brist på drivmedel påverka reservgeneratorers funktion, medan störningar i bränsletransporter kan få konsekvenser för elproduktionen. Ett exempel på detta är när naturgasledningar fryser, vilket begränsar tillgången till gas för elproduktion (Joines et al., 2024; Spraktes & McEntire, 2024).

3.2.4 Dricksvatten

Endast ett begränsat antal studier i vår granskning behandlade dricksvatten. Två övergripande teman identifierades: studier som fokuserar på förorening av dricksvatten till följd av naturliga faror och studier som analyserar vattenbrist och försörjningsutmaningar orsakade av klimatrelaterade extremer (figur 7).

Tillgång till dricksvatten och vattenbrist

De klimatrelaterade extremer som i studierna identifierades som orsaker till utmaningar för vattenförsörjningen inkluderar torka, översvämningar och extrema temperaturer. Torka är en av de vanligaste orsakerna till vattenförsörjningsproblem. Enligt Stahl et al. (2016) uppstår vattenbrist generellt på lokal eller regional nivå snarare än att drabba hela landet, och i södra Europa är begränsningar i vattenförsörjningen vanliga både i städer och på landsbygden. Översvämningar kan också leda till både kortsiktiga och långvariga störningar i dricksvattenförsörjningen, särskilt om vattenverk översvämmas (Bross et al., 2019).



Figur 7. Teman i forskningsartiklar inom kategorin dricksvatten. N=13. *Övrigt* omfattar systemperspektiv på vattendistribuering.

Extrema temperaturer kan påverka dricksvattenförsörjningen genom att orsaka frysskador på rör eller genom att störa strömförsörjningen, vilket i sin tur påverkar vattenbehandling och distribution (Spraktes & McEntire, 2024). Vid långvariga extrema händelser blir hushåll särskilt sårbara om tillgången till rent dricksvatten är begränsad (Dargin et al., 2020).

Kontaminering av dricksvatten

Dricksvattenkvaliteten påverkas ofta av extrema klimatrelaterade händelser, såsom torka, översvämningar (även i kombination med stormar), extrema temperaturer och skogsbränder. Enligt Stahl (2016) är kvalitetsproblem främst kopplade till förhöjd temperatur i ytvatten och försämrad vattenkvalitet.

Översvämningar framkom som den vanligaste naturliga faran med negativ påverkan på dricksvattenkvaliteten. En särskild utmaning är att erosion och bankskador kan försämra filtreringskapaciteten efter extrema vattenflödeshändelser. Enligt Rose et al. (2018) finns dock begränsad vetenskaplig information om de långsiktiga konsekvenserna av sådana händelser för dricksvattenkvaliteten.

Vrba (2016) beskriver hur intensiva och långvariga nederbördsmängder ledde till extrema översvämningar i Tjeckien och Centraleuropa 2002, vilket gjorde många vattenförsörjningssystem i grunda akviferer längs floden Labe (Elbe) oanvändbara. Enligt Musacchio et al. (2021) kan stora översvämningshändelser mobilisera mikroorganismer, inklusive enteriska patogener (virus, bakterier och protozoer), genom ytavrinning, kortslutning av naturliga reningsprocesser, mättnad av jordlagret och översvämning av brunnshuvuden.

Skogsbränder kan också påverka dricksvattenkvaliteten genom att aska sprids via vind- och vattenerosion till vattendrag och reservoarer (Santín et al., 2015). Även om askans sammansättning varierar, kan dess innehåll av näringsämnen och andra föroreningar ha betydande effekter på vattenkvaliteten.

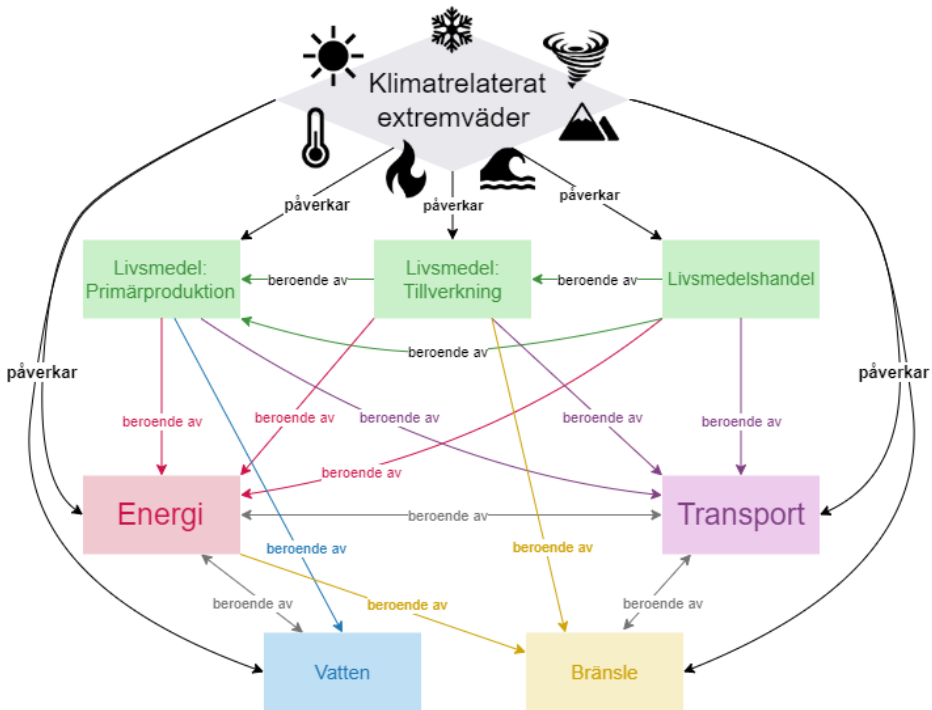
3.3 Komplexa beroenden och kaskadeffekter

3.3.1 Beroenden mellan sektorer

Beroenden, i form av ömsesidiga beroenden eller komplexa beroendekedjor och kaskadeffekter, försvårar möjligheten att bygga en robust försörjningsberedskap vid katastrofer. Figur 8 visar en något förenklad översikt av komplexa beroenden inom livsmedelsförsörjningen. Eftersom livsmedelsförsörjningen bygger på många beroenden och ömsesidiga beroenden, kan en störning i en del av beroendekedjan snabbt orsaka kaskadeffekter som påverkar även andra delar av kedjan.

Många klimatrelaterade extremhändelser, såsom stormar, översvämningar, skogsbränder och torka, riskerar att leda till avbrott eller störningar i transportsektorn, som livsmedelssektorn är beroende av (Reis, 2019).

Därutöver kräver livsmedelsindustrin el och drivmedel för att kunna producera, förvara, tillverka och distribuera livsmedel (Gerhold et al., 2019; Davis et al., 2021; Feliciano et al., 2020; Reis, 2019; Welch et al., 2022). Primärproducenter som inte enbart använder regnvatten för bevattning är också beroende av tillgång till vatten för att producera livsmedel, och många bevattningsmetoder är beroende av el för att fungera (Berardy et al., 2017). Vid störningar i vägnätet kan livsmedelsaffärer



Figur 8. Komplexa beroenden mellan sektorerna livsmedel, energi och transport med fokus på livsmedelsförsörjning och klimatrelaterat extremväder.

snabbt påverkas, vilket drabbar kunderna direkt eftersom många affärer saknar större lagerhållning av varor (Marten & Atalan-Helicke, 2015; Rosenheim et al., 2024).

Moderna samhällen är starkt beroende av energisektorn. När t.ex. stormar skadar elnätet eller kraftverken och orsakar strömavbrott, drabbas snart andra sektorer. Elförsörjning är oumbärlig för livsmedelsförsörjningen i flera olika steg i livsmedelskedjan och är därför sårbar för allvarliga konsekvenser vid mer omfattande strömavbrott (Serra et al., 2022). Transportsektorn påverkas av icke-fungerande trafikljus, tåglinjer, bränslepumpar och betalningssystem (Spraktes & McEntire, 2024). Dricksvattensektorn drabbas först av försörjningsproblem och, vid långvariga strömavbrott, även av kvalitetsproblem om vattnet inte kan behandlas (Spraktes & McEntire, 2024).

Elförsörjningen kräver i sin tur ofta ett fungerande transportsystem för att säkerställa bränsleförsörjning, exempelvis för biobränsle som används i kraftvärmeverk (Hersh et al., 2024), även om biobränsle idag utgör en mindre del av Sveriges totala elproduktion. Därtill är den svenska elförsörjningen i hög grad beroende av vattenkraftverk, som omvandlar vattenflöde till elektricitet. Både för höga och för låga vattenflöden kan dock ha en negativ inverkan på elproduktionen.

Även vid elförsörjningsstörningar är en fungerande transportsektor avgörande för att möjliggöra reparationer. Områden som isoleras till följd av extrema väderhändelser och drabbas av strömavbrott måste fortfarande vara tillgängliga via vägnätet för att reparera skadad elinfrastruktur. I nordöstra England orsakade en storm med översvämningar ett omfattande strömavbrott när transformatorstationer översvämmades. Eftersom även vägar var blockerade eller översvämmade kunde tekniker inte nå transformatorstationerna för att genomföra reparationer, vilket resulterade i att tusentals invånare saknade fortsatt elförsörjning (Jaroszweski et al., 2015).

Samtidigt är transportsektorn beroende av elförsörjning för att fungera. Bensinstationer kräver ofta el för att kunna pumpa och sälja drivmedel (Bian et al., 2024). Järnvägar och tågtrafik är direkt beroende av el, och strömavbrott i städer kan påverka trafiksignaler, vilket ökar risken för bilköer och olyckor som i sin tur kan försvåra transporter.

3.3.2 Kaskadeffekter av klimatextremer

När en del av en beroendekedja påverkas av en störning kan detta snabbt leda till vidare störningar i flera andra delar av kedjan. Dessa följd effekter kallas kaskadeffekter, och forskning visar att många katastrofer skapar kaskadeffekter med betydande konsekvenser för försörjningssystem (Ali et al., 2023). Därför är det centralt att analysera potentiella kaskadeffekter. För att illustrera detta presenteras fyra fiktiva exempel där sektorerna livsmedel, dricksvatten, energi och transport påverkas.

Exempel 1: Extrem värme och torra förhållanden leder till en skogsbrand. Utan träd blir marken mer sårbar för översvämningsproblem. Regnoväder efter skogsbranden kan således utlösa jordskred och hastiga översvämningar där vegetation, träd och aska som är kvar sveps med och blockerar vägar och järnvägar (White et al., 2023). Marken förblir särskilt sårbar de första åren efter en skogsbrand, innan nyplantering av träd är möjlig (Keller et al., 2023).

Exempel 2: Extremvärme orsakar värmerelaterad stress och ohälsa hos mjölkkor. Detta leder till en minskad råmjölkproduktion och minskade kaseinhalter – en avgörande faktor för formbarheten av ost vid osttillverkningen (Feliciano et al., 2020). Den minskade tillgången till mjölk och ost leder till uppsägningar i livsmedelsindustrin, stigande konsumentpriser i livsmedelsaffärer. Minskad tillgång till en råvara och minskad produktion kan även orsaka minskad export och globala prisökningar (Iqbal et al., 2024).

Exempel 3: En översvämning leder till störningar på vägar och järnvägar, vilket minskar livsmedelsleveranser. Dessa problem leder till panikköp, vilket i sin tur leder till matbrist i butiker (MacMahon et al., 2015). Det betyder att matbrist kan upp-

stå på grund av konsumenters reaktioner på tillfälliga störningar utan att det egentligen inte består en råvarubrist (Smith et al., 2016). Konsumenternas reaktioner förstärker därmed effekten av tillfälliga störningar.

Exempel 4: En storm leder till evakuering av många människor, vilket ökar efterfrågan på drivmedel för att kunna tanka personbilar. Stormen leder också till problem i hamnar där stormen hindrar fartyg med drivmedel från att docka. Stormen orsakar sedan ett strömavbrott vilket ytterligare förvärrar bränslebristen då efterfrågan på bränsle ökar ytterligare för att kunna driva bensindrivna elverk (Edwards et al., 2023).

Exemplen visar att kaskadeffekter kan uppstå i olika delar av en komplex beroendekedja och påverka försörjningssystem på sätt som kan vara svåra att förutsäga. Brist på enskilda livsmedel i butiker beror på flera faktorer, bland annat hur den extrema naturhändelsen har påverkat primärproduktionen, hur snabbt transportsvårigheter kan åtgärdas, samt om elförsörjningen har påverkats. Dessutom spelar beredskapsnivån i både butiker och hushåll en avgörande roll.

En central fråga är om en sektor har en nyckelfunktion för flera andra sektorer i beroendekedjan och huruvida det finns realistiska beredskapsplaner som snabbt kan omsättas i praktiken.

Försörjningskedjorna inom livsmedelssektorn är dessutom inte enbart beroende av inhemsk produktion. Extrema väderhändelser i Brasilien, som påverkar sojaojdlingar, kan exempelvis leda till förseningar och minskade exportvolymerna till Europa (Stokeld et al., 2023). Eftersom Sverige importerar en betydande del av sina sojaböner från Brasilien, kan detta resultera i brist på råvaror och ökade priser inom livsmedelsindustrin, vilket i sin tur påverkar konsumentpriserna. Därmed kan Sveriges försörjningssäkerhet påverkas av kaskadeffekter från händelser i andra länder, vilket understryker vikten av att inkludera globala beroenden i planeringen av en robust försörjningsberedskap.

3.4 Vetenskapliga metoder och modeller

3.4.1 Översikt över modellstudier

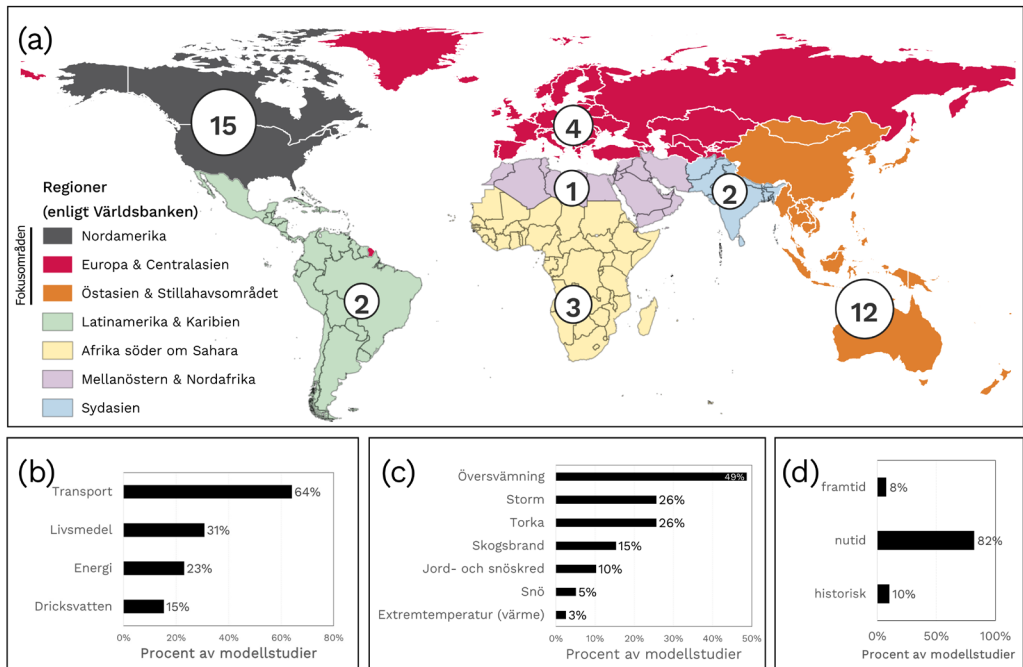
För att analysera påverkan från klimatrelaterade extremer på försörjningssäkerheten inom sektorerna livsmedel, dricksvatten, energi och transporter används en rad vetenskapliga metoder och modeller. Av de 140 granskade artiklarna var 39 modell- och metodstudier som antingen presenterade nya eller använde etablerade ramverk med följande övergripande huvudsyften:

- **Prognossystem (Forecasting Systems):** Används främst inom jordbruk och livsmedelsförsörjning för att förutsäga skördar, lagerhållning och marknadsutveckling i realtid. Ett exempel är Tomasella et al. (2023), som utvecklade ett skördeprognossystem för torkriskberedskap baserat på både kort- och långtidsklimatprognoser.

- **Beslutsstödsystem (Decision Support Systems):** Underlättar val av åtgärder och strategier för att hantera risker och konsekvenser av klimatrelaterade händelser. Ett exempel är Tsiamas and Rahimifard (2021), som utvecklade ett simuleringsbaserat beslutsstödsystem för att stärka motståndskraften i livsmedelskedjor mot klimatrelaterade störningar.
- **Optimeringsmodeller (Optimization Models):** Används framför allt inom transport- och energisektorn för att effektivisera logistik, distributionskedjor och evakuering vid kriser. Hua et al. (2024) presenterar till exempel en modell för att optimera beredskapsplanering vid extrema regn. Modellen hjälper till att strategiskt placera mobila resurser och anpassa energitransportsystemet för att minska sårbarheten för översvämningar.
- **Sårbarhetsanalyser (Vulnerability Assessments):** Kartlägger och kvantifierar vilka sektorer, regioner, infrastrukturer eller befolkningsgrupper som är särskilt utsatta för klimatrelaterade hot, ofta med hänsyn till socioekonomiska och geografiska faktorer. Till exempel utvecklade Robichaud and Padowski (2024) ett ramverk som kombinerar offentligt data om vattenförsörjning med brandrelaterade risker för att bedöma dricksvattenförsörjningens sårbarhet vid skogsbränder i nordvästra USA.
- **Risikanalyser (Risk Assessments):** Identifierar, kvantifierar och hanterar risker kopplade till klimatrelaterade extremer, ofta med sannolikhetsbaserade modeller för att bedöma systemens motståndskraft och kritiska sårbarheter. Ma et al. (2022) föreslår exempelvis ett probabilistiskt ramverk för att kvantitativt bedöma skogsbrandsrisken i försörjningskedjor för flygbränsle.
- **Konsekvensbedömningar (Impact Assessments):** Analyserar direkta och indirekta effekter av klimatrelaterade händelser, såsom störningar i försörjningskedjor, infrastrukturskador och ekonomiska förluster. Reed et al. (2022) genomförde till exempel en kvantitativ analys av hur och i vilken utsträckning översvämningar påverkar livsmedelsförsörjningen i Afrika, med hjälp av orsaks-sambands- och panelmodellering.

Studierna omfattar geografiskt sett en bred variation (Figur 9a), men studier från Nordamerika (ca 38 %) och Östasien & Stillahavsregionen (ca 31 %) dominerar, medan Europa & Centralasien (10 %), Subsahariska Afrika (8 %), Latinamerika & Karien (5 %), Sydasiern (5 %) och Mellanöstern & Nordafrika (3 %) representerar en mindre andel.

Sektorsmässigt fokuserar majoriteten av modell- och metodstudierna på transportsektorn (64 %), följt av livsmedelssektorn (31 %), energisektorn (23 %) och dricksvattenförsörjning (15 %) (Figur 9b).










Figur 10. Översikt över (a) den globala fördelningen av metod- och modelleringsstudier per världsregion (enligt Världsbankens definition [Källa: <https://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/archive/2017/the-world-by-region.html>]), (b) sektoriell fokus, (c) klimatextremer och (d) tidsram – med motsvarande procentandel av modellstudier inom varje kategori

De mest modellerade klimatextremerna är översvämningar (49 %), stormar (26 %) och torka (26 %) (Figur 9c), men fokus varierar mellan regionerna (Tabell 3). I regioner med få studier dominerar studier om torka (t.ex. Mellanöstern & Nordafrika, Latinamerika & Karibien samt Sydasien), medan stormar, översvämningar, skogsbränder och jordskred främst belyses i regioner med många studier (Tabell 3). Trots denna geografiska variation finns betydande kunskapsluckor, särskilt i regioner som är extra känsliga för klimatförändringar (t.ex. Nordeuropa och Arktis [IPCC, 2021]) eller särskilt sårbara och har begränsad datatillgång (t.ex. Afrika [Dinku et al., 2019]).

Resultat från litteraturstudien, baserad på de analyserade artiklarna, visar att den största delen (cirka 74 %) av studierna tillämpar simuleringar eller modellstudier, ofta i kombination med konkreta fallstudier (69 %) och scenariobaserade analyser (59 %).

De allra flesta studier (82 %) har använt modellerna under nuvarande förhållanden, medan bara 10 % har undersökt historiska händelser och ännu färre 8 % möjliga framtida händelser (Figur 9d). Vi ser alltså en stor brist på framtida studier som tar hänsyn till olika växthusgasscenarier (RCP:er) eller socio-ekonomiska scenarier (SSP:er).

Tabell 3. Regional fördelning av modell- och metodstudier om extrema klimathändelser, med information om (a) det absoluta antalet artiklar och (b) den relativa andelen (%) artiklar som fokuserar på en specifik händelse i en viss världsregion.

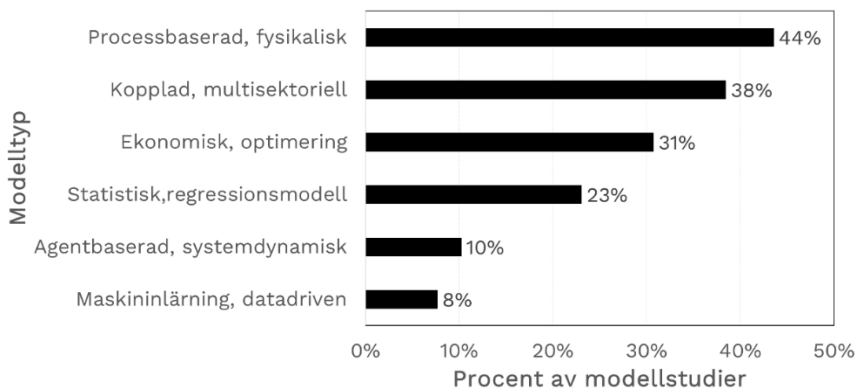
Regioner (enligt Världsbanken)	Antal artiklar	Extrema klimathändelser						
		Extrem värme	Snö	Jordskred	Skogsbrand	Torka	Storm	Översvämning
								
(a) Absolut antal artiklar								
Mellanöstern & Nordafrika	1	0	0	0	0	1	0	0
Latinamerika & Karibien	2	0	0	1	0	1	0	1
Sydasien	2	0	0	0	0	2	0	0
Afrika söder om Sahara	3	0	0	0	0	2	0	2
Europa & Centralasien	4	1	1	1	2	2	0	1
Östasien & Stillhavsområdet	11	0	0	1	1	0	5	8
Nordamerika	15	0	1	1	3	2	5	7
Totalt	39	1	2	4	6	10	10	19
(b) Relativt antal artiklar								
Mellanöstern & Nordafrika	3%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
Latinamerika & Karibien	5%	0%	0%	50%	0%	50%	0%	50%
Sydasien	5%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
Afrika söder om Sahara	8%	0%	0%	0%	0%	67%	0%	67%
Europa & Centralasien	10%	25%	25%	25%	50%	50%	0%	25%
Östasien & Stillhavsområdet	28%	0%	0%	9%	9%	0%	45%	73%
Nordamerika	38%	0%	7%	7%	20%	13%	33%	47%
Totalt	100%	3%	5%	10%	15%	26%	26%	49%

De flesta studier (41 %) har genomförts på subnationell nivå, såsom avrinningsområden, provinser och ekonomiska regioner, följt av studier på lokal- eller stadsnivå (28 %) och nationell nivå (23 %). Endast två studier avvek genom att analysera effekterna på en större geografisk skala: Reed et al. (2022) utförde en kvantitativ analys av hur översvämningar påverkar livsmedelsförsörjningen på en kontinental nivå över flera afrikanska länder, medan Verschuur et al. (2023) undersökte hur extrema klimatförhållanden påverkar globala sjötransporter, handel och leveranskedjor. Med tanke på beroendet av import och export inom framför allt livsmedelssektorn, men även energi- och transportsektorerna, föreligger en brist på storskaliga studier som beaktar globala försörjningskedjor och länders ömsesidiga beroenden.

Denna tendens återspeglas även i valet av data som används för att driva modellerna. Majoriteten av studierna (74 %) baserades på lokala eller regionala observerade data, såsom långsiktiga mätserier och övervakningsdata (t.ex. väderdata, hydrologiska data, trafikmätningar). Hälften av studierna inkluderar dessutom utdata från sektoriella modeller, oftast på regional eller lokal nivå, såsom hydrologiska och skogsbrandsmodeller samt modeller inom energi-, livsmedels- och transportsektorerna. Socioekonomiska och politiska datasatser (t.ex. demografiska, ekonomiska och styrningsrelaterade data) används också i viss utsträckning. Däremot är primärdata från egna fältmätningar, enkäter eller intervjuer betydligt mindre vanligt förekommande (18 %), och användningen av satellitdata är ännu mer begränsad (5 %). Samtidigt har just satellitdata och fjärranalys identifierats som nyckelverktyg för att förbättra beslutsfattandet inom jordbruket (Jewiss et al., 2020): I områden med begränsad datatillgång kan satellitdata vara avgörande för att öka förståelsen för produktionstrender och klimatrelaterade katastrofer (Rahman et al., 2022)

3.4.2 Modelltyper

Många av de undersökta modellstudierna använder i huvudsak traditionella och konventionella metoder. Vi ser en tydlig dominans av processbaserade/fysikaliska modeller (t.ex. hydrologiska modeller, klimatmodeller, samt modeller för skördar, energi och transport), kopplade eller multisektoriella modeller, ekonomiska/optimeringsmodeller samt statistiska/regressionsmodeller (figur 10). Däremot är nyare metodansatser, såsom agentbaserade modeller, systemdynamiska modeller eller maskininlärnings- och datadrivna modeller, endast representerade i en bråkdel av studierna. Detta är anmärkningsvärt, särskilt med tanke på att dessa nyare metoder har fått stort genomslag inom många forskningsfält, inklusive inom water-energy-food nexus, där de kan bidra till att hantera komplexa frågor med direkt relevans för försörjningsberedskap (t.ex. Jonsson et al., 2024; Magliocca, 2020; Molajou et al., 2021; Sušnik et al., 2021).



Figur 11. Översikt över olika modelltyper och andel av användning i litteraturstudien.

När det gäller den rumsliga upplösningen opererar majoriteten av modellerna (51 %) på en nätverksbaserad upplösning, vilket främst beror på det stora antalet transportrelaterade analyser. Nätverksbaserade optimeringsmodeller är särskilt vanliga inom transportnätverk men används även för simulering av elnät och försörjningskedjor inom livsmedelssektorn, som i Clavijo-Buritica et al. (2023), där en Agri-Food Supply Chain-design för Colombia utvecklades. Utöver nätverksmodeller baseras en betydande andel av studierna på administrativa enheter (t.ex. provinser eller stadsdelar) (28 %) samt punktbaserade modeller, där specifika platser analyseras. Den sistnämnda metoden används ofta för att simulera transportvägar mellan hamnar (t.ex. [Zhang et al., 2024]) och andra infrastrukturanläggningar, såsom dricksvattenförsörjningssystem (t.ex. Zimoch & Grabuńczyk, 2023).

3.4.3 Karakterisering av klimatextremer

För att karakterisera klimatextremer används en rad olika metoder. Av de granskade studierna tillämpar 41 % en tröskelbaserad definition. Exempelvis undersöker Little et al. (2019) en kategori 3-orkan (med vindhastigheter på 178–207 km/h), medan Tachaudomdach et al. (2021) kartlägger översvämningsdrabbade områden baserat på olika vattennivåer. Ytterligare 15 % av studierna använder sig av återkomsttider, exempelvis 100- eller 500-årsöversvämnningar, som i studien av Beheshatian et al. (2019). Mer sällsynta metoder inkluderar indexbaserade ansatser, hypotetiska extremhändelser och analyser av historiska händelser. Till exempel använder Ma et al. (2022) ett brandriskindex kallat Energy Release Component (ERC), vilket approximativt beskriver bränslets fuktinnehåll. Islam et al. (2021) beskriver ett hypotetiskt scenario där ett jordskred stör marin transport, medan Han et al. (2025) lyfter fram lärdomar från orkanen Irma utan att specifikt beskriva dess klimatiska egenskaper. Det är dock anmärkningsvärt att hela 33 % av studierna inte

tydligt definierar klimatextremer, vilket försvårar jämförelser och synteser mellan olika studier.

3.4.4 Kvantifiering av klimatextremers påverkan

När det gäller kvantifiering av klimatextremernas påverkan är de variabler och effektindikatorer som modellerna simulerar oftast lokala och sektorsspecifika, vilket leder till en stor variation mellan studierna. Fokus ligger främst på fysiska effekter, såsom transportförseningar, vattenkvalitetsproblem och avbrott i energidistributionen. Exempelvis använder Zhang et al. (2024) fördröjningstider och avvikelser i fartygens ruttplanering för att kvantifiera stormars påverkan på sjötransporter i Östasien, medan Robichaud & Padowski (2024) analyserar vattenkvalitetsindikatorer, såsom kontamineringsnivåer efter skogsbränder.

3.5 Utmaningar och behov av framtida forskning

Denna kunskapsöversikt identifierar ett antal utmaningar för framtida forskning där mer kunskap behövs för att bättre förstå och förklara utmaningar för försörjningsberedskapens motståndskraft mot klimatextremer samt möjliggöra att skapa bättre förutsättningar för försörjningsberedskapens motståndskraft.

3.5.1 Kaskadeffekter och komplexa beroenden

En viktig uppgift för framtida forskning är att genomföra en tydlig kartläggning och analys av hur Sveriges försörjningsberedskap påverkas av komplexa beroendekedjor och kaskadeffekter. Denna kunskapsöversikt erbjuder en ingång till ett antal komplexa beroenden och kaskadeffekter, och mer genomgående kartläggning och undersökning för olika försörjningskedjor skulle bidra till att kunna motverka framtida störningar. Komplexa och ömsesidiga beroenden mellan sektorer inom kritisk infrastruktur identifieras även av tidigare forskning som en utmaning för framtida forskning (Mottahedi et al. 2021).

För att förstå komplexa beroenden är det därutöver viktigt att tydligare kartlägga hur Sverige drabbas av olika typer av extremväder och på vilka sätt dessa skulle kunna leda till kaskadeffekter. Här identifierar tidigare forskning ett behov att **kvantifiera påverkan av enskilda extremhändelser och deras kaskadeffekter i hela försörjningskedjan** (Ghadge et al., 2020). Bortsett från jordbrukssektorn finns förhållandevis lite kunskap om den ekonomiska påverkan av torka (Stahl et al. 2016). Forskning efterfrågar även en tydligare analys av **strategier som förmår att diversifiera framför allt livsmedelsförsörjningen** samtidigt som de säkerställer elsäkerhet och utmaningar i transportsektorn (Jagtap et al., 2024). Här behövs beredskap både för omfattande globala händelser och lokal påverkan av potentiella kaskadeffekter:

[L]ittle research has examined the propagation of shocks through food supply chains and their subsequent effect on consumption. This limits our understanding of the true effects of environmental shocks on the food system as a whole and how local shocks can have global impacts (and vice versa). Given the interconnectedness of food systems, a shock that influences one step of the food supply chain will undoubtedly impact subsequent steps. Likewise, a shock in one country or region can have serious implications for another. As our global food systems become more integrated, understanding the dynamics of propagation across supply chains through empirical research is critical to inform adequate interventions (Davis et al., 2021:9).

3.5.2 Sammanlänkade händelser

Sammanlänkade kriser, ibland kallade polykriser, uppstår när två eller flera extrema händelser sammanfaller – exempelvis torka och värmebölja – eller när en extrem väderhändelse inträffar samtidigt som en annan kris pågår. Dessa komplexa kris-scenarier spelar en viktig roll, men de har behandlats av endast ett fåtal studier i denna översiktsstudie. Så mycket som 87 % av de granskade studierna nämner inte problematiken kring sammanlänkade kriser alls, och endast 13 % berör uttryckligen ämnet. Av dessa fokuserar en tredjedel på flera samtidiga extrema naturhändelser, såsom torka och extremvärme, vilka sammanfaller och tillsammans utgör en särskilt stor risk för livsmedelsproduktionen (Berardy & Chester, 2017). De resterande två tredjedelarna undersöker den sammankopplade effekten av en klimatrelaterad extremhändelse och en annan form av kris, såsom en pandemi, konflikt eller ekonomiska kriser (Davis et al., 2021; Munialo & Mellor, 2024; Mishra et al. 2021).

Dagens samhälle präglas av en rad hot som kan sammanfalla i olika konstellationer: från förändringar i det globala säkerhetsläget och ökad förekomst av extrema väderhändelser till risken för pandemier och spridningen av desinformation i en alltmer polariserad värld. När flera kriser inträffar samtidigt ökar riskerna att försörjningskedjor drabbas markant. Sammanlänkade kriser kan exempelvis förvärra försörjningsproblem och leda till störningar i försörjningskedjor, samtidigt som möjligheterna att hantera dessa utmaningar kan minska. Forskare påpekar att **sammanlänkade kriser ökar behovet av att bredda riskanalyser** för att inkludera oförutsedda händelser och den påverkan som interaktionen mellan flera samtidigt inträffande extremhändelser kan medföra (Murphy et al., 2023).

3.5.3 Mer data och lämpliga modeller

Mer data och mer specifika data behövs för att uppnå god försörjningsberedskap. Genom vår litteraturöversikt har vi identifierat en betydande brist på modelleringsstudier över alla sektorer i Norden. Tidigare forskning lyfter behovet att undersöka

påverkan av extremväder på enskilda grödor med nya vetenskapliga modeller, liksom vetenskapliga modeller som beaktar och simulerar tidsmässiga och geografiska förändringar i odlingssäsongen i ett förändrat klimat (Jackson et al. 2021). Forskare påpekar att det finns få studier om **stormars påverkan på livsmedelskedjan** och att det fortsatt finns ett större behov av forskning som studerar **naturhändelsers påverkan på kött- och mejeriproduktion** (Davies et al., 2021). Det begränsade antalet studier om dricksvatten är en indikator på att det fortfarande saknas omfattande data om **extremväders påverkan på dricksvattenförsörjningen**. Här identifierar forskare ett ökat behov av data om grundvatten och torra samt utveckling av metoder för att ta fram lämpliga parametrar för vattenanvändning vid kris i höginkomstländer (Vrba et al., 2016; Bross et al., 2019). Därutöver visar vår sammanställning att det fortfarande finns få studier som undersöker hur försörjningskedjor påverkas av extremväder i nordiska länder (Jacobsen et al., 2016). Därför ser vi ett särskilt behov av att studera **försörjningsberedskap och klimatextremer utifrån ett tydligt nordiskt perspektiv**.

Trots den breda användningen av modeller finns flera begränsningar som påverkar deras tillförlitlighet och generaliserbarhet. En av de största utmaningarna är **databegränsningar och osäkerheter**. Många studier är beroende av offentligt tillgängliga data, vilket kan innebära täckningsluckor och låg precision. Till exempel påpekar Robichaud et al. (2024) bristen på observations- eller historiska data om kopplade brand-ekohydrologiska processer, vilket försvårar planeringen. Denna brist beror delvis på det historiskt långa återkomstintervallet för klimatextremer såsom skogsbränder, samt på de utmaningar som uppstår vid datainsamling över stora geografiska områden i miljöer efter en brand. På samma sätt påpekar Tatar et al. (2022) de befintliga begränsningarna i tillgången till och noggrannheten hos trafik- och ekonomiska data vid modellering av transportnätverk, särskilt vid försök att skala upp lokala modeller till större geografiska nivåer. Bristen på detaljerad information, särskilt från den privata sektorn (till exempel leverantörer och distributörer), försvårar en heltäckande analys av försörjningskedjor. Dessutom utgör ofta historiska klimatdata utgångspunkt för modeller, vilket kan leda till överskattning eller underskattning av risker i framtida scenarier. Modellerna lider också av **förenklade antaganden och metodologiska begränsningar**. Många ekonomiska modeller antar till exempel en perfekt fungerande marknad där priser justeras omedelbart vid kriser (Naqvi et al., 2020), utan att ta hänsyn till irrationella beteenden som hamstring eller panikinköp (Rahman et al., 2022; Sheu & Kuo, 2020). Evakueringsmodeller kan anta att befolkningen följer rationella rörelsemönster och att vägnätet är statiskt, vilket inte speglar verkliga förhållanden (Beheshtian et al., 2017). Dessutom är flera modeller sektorspecifika (t.ex. för ris, mjölk eller äpplen), vilket begränsar deras generaliserbarhet till andra produkter och regioner (Siluthanyi et al., 2024).

Begränsad representation av komplexa dynamiska system är en annan svaghet. Många modeller fokuserar endast på en klimatextrem utan att inkludera andra viktiga klimatologiska faktorer (compound events) eller kaskadeffekter till

andra sektorer. Sinha et al. (2024) betonar vikten av att utveckla och tillämpa modelleringsmetoder för att bedöma kaskadeffekter och interaktioner kopplade till dricksvattenförsörjning. Evakueringsmodeller tar ofta inte hänsyn till temporära populationer (t.ex. turister) eller alternativa rutter, och de saknar ofta realtidsoptimering vid extrema väderhändelser (Kim et al., 2024). Dessutom saknas representation av multimodala transportsystem som järnväg och vattenvägar, vilket gör att vissa scenarier blir mindre realistiska (Colon et al., 2021).

Slutligen finns **utmaningar i att validera och generalisera** resultaten. Många modeller är anpassade för specifika länder eller regioner (t.ex. USA, Taiwan eller Tanzania) och kan därför ha begränsad överförbarhet till andra geografiska kontexter (t.ex. Sheu et al 2020 eller Colon et al.). Det finns också metodologiska begränsningar, där vissa studier bygger på expertbedömningar och Bayesian Network-modeller, vilket kan leda till subjektiva antaganden. Little et al. (2020) beskriver exempelvis svårigheterna med att validera noggrannheten i sammansatta data på grund av inkonsekventa format samt oviljan hos många privata och offentliga organisationer att tillhandahålla fullständiga dataset.

3.5.4 Hushållens roll och inkludering i försörjningsberedskapen

En övergripande utmaning för forskning om försörjningsberedskap är individers och hushållens roll och beteende. Denna översiktsstudie har inte varit specifikt inriktad på individers agerande, men det har blivit tydligt i studier att det är en **utmaning att förutsäga eller påverka individers beteende för att öka försörjningsberedskapen**. Modelleringsstudier utgår ofta ifrån att individer agerar rationellt, men forskning visar att det inte nödvändigtvis är fallet. Hushållens ansvar att bidra med egen adekvat lagerhållning för att öka Sveriges försörjningsberedskap för exempelvis livsmedel är en viktig fråga, särskilt eftersom tidigare studier visar att privata hushåll inte förvarar mycket mat hemma och om de gör det så är det ofta snarare av bekvämlighetskäl än av krisberedskapsskäl (Gerhold et al., 2019). Det är inte minst en utmaning för framtida forskning eftersom tidigare forskning visar att konsumenter genom panikköp både kan förstärka och utlösa akuta livsmedelsbrister (MacMahon et al., 2015; Smith et al., 2016). Det krävs inte bara undersökningar om hushållens benägenhet att förvara tillräckligt mycket mat hemma, men även undersökningar om hushållens kunskap om 'krismaten', alltså generell matkunskap kopplad till utmaningar som inträffar under kriser såsom minskad tillgång till särskilda produktgrupper, eller längre strömavbrott (Fraser et al., 2015). Det kan även finnas luckor i hushållens kunskap om hur man håller värmen och klarar sig under längre strömavbrott (Spraktes & McEntire, 2024). För studier som modellerar mänskligt beteende i kontexten försörjningsberedskap finns det ett behov av modeller som inte bygger på att samtliga mänskliga beslut är rationella. Här lyfter tidigare forskning vikten av att ta hänsyn till aspekter som relaterar till sårbarhet och rättvisa för att inte skapa en **livsmedelsförsörjning som riskerar**

att utesluta eller skapa strukturella nackdelar för vissa befolkningsgrupper (Rosenheim et al., 2024). Till detta hör även studier om effektiv riskkommunikation kring livsmedelsförsörjning som når alla hushåll. Det finns exempelvis tecken på att det är effektivt att anpassa riskkommunikation om livsmedelsförsörjningen mer direkt till hushållens faktiska anledningar att handla mat, såsom bekvämlighet och ekonomiska skäl, för att få tydligare genomslag (Gerhold et al., 2019). En inkluderande riskkommunikation är särskilt viktig eftersom tidigare forskning identifierar att landsbygden i Sverige ofta är förbisedd eller osynlig i nationella riskkommunikationskampanjer (Kvarnlöf & Wall, 2021).

4 Slutsatser

4.1 Sammanfattning av studiens resultat

Denna kunskapsöversikt är en övergripande sammanfattning av forskningen om försörjningsberedskap inom sektorerna livsmedel, dricksvatten, energi och transporter, samt deras motståndskraft mot klimatrelaterade extremer som publicerades sedan år 2015.

Studien har kartlagt forskningsfronten inom området och belyser hur klimatrelaterade extremer påverkar försörjningsberedskapen i dessa sektorer. Behovet av vidare forskning kvarstår inom flera områden, exempelvis stormars påverkan på livsmedelskedjan, klimatrelaterade händelsers inverkan på kött- och mejeriproduktion, extremvädrets effekt på dricksvattenförsörjningen samt en fördjupad analys av försörjningsberedskap i relation till klimatextremer ur ett nordiskt perspektiv. Tidigare studier har undersökt möjliga störningar och komplexa beroenden mellan livsmedel, transport, energi och dricksvatten. Däremot finns en tydlig kunskapslucka när det gäller att analysera de komplexa beroendekedjorna och kaskadeffekterna inom och mellan dessa sektorer.

Vidare har studien identifierat vilka vetenskapliga metoder och modeller som används för att analysera klimatrelaterade extremer och deras påverkan på försörjningssäkerheten. Den har också kartlagt begränsningarna i dessa modeller, såsom bristfällig data, osäkerheter i prognoser, förenklade antaganden, metodologiska begränsningar, begränsad representation av komplexa dynamiska system samt utmaningar i att validera och generalisera resultaten.

4.2 Begränsningar

Det är viktigt att notera att även om en omfattande mängd litteratur har analyserats i denna studie, är det troligt att viss relevant forskning inte har identifierats på grund av sökmetodens avgränsningar. Översikten fokuserar på studier som explicit behandlar klimatextremer i relation till försörjningsberedskap och försörjningssäkerhet, men det finns sannolikt relevant forskning om extrema händelsers påverkan på

enskilda sektorer som inte direkt kopplar till försörjningsfrågor. Exempelvis identifierades relativt få studier om energiförsörjning.

Det är möjligt att relevanta studier inte fångades upp av de använda sökttermerna. På samma sätt hittades få studier om dricksvattenförsörjning, vilket kan bero på en faktisk forskningslucka som även tidigare forskning identifierar, men det kan också vara ett tecken på begränsad tillgång till offentligt tillgängliga data. Särskilt inom dricksvattenområdet kan sekretess och säkerhetsaspekter begränsa tillgången till data, vilket utmanar framtida forskning och kunskapsdelning. För att säkerställa en mer heltäckande bild skulle en noggrann genomgång av dessa studier behöva göras för att analysera hur deras resultat relaterar till försörjningsberedskap och försörjningssäkerhet.

4.3 Studiens implikationer

Studiens resultat visar att det behövs mer kunskap om ett antal kritiska frågor som berör försörjningsberedskapen. Endast ett fåtal av de granskade studierna behandlade fall i Sverige eller Norden, vilket påvisar behovet av mer kunskap om klimatextremers påverkan på försörjningsberedskap i nordiska länder. Samtidigt står Norden inför nya risklandskap präglade av antagonistiska hot, den pågående klimatförändringen och därmed potentiella polykriser. Dessa kan påverka en eller flera försörjningssektorer och ge upphov till omfattande kaskadeffekter med följder för samhällets säkerhet och beredskap. Denna studie visar att det krävs ökade forskningsinsatser för att bättre förstå och hantera komplexa beroendekedjor och de utmaningar som polykriser medför. Särskilt viktig är tvärvetenskaplig forskning, som kan belysa samspelet mellan extrema naturhändelser och samhällsliga kriser på ett nyanserat och adekvat sätt. Ökad uppmärksamhet för dessa frågor är avgörande för att stärka samhällets motståndskraft och för att säkerställa stabila försörjningskedjor i en alltmer oförutsägbar värld.

Referenser

- Ali, I., Arslan, A., Tarba, S., & Mainela, T. (2023). Supply chain resilience to climate change inflicted extreme events in agri-food industry: The role of social capital and network complexity. *Int J Prod Econ*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108968>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Becker, A., Ng, A. K. Y., McEvoy, D., & Mullett, J. (2018). Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains. *WILEY INTERDISCIPLINARY REVIEWS-CLIMATE CHANGE*, 9(2). <https://doi.org/10.1002/wcc.508>
- Beheshtian, A., Geddes, R. R., & Donaghy, K. P. (2018). Modeling the Impacts of Climatic Extremes on Interregional Freight-Transportation System. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, 2672(2), 33-43. <https://doi.org/10.1177/0361198118758393>
- Beheshtian, A., Donaghy, K. P., Rouhani, O. M., & Geddes, R. (2019). Adaptation planning for climate-resilient urban infrastructures. *Transportation Planning and Technology*, 42(2), 113-129. <https://doi.org/10.1080/03081060.2019.1565160>
- Berardy, A., & Chester, M. V. (2017). Climate change vulnerability in the food, energy, and water nexus: Concerns for agricultural production in Arizona and its urban export supply. *Environ.Res.Lett.*, 12(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5e6d>
- Bian, R. J., Smiley, K. T., Parr, S., Shen, J. Y., & Murray-Tuite, P. (2024). Analyzing Gas Station Visits during Hurricane Ida: Implications for Future Fuel Supply. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, 2678(4), 706-718. <https://doi.org/10.1177/03611981231186600>
- Bross, L., Krause, S., Wannewitz, M., Stock, E., Sandholz, S., & Wienand, I. (2019). Insecure security: Emergency water supply and minimum standards in Countries with a high supply reliability. *Water*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/w11040732>
- Butler, S., Jones, S. (The Guardian) (2024). Spain's flood force some UK sellers to buy oranges from southern hemisphere. *The Guardian*, 23 Novem-

- ber 2024. <https://www.theguardian.com/business/2024/nov/23/spains-floods-force-uk-sellers-buy-oranges-southern-hemisphere>
- Chhetri, P., Gekara, V., Scott, H., & Thai, V. V. (2020). Assessing the workforce adaptive capacity of seaports to climate change: an Australian perspective. *MARITIME POLICY & MANAGEMENT*, *47*(7), 903-919. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1729433>
- Clavijo-Buritica, N., Triana-Sanchez, L., & Escobar, J. W. (2023). A hybrid modeling approach for resilient agri-supply network design in emerging countries: Colombian coffee supply chain. *Socio-Econ. Plann. Sci.*, *85*. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101431>
- Colon, C., Hallegatte, S., & Rozenberg, J. (2021). Criticality analysis of a country's transport network via an agent-based supply chain model. *Nature Sustain.*, *4*(3), 209-215. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00649-4>
- Dargin, J., Berk, A., & Mostafavi, A. (2020). Assessment of household-level food-energy-water nexus vulnerability during disasters. *Sustainable Cities Soc.*, *62*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102366>
- Davis, K. F., Downs, S., & Gephart, J. A. (2021). Towards food supply chain resilience to environmental shocks. *NATURE FOOD*, *2*(1). <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00196-3>
- Dinku, T. (2019). Chapter 7 - Challenges with availability and quality of climate data in Africa, in: Melesse, A.M., Abteu, W., Senay, G. (Eds.), *Extreme Hydrology and Climate Variability*. Elsevier, pp. 71-80. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00007-5>
- Edwards, D. R., Idoko, F. O., Vogiatzis, C., Davis, L. B., & Mirchandani, P. (2023). Determining optimal fuel delivery strategies under uncertainty. *Socio-Econ. Plann. Sci.*, *88*. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101612>
- Feliciano, R. J., Boué, G., & Membré, J. M. (2020). Overview of the potential impacts of climate change on the microbial safety of the dairy industry. *Foods*, *9*(12). <https://doi.org/10.3390/foods9121794>
- Fraser, E. D. G., Legwegoh, A., & Kc, K. (2015). Food stocks and grain reserves: evaluating whether storing food creates resilient food systems. *J. Environ. Stud. Sci.*, *5*(3), 445-458. <https://doi.org/10.1007/s13412-015-0276-2>
- Gerhold, L., Wahl, S., & Dombrowsky, W. R. (2019). Risk perception and emergency food preparedness in Germany. *INTERNATIONAL JOURNAL OF DISASTER RISK REDUCTION*, *37*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101183>

- Ghadge, A., Wurtmann, H., & Seuring, S. (2020). Managing climate change risks in global supply chains: a review and research agenda. *Int J Prod Res*, 58(1), 44-64. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1629670>
- Gomez, M., Mejia, A., Ruddell, B. L., & Rushforth, R. R. (2021). Supply chain diversity buffers cities against food shocks. *Nature*, 595(7866), 250-254. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03621-0>
- Grusson, Y., Wesström, I., Abraham, J. (2021). Impact of climate change on Swedish agriculture: Growing season rain deficit and irrigation need. *Agricultural Water Management*, 251, 106858. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106858>
- Han, Y., Zhai, W., Mozumder, P., van Westen, C., Chen, C. (2025). Modeling evacuation activities amid compound hazards: Insights from hurricane Irma in Southeast Florida, *Travel Behaviour and Society*, Volume 38, 2025, 100933. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100933>
- Hersh, E., Jackson, M., Menninger, J., Shippee, N., Thomas, J., & Rao, N. (2024). Potential water-related risks to the electric power industry associated with changing surface water conditions. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 60(2), 331-362. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.13166>
- Holman, I. P., Hess, T. M., Rey, D., & Knox, J. W. (2021). A Multi-Level Framework for Adaptation to Drought Within Temperate Agriculture. *Front. Environ. Sci.*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.589871>
- Hua, Z., Zhou, B., Or, S. W., Zhang, J., Li, C., & Wei, J. (2024). Robust Emergency Preparedness Planning for Resilience Enhancement of Energy-Transportation Nexus Against Extreme Rainfalls. *IEEE Trans Ind Appl*, 60(1), 1196-1207. <https://doi.org/10.1109/TIA.2023.3274615>
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Iqbal, B., Alabbosh, K. F., Jalal, A., Suboktagin, S., & Elboughdiri, N. (2024). Sustainable food systems transformation in the face of climate change: strategies, challenges, and policy implications. *Food Sci. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01712-y>
- Islam, S., Goerlandt, F., Uddin, M.J., Shi, Y. and Abdul Rahman, N.S.F. (2021). Exploring vulnerability and resilience of shipping for coastal communities during disruptions: findings from a case study of Vancouver Island in Canada. *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 32 No. 4, pp. 1434-1460. <https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2020-0466>

- Jackson, N. D., Konar, M., Debaere, P., & Sheffield, J. (2021). Crop-specific exposure to extreme temperature and moisture for the globe for the last half century. *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, 16(6).
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf8e0>
- Jacobsen, J. K. S., Leiren, M. D., & Saarinen, J. (2016). Natural hazard experiences and adaptations: A study of winter climate-induced road closures in Norway. *Nor. Geogr. Tidsskr.*, 70(5), 292-305.
<https://doi.org/10.1080/00291951.2016.1238847>
- Jagtap, S., Trollman, H., Trollman, F., Garcia-Garcia, G., & Martindale, W. (2024). Surviving the storm: navigating the quadruple whammy impact on Europe's food supply chain. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 59(6), 3652-3666.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.17106>
- Jaroszowski, D., Hooper, E., Baker, C., Chapman, L., & Quinn, A. (2015). The impacts of the 28 June 2012 storms on UK road and rail transport. *Meteorol. Appl.*, 22(3), 470-476. <https://doi.org/10.1002/met.1477>
- Jewiss, J.L., Brown, M.E., Escobar, V.M. (2020). Satellite Remote Sensing Data for Decision Support in Emerging Agricultural Economies: How Satellite Data Can Transform Agricultural Decision Making [Perspectives]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* 8, 117-133.
<https://doi.org/10.1109/MGRS.2020.3023343>
- Jonsson, E., Todorović, A., Blicharska, M., Francisco, A., Grabs, T., Sušnik, J., Teutschbein, C. (2024). An introduction to data-driven modelling of the water-energy-food-ecosystem nexus. *Environmental Modelling & Software* 181, 106182. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106182>
- Johansson, J., Arvidsson, B. & Tehler, H. (2017). *Kunskapsöversikt säkra flöden, försörjnings- säkerhet och kritiska beroenden*. MSB och Lunds universitet. MSB1115.
- Joines, M., Horgan, M., Li, R., Helmrich, A., Dirks, A., Tarr, K., Sparks, R., Hoff, R., Kimball, M., & Chester, M. (2024). Cross-boundary risks of hinterland hazards to city infrastructure. *Environ. Res. Infrastruct. Sustain.*, 4(3).
<https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad5fb4>
- Keller, G. R. (2023). Infrastructure Adaptation and Climate Resilience for California's National Forests. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*.
<https://doi.org/10.1177/03611981221148701>
- Kim, A. M., Beverly, J. L., & Al Zahid, A. (2024). Directional analysis of community wildfire evacuation capabilities. *Saf. Sci.*, 171.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106378>

- Kirezieva, K., Jacxsens, L., van Boekel, M. A. J. S., & Luning, P. A. (2015). Towards strategies to adapt to pressures on safety of fresh produce due to climate change. *Food Res. Int.*, *68*, 94-107.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.077>
- Kolpakov, A., Sipiora, A. M., Johnson, C., & Nobler, E. (2022). Transportation Fuel Resiliency: Case Study of Tampa Bay. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, *2676*(1), 655-665.
<https://doi.org/10.1177/03611981211041604>
- Kvarnlöf, L., & Wall, E. (2021). Stories of the storm: the interconnection between risk management strategies and everyday experiences of rurality. *JOURNAL OF RISK RESEARCH*, *24*(8), 1016-1029.
<https://doi.org/10.1080/13669877.2020.1789694>
- Little, R. G., Loggins, R. A., Mitchell, J. E., Ni, N., Sharkey, T. C., & Wallace, W. A. (2020). CLARC: An Artificial Community for Modeling the Effects of Extreme Hazard Events on Interdependent Civil and Social Infrastructure Systems. *J. Infrastruct. Syst.*, *26*(1).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000519](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000519)
- Ma, F., Lee, J. Y., Camenzind, D., & Wolcott, M. (2022). Probabilistic Wildfire risk assessment methodology and evaluation of a supply chain network. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, *82*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103340>
- MacMahon, A., Smith, K., & Lawrence, G. (2015). Connecting resilience, food security and climate change: lessons from flooding in Queensland, Australia. *J. Environ. Stud. Sci.*, *5*(3), 378-391.
<https://doi.org/10.1007/s13412-015-0278-0>
- Magliocca, N.R. (2020). Agent-Based Modeling for Integrating Human Behavior into the Food–Energy–Water Nexus. *Land* *9*, 519.
<https://doi.org/10.3390/land9120519>
- Mao, Y. Q., Zeineldin, M., Usmani, M., Uprety, S., Shisler, J. L., Jutla, A., Unnikrishnan, A., & Nguyen, T. H. (2021). Distribution and Antibiotic Resistance Profiles of *Salmonella enterica* in Rural Areas of North Carolina After Hurricane Florence in 2018. *GEOHEALTH*, *5*(2).
<https://doi.org/10.1029/2020GH000294>
- Marten, G. G., & Atalan-Helicke, N. (2015). Introduction to the Symposium on American Food Resilience. *J. Environ. Stud. Sci.*, *5*(3), 308-320.
<https://doi.org/10.1007/s13412-015-0310-4>

- Marufuzzaman, M., & Ekşioğlu, S. D. (2017). Designing a reliable and dynamic multimodal transportation network for biofuel supply chains. *Transp Sci*, 51(2), 494-517. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0632>
- Milićević, D., Nastasijević, I., & Petrović, Z. (2016). Mycotoxin in the food supply chain—implications for public health program. *J. Environ. Sci. Health Part C Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev.*, 34(4), 293-319. <https://doi.org/10.1080/10590501.2016.1236607>
- Milićević, D., Udovički, B., Petrović, Z., Janković, S., Radulović, S., Gurinović, M., & Rajković, A. (2020). Current status of mycotoxin contamination of food and feeds and associated public health risk in Serbia. *Meat. Technol.*, 61(1), 1-36. <https://doi.org/10.18485/meattech.2020.61.1.1>
- Mishra, A., Bruno, E., & Zilberman, D. (2021). Compound natural and human disasters: Managing drought and COVID-19 to sustain global agriculture and food sectors. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 754. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142210>
- Molajou, A., Pouladi, P., Afshar, A. (2021). Incorporating Social System into Water-Food-Energy Nexus. *Water Resour Manage* 35, 4561–4580. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02967-4>
- Mottahedi, A., Sereshki, F., Ataei, M., Qarahasanlou, A. N., & Barabadi, A. (2021). The Resilience of Critical Infrastructure Systems: A Systematic Literature Review. *Energies*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/en14061571>
- Munialo, C. D., & Mellor, D. D. (2024). A review of the impact of social disruptions on food security and food choice. *Food Sci. Nutr.*, 12(1), 13-23. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3752>
- Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology*, 18(1), 143. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- Murphy, M., Carey, R., & Alexandra, L. (2023). Building the resilience of agri-food systems to compounding shocks and stresses: A case study from Melbourne, Australia. *Front. Sustain. food Syst.*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1130978>
- Musacchio, A., Andrade, L., O'Neill, E., Re, V., O'Dwyer, J., & Hynds, P. D. (2021). Planning for the health impacts of climate change: Flooding, private groundwater contamination and waterborne infection – A cross-sec-

- tional study of risk perception, experience and behaviours in the Republic of Ireland. *Environ. Res.*, 194.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110707>
- Naqvi, A., Gaupp, F., & Hochrainer-Stigler, S. (2020). The risk and consequences of multiple breadbasket failures: an integrated copula and multilayer agent-based modeling approach. *OR Spectrum*, 42(3), 727-754.
<https://doi.org/10.1007/s00291-020-00574-0>
- Nälsén, M. (Land Lantbruk och Skogsbruk) (2021). Brist på nötkött i hela landet. 29 januari 2021. Land Lantbruk och Skogsbruk.
<https://www.landlantbruk.se/brist-pa-notkott-i-hela-landet>
- O'Connor, F. (Irish Independent) (2025). Fresh threat to consumer prices as new Holyhead restrictions hammer hauliers with 25pc price rise. Irish Independent. 26 januari 2025. <https://www.independent.ie/business/irish/fresh-threat-to-consumer-prices-as-new-holyhead-restrictions-hammer-hauliers-with-25pc-price-rise/a18652594.html>
- Parajuli, R., Thoma, G., & Matlock, M. D. (2019). Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. *Sci. Total Environ.*, 650, 2863-2879.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.019>
- Perdana, T., Onggo, B. S., Sadeli, A. H., Chaerani, D., Achmad, A. L. H., Hermiatin, F. R., & Gong, Y. (2022). Food supply chain management in disaster events: A systematic literature review. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 79.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103183>
- Quinn, A. D., Ferranti, E. J. S., Hodgkinson, S. P., Jack, A. C. R., Beckford, J., & Dora, J. M. (2018). Adaptation becoming business as usual: A framework for climate-change-ready transport infrastructure. *Infrastructures*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/infrastructures3020010>
- Rahman, M. M., Nguyen, R., & Lu, L. (2022). Multi-level impacts of climate change and supply disruption events on a potato supply chain: An agent-based modeling approach. *Agric. Syst.*, 201.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103469>
- Reed, C., Anderson, W., Kruczkiewicz, A., Nakamura, J., Gallo, D., Seager, R., & McDermid, S. S. (2022). The impact of flooding on food security across Africa. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 119(43).
<https://doi.org/10.1073/pnas.2119399119>
- Reis, K. (2019). Five things government can do to encourage local food contingency plans. *Journal of Environmental Planning and Management*,

62(13), 2295–2312.

<https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1540772>

Robichaud, P. J. L., & Padowski, J. C. (2024). Drinking water under fire: Water utilities' vulnerability to wildfires in the Pacific Northwest. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 60(2), 590-602. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.13174>

Rojas-Reyes, J. J., Rivera-Cadavid, L., & Peña-Orozco, D. L. (2024). Disruptions in the food supply chain: A literature review. *Heliyon*, 10(14). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34730>

Rose, A. K., Fabbro, L., & Kinnear, S. (2018). Cyanobacteria breakthrough: Effects of *Limnothrix redekei* contamination in an artificial bank filtration on a regional water supply. *HARMFUL ALGAE*, 76, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.04.010>

Rosenheim, N. P., Watson, M., Connors, J. C., Safayet, M., & Peacock, W. G. (2024). Food Access After Disasters. *JOURNAL OF THE AMERICAN PLANNING ASSOCIATION*, 90(3), 452-470. <https://doi.org/10.1080/01944363.2023.2284160>

Santín, C., Doerr, S. H., Otero, X. L., & Chafer, C. J. (2015). Quantity, composition and water contamination potential of ash produced under different wildfire severities. *ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 142, 297-308. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.041>

Serra, K. L. O., & Sanchez-Jauregui, M. (2022). Food supply chain resilience model for critical infrastructure collapses due to natural disasters. *BRITISH FOOD JOURNAL*, 124(13), 14-34. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2020-1066>

Sheu, J. B., & Kuo, H. T. (2020). Dual speculative hoarding: A wholesaler-retailer channel behavioral phenomenon behind potential natural hazard threats. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101430>

Siluthanyi, M., Pradhan, A., & Yahia, Z. (2024). Scenario Analysis for Supply Chain Management of Milled Grain Products in South Africa: A System Dynamics Approach. *Operations Supply Chain Manag.*, 17(1), 142-163. <https://doi.org/10.31387/oscm0560419>

Singh-Peterson, L., & Lawrence, G. (2015). Insights into community vulnerability and resilience following natural disasters: perspectives with food retailers in Northern NSW, Australia. *Local Environ.*, 20(7), 782-795. <https://doi.org/10.1080/13549839.2013.873396>

- Singh-Peterson, L., & Lawrence, G. (2017). The changing face of the Mary Valley: considering the fairness, sustainability and resilience of the agricultural system in a peri-urban setting. *Local Environ.*, 22(5), 568-580. <https://doi.org/10.1080/13549839.2016.1233953>
- Sinha, P., Julius, S., Fry, M., Truesdale, R., Cajka, J., Eddy, M., Doraiswamy, P., & Womack, D. (2024). Assessing community vulnerability to extreme events in the presence of contaminated sites and waste management facilities: An indicator approach. *Urban Clim.*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101800>
- Sioen, G. B., Sekiyama, M., Terada, T., & Yokohari, M. (2017). Post-disaster food and nutrition from urban agriculture: A self-Sufficiency analysis of Nerima ward, Tokyo. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph14070748>
- Smith, K., Lawrence, G., MacMahon, A., Muller, J., & Brady, M. (2016). The resilience of long and short food chains: a case study of flooding in Queensland, Australia. *Agric. Hum. Values*, 33(1), 45-60. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9603-1>
- Souto, L., Parisio, A., & Taylor, P. C. (2024). MPC-based framework incorporating pre-disaster and post-disaster actions and transportation network constraints for weather-resilient power distribution networks. *Appl. Energy*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123013>
- Souza Almeida, L., Goerlandt, F., & Pelot, R. (2022). Trends and gaps in the literature of road network repair and restoration in the context of disaster response operations. *Socio-Econ. Plann. Sci.*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101398>
- Spraktes, F., & McEntire, D. A. (2024). Responding to the February 2021 Texas Freeze: A Case Study of the Reaction to the Cascading Effects of a Complex Disaster. *J. Homeland Secur. Emerg. Manage.*, 21(1), 99-125. <https://doi.org/10.1515/jhsem-2022-0025>
- Stahl, K., Kohn, I., Blauhut, V., Urquijo, J., De Stefano, L., Acácio, V., Dias, S., Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Kampragou, E., Van Loon, A. F., Barker, L. J., Melsen, L. A., Bifulco, C., Musolino, D., de Carli, A., Massarutto, A., Assimacopoulos, D., & Van Lanen, H. A. J. (2016). Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. *NATURAL HAZARDS AND EARTH SYSTEM SCIENCES*, 16(3), 801-819. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-801-2016>
- Stenérus Dover, A., Odell, A., Larsson, P. & Lindgren, J. (2019). *Beredskapslagring. En kunskapsöversikt om beredskapslagring som ett verktyg för ökad försörjningsberedskap i Sverige*. FOI-R--4644--SE.

- Stokeld, E., Croft, S., dos Reis, T. N. P., Stringer, L. C., & West, C. (2023). Stakeholder perspectives on cross-border climate risks in the Brazil-Europe soy supply chain. *J. Clean. Prod.*, 428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139292>
- Sušnik, J., Masia, S., Indriksone, D., Brēmere, I., Vamvakeridou-Lydroudia, L. (2021). System dynamics modelling to explore the impacts of policies on the water-energy-food-land-climate nexus in Latvia. *Science of The Total Environment* 775, 145827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145827>
- Sutcliffe, C., Knox, J., & Hess, T. (2021). Managing irrigation under pressure: How supply chain demands and environmental objectives drive imbalance in agricultural resilience to water shortages. *Agric. Water Manage.*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106484>
- Tatar, U., Santos, J. R., & Thekdi, S. A. (2022). Managing Physical and Economic Risk for Systems with Multidirectional Network Interdependencies. *Risk Anal.*, 42(5), 1106-1123. <https://doi.org/10.1111/risa.13824>
- Tachaudomdach, S., Upayokin, A., Kronprasert, N., & Arunotayanun, K. (2021). Quantifying Road-Network Robustness toward Flood-Resilient Transportation Systems. *Sustainability*, 13(6), 3172. <https://doi.org/10.3390/su13063172>
- Teutschbein, C., Albrecht, F., Blicharska M. et al. (2023). Drought hazards and stakeholder perception: Unraveling the interlinkages between drought severity, perceived impacts, preparedness, and management. *Ambio* 52(7):1262-1281. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01849-w>
- Tigchelaar, M., Selig, E. R., Sarhadi, A., Bruce, J., Allison, E. H., Battista, W., Fanzo, J., Kleisner, K. M., Mehrabi, Z., Naylor, R. L., Schmidhuber, J., & Thilsted, S. H. (2025). Nutrition-sensitive climate risk across food production systems. *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, 20(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad9b3a>
- Tomasella, J., Martins, M. A., & Shrestha, N. (2023). An open-source tool for improving on-farm yield forecasting systems. *FRONTIERS IN SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1084728>
- Torvanger, A., Dyvik Henke, C., & Marginean, I. (2024). Improving climate risk preparedness - Railroads in Norway. *Clim. Serv.*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100439>
- Tsiamas, K., & Rahimifard, S. (2021). A simulation-based decision support system to improve the resilience of the food supply chain. *Int J Computer*

- Integr Manuf*, 34(9), 996-1010.
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1946859>
- Umar, M., Wilson, M., & Heyl, J. (2017). Food network resilience against natural disasters: A conceptual framework. *SAGE Open*, 7(3).
<https://doi.org/10.1177/2158244017717570>
- Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2020). Port disruptions due to natural disasters: Insights into port and logistics resilience. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102393>
- Vinke, F., van Koningsveld, M., van Dorsser, C., Baart, F., van Gelder, P., & Vellinga, T. (2022). Cascading effects of sustained low water on inland shipping. *Clim. Risk Manage.*, 35.
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100400>
- Vrba, J. (2016). The role of groundwater governance in emergencies during different phases of natural disasters. *Hydrogeol. J.*, 24(2), 287-302.
<https://doi.org/10.1007/s10040-015-1353-z>
- Wang, X., Liu, C., & van der Fels-Klerx, H. J. (2022). Regional prediction of multi-mycotoxin contamination of wheat in Europe using machine learning. *Food Res. Int.*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111588>
- Welch, K., Lambert, L. H., Lambert, D. M., & Kenkel, P. (2022). Flood-Induced Disruption of an Inland Waterway Transportation System and Regional Economic Impacts. *Water*, 14(5).
<https://doi.org/10.3390/w14050753>
- Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2023). Systemic risks from climate-related disruptions at ports. *NATURE CLIMATE CHANGE*, 13(8), 804-+.
<https://doi.org/10.1038/s41558-023-01754-w>
- White, R. H., Anderson, S., Booth, J. F., Braich, G., Draeger, C., Fei, C. Y., Harley, C. D. G., Henderson, S. B., Jakob, M., Lau, C. A., Admasu, L. M., Narinesingh, V., Rodell, C., Rookroft, E., Weinberger, K. R., & West, G. (2023). The unprecedented Pacific Northwest heatwave of June 2021. *NATURE COMMUNICATIONS*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36289-3>
- Windsor, P. A. (2021). Progress With Livestock Welfare in Extensive Production Systems: Lessons From Australia. *Front. Vet. Sci.*, 8.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2021.674482>
- Wong, S. D., Broader, J. C., & Shaheen, S. A. (2022). Power Trips: Early Understanding of Preparedness and Travel Behavior During California Public Safety Power Shutoff Events. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, 2676(7), 395-410. <https://doi.org/10.1177/03611981221078569>

- Woodburn, A. (2019). Rail network resilience and operational responsiveness during unplanned disruption: A rail freight case study. *J. Transp. Geogr.*, 77, 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.04.006>
- Yao, J., Yu, L., & An, S. (2024). Agricultural product harvest equilibrium with transportation bottleneck and random disasters. *TRANSPORTATION RESEARCH PART E-LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103804>
- Zhang, C., Zhao, P., Huang, Z., He, Z., Niu, Y., Huang, G., & Chen, Y. (2024). Assessing vessel transportation delays affected by tropical cyclones using AIS data and a bayesian network: A case study of veronica in north-western Australia. *Ocean Eng.*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118385>
- Zhu, Y., Ozbay, K., Yang, H., Zuo, F., & Sha, D. (2021). Modeling and Simulation of Cascading Failures in Transportation Systems during Hurricane Evacuations. *J Adv Transp*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5599073>
- Zimoch, I., & Grabuńczyk, M. (2023). Water intake efficiency analysis in risk management of water supply systems - a case study of Głubczyce Collective Water Supply System, Poland. *Desalin. Water Treat.*, 316, 669-681. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.30242>
- Zurek, M., Garbutt, G., Lieb, T., Hess, T., & Ingram, J. (2020). Increasing Resilience of the UK Fresh Fruit and Vegetable System to Water-Related Risks. *SUSTAINABILITY*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/su12187519>