



LUNDS UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

# Kritiska beroenden: Samberoende infrastrukturer och samhällskonsekvenser på nationell nivå

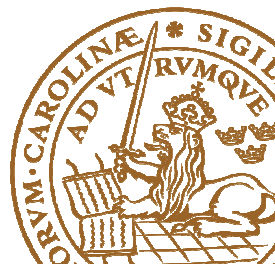
PRIVAD SEMINARIUM, STOCKHOLM, 20131128

*Jonas Johansson*



## Innehåll

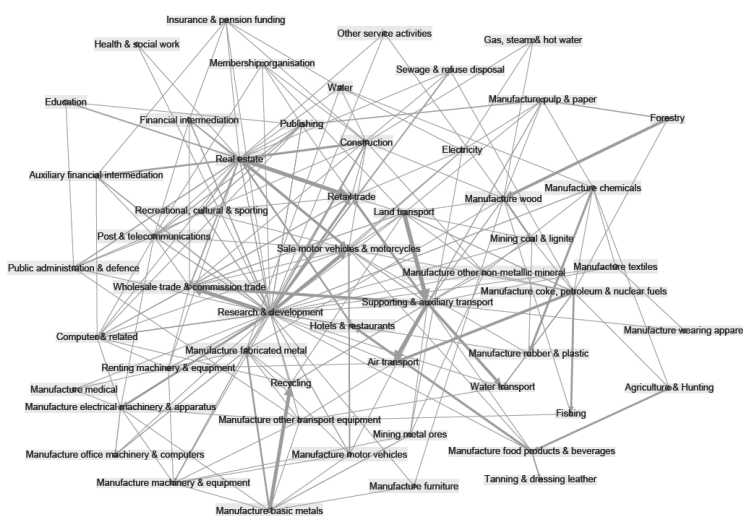
- INTRODUKTION
- SAMBEROENDE EKONOMISKA SEKTORER
- SAMBEROENDE TEKNISKA INFRASTRUKTURER
- SAMHÄLLSKONSEKVENSER AV ELAVBROTT I SVERIGES ELFÖRSÖRJNINGSSYSTEM



# Introduktion

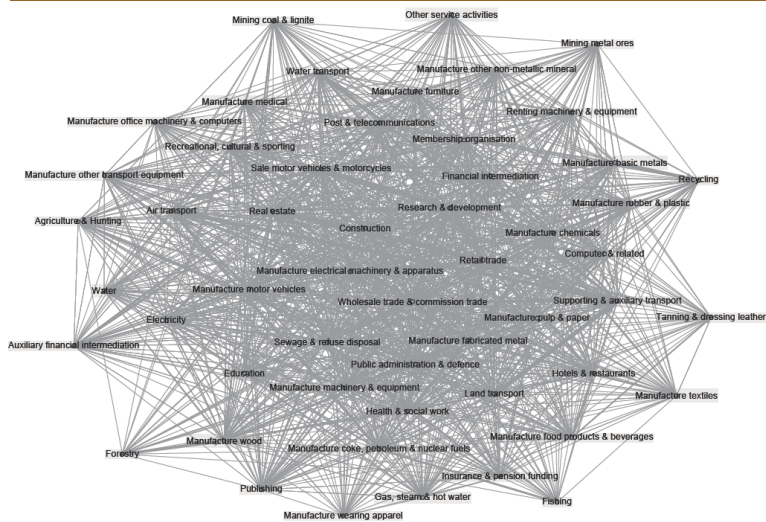


# Introduktion Beroendeanalysers komplexitet...



Lunds Universitet (LTH) | PRIVAD | Jonas Johansson | 2013-11-28

## Introduktion Beroendeanalysers komplexitet...



## Introduktion - Utmaningar beroendeanalys infrastruktur

- **Socio-Tekniska system**  
Aktörer styr infrastruktureernas utveckling som i sin tur påverkar aktörerna beteende
- **Icke-linjära system**  
Kritiska trösklar där små störningar ger upphov till oproportionerliga konsekvenser
- **Icke-stängda geografiskt stora miljöer**  
Omfattande antal hot och risker att ta i beaktning
- **Antal systemtillstånd överskådligt**  
Omöjligt att uttömmande täcka alla möjliga händelser
- **Samhällets beroende**  
Förändrad efterfrågan och grad av beroende till kritisk infrastruktur tjänster
- **Ökande grad av beroenden**  
Ett system-av-system perspektiv allt mer nödvändigt
- **Fragmenterat ägarskap**  
Ägs av ett stort antal offentliga och privata aktörer
- **Indatabegränsningar**  
Brist på data och sekretess försvårar analys

# Samberoende ekonomiska sektorer

---



## Samberoende ekonomiska sektorer Modellering av beroenden med IIM

---

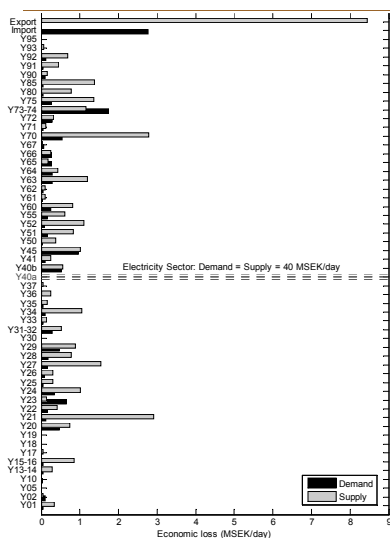
- En modell för att analysera beroenden är Inoperability Input-Output Modell (IIM\*).
- Bygger på Leontiefs input-output modell (nobelpris 1973) för studier ur ett nationalekonomiskt perspektiv.
- IIM har använts nästan uteslutande för ekonomisk data pga. tillgänglighet (samlas t.ex. in årligen i Sverige av SCB) men går att använda med expertuppskattningar av beroenden (dock omfattade datainsamling)
- Med Ekonomisk IIM approximeras beroenden mellan sektorer (ca 53 st på nationell nivå) genom det monetära värdet av utbytet av varor/tjänster mellan sektorerna.

## Samberoende ekonomiska sektorer Modellering av beroenden med IIM

- Fördelarna med Ekonomisk IIM:
  - Ekonomisk data finns tillgänglig på nationell nivå (dock ej direkt för län/kommun) → Möjligt att faktiskt göra analyser.
  - Enkel matematisk (linjär) modell
  - "Minimal" indata
- Nackdelarna med Ekonomisk IIM
  - Linjär modell (fångar inte komplexiteten). Beroendena proportionella mot värdet för ekonomisk transaktion (jmf. sjukhus beroende av vattenförsörjning).
  - Nationalekonomiska data bygger på jämvikt över tidsperioden år. Tveksam validitet att använda för korta störningar.

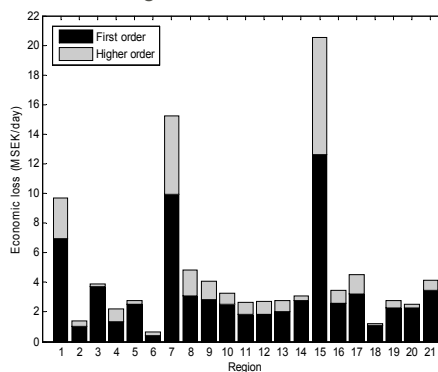
Lunds Universitet (LTH) | PRIVAD | Jonas Johansson | 2013-11-28

## Samberoende ekonomiska sektorer - Samhällskonsekvenser av elavbrott



Lunds Universitet (LTH) | PRIVAD | Jonas Johansson | 2013-11-28

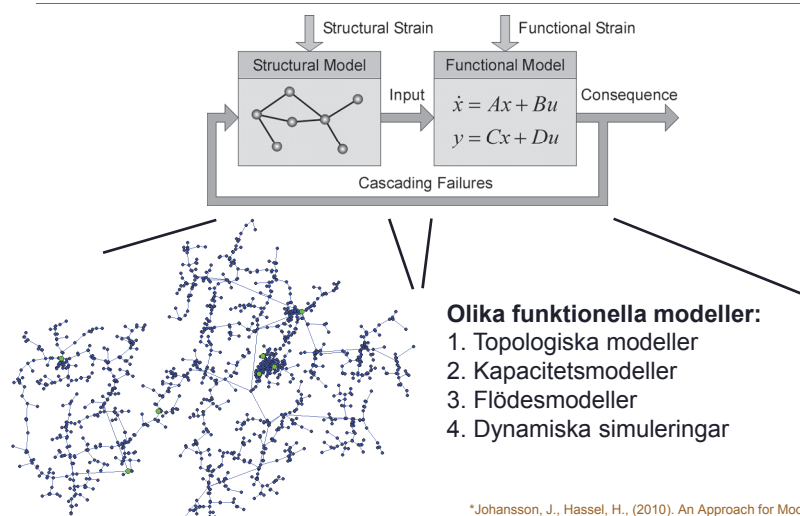
- **Vänster:** Ekonomiska konsekvenser (MSEK/dag) för 10% nedsättning av elkraftsektorn.
- **Under:** Första och högre ordningens konsekvenser (MSEK/dag) för 10% nedsättning av elkraftsektorn.



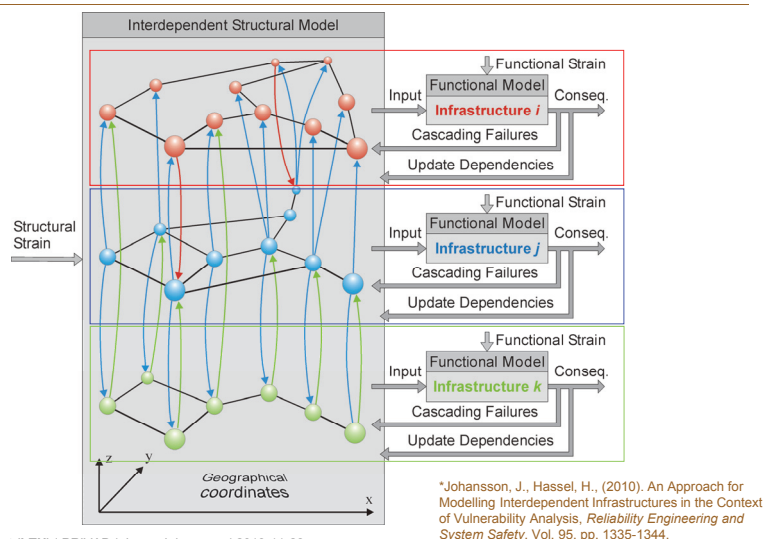
# Samberoende tekniska infrastrukturer



## Samberoende tekniska infrastrukturer - Modellering av enskilda system



## Samberoende tekniska infrastrukturer - Modellering av samberoende system



Lunds Universitet (LTH) | PRIVAD | Jonas Johansson | 2013-11-28

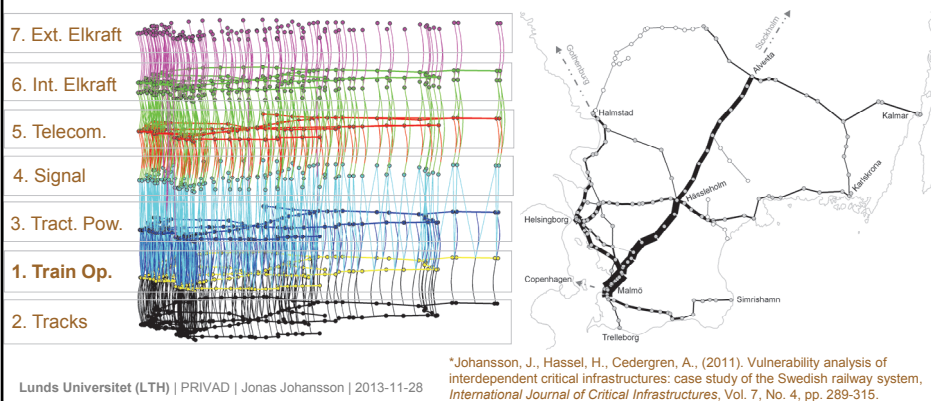
## Samberoende tekniska infrastrukturer - Modellering av samberoende system

- Fördelar med modellen
  - Ger en gemensam plattform för modellering
  - Går att analysera hur störningar i ett system sprider sig och får konsekvenser ur ett "system-av-system"-perspektiv
  - Bygger på faktisk struktur och funktion hos de system som analyseras. Analyser på komponentnivå → Åtgärder "enkelt"
- Nackdelar med modellen
  - Beroenden måste kartläggas och föras in i modellen (effekten av beroenden som är av intresse)
  - Kräver relativt omfattande datainsamling och domänkunskap för flera olika typer av tekniska system

Lunds Universitet (LTH) | PRIVAD | Jonas Johansson | 2013-11-28

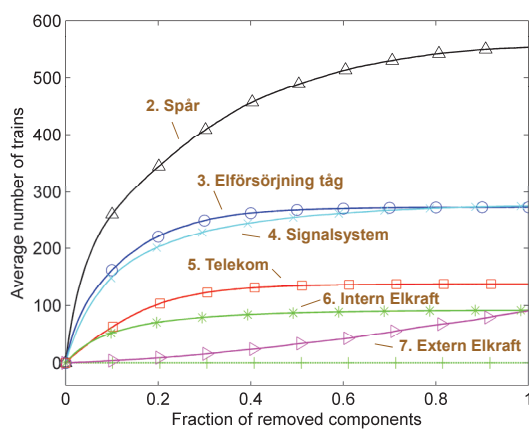
## Samberoende tekniska infrastrukturer - Järnvägssystemet i södra Sverige

- Består av **sju beroende tekniska system** (totalt 3171 komponenter och 1328 beroenden)
- Beräknar antal tåg som inte når sin destination vid störningar
- Återställningstid och buffertar inkluderade



## Samberoende tekniska infrastrukturer - Funktionella beroenden

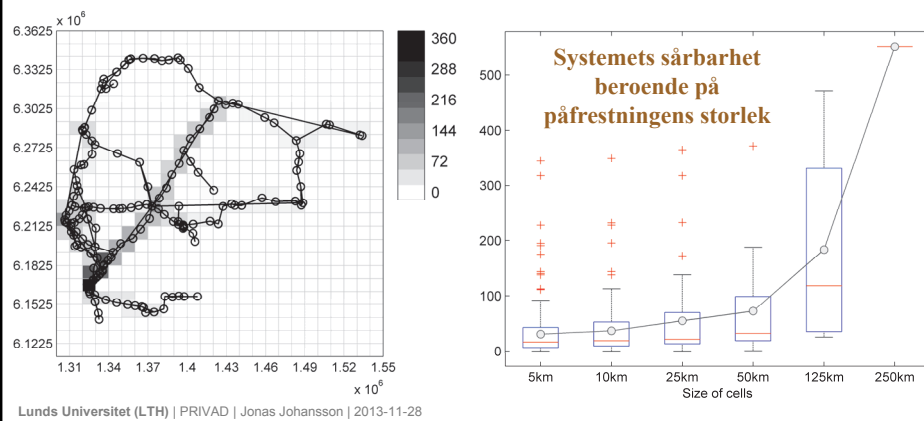
- Exempelvis kan konsekvenserna för tågföringen mätas (via beroenden) vid olika grad av påfrestning för de olika systemen.





## Samberoende tekniska infrastrukturer - Geografiska beroenden

- Exempelvis kan konsekvenserna för tågföringen mätas då påfrestningar slår ut delar av systemen som är inom samma geografiska område

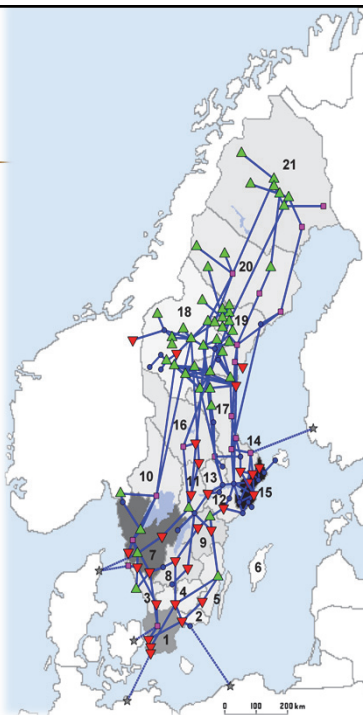


## Samhällets beroende av kritiska infrastrukturer Ek. IIM + Infrastruktur



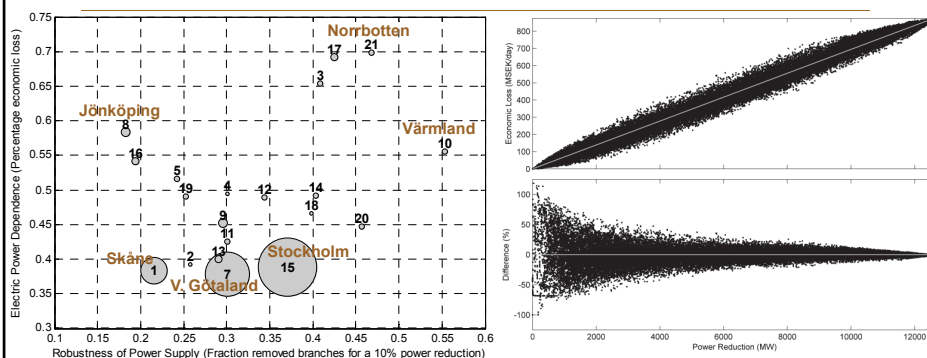
## Samhällskonsekvenser av elavbrott

- Forskningsfråga?
  - Hur väl korrelerar regionala (län) samhällskonsekvenser som uppstår vid elavbrott med det svenska elförsörjningssystemets robusthet?
- Modell samhällskonsekvenser
  - Nationell ekonomisk data för 55 sektorer
  - Nedbruten till Sveriges 21 län
  - Ekonomisk Inoperability Input Output Model
  - Skåne, V.Götaland, Stockholm: 57% av BNP
- Modell elkraftsystemet
  - Representativ modell av Sveriges elkraftssystem (transmission)
  - Konfigurerad i enlighet med störningen den 23e september 2003



Lunds Universitet (LTH) | PRIVAD | Jonas Johansson | 2013-11-28

## Samhällskonsekvenser av elavbrott



- **Slutsats:** Samhällskonsekvenser vid elavbrott och systemets robusthet varierar för olika län. Upp till 200% skillnad i ekonomiska konsekvenser för en specifik nivå av elavbrott.
- **Vänster:** Andel ekonomisk förlust vid ett 10% elavbrott mot elkraftsystemets robusthet (i form av antal borttagna elledningar för 10% elavbrott). Storlek markör BRP.
- **Höger:** Ekonomiska konsekvenser (MSEK/dag) för olika nivåer av elavbrott (MW).

Lunds Universitet (LTH) | PRIVAD | Jonas Johansson | 2013-11-28

# Summering

---



## Summering

---

- Beroendeanalyser är komplexa
- Konsekvenserna från högre ordningens beroende ej försumbara
- Kräver systematik och metoder
- Beroenden får en allt större roll
- Forskningen fortfarande i sin vagga
- Finns dock vägar framåt!

# Vetenskaplig publikationer från PRIVAD inom området kritiska infrastrukturer

Tidskrifter, Konferenser och Böcker



- 1) LaRocca, S., Johansson, J., Hassel, H., Guikema, S., (2013). **Topological Performance Measures as Surrogates for Physical Flow Models for Risk and Vulnerability Analysis for Electric Power Systems**. Submitted to an International Journal, <http://arxiv.org/abs/1306.6696>.
- 2) Johansson, J., Hassel, H., Zio, E., (2013). **Reliability and vulnerability analyses of critical infrastructures: Comparing two approaches in the context of power systems**. *Reliability Engineering and System Safety*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2013.02.027>.
- 3) Johansson, J., Hassel, H., Cedergrön, A., (2011). **Vulnerability analysis of interdependent critical infrastructures: case study of the Swedish railway system**. *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 7, No. 4, pp. 289-315.
- 4) Johansson, J., Hassel, H., (2010). **An Approach for Modelling Interdependent Infrastructures in the Context of Vulnerability Analysis**. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 95, pp. 1335-1344.
- 5) Jönsson, H., Johansson, J., Johansson, H., (2008). **Identifying Critical Components in Technical Infrastructure Networks**. *Proc. IMechE, Part O: J. Risk and Reliability*, 222(O2), 235-243.
- 6) Johansson, J., Jönsson, H., Johansson, H., (2007). **Analysing the Vulnerability of Electric Distribution Systems: A Step Towards Incorporating the Societal Consequences of Disruptions**. *Int. J. Emergency Management*, Vol. 4, No. 1, pp.4-17.
- 7) Johansson, J., Hassel, H., (2014). **Impact of Functional Models in a Decision Context of Critical Infrastructure Vulnerability**. *ASCE ICVRAM&ISUMA 2014*, Liverpool, UK, July 13-16.
- 8) Johansson, J., Svegnud, L., Hassel, H., (2013). **Societal consequences of critical infrastructure vulnerabilities: integrating power system and regional interoperability input-output models**. *European Safety and Reliability Association Conference (ESREL2013)*, Amsterdam, Netherlands, September 29 - October 2, 2013.
- 9) Landegren, F., Johansson, J., Samuelsson, O., (2013). **Review of Computer Based Methods for Modeling and Simulating Critical Infrastructures as Socio-Technical Systems**. *European Safety and Reliability Association Conference (ESREL2013)*, Amsterdam, Netherlands, September 29 - October 2, 2013.
- 10) Johansson, J., LaRocca, S., Hassel, H., Guikema, S., (2012). **Comparing Topological Performance Measures and Physical Flow Models for Vulnerability Analysis of Power Systems**. *PSAM11 & ESREL2012*, Helsinki, Finland, June 25-29, 2012.
- 11) Johansson, J., Hassel, H. (2011). **Comparison of vulnerability and reliability analysis of technical infrastructures**. *European Safety and Reliability Association Conference (ESREL2011)*, Troyes, France, September 18-22, 2011.
- 12) Johansson, J., Hassel, H. (2011). **Geographical vulnerability analysis of interdependent critical infrastructures**. *11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP11)*, Zurich, Switzerland, August 1-4, 2011.
- 13) Wilhelmsson, A., Johansson, J., (2009). **Assessing Response System Capabilities of Socio-Technical Systems**. *The International Emergency Management Society (TIEMS2009)*, Istanbul, Turkey, June 9-11.
- 14) Johansson, J., Jönsson, J., (2008). **A Model for Vulnerability Analysis of Interdependent Infrastructure Networks**. *The Joint Annual Conference of European Safety and Reliability Association and Society for Risk Analysis (ESREL2008 & SRA 17<sup>th</sup>)*, Valencia, Spain, September 22-25.
- 15) Jönsson, H., Johansson, J., Johansson, H., (2007). **Identifying Critical Components in Electric Power Systems: A Network Analytic Approach**. *European Safety and Reliability Conference 2007 (ESREL2007)*, Stavanger, Norway, June 25-27.
- 16) Johansson, J., Lindahl, S., Samuelsson, O., Ottosson, H., (2006). **The Storm Gudrun a Seven-Weeks Power Outage in Sweden**. Presented at: Third International Conference on Critical Infrastructures (CRIS2006), Alexandria, VA, USA, September 25-27.
- 17) Johansson, J., Jönsson, J., Johansson, H., (2006). **Analysing Societal Vulnerability to Perturbations in Electrical Distribution Systems**. *International Workshop on Complex Network and Infrastructure Protection (CNIP06)*, Rome, Italy, March 28-29.
- 18) Hassel, H., Johansson, J., (2013). **Developing a new method for mapping societal functions, flows and their dependencies – results from an initial study**. *Society for Risk Analysis Annual Meeting*, Baltimore, USA, December 8-11.
- 19) LaRocca, S., Johansson, J., Hassel, H., Guikema, S., (2012). **Topological performance measures as surrogates for physical flow models for electric power systems**. *Society for Risk Analysis Annual Meeting*, San Francisco, USA, December 9-12.
- 20) Johansson, J., Svensson, S., (2008). **Risk and Vulnerability Management of Electrical Distribution Grids**. *Nordic Distribution and Asset Management Conference (NORDAC 2008)*, Bergen, Norway, September 8-9.
- 21) Johansson, J., Wilhelmsson, A., (2008). **Vulnerability Analysis of Socio-Technical Systems: Addressing Railway System Vulnerabilities**. *Proceedings of Young Researches Seminar*, Malmö, Sweden.
- 22) Utne, I.B., Hassel, H., Johansson, J., (2012). **A Brief Overview of Some Methods and Approaches for Investigating Interdependencies in Critical Infrastructures**. In Hokstad, P., Utne, I.B., Vatn, J., (Eds), (2012). *Risk and Interdependencies in Critical Infrastructures – A Guideline for Analysis* (pp. 1-12). London, Springer-Verlag.
- 23) Johansson, J., Hassel, H., (2012). **Modelling, Simulation and Vulnerability Analysis of Interdependent Technical Infrastructures**. In Hokstad, P., Utne, I.B., Vatn, J., (Eds), (2012). *Risk and Interdependencies in Critical Infrastructures – A Guideline for Analysis* (pp. 49-66). London, Springer-Verlag.
- 24) Johansson, J., Hassel, H., (2012). **Vulnerability Analyses of Interdependent Technical Infrastructures**. In Hokstad, P., Utne, I.B., Vatn, J., (Eds), (2012). *Risk and Interdependencies in Critical Infrastructures – A Guideline for Analysis* (pp. 67-94). London, Springer-Verlag.
- 25) .... and more ....



**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola