

Robusta transportsystem i linje med hållbar utveckling – en pilotstudie

Karl Henrik Dreborg, Jonas Åkerman, Björn Eriksson

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Försvarsanalys
172 90 Stockholm

FOI-R--0480--SE

Maj 2002

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Robusta transportsystem i linje med hållbar utveckling – en pilotstudie

Karl Henrik Dreborg, Jonas Åkerman, Björn Eriksson

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Försvarsanalys 172 90 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0480--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde Försvars- och säkerhetspolitik	
	Månad, år Maj 2002	Projektnummer E 1751
	Verksamhetsgren Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde Stöd till säkerhet och beredskap	
Författare/redaktör Karl Henrik Dreborg Jonas Åkerman Björn Eriksson	Projektledare Karl Henrik Dreborg	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning ÖCB	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Robusta transportsystem i linje med hållbar utveckling - en pilotstudie		
Sammanfattning (högst 200 ord) Syftet med studien är att genom fallstudier pröva hur visioner om ett <i>hållbart transportsystem</i> kan förenas med visioner om ett <i>robust samhälle</i> och belysa konsekvenser med avseende på systemens sårbarhet. Fokus ligger på sådana urbana transportsystem som är starkt beroende av IT för sin funktion. De tre fallstudierna behandlar helautomatiska spårssystem, internethandel med hemkörning av dagligvaror samt utökade kollektivtransporter med realtidsinformation. Fallstudierna omfattar en analys av systemen med avseende på bl a miljöeffekter, tillförlitlighet/åtkomlighet, effekter vid felfunktion, redundans och åtgärdbarhet. En viktig faktor är hur olika systemnivåer samverkar i de olika fallen. Om en del av transportsystemet slås ut kan dess funktion ofta ersättas av andra transporter eller av IT. En generell slutsats från studien är att de transportsystem som behandlats kan göras minst lika robusta som dagens system, förutsatt att hänsyn tas till sårbarhetsaspekten när de olika systemen utformas i detalj.		
Nyckelord Robust, sårbart, hållbart, transporter, IT		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 38 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Defence Analysis SE-172 90 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R--0480--SE	Report type User report
	Research area code Defence and Security Policy	
	Month year May 2002	Project no. E 1751
	Customers code Commissioned Research	
	Sub area code Support to Security, Safety and preparedness	
Author/s (editor/s) Karl Henrik Dreborg Jonas Åkerman Björn Eriksson	Project manager Karl Henrik Dreborg	
	Approved by	
	Sponsoring agency ÖCB, The Swedish Agency for Civil Emergency planning	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Robust and sustainable transport systems - a pilot study		
Abstract (not more than 200 words) <p>The aim of the study is to test whether the visions of a sustainable society are consistent with a robust society. In focus are urban transport systems which are dependent on IT. Case studies are carried out on; automatic rail systems, Internet shopping with home deliverance and extended public transport. These transport systems are analysed with regard to environmental effect, reliability, consequences of system failure, redundance and re-start characteristics. A key factor is the interdependence of different system levels. If a part of the overall transport system fails, other transport systems or IT might provide a back-up function. A general conclusion from the case studies is that these transport systems might be at least as robust as current systems, provided that attention is paid to robustness when systems are designed.</p>		
Keywords Robust, vulnerability, sustainable, transport, IT		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 38 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	6
1 INLEDNING	7
1.1 BAKGRUND	7
1.2 UPPDRAGET, FRÅGESTÄLLNING OCH AVGRÄNSNINGAR	8
1.3 RAPPORTENS DISPOSITION	9
2 HÅLLBAR UTVECKLING OCH ROBUSTHET	10
2.1 MILJÖPROBLEMEN OCH VISIONEN OM DET HÅLLBARA TRANSPORTSYSTEMET	10
2.2 SÅRBARHETEN OCH VISIONEN OM DET ROBUSTA SAMHÄLLET	11
2.3 SYSTEMPERSPEKTIV PÅ INFRASTRUKTUR OCH IT	15
3 UTFÖRANDE	17
3.1 METOD OCH FOKUS	17
3.2 VAL AV FALLSTUDIER	18
3.3 ÖVERSIKTLIG GENOMGÅNG AV TÄNKBARA FRAMTIDA TRANSPORTSYSTEM	19
4 RESULTAT AV FALLSTUDIERNA	24
4.1 FALLSTUDIE 1: HELAUTOMATISKA SPÅRSYSTEM	24
4.2 FALLSTUDIE 2: INTERNETHANDEL MED HEMKÖRNING	28
4.3 FALLSTUDIE 3: UTÖKADE KOLLEKTIVTRANSPORTER MED REALTIDSINFORMATION	31
5 AVSLUTNING	34
5.1 DISKUSSION AV RESULTAT	34
5.2 SLUTSATSER OCH BEHOV AV FORTSATT FORSKNING	35
REFERENSER	37

Sammanfattning

Syftet med studien är att genom fallstudier pröva hur visioner om ett *hållbart transportsystem* kan förenas med visioner om ett *robust samhälle* och att belysa de konsekvenser som kan finnas med avseende på systemens sårbarhet. Fokus ligger på sådana urbana transportsystem som är starkt beroende av IT för sin funktion. De tre fallstudierna behandlar helautomatiska spårssystem, Internethandel med hemkörning av dagligvaror samt utökade kollektivtransporter med realtidsinformation. Fallstudierna omfattar en analys av systemen med avseende på bl. a miljöeffekter, tillförlitlighet/åtkomlighet, effekter vid felfunktion, redundans och åtgärdbarhet. En viktig faktor är hur olika systemnivåer samverkar i de olika fallen. Om en del av transportsystemet slås ut kan dess funktion ofta ersättas av andra transporter eller av IT. En generell slutsats från studien är att de transportsystem som behandlats kan göras minst lika robusta som dagens system, förutsatt att hänsyn tas till sårbarhetsaspekten när de olika systemen utformas i detalj.

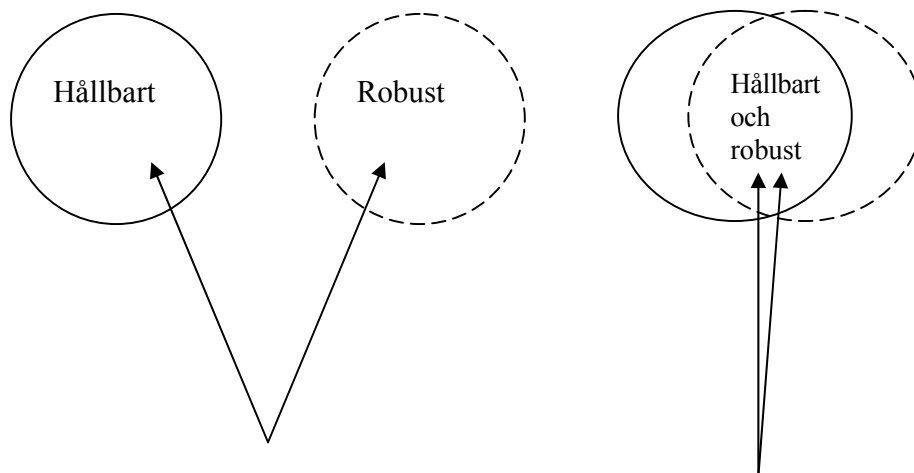
1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sedan något decennium pågår forskning och utredningar både i Sverige och i många andra länder om s.k. bärkraftig eller *hållbar utveckling*. Detta innebär en utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov. Grundläggande är då att den naturliga miljön inte överbelastas genom alltför stora resursuttag och deponering av avfall. I flera studier vid Forskningsgruppen för miljöstrategiska studier (fms) har framtidsbilder av hållbara transporter och hållbar resursanvändning utarbetats. Även andra forskningsorganisationer i Sverige och andra länder har arbetat med framtidsbilder av hållbar utveckling. Exempel är Naturvårdsverkets MaTs-projekt (Naturvårdsverket 1996), OECD:s EST-projekt (OECD 1997; OECD 1999) och COOL-projektet vid Wageningen University (COOL 1999; COOL 2000).

Dessa visioner är avsedda att inspirera bl.a. samhällsplanerare, genom att bidra med goda analyser och nya idéer om hur bärkraft kan uppnås. Samtidigt har Överstyrelsen för civil beredskap (ÖCB) m.fl. beredskapsansvariga myndigheter sedan länge eftersträvat ett robustare, eller mindre sårbart samhälle genom vad man kallar Beredskapshänsyn i planering och samhällsutveckling (BIS).

En viktig fråga är då, finns det synergier mellan strävandet efter det bärkraftiga samhället och det robusta samhället? Finns det målkonflikter, och hur kan dessa hanteras? Genom att analysera dessa frågor kan man få ett underlag för att tidigt påverka systemutformningen av nya miljövänliga transportsystem, så att onödig sårbarhet undviks (se figur 1.). I sådana studier är det metodmässigt lämpligast att utgå från visioner om det hållbara samhället (eller systemet) och sedan analysera vilken sårbarhet som finns och hur den kan begränsas. Åtskilliga studier har gjorts av sårbarhet inom olika system och dessa kan utnyttjas. Däremot saknas utarbetade framtidsbilder av det robusta samhället. Det är därför svårt att börja med visionen om det robusta samhället och undersöka den miljömässiga hållbarheten hos denna vision, eftersom den saknar tillräcklig detaljskärpa.



Figur 1. Ringarna symboliserar ett framtida *hållbart samhälle* eller transportsystem (heldragen kurva) respektive ett framtida *robust samhälle* eller transportsystem (streckad kurva). Den streckade kurvan ska visa att visionen om ett robust samhälle är otydligare än visionerna om ett hållbart samhälle. Pilarna illustrerar en utveckling från dagens situation till framtidsbilderna. Finns det en målkonflikt mellan det hållbara och det robusta samhället (den vänstra bilden), eller kan de fås att mer eller mindre sammanfalla (den högra bilden) med hjälp av lämpliga åtgärder?

1.2 Uppdraget, frågeställning och avgränsningar

Institutionen för miljöstrategiska studier vid FOI fick i jan 2001 i uppdrag av ÖCB att genomföra ett forskningsprojekt med titeln ”Robusthet hos avancerad informationsteknik för styrning och samordning av transporter”.¹ Projektet ska enligt uppdraget genomföras enligt den projektbeskrivning som finns i FOI’s ansökan om forskningsmedel. Där står bl. a:

Avsevärda insatser görs i Sverige och internationellt för att länka in samhällsutvecklingen i riktning mot en hållbar utveckling. För att detta mål skall uppnås krävs ett väsentligt minskat resursuttag (faktor 10?) och minskade miljöpåverkande utsläpp. Detta kommer att kräva betydande samhällsförändringar och påverka produktion, utrikeshandel, transporter, stadsbyggnad, konsumtionsmönster mm, men också attityder och värderingar.

Syftet är att analysera hur en sådan utveckling kan komma att påverka samhällets robusthet och förmåga att stå emot och hantera svåra påfrestningar

¹ Se avtal mellan Överstyrelsen för civil beredskap och Försvarets forskningsanstalt, ÖCB dnr 5-478/2000 och FOA dnr 01-91/S.

och därmed den civila beredskapens villkor, men också att ge ett underlag för att kunna agera proaktivt så att det uthålliga samhället också är robust.

Efter denna allmänna problembeskrivning följer en stark avgränsning av uppgiften:

Ansökan är avgränsad till att enbart ta upp ett delområde som är intressant ur ett miljö- och resursperspektiv och där robusthet är av central betydelse för rikets försörjningssäkerhet. Området gäller en utveckling inom ett viktigt infrastruktur-system, nämligen transporter och handlar om användandet av avancerad informationsteknik för styrning och samordning av transporter. Hur kan utnyttjandet av IT för att effektivisera transporter påverka transporternas robusthet mot olika typer av störningar och vilka typer av åtgärder kan behöva vidtas för att eliminera eventuella brister?

Denna studie har p.g.a. sin ringa omfattning lagts upp som en pilotstudie. Vi har analyserat sårbarheten hos några exempel på framtida, tänkbara transportkoncept som bygger på avancerad informations- och kommunikationsteknik (ICT) och som bedömts ge ett viktigt bidrag till det hållbara samhället (kapitel 4). Exempelen (fallstudierna) är hämtade från fms transportframtidstudier och från Mattias Höjers doktorsavhandling på KTH (Höjer 2000), och ingår som tänkbara komponenter i ett framtida, hållbart transportsystem.

De två huvudfrågorna i fallstudierna är: Vilken sårbarhet skulle dessa system ha? Vad kan göras för att minimera sårbarheten?

För att besvara den mer generella frågan om det bärkraftiga och det robusta samhället är förenliga visioner, behöver man genomföra ytterligare studier. Den föreliggande studien ger bara preliminära slutsatser för de fall som undersökts. Studien har dock givit metoderfarenheter och hypoteser som bör komma till nytta vid fortsatt forskning på området. Dessa erfarenheter tas upp i det avslutande kapitlet.

1.3 Rapportens disposition

Eftersom studien bygger på en jämförelse mellan hållbarhet och robusthet hos transportsystem, behandlar vi dessa begrepp i nästa avsnittet (avsnitt 2). Även andra centrala begrepp för studien som system, infrastruktur och informationsteknologi (IT) behandlas där. Avsnitt 3 beskriver metod och genomförande av studien och ger en översikt över tänkbara framtida transportsystem. Avsnitt 4 presenterar de tre fallstudierna. Avsnitt 5 innehåller en sammanfattande diskussion, preliminära slutsatser om sårbarheten samt förslag till fortsatt forskning på området.

2 Hållbar utveckling och robusthet

2.1 *Miljöproblemen och visionen om det hållbara transport-systemet*

Begreppet hållbar utveckling, som kommer från Brundlandtkommissionen fick stort genomslag vid den av FN arrangerade Rio-konferensen 1992. Med hållbar utveckling menas enligt Brundlandtkommissionen en ”utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov” (WCED 1987). Bakgrunden är oro över alltför stora uttag av såväl förnybara (t ex fisk) som icke förnybara resurser (mineraler) och utsläpp som skadar miljön eller påverkar klimatet. Resursslöseri och miljöförstöring hotar kommande generationers välfärd och livskvalitet. Människan bör därför anpassa sitt resursuttag och sin miljöpåverkan till en nivå som är möjlig att fortsätta med på riktigt lång sikt. Det är innebörden i hållbar eller bärkraftig utveckling.

Transporternas negativa miljö- och klimateffekter har uppmärksammats mycket under det senaste decenniet. Ett flertal studier både i Sverige och i andra länder har analyserat hur ett hållbart transportsystem skulle kunna se ut och vilka åtgärder som krävs för att uppnå det. Ett exempel är OECD-projektet Environmentally Sustainable Transport (EST) där flera medlemsstater genomfört parallella studier (OECD 1997; OECD 1999). Några andra studier från senare tid är en svensk transportframtidstudie (Åkerman 1996; Steen, Dreborg et al. 1997; Banister, Dreborg et al. 1998; Åkerman 2000; Åkerman, Dreborg et al. 2000), en svensk studie om bebyggelsestruktur och IT för minskat resande (Höjer 1998) och brittiska studier av hållbara transporter (Peake 1994; Peake och Hope 1994) samt det holländska COOL-projektet (COOL 1999; COOL 2000).

På Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), inom fms bedrivs sedan ett antal år transportframtidstudier om bärkraftiga transporter.² Syftet är att bidra med analyser, idéer och förslag till åtgärder för att komma tillrätta med transporternas negativa miljö- och klimateffekter. Fokus är på CO₂-utsläppen, men andra miljöeffekter beaktas också. I en första fas utvecklades framtidsbilder av ett bärkraftigt transportsystem. Dessa beskrivs i rapporten Färder i framtiden (Steen, Dreborg et al. 1997). Därefter har studierna främst inriktats mot vägen till bärkraftiga transporter, med analyser av förändringsprocesser, hinder och möjligheter samt åtgärdspaket (Åkerman 2000).

Framtidsbilden av hållbara transporter i fms studie innehåller strukturella förändringar av stadsregioner, som innebär en större koncentration av boende och verksamheter i ett antal centra eller knutpunkter jämfört med idag. Många som arbetar med information gör detta på lokala IT-kontor, där de kan vara uppkopplade mot sin arbetsgivare. Detta innebär en

² Försvarets forskningsanstalt (FOA) slogs 1 januari 2001 ihop med Flygtekniska försöksanstalten (FFA) till en ny myndighet med namnet Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI.

större dagbefolkning i dessa centra, som därmed blir mer attraktiva och drar till sig serviceinrättningar såsom lunchrestauranter, kaféer och affärer. IT-shopping (e-handel) är vanligare vilket minskar inköpsresorna. IT används också för att effektivisera och samordna transportsystem och för att hantera s.k. trängselavgifter som ska påverka trafikflödet. Framtidsbilden innehåller naturligtvis många fler komponenter såsom betydligt bränslesnålare fordon, små eldrivna stadsfordon, bränslecellsfordon och en förbättrad kollektivtrafik m.m. (Åkerman, Dreborg et al. 2000).

Både effektivisering av transporter med hjälp av modern informations- och kommunikationsteknologi (ICT) och substitution av transporter med hjälp av ICT är viktiga bitar i ett hållbart transportsystem. Detta framhålls inte bara i fms studier, utan också i t ex (COOL 2000) och (OECD 1999). I båda fallen skapas nya mönster för resande och kommunikation, genom uppbyggnaden av helt eller delvis nya system med IT i en central roll. Det finns då starka skäl att begrunda sårbarhetsaspekten medan systemutformningen kan påverkas. Alternativa bränslen och ren fordonsteknologi, som också har stor potential att minska miljöpåverkan, ryms dock inte inom den föreliggande studien.

2.2 Sårbarheten och visionen om det robusta samhället

Visionen om ett robust samhälle innebär att samhället och dess system inte bryter samman när det ställs inför olika typer av utmaningar. Robusthet och sårbarhet är relaterade begrepp. Ett robust samhälle har liten sårbarhet, medan omfattande sårbarhet betyder att samhället eller ett visst system inte är robust. I litteraturen om planering under osäkerhet framhålls robusthet som något eftersträvanvärt (Dror 1988; Dreborg, Eriksson et al. 1994). Då menar man att system utformas så att de kan stå emot påfrestningar men också att de har en anpassningsförmåga till ändrade förhållanden. Byggnader som står emot jordbävningar är ett exempel på den första typen av robusthet. Den andra typen av robusthet kan innebära att man bygger in en anpassningsförmåga i system, t ex genom modularisering.³

Inom den civila beredskapen har fokus främst varit på robusthet och sårbarhet hos ett antal infrasystem som har stor betydelse för att klara försörjningen och andra viktiga samhällsfunktioner samt förmågan att stödja försvaret vid ett militärt angrepp. Exempel på sådana infrasystem är transporter, telekommunikationer och elförsörjningssystemet.

Begreppet sårbarhet har analyserats i ett antal studier och utredningar åtminstone sedan mitten av 70-talet. Ofta har dessa källor fokuserat på sådan sårbarhet som kan utnyttjas av en potentiell angripare (stater men också t.ex. terroristorganisationer) och som därför har säkerhetspolitisk betydelse (Pettersson 1976; Bergström och Dreborg 1984). Även sårbarhet gentemot oavsiktliga störningar såsom väder och vind, mänskliga misstag eller

³ Modularisering betyder att ett system är uppbyggt av utbytbara moduler (delsystem). Man kan då uppgradera en modul, men behålla systemet i stort.

tekniska missöden har behandlats. Ett exempel där vägtransportsystemets sårbarhet analyseras är (Berdica 2000).

Man brukar alltså skilja på sårbarhet som en konsekvens av en medveten aktörs agerande och sårbarhet i samband med oavsiktliga störningar. Det är framför allt den första typen som kan ha säkerhetspolitisk betydelse. Det kan emellertid vara ett starkt samhällsintresse att försöka undvika att nya system på t.ex. transportområdet får en utformning som gör systemen sårbara, oavsett om de tänkbara störningarna är avsiktliga eller oavsiktliga. Båda typerna inkluderas därför i denna rapport.

Sårbarhet hos ett system eller en funktion brukar betyda att systemet dels är åtkomligt för medvetna störningar eller känsligt för oavsiktliga störningar, dels att effekten av sådana störningar kan bli betydande.

Några viktiga aspekter på sårbarhet är vad det studerade systemet är sårbart mot, hur stor påverkan på samhället i stort som störningar av ett system kan få och vilken förmåga systemet har att återhämta sig efter en störning. Dessa aspekter behandlas kortfattat nedan.

Sårbarhet mot vad?

Molin et al delar i figur 2 upp sårbarheten i två dimensioner, mänskliga – icke-mänskliga faktorer och interna - externa orsaker. Bland de mänskliga handlingarna särskiljs avsiktliga och oavsiktliga handlingar.

		Mänskliga faktorer		Icke-mänskliga faktorer
		Avsiktliga	Oavsiktliga	
Interna orsaker	Infiltration	"Mänskliga faktorn"	Tekniskt fel	
		Bristande underhåll	Tillverkningsfel	
Externa orsaker	Sabotage	"Mänskliga faktorn"	Naturkatastrofer	
	Terrorism		Störningar i andra system eller servicefunktioner	
	Krigshandlingar			

Figur 2: En orsaksmässig klassificering av hot och risker (efter Holmgren, Molin et al. 2001).

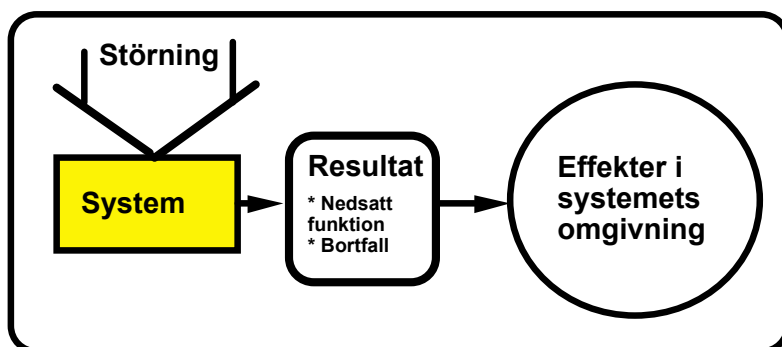
Som exempel på mänskliga handlingar tar författarna upp infiltration, sabotage, terrorism och krigshandlingar. De är samtliga inriktade på att med avsikt tillfoga skada. Oavsiktliga handlingar som nämns är "mänskliga faktorn" t.ex. felaktigt handhavande, bristande underhåll, felkonstruktion eller felaktighet i tillverkningen.

Interna icke-mänskliga faktorer kan vara tekniska fel och tillverkningsfel. Exempel på externa icke-mänskliga faktorer är naturkatastrofer.

Om man studerar ett systems sårbarhet, t ex en förarlös tunnelbana, har den allmänna hotnivån mot samhället betydelse för analysen. Det räcker då inte att bara undersöka t ex effekterna av en enskild sabotageattack mot styrcentralen, därför att effekterna beror på om det är en enskild händelse eller om det samtidigt sker, eller finns risk för attacker mot andra system. Här kan det vara lämpligt att arbeta med en hottrappa, från normala förhållanden till ett läge med allmän mobilisering och förbekämpning. I denna studie har inte en heltäckande analys av en sådan hottrappa rymts. Tyngdpunkten ligger på isolerade händelser/attacker, men med en kortfattad diskussion av sårbarheten i ett mobiliseringskede.

Spridningseffekter till samhället i stort

Det är viktigt att särskilja direkta konsekvenser av en störning på de studerade systemen, ”resultat”, och indirekta konsekvenser i systemens omvärld, ”effekter”. Det kan vara allvarligt nog att ett bestämt system börjar fungera dåligt, som t.ex. när tunnelbanan börjar gå oregelbundet och med långa uppehåll p.g.a. signalfel. Skadan är i detta fall i huvudsak resenärernas stress och irritation. Det är dock allvarligare om störningarna på ett system påverkar andra samhällsfunktioner på ett betydande sätt, t.ex. om elförsörjningen slås ut så att sjukhus, livsmedelsbutiker och uppvärmning av bostäder sätts ur spel. Vår referensram kan sammanfattas med nedanstående figur 3.



Figur 3: Samband mellan störning, system, resultat och effekt

Det är viktigt att se ett systems sårbarhet i ett större sammanhang därför att olika samhällsfunktioner idag uppvisar stort ömsesidigt beroende. Weissglas (Weissglas, Brydsten et al. 1996) har studerat sårbarhet på tre nivåer i samhället såsom den manifesteras i form av systemkollisioner. Intresset riktades dels mot vilka eventuella inbyggda sårbarhetsfenomen som kan iaktas inom respektive områdesnivå, dels på hur

system på respektive nivå påverkar system på andra nivåer. Weissglas har följande hypoteser till grund för sin studie av samhällets sårbarhet:

Samhällsnivåerna tenderar i dag att ignorera varandras existens respektive påverkan uppåt och nedåt i systemen.

Ett trendbrott som följd av en kraftig förändring inom en sektor leder lätt till att man i planeringen tenderar att glömma basalt säkerhets-, robusthets- och sårbarhetstänkande. Beslutsdomänerna tenderar att i allt mindre omfattning motsvara det regelbundna rutnät som den traditionella sektors/nivåplaneringen grundar sig på.

Anpassnings- och återhämtningsförmåga

En annan viktig aspekt på sårbarhet är den tid som systemet är ”nere”. Det handlar om möjligheter att reparera och återstarta systemen, tillgänglighet avseende reservmateriel och personal. I detta sammanhang används ofta termen resiliens, Med begreppet resiliens avses förmågan att återgå till normal eller nästan normal funktion efter en störning. En näraliggande aspekt är möjligheterna att ersätta det störda systemet med andra system, som när stopp i pendeltågstrafiken delvis kompenseras med extrabussar. Då kan man säga att det finns resiliens på en övergripande nivå, även om det drabbade delsystemet inte kan återgå till normal drift så snabbt.

Exemplet IT-systems sårbarhet

IT, dvs. teknik för insamling, lagring, bearbetning och överföring av information med elektroniska medel, genomsyrar alltmer samhällets olika system såsom transporter, bankväsendet, media och handel. Denna utveckling har inneburit en effektivisering av verksamheter men påverkar också bl.a. organisationen av företag och produktionssystem liksom hur människor organiserar sin vardag. Idag koordineras t.ex. världsvida produktionssystem genom IT. Andra exempel är när människor e-handlar eller sitter hemma och arbetar vid en dator som är uppkopplad till huvudarbetsplatsen. Denna utveckling har bara börjat och kan komma att ge de verkligt stora effektivitetsvinsterna.

Samtidigt finns det risk för en ökad sårbarhet genom att allt fler funktioner blir beroende av centraliserade IT-system. Stor oreda kan åstadkommas om styrsystem slås ut eller om information förvanskas.

Antalet dataintrång (se nedan) ökar starkt och det är en tänkbar metod för sabotage mot olika organisationer och företag. Tröskeln för olika antagonistiska grupper att använda vapen som enbart skadar tekniska system, som dataintrång och HPM-vapen (elektromagnetisk puls), får betraktas som låg. Sannolikheten för angrepp, utpressning, fysisk förstörelse, och möjligheten att genomföra dem ökar på grund av samhällets allt större beroende av informationssystemen (Frost och Ånäs 1999).

Många anläggningar som ligger helt öppet innehåller elektronikkomponenter. Dessa förhållanden torde medföra stor effekt och omfattande konsekvenser för olika system och för samhället vid ett sabotage med elektromagnetisk strålning, om det visar sig att systemens skydd är bristfälligt. Man kan tänka sig angrepp både inifrån och utifrån. Med angrepp inifrån menas infiltratörer som antingen arbetar självständigt eller på uppdrag utifrån (Frost och Ånäs 1999).

Elektromagnetiska pulsvapen injicerar strömpulser och spänningar i kablar och ledningar. För detta kan det räcka med ett enkelt ”hemmabyggt” pulsaggregat som kan byggas in i en väska (Frost och Ånäs 1999).

Dataintrång, också kallat hacking, ses som ett allt större hot i dagens alltmer uppkopplade samhälle. När man väl kommit in i systemet finns det olika metoder för att störa eller slå ut systemprocesserna. Attacker kan riktas mot systemens inbyggda svagheter för att förstöra eller degradera systemen, eller systeminnehållet (Frost och Ånäs 1999).

Hacking utnyttjar elektromagnetisk avlyssning av strålningen som kommer från bl.a. skärmar. Avlyssning sker också med utnyttjande av strålningen från elledningar och marksignaler. Även om den delen av hackers aktiviteter är mycket kvalificerade, kan intrånget ske relativt billigt. Antennutrustningar m.m. kan skaffas som hembyggen för mindre än 50 US \$.

Funktioner kan ändras i datoriserade kontrollsystem för elkraft, telekommunikationer, trafikstyrning, media, vatten och avlopp. Telefonnummer för nödanrop kan sättas ur funktion, banktillgodohavanden kan raderas ut, tåg, fartyg och flygplan ges kollisionkurser, radio- och TV-kanaler utnyttjas för att sprida hot, pipelines stängas av. Så gott som alla delar av allmänna nätverk har utsatts för fara vid något tillfälle.

Det finns samtidigt vissa möjligheter att öka säkerheten genom bl.a. redundans (reservsystem), nätverksstrukturer som gör det möjligt att kringgå en skadad nod, och kryptering av information som förs över i näten.

2.3 Systemperspektiv på infrastruktur och IT

Vi har flera gånger talat om system och systems sårbarhet. Vi menar då ofta en eller flera aktörer som levererar tjänster till allmänheten med hjälp av någon form av infrastruktur. Ett exempel är transportsystemet som består av vägnät, järnvägar, flygplatser, sjöfart fordon, garage, parkeringar men också operatörer, väghållare och användare. Man kan även tala om en del av detta som ett system, t.ex. tunnelbanan i Stockholm.

Med infrastruktur menas anläggningar och tekniska anordningar som används eller kan användas av de flesta människor, t.ex. vägar, järnvägar, telenätet, datornätverk mm. Man talar ibland om infrastruktur även i icke-materiell mening. Exempel är universiteten och skolsystemet.

Kaijser (Kaijser 1994) använder begreppet *infrasystem* för att beteckna den fysiska infrastrukturen och dem som har hand om den. Han framhåller, att infrasystem ofta betraktas som tekniska system, bestående av en mängd tekniska komponenter som är integrerade i ett sammanhängande system. Ett sådant tekniskt system fungerar dock inte av sig själv. Det krävs människor och organisation som bygger, driver och utnyttjar anläggningarna och det krävs rättsliga och ekonomiska villkor som reglerar systemen. Ett infrasystem i en sådan bredare bemärkelse kan kallas ett sociotekniskt system. Det är detta sociotekniska synsätt på de granskade systemen som ligger till grund för vår analys.

I fokus står vissa tjänster som tillhandahålls av delsystem inom det övergripande transport- och kommunikationssystemet. När sårbarheten vad gäller dessa tjänster analyseras måste emellertid hela det omgivande transport- och kommunikationssystemet beaktas. En tjänst kan t ex bestå i att ”förse en person med möjlighet att utföra sina arbetsuppgifter”. Ett spårssystem i en stad kan producera denna tjänst i form av en arbetsresa. Vid felfunktion i detta spårssystem kan andra system inom transport-systemet utgöra redundans, t.ex. i form av ersättningsbussar. En ytterligare redundans kan utgöras av telekommunikationssystemet som, för vissa personer, kan realisera ”möjlighet att utföra sina arbetsuppgifter” genom att arbeta på distans.

3 Utförande

3.1 Metod och fokus

Vi har i denna studie valt att göra några fallstudier av sårbarheten hos nya, miljövänliga transportsystem. Exempelen på miljövänliga transportsystem har valts bland sådant som föreslagits i framtidsstudier om hållbara transporter. Systemutformningen har då hämtats från transportframtidsstudien vid fms (Steen et al. 1997 och Åkerman et al. 2000) och Mattias Höjers avhandling (Höjer, 2000). Det omvända förfarandet, att utgå från robusta transportsystem och pröva deras förenlighet med en hållbar utveckling, har inte bedömts vara en framkomlig väg helt enkelt därför att det inte finns någon utarbetad vision eller framtidsbild av ett robust transportsystem.

Fallstudieformatet är det naturliga valet när det inte finns någon generell teori eller tidigare empirisk erfarenhet om sårbarhet/robusthet hos miljövänliga transportlösningar. Man kan då gå igenom system som föreslagits i studier av hållbar utveckling och analysera den eventuella sårbarheten hos dessa.

I fallstudierna behandlas systematiskt följande komponenter:

- Beskrivning av systemets uppbyggnad och funktion (betydelse för samhället i stort).
- Åtkomlighet/tillförlitlighet (Hot)
- Effekter om en störning inträffar.
- Redundans och åtgärdbarhet (i den akuta situationen).
- Hur bygga in robusthet i systemet.
- Ett samlat omdöme om sårbarheten.

Med **hot** menar vi här såväl avsiktliga som oavsiktliga hot mot ett systems funktion och användare. I säkerhetspolitiska analyser från det kalla krigets dagar innehöll hotbildsanalysen såväl tänkbara motiv och resurser hos en angripare, som åtkomligheten hos de system som kunde utgöra mål. Under senare år har analyser av tänkbara motiv tonats ner därför att det idag finns en stor osäkerhet i detta avseende. Istället har resurser hos olika aktörer för att utföra angrepp eller sabotage betonats. I denna rapport begränsar vi oss till att bedöma åtkomligheten hos ett system för en angripare. Att undersöka motiv och resurser hos olika tänkbara aktörer skulle leda alltför långt in i det säkerhetspolitiska fältet för att rymmas i en liten studie som denna.

För avsiktliga hot bör det större sammanhanget beaktas. En sabotageinsats har olika effekt beroende på om den sker i ett i övrigt normalt samhällsklimat eller om den sker i ett krigsnära skede med flera andra störningar. Vi har valt att här behandla de två ytterligheterna a) enstaka attack/hot i normalt, fredligt samhälle respektive b) en attack/ett hot som

sker i ett mobiliseringsskede med ett flertal andra störningar. Tyngdpunkten i analysen ligger dock på enstaka attacker eller hot i en annars relativt normal situation (fall a).

För oavsiktliga hot är brist på tillförlitlighet hos ett system viktigt att studera. Tillförlitlighet handlar om sådant som allmän driftsäkerhet eller om det finns reservförfaranden om något stödsystem skulle fallera (t ex elförsörjningen).

I beskrivningen av **systemets uppbyggnad** och funktion tar vi här med dess miljöfördelar, eftersom idén med projektet är att undersöka om det finns synergier eller konflikter mellan kraven på miljövänlighet, hållbar utveckling och robusthet.

Analysen av **effekter** inriktas på såväl direkta effekter, främst personskador och materialskador, som indirekta effekter, bl.a. ekonomiska effekter, rädsla och undergrävt förtroende för systemet.

Redundans och åtgärdbarhet avser möjligheterna att hantera och mildra effekterna av en störning. Det kan t ex handla om reservfunktioner i systemet eller möjligheter att låta ett annat system ta över i viss utsträckning. Ett exempel på vardaglig nivå är när ersättningsbussar sätts in vid störningar i tunnelbanetrafiken.

Frågan hur man kan **bygga in robusthet** i systemet handlar om sådant man kan göra vid själva systemutformningen. Man kan t ex ha matning av el till ett spårtaaxisystem från flera håll, så att bortfall av en tillförselväg kan kompenseras av andra vägar.

Ett **samlat omdöme** om sårbarheten ges för varje behandlat exempel och bygger på den föregående analysen av hot, systemegenskaper, effekter och åtgärdbarhet. Vi försöker bedöma hur allvarlig sårbarheten är i de behandlade exemplen. Vi diskuterar om sårbarheten bör ses som ett samhällsproblem - säkerhetspolitiskt eller på annat sätt - som kan behöva beaktas i samhällsplaneringen, eller om den främst kan hanteras av enskilda aktörer och kanske försäkringsbolag. Vi bedömer särskilt om sårbarheten kan utnyttjas avsiktligt av någon aktör.

3.2 Val av fallstudier

Det finns flera transportkoncept som kan ha en viss positiv miljöeffekt om de kompletteras med lämpliga åtgärder (Höjer 2000; Åkerman, Dreborg et al. 2000). Det viktigaste kravet för att de ska komma ifråga för fallstudier är emellertid att de kan spela en viktig roll i ett genuint hållbart transportsystem och ett robust samhälle. De ska således inte utgöra en återvändsgränd i miljöhänsende. De utvalda koncepten ska helst också vara intressanta ur

ett sårbarhetsperspektiv. Detta krav är dock mindre strikt eftersom de olika konceptens aspekter i detta avseende egentligen är resultatet av studien och inte en utgångspunkt. Man får här nöja sig med tentativa bedömningar.

De tre system vi valt ut för fallstudierna är:

- (1) Helautomatiska spårssystem
- (2) Internethandel med hemkörning
- (3) Utökade kollektivtransporter med realtidsinformation

Dessa system utgör alla viktiga bitar i ett framtida hållbart transportsystem. Vidare har de olika principiell uppbyggnad och funktion. Fallstudie 1 och 3 avser persontransporter medan fallstudie 2 avser godstransporter. Rådgivande system representeras av fallstudie 3 och styrande system av fallstudie 1.

3.3 Översiktlig genomgång av tänkbara framtida transportsystem

I det följande avsnitten gör vi en kortfattad genomgång av system som vi ej valt ut för fallstudierna, men som ändå är värda att kommentera t.ex. för att de förekommer i debatten om morgondagens trafiklösningar.

Rådgivande system för vägtrafik

Dessa system ger bilisten råd om snabbaste vägen till en viss destination, givet den aktuella trafiksituationen vad gäller köer, olyckor, trafikarbeten etc. På kort sikt kan systemet medföra att utsläppen från trafiken minskar. På längre sikt finns det en betydande risk att den frigjorda platsen i vägnätet tas upp av nygenererad biltrafik. Resultatet kan bli en likartad trängsel men totalt sett mer trafik och mer utsläpp.

Sårbarheten sammanhänger dels med riskerna för avbrott i datakommunikationen mellan å ena sidan trafikledning och den andra sidan fordonen, dels med fordonsförarnas beteende. I och med att detta system är rådgivande kan ju förarna välja att inte följa råden, vilket kan leda till trafikanhopningar och förlängd körtid. Man kan å andra sidan också få problem om alla följer råden, då de rekommenderade länkarna kan få för mycket trafik. Man kan dock konstatera att de potentiella konsekvenserna om systemet fungerar, inte är allvarliga. Det handlar främst om en något längre restid.

Den tveksamma miljöeffekten har gjort att vi ej tagit med systemet bland de studerade fallen.

Automatiska motorvägar

Genom att ta över förarens roll vid motorvägstrafik och ersätta denna med automatik, kan avstånden mellan fordonen minskas och motorvägarna ges större trafikkapacitet.

För att systemet skall fungera krävs att fordon har känd och kontrollerad funktionalitet. Sålunda kan fordon med dåliga bromsprestanda komma att kräva längre bromssträcka än vad som förutsätts av automatiken och därigenom orsaka trafikolyckor.

Automatiserade vägar kan ha positiva miljöeffekter genom ett jämnt trafikflöde. På grund av den ökade kapaciteten finns det emellertid en uppenbar risk för att ny trafik tillkommer som förtar miljöeffekten. Att införa miljö- och trängselavgifter är ett annat sätt att hantera trängseln utan att ta till några kapacitetshöjande åtgärder. I den hållbara framtidsbild som presenteras i rapporten *Destination framtiden* (Åkerman, Dreborg et al. 2000) har man bl.a. med hjälp av en sådan lösning minskat det totala biltrafikarbetet med 35 %.

Automatiken förutsätter någon form av sensorer som känner av fordonets läge i förhållande till körbanan och andra fordon. Vidare erfordras sensorer som känner av de aktuella vägförhållandena och anpassar bromssträcka till aktuell friktion i vägbanan och däck. Dessa sensorer kan utsättas för störningar som förvränger styrsignalerna. Den centrala datorn och dess utsignaler kan störas. En annan form av sårbarhet utgörs av mekaniska fel i fordonet, vilket kan resultera i att det inte beter sig på förväntat sätt. Den sociala acceptansen är sannolikt en nyckelfråga för att implementera systemet. Detta gäller i synnerhet som konsekvenserna av felfunktion kan bli synnerligen förödande seriekrockar.

Liten eller negativ miljöeffekt, höga kostnader och tveksam social acceptans har gjort att vi ej tagit med systemet bland de studerade fallen.

Fordonspooler

En fordonspool kan innebära att ett antal hushåll tillsammans (t.ex. genom en ekonomisk förening) äger ett antal fordon. Bokning av fordonen kan ske via Internet. Man betalar oftast en mindre fast avgift och sedan för den tid man utnyttjar fordonen och för sträckan man kör. Tjänstebilspooler på arbetsplatser är en annan variant.

De positiva miljöeffekterna är potentiellt stora och erhålls främst genom ett minskat vanemässigt bilåkande. I och med att poolfordon utnyttjas intensivare än privatbilar kan medelåldern på bilarna hållas låg vilket innebär att bilarna kan förväntas vara rena och säkra. Minskat behov av bilar och parkeringsplatser är andra fördelar.

Bokning över Internet innebär en viss sårbarhet. Följderna av bokningsstopp är dock måttliga. Vid lokala pooler kan manuell bokning utgöra en redundans.

På grund av de begränsade effekterna av störningar har vi ej tagit med detta system bland de studerade fallen.

Differentierade miljö- och trängselavgifter

Systemet är avsett att internalisera miljö- och trängseffekter av bilkörande i större städer. Ett tidsdifferentierat system minskar främst resandet med bil i rusningstider. En del av detta bilresande kommer då att flyttas till andra tidpunkter, en del kommer att överflyttas till kollektivtrafik och cykel och en del kommer att ersättas av distansarbete mm. Avgifterna kan differentieras med hänsyn till plats, tidpunkt, fordonsmodell etc. Tekniskt sett kan man utnyttja t.ex. GPS för att erhålla fordonens exakta positioner. Den potentiella miljöeffekten är mycket god.

Systemet förutsätter dels att fordonen kan identifieras och att deras rörelser kan registreras för att ligga till grund för debitering av miljö- och trängselavgifter, dels att dessa avgifter kan inkasseras. En ytterligare förutsättning är att avgifterna är så utformade att de verkligen påverkar beslut om fordonsnyttjandet och att de inte kan övervältras på andra rättssubjekt. Sårbarheten hänför sig sålunda till det tekniska systemet, administration av fakturering och uppbörd.

Konsekvenserna av icke fungerande system är måttliga, och utgörs av förlängda restider i och med att fler tar bilen i rusningstid.

Systemet har potentiellt mycket goda miljöeffekter.

De begränsade effekterna vid störningar har gjort att vi ej tagit med systemet bland de studerade fallen.

Smart samåkning

Systemet bygger på ”Smart Cards” som möjliggör identifiering av förare respektive passagerare samt på smidig betalning. Ett centralt informationssystem matchar ofyllda bilar med hugade resenärer. Systemet kombineras med fördel med differentierade miljö- och trängselavgifter.

Systemets sårbarhet hänför sig till systemets tekniska funktion med matchning av fordon och passagerare och kommunikation mellan central ledning, fordon och passagerare. Acceptansen bland allmänheten utgör också ett frågetecken och kan förväntas påverkas av i vilken mån vålds- och tillgreppsbrott äger rum. Även om sådana skulle vara ovanliga kan man dock räkna med att många upplever rädsla för att bli utsatta för brott och avstår från att använda systemet.

Den begränsade miljöeffekten och tveksamhet vad gäller acceptans har gjort att vi ej tagit med systemet bland de studerade fallen.

Distansarbete

Arbete kan utföras från hemmet, från ett telekontor i knutpunkt eller från ett mobilt kontor. Det är inte nödvändigt att utnyttja det fasta kommunikationsnätet utan kommunikation kan ske med mobil utrustning, även från hemmet eller från ett telekontor. Distansarbete medför att arbetspendling mellan bostad och arbetsplats undviks. Härigenom minskar behovet av persontransporter både inom regionerna och lokalt.

Fördelen med att arbeta från ett telekontor ligger främst i att man lättare kan få tillgång till avancerad telecom-utrustning, eftersom kostnaden för anskaffning av sådan kan fördelas på flera parter. En annan fördel torde vara bättre möjligheter till teknisk support. Sociala aspekter i form av kontakt med kollegor kan också tillgodoses bättre än vid arbete från bostaden.

Sårbarheten, jämfört med konventionell kontorsverksamhet, är främst att hänföra till telekommunikationerna. Upprepade avbrott minskar förstås acceptansen för distansarbete. En viktig faktor är om företag på ett tryggt sätt kan skicka känsligt material i öppna nätverk. Så länge som de flesta endast arbetar på distans en eller ett par dagar i veckan så kan transport till huvudarbetsplatsen utgöra ett alternativ vid avbrott i telekomförbindelserna. I ett mer radikalt scenario där företagsgemensamma arbetsplatser försvunnit helt blir sårbarheten större.

Distansarbete har en potentiellt god miljöeffekt förutsatt att en ytterligare utglesning av bebyggelsen kan undvikas. Problemet med informationsläckor vid överföring i öppna nätverk – vilket är en form av sårbarhet – kan vara ett avgörande hinder för ett omfattande distansarbete.

Detta system låg nära till att tas med bland de studerade fallen på grund av dess betydelse för ett hållbart transportsystem och dess stora beroende av IT.

Videokonferenser

Genom att ersätta sammanträden med videokonferenser undviks tjänsteresor.

Sårbarheten hänför sig främst till telekommunikationssidan med avseende på tillförlitlighet och säkerhet mot avlyssning. Om inte systemet är utslaget under en längre tid så blir effekterna av störningar sannolikt relativt små. Man får planera om arbetet och skjuta upp vissa möten eller resa till möten istället.

Videokonferenser har en potentiellt mycket god miljöeffekt i och med att resurskrävande flygresor kan ersättas.

De begränsade effekterna vid störningar har gjort att vi ej tagit med systemet bland de studerade fallen.

Serviceärenden över Internet

I serviceärenden över Internet innefattas bankärenden, biljettbeställningar etc. Det innebär att resor i samband med besök vid sådana förrättningar ersätts av IT-tjänster. Sårbarhetsrisker finns bl.a. vad gäller koder och persondata som kommer i fel händer.

Miljöeffekten är god och dessa system har idag nått en omfattande täckning.

På grund av att systemet är etablerat och mer utforskat än de andra beaktade systemen har vi valt att ej ta med det bland de studerade fallen.

4 Resultat av fallstudierna

4.1 Fallstudie 1: Helautomatiska spårsystem

Beskrivning av systemet och dess miljöeffekter

De flesta spårsystem som går på egen bana (till skillnad från spårvagnar i gatumiljö) kan göras automatiska. Vi skiljer här på storskaliga tidtabellsstyrda system (tunnelbana m.fl.) och småskaliga efterfrågestyrda system av typ spårtaxi. Totala transportkapaciteten per timme skiljer mycket. Tunnelbanan har glesare nät, större kapacitet och kräver tätare befolkningskoncentrationer. Den lämpar sig väl för att transportera stora mängder människor mellan relativt stora noder i storstadsområden.

För närvarande finns ett 80-tal helautomatiska spårsystem världen över, dock inte något fullskaligt spårtaxisystem (Börjesson och Peterson 1999). Förstudier har i Sverige gjorts bl.a. för Stockholm (Tegnér, Henningsson et al. 1999).

För spårtaxisystem är automatisk drift en absolut förutsättning medan det för storskaliga system kan öka attraktiviteten hos systemet. De sänkta personalkostnaderna kan t.ex. möjliggöra en tätare trafikering i lågtrafik och mer personal på stationer.

Ett spårtaxisystem består av ett relativt finförgrenat bannät i en stadsregion. Banan kan bestå av vanlig räls, monorail eller balkar som vagnarna hänger i. Utmärkande för spårtaxi är att systemet är efterfrågestyrt, d.v.s. man beställer en vagn till närmaste hållplats. Detta kan ske genom att man skickar en beställning via sin mobiltelefon och får en verifikation på när vagnen finns tillgänglig. Denna IT-baserade beställningsfunktion är kritisk för systemets attraktivitet.

Vagnen färdas i ett spårtaxisystem utan byte till den hållplats som ligger närmast destinationen. Oftast är vagnen liten, 2 – 4 sittplatser. I vissa system tänker man sig också något större vagnar (ca 10 sittplatser) som kan gå i tidtabellstrafik. För att få rimlig kapacitet måste de små vagnarna kunna köra med mycket korta tidsintervall, nedåt 1-2 sekunder. Ett spårtaxisystem har ändå inte lika hög maxkapacitet som t.ex. ett tunnelbanesystem. Detta gör det svårt att klara pendlingsresandet i en stad av Stockholms storlek. Nischen för spårtaxisystem är snarare medelstora städer med upp till ett par hundra tusen invånare. En fördel är också om målpunkterna i staden är relativt spridda.

Det s.k. RUF-systemet⁹ som designats av dansken Palle Jensen är något av en hybrid mellan spårtaxi och vanligt bilsystem. Det består av små elbilar som både kan köras manuellt på vanlig väg och köras automatiskt hopkopplade i fordonståg på en balk. Man kan t.ex. köra på väg från hemmet till närmsta påfart, köra upp på balken där automatiken

⁹ Se www.ruf.dk

tar över, för att sedan köra av och manuellt köra till slutdestinationen. När man kör manuellt på väg begränsas räckvidden av batterikapaciteten. När bilen går på balk förses den med ström från nätet och räckvidden begränsas då endast av balksystemets täckning. Samtidigt kan batterierna laddas upp.

Fördelarna ur miljö- och resurssynpunkt med ovannämnda system kan generellt hänföras till eldriften, låg energianvändning och effektiv markanvändning. Det hävdas ofta att spårtaxi och kanske i synnerhet RUF-systemet har en särskilt bra potential att ta marknadsandelar från bilen. Detta beror på att dessa system efterliknar bilens möjlighet att åka i ett reserverat fordon mer eller mindre från dörr till dörr.

Framväxt (implementering) och strukturella effekter

Att införa automatiska storskaliga spårssystem innebär inga speciella problem, möjligen med undantag för acceptansen att åka utan förare. Det handlar om förbättring av en redan existerande komponent i dagens kollektivtrafiksystem. För spårtaxisystem är bilden annorlunda. Den stora fördelen med spårtaxi är att systemet möjliggör resande utan byten. Detta blir dock inte möjligt förrän systemet täcker större delen av det tilltänkta området. Detta medför svårigheter vad gäller en gradvis implementering. Man kan säga att systemet utgör ett helt nytt alternativ, dvs. konkurrerar med dagens kollektivtrafiksystem snarare än att komplettera detta. Eftersom spårtaxi främst är tänkt för medelstora städer handlar det i praktiken om en konkurrens med busstrafiken.

Åtkomlighet /Tillförlitlighet

Tillförlitligheten i spårssystem är generellt lägre än i vägsystemet p.g.a. den begränsade möjligheten till förbikörning. Detta innebär att om spårtaxi skulle konkurrera ut busstrafiken i en stad så får man sannolikt en ökad sårbarhet. Som diskuteras i avsnittet ”Redundans och åtgärdbarhet” så är redundansen i det övergripande transportsystemet dock sannolikt stor i medelstora städer.

De automatiska system som idag finns i drift i världen förefaller ha en god tillgänglighet. Systematiska jämförelser mellan automatiska och manuella system saknas dock. Ett urval av fem automatiska system¹⁰ ger en teknisk tillgänglighet - mätt som andel turer inom 4 min från planerad avgång - som ligger mellan 99,4 % och 100 % (Börjesson och Peterson 1999). Alla dessa system är tidtabellsbundna och intervallen mellan avgångar är större än 1 minut.

För spårtaxisystem är förutsättningarna annorlunda. Turtätheten kan vara ner mot 1 sekund för att få en tillräcklig kapacitet. Detta ställer helt andra krav på styrsystemet och ökar risken för stopp i systemet p.g.a. falska larm. En fråga är hur personer eller föremål som kommer i vägen detekteras. Risken för att sådana incidenter ska inträffa är relativt liten om

¹⁰ Dessa system är (mätperiod inom parentes): Vancouver Sky Train (1993/94), Lille VAL (1993), Morgantown (1980-1994), Kobe (1996) och Miami Metromover (1988).

banan är upphöjd eller går i tunnel. Ett möjligen större problem gäller hur systemet klarar det nordiska klimatet med snö, is och kyla. Hängande system kan här ha en fördel i och med att balken endast behöver ha en öppning nedåt.

Spårtaxisystemet är beroende av att man kan beställa en vagn till en viss station när man vill. Om denna beställningsfunktion slås ut kan hela systemet stoppas, alternativt kapaciteten gå ner markant.

För en antagonist är det lättare att orsaka olyckor i ett spårtaxisystem än i ett storskaligt spårssystem, men å andra sidan blir konsekvenserna inte lika stora.

Effekter av felfunktion i systemet

De potentiella direkta effekterna av en olycka i ett storskaligt spårssystem är stora. Ett fullsatt tunnelbanetåg kan ta uppåt 1000 personer. Även om sannolikheten för en olycka är större i ett spårtaxisystem så blir effekterna av ett ”värsta scenario” lägre. Möjligen kan detta ha implikationer för vilka som kan tänkas ge sig på de respektive systemen. Antagonister med stora resurser kan lockas av de storskaliga systemen trots deras ofta sämre åtkomlighet.

Förutom de direkta effekterna i form mänskliga och materiella skador förekommer indirekta effekter som tar sig uttryck i bl.a. längre restider, ekonomiska merkostnader och rädsla hos de som använder systemet. Det handlar också om användarnas förtroende för systemet. Om detta undergrävs kan dels systemets ekonomi påverkas negativt, dels kan mer eller mindre allvarlig trängsel uppstå i alternativa transportsystem. Hotbildens karaktär är betydelsefull för möjligheterna att bibehålla förtroendet. En enstaka sabotör som grips behöver inte påverka förtroendet på sikt. Ett exempel på detta är spridandet av sarin i Tokyos tunnelbana.

De indirekta effekternas omfattning är i hög grad avhängig vilken redundans som finns, dvs. vilka alternativ till transporttjänsten ifråga som finns tillgängliga. Detta kommer att behandlas mer utförligt i följande avsnitt.

Redundans och åtgärdbarhet

Redundans kan finnas på olika systemnivåer. Vad gäller automatiska spårssystem är följande relevanta:

Nivå 1: Inom det studerade spårssystemet

Nivå 2: Inom hela transportsystemet

Nivå 3: Inom hela kommunikations- och transportsystemet

På den första nivån är tidtabellsstyrda storskaliga spårssystem i allmänhet känsligare än spårtaxisystem. Om en länk i ett spårtaxisystem slutar fungera går det oftast att utnyttja en

annan väg i spårnätet, med endast en begränsad försening som följd. Övergång till automatisk trafik i ett storskaligt spårssystem kan till viss del försämra redundansen såtillvida att styrsystemet måste fungera perfekt innan återstart sker.

Redundansen i själva transportsystemet (nivå 2) beror till stor del på storleken på den drabbade staden.¹¹ I mindre och medelstora städer (upp till ett par hundratusen invånare) där avstånden sällan överstiger 5-10 km utgör cykel ett realistiskt alternativ vid stopp i spårtrafiken. För större städer är tillgång på ersättningsbussar en väsentlig faktor. Cykel är dock även här ett alternativ för många resrelationer. Bil kan i viss grad utgöra ett alternativ. Här kan man notera att i Stockholm sker idag 70 % av resandet över tullsnittet i rusningstid med kollektivtrafiken (RTK 2000). Trots det är vägutrymmet till stor del mättat.

Vad gäller redundansen i det övergripande kommunikationssystemet kan man notera att distansarbete som möjliggörs av IT utgör ett alternativ vid fel i det fysiska transportsystemet. En allt större del av arbetskraften har uppgifter som till viss del kan utföras på distans.

Åtgärdbarhet handlar om hur lätt det är att sätta systemet i brukbart skick efter ett avbrott. Detta kan vara olika svårt beroende på om sabotage eller olyckshändelse ligger bakom. Huruvida det är styrsystemet eller bansystemet som saboteras påverkar också åtgärdbarheten. Som nämnts ovan kan beroendet av ett styrsystem för automatisk drift förlänga stopptiden jämfört med ett system där man kan köra trafiken manuellt.

Hur bygga in robusthet i systemet?

Ökad robusthet handlar till stor del om att lägga in redundans i IT-systemen dvs. i styrsystemen för fordonen och i beställningssystemet för spårtaxisystemet. I ett spårtaxisystem kan man tänka sig att bygga in en decentraliserad reservstyrning. Med hjälp av avståndssensorer skulle vagnarna kunna ta sig fram själva om än med längre avstånd och med lägre fart (<30 km/h). Här kan man också tänka sig att lägga in redundans i elmatningen.

Vad gäller storskaliga system så har det visat sig att system med väggar på perrongerna är både säkrare och mer tillförlitliga än sådana utan väggar (Börjesson och Peterson 1999). Ett sådant system innebär att man mellan perrongen och spåret har en vägg med öppningsbara dörrar. När tåget kommer in stannar det med dörrarna i fas med dörrarna i väggen. Alla dörrar öppnas sedan samtidigt. Syftet är att förhindra att människor, djur eller föremål kommer ner på spåret. Även med detta system är det viktigt att bibehålla en möjlighet att köra tågen manuellt. Vid körning i lägre fart kan föraren då själv kontrollera avstånd till framförvarande tåg.

¹¹ Spårssystem är i allmänhet enbart aktuella i städer med mer än ca 100 000 invånare.

Samlat omdöme om sårbarheten

En slutsats är att sårbarheten gentemot enstaka sabotage eller olyckor i och med en automatisering av storskaliga spårssystem i större städer sannolikt endast skulle öka marginellt. I system med väggar på perrongerna kan tillförlitligheten till och med öka eftersom personer och föremål hindras att komma ner på spåret. Det här nämnda gäller i den mån det är manuella spårssystem som automatiseras vilket oftast är vad frågan gäller. Automatiska storskaliga spårssystem passar bäst i större städer och där finns i de flesta fall redan utbyggda spårtransporter eftersom dessa har högre kapacitet än bussar. I de fall det ändå är bussystem som ersätts kommer sårbarheten att öka, i vilken grad beror bl.a. på stadens storlek (se diskussion nedan om spårtaaxisystem).

Vad gäller spårtaaxisystem i mellanstora städer, så kommer dessa att vara störningskänsligare än de nuvarande bussystem som de kan tänkas ersätta. Effekterna av störningar behöver emellertid inte bli speciellt allvarliga då gång, cykel och i viss mån bil utgör acceptabla alternativ i städer med en måttlig geografisk utsträckning. Till detta ska läggas de ökade möjligheterna att arbeta på distans från hemmet eller från ett kontorshotell i en näraliggande knutpunkt, som ingår i framtidsbilderna av ett hållbart transportsystem.

En allmän mobilisering förefaller idag avlägsen. De transportsystem som här diskuterats tar dock lång tid att införa och har en mycket lång livstid. Det handlar om ett antal decennier. I det långa perspektivet kan det inte uteslutas att ett angrepp mot Sverige kan återuppstå som hotbild. I ett mobiliseringskede kan en fiende bedöma att det är viktigt att försvåra vår mobilisering, och då bl.a. inkallelseresor. I ett sådant läge kan sabotage komma att riktas mot t.ex. styrsystemet för den automatiska tunnelbanan. Jämfört med dagens system med manuellt framförda tåg förefaller dock inte sårbarheten väsentligt större. En attack mot signalsystemet kan redan nu stoppa trafiken. Om man vidgar perspektivet till ett starkt integrerat transportsystem för Sockholmsregionen, baserat på ett avancerat och centraliserat informations- och styrsystem, kommer saken i ett annat läge. Här förefaller en välplanerad attack mot systemets "hjärna" kunna åstadkomma stor oreda och svårigheter för mobiliseringsresor. Sårbarheten kan göras mindre dels genom bättre IT-säkerhet, dels genom en systemarkitektur som tillåter delsystemen – tunnelbana, busstrafiken, spårvägar, pendeltåg och biltrafiken – att fungera på egen hand om så behövs.

4.2 Fallstudie 2: Internethandel med hemkörning

Internethandel kan gälla dagligvaror och/eller kapitalvaror, hushåll och/eller företag.

Vi kommer här att fokusera på hushållens köp av dagligvaror. Vi tror inte störningar i leveranserna av kapitalvaror får tillräckligt stora konsekvenser för att vara intressant. Företagens inköp via Internethandel utgör en alltför komplex fråga för att behandlas i denna studie.

Beskrivning av systemet och dess miljöeffekter

Systemet bygger på att dagligvaror beställs via Internet hos en distributör. Det kan också gå att ringa in beställningar. Distributören plockar ihop varorna - antingen i ett plocklager eller i en vanlig butik - och tar fram lämpliga körslingor. Respektive distributionsbil kör sedan ut till de hushåll i ett område som beställt leverans vid samma tid. Leveransen kan mottas av en av hushållets medlemmar eller så kan den avlämnas i ett låsbart skåp i anslutning till bostaden. Eventuellt kan ett sådant skåp innehålla kyl och frysack.

Hushållens inköpsresor är i själva verket en form av godstransport. Inköp som görs med personbil är dock mycket ineffektiva ur resurssynpunkt. Energianvändningen vid hemkörning av 30 kg varor med egen bil är ca 30 kWh/tonkm. För dagens kommersiella distributionstransporter är motsvarande siffra 0,70 kWh (Steen, Dreborg et al. 1997). Ett distributionssystem till hushåll skulle inte nå denna nivå, men skulle fortfarande kunna vara avsevärt mer energieffektivt. Enligt rapporten *IT, mat & miljö* (Orremo, Wallin et al. 1999) skulle hemkörning av dagligvaror kunna ge ca 50-70 % minskning i energiåtgång. Dessa siffror bygger dock på relativt långa avstånd från plocklager till kunder. I en hållbar framtidsbild med en stor andel hushåll som utnyttjar systemet kan man sannolikt nå en ännu större minskning. Bäst miljöeffekt fås i villaområden där idag bil används för de flesta inköp. I tätare områden med flerfamiljshus finns dagligvarubutiker på gångavstånd kvar i de hållbara framtidsbilderna. I glesbygd är det också tveksamt om det är fördelaktigt med ett utkörningssystem. Möjligen skulle utkörning av dagligvaror kunna kombineras med postutbärning. En potentiell nackdel med Internethandel ur ett hållbarhetsperspektiv är att det blir lätt att beställa varor långt bortifrån. Detta kan öka transportvolymerna om inte motverkande åtgärder genomförs, t.ex. i form av ekonomiska styrmedel.

För kunderna är fördelarna med hemkörning av dagligvaror främst att de vinner tid och bekvämlighet. De kan också tjäna privatekonomiskt på detta om systemet bidrar till att de inte måste äga en egen bil.

Framväxt (implementering) och strukturella effekter

Om Internetbeställning med hemkörning av dagligvaror får en större spridning kommer dagens trend med nedläggning av lokala butiker att förstärkas. En ur miljösynpunkt eftersträvaransvärd effekt skulle vara ett minskat bilinnehav, när man inte längre själv behöver åka och storhandla. Ett minskat bilinnehav i större städer är en viktig faktor i ett hållbart transportsystem (Åkerman, Dreborg et al. 2000).

Tillförlitlighet/Åtkomlighet

Tänkbara hot är sabotage mot datorsystemet, så att beställning eller mottagning inte kan göras, eller manipulation av systemet så att fel varor skickas. I det första fallet kan sabotaget antingen vara direkt riktat mot e-handeln, eller mer allmänt mot datakommu-

nikationen (t.ex. genom virus som slår ut servers). I det senare fallet är manipulationen sannolikt direkt riktad mot e-handeln.

Utkörningssystemet är relativt svårt att slå ut. Distributionscentralerna kan möjligen komma att utgöra en känslig punkt om systemet blir mycket centraliserat. Det är dock tveksamt om skillnaden mot idag blir speciellt stor. Distributionscentraler finns ju redan idag. Skillnaden med detta system är att distributionen sker direkt till kunderna istället för till butikerna. Man tar bort en länk i distributionskedjan vilket, om något, borde minska sårbarheten.

Effekter av felfunktion i systemet

Livsmedelsförsörjningen är speciell genom att den är livsavgörande. De psykologiska effekterna av hot på detta område är troligen betydande. Om sabotage riktas mot e-handel med livsmedel *under systemets uppbyggnadsfas*, skulle det kunna leda till en förtroendekris som stoppar utbyggnaden av systemet. De potentiella vinsterna – miljövinster av minskat resande, effektiviseringsvinster för handeln, tidsvinster för hushållen – uteblir då. Vad som talar mot att det skulle uppstå en förtroendekris är att en stor del av dagens butiker fortfarande skulle finnas kvar under uppbyggnadsfasen.

Attacker mot *ett redan fullt utbyggt e-handelssystem* som dominerar dagligvarumarknaden, kan få något större effekter. Om skadan på systemet går att åtgärda inom några dagar, blir ändå de direkta effekterna måttliga (ett irritationsmoment). Förtroendekrisen är kanske allvarigare och svårare att snabbt göra något åt.

Redundans och åtgärdbarhet

Om Internetförbindelserna slås ut kan en viss redundans inom systemet åstadkommas genom en övergång till telefonbeställning. Kapaciteten i systemet blir dock kraftigt nedsatt.

På en högre systemnivå finns det redundans i den mån hushållen själva kan ta sig till en av de kvarvarande dagligvarubutikerna. Potentialen avgörs dels av antal och spridning på kvarvarande butiker, dels av hushållens tillgång till transportmöjligheter.

Hur bygga in robusthet i systemet?

Genom att behålla dagligvarubutiker i tätare bebyggda områden kan man också erhålla en redundans om beställningssystemet slås ut. De som bor i glesare områden får då ta sig med cykel, kollektivtrafik eller bil till dessa affärer. De distributionsfordon som annars används för utkörningar till hushållen kan i ett sådant läge användas för en utökad distribution till de kvarvarande affärerna. Det är i detta fall samma mängd dagligvaror som ska transporteras. Avstånden är likartade eller kortare och sammanlagd tid för avlastning blir kortare.

Ett annat sätt att bygga in robusthet är att vara beredda på en eventuell ökning av antalet telefonbeställningar, men detta kräver stora personalresurser i beredskap.

Samlat omdöme om sårbarheten

Utifrån livsmedelsförsörjningens centrala betydelse kan det ligga nära till hands att se den som ett attraktivt mål för en antagonist. Andra omständigheter talar ändå emot. Det förefaller inte så lätt att uppnå verkligt avgörande effekter genom att slå mot e-handelns beställningssystem. Även om beställningsfunktionen via Internet kan vara relativt lätt att slå ut, så behöver följderna inte bli dramatiska förutsatt att robusthet byggts in i systemet. En viss redundans kan erhållas via telefonbeställning. När systemet fått stor spridning kräver dock detta mycket personal i beredskap. Ett annat alternativ är att istället styra om distributionen till kvarvarande butiker. I de hållbara framtidsbilderna antas det att vanliga butiker finns kvar i mer tätbebyggda stadsdelar. Som nämnts ovan räcker befintliga distributionsfordon mer än väl till för denna uppgift. Frågan blir då hur människor kan ta sig till dessa butiker. Alternativen är i huvudsak cykel, bil och kollektivtrafik. I framtidsbilderna antas att personbilsbeståndet minskat med ca 40 %, från 4 miljoner bilar i trafik år 2000 till ca 2,4 miljoner bilar år 2040. Man kan notera att även med denna betydande minskning skulle bilparken ledigt rymma alla Sveriges invånare. Den största minskningen antas också ske i de tätbebyggda områden där butiksnetet fortfarande finns kvar. Att få hem dagligvaror kan således bli mer tidsödande i en krissituation, men några dramatiska effekter uppstår knappast i detta led av matdistributionen. I ett läge med en allmän mobilisering förändras inte denna slutsats nämnvärt. Det är snarare så att andra mål verkar attraktivare för en angripare i ett sådant läge. Det handlar då främst om insatser som kan störa mobiliseringen på ett avgörande sätt.

En annan aspekt rör bränsleförsörjningen. Ett utkörningssystem som är miljöanpassat har ett betydligt lägre behov av bränsle, vilket ger en mindre sårbarhet vid bränsleknapphet.

4.3 Fallstudie 3: Utökade kollektivtransporter med realtidsinformation

Beskrivning av systemet och dess miljöeffekter

Detta koncept bygger till stor del på scenariot "Extended Public Transport" i Mattias Höjers avhandling (Höjer 2000). Vad det handlar om är ett förbättrat och utökat kollektivtrafiksystem. Hjärnan i systemet är en trafikinformationscentral som registrerar hela kollektivtrafikens fordonsrörelser i realtid. Tillgång på platser vid infartsparkeringar samt belägningsgrad i olika delar av kollektivtrafiken är exempel på annan information som kan finnas tillgänglig. Trafikanterna kan ta del av denna information och få tips om bästa resvägar via fasta terminaler och mobiltelefoner.

Kollektivtrafiken är dessutom integrerad med taxi, hyrbil och cykel. Dessa transportslag kan smidigt bokas med hjälp av mobiltelefon. Hyrbilar låses enkelt upp med ”smarta kort” i kombination med kod. Dessa kort fungerar också som betalningsmedel för alla typer av transporter. Ett smart kort som är laddat med månadskort kan t.ex. berättiga till rabatter på taxi och hyrbil.

Miljövinsten med detta system är att attraktiviteten i kollektivtrafiken förbättras. Osäkerhet om vägval minskar liksom väntetider vid hållplatser. Dörr till dörr resor med en kombination av kollektivtrafik och individuellt transportmedel blir smidigare.

Framväxt (implementering) och strukturella effekter

Realtidsinformation finns redan tillgänglig på många håll. Systemet kan lätt byggas ut steg för steg. En standard vad gäller smarta kort är dock nödvändig.

Tillförlitlighet/Åtkomlighet

Den mest sårbara delen av systemet i förhållande till en antagonist är sannolikt själva trafikinformationscentralen. Både systemet för insamling av information och spridning till resenärer är relativt komplext vilket också kan leda till problem vad gäller tillförlitligheten.

Effekter av felfunktion i systemet

Fel i systemet som ger realtidsinformation om kollektivtrafiken behöver inte påverka kapaciteten i detta system (givet tidtabellsbundna system). Konsekvenserna består i något förlängda restider för resenärerna som inte längre vet exakt när avgångarna sker. Om ett anropsstyrt spårtaxisystem ingår i kollektivtrafiksystemet blir effekterna större i och med att kapaciteten i detta system är beroende av beställningsfunktionen.

Bokning av taxi och hyrbil kan delvis slås ut. Om koder till de smarta korten inte kan överföras fungerar de inte till att låsa upp hyrbilar och hyrcyklar.

Redundans och åtgärdbarhet

Viss redundans kan finnas inbyggd i trafikinformationscentralen. Vad gäller taxi kan man behöva behålla en möjlighet till beställning genom konventionella telefonväxlar. Om systemet med automatisk beställning har nått en stor marknadsandel blir det dock mycket kostsamt att hålla tillräcklig kapacitet i beredskap.

Hur bygger man in robusthet i systemet?

Redundans bör i möjligaste mån byggas in i trafikinformationscentralens system. En viss möjlighet att beställa taxi och hyrbil som idag kan bibehållas.

Samlat omdöme om sårbarheten

Även om en centraliserad trafikinformationsbearbetning kan vara sårbar så blir de potentiella konsekvenserna av felfunktion begränsade. I ett tidtabellsbundet system blir kapaciteten oförändrad även om resenärerna kan få tillbringa längre tid på hållplatserna. Upprepade avbrott i möjligheterna att smidigt boka taxi eller hyrbil som komplement till kollektivtrafiken kan dock medföra att fler väljer att ta egen bil. Så länge det inte finns ett centraliserat styrsystem för all kollektivtrafik, utan systemet inskränker sig till informationshantering, är det knappast lönt för en angripare att slå mot systemet i ett mobiliseringskedje.

5 Avslutning

5.1 Diskussion av resultat

Syftet med denna studie har varit att pröva hur visionerna om ett *hållbart transportsystem* kan förenas med visioner om ett *robust samhälle*. Fokus har legat på system där IT spelar en viktig roll.

En viktig faktor är hur olika systemnivåer samverkar. I de hållbara transportsystem som utarbetats på fms har IT:s betydelse ökat kraftigt. Distansarbete, videokonferenser och Internethandel är viktiga exempel på hur fysiska transporter kan ersättas eller göras effektivare. Detta gör givetvis att sårbarheten i IT-systemen kommer i fokus. Samtidigt kan redundansen i många fall öka. En person som distansarbetar från hemmet eller ett lokalt telekontor ett par dagar i veckan kan om teleförbindelserna går ner fortfarande ha möjlighet att resa till sin huvudarbetsplats. Omvänt gäller att om inte de fysiska transporterna till arbetsplatsen fungerar så kan det gå att arbeta på distans. Detta gäller så länge det finns en huvudarbetsplats att åka till. I virtuella företag där man hela tiden arbetar från sin mobila enhet blir beroendet av IT-kommunikationer stort, sannolikt med ökad sårbarhet som följd. Här kan man notera att tillgång till två oberoende nät t.ex. ett fast nät och ett mobilt nät minskar sårbarheten om man t.ex. arbetar i bostaden.

Spårtaxi är ett system som i sig kan vara störningskänsligt. Det faktum att systemet lämpar sig bäst för mellanstora städer upp till ett par hundrausen invånare gör dock att effekterna av att systemet fallerar oftast blir begränsade. Cykel- och biltransport kan i många fall utgöra redundans vid avbrott i det professionella trafikutbudet (kollektivtrafik och spårtaxi). Potentialen för cykel beror dels på det tilltänkta resavståndet och dels på hur stor last som ska tas med. För dagligt resande i städer med upp till ett par hundrausen invånare, kan det utgöra den huvudsakliga redundansen, men även i större städer kan det spela en betydelsefull roll. I framtidsbilderna har förutsättningarna för cyklande förbättrats betydligt vilket ger detta färdmedel en bättre förmåga att ersätta andra transportslag. Cykeln som transportmedel är inte heller beroende av fungerande hjälpsystem som bränsleförsörjning eller styrsystem. Bilens potential begränsas istället främst av vägkapaciteten på länkar med stora trafikvolymmer. Tillgång till bil kan också utgöra en viss begränsning i större städer liksom tillgång på bränsle i ett krisläge. I de hållbara framtidsbilder som utarbetats på fms är bilinnehavet i stort sett oförändrat på landsbygden, men har minskat markant i större städer. Totalt sett har bilparken minskat med ca 40 %, från 4 miljoner bilar till 2,4 miljoner.

Sårbarheten hos ett system med Internethandel och hemkörning av dagligvaror beror främst på i vilken mån det finns butiker kvar och vilka möjligheter konsumenterna har att transportera sig till dessa. I de hållbara framtidsbilderna finns det dagligvarubutiker kvar i mer tätbebyggda områden vilket trots ett lägre bilinnehav gör att effekterna av avbrott i beställningsfunktionen via Internet sannolikt blir begränsade. Det kan dock vara lämpligt

att i ett sådant läge ha utarbetat rutiner för att lägga om distributionen till kvarvarande butiker samt informera kunder.

Den tredje fallstudien visar att rådgivande system för kollektivtransporter inte innebär några större sårbarhetsproblem. Detta beror på att kapaciteten i systemet i stort är oförändrad även om informationssystemet faller ur. Det som händer är att väntetiderna på hållplatserna blir längre. Slutsatsen från denna fallstudie kan troligen också generaliseras till rådgivande system inom vägtrafiken. Även här blir effekterna begränsade om systemet störs. Detta beror bl.a. på att de flesta som åker i rusningstid är vaneresenärer som redan känner till den bästa vägen. Vid olyckor och underhållsarbeten är behovet av information större. Detta går dock att till stor del tillgodose med radioinformation.

Bränsleförsörjningen i ett hållbart transportsystem skulle vara mindre sårbar än vad fallet är idag. Detta beror dels på en kraftigt minskad bränsleåtgång (-70 %), dels på att bränslena till största delen kan produceras med hjälp av inhemsk biomassa eller inhemsk el.

Vid en mobilisering med upprepade avsiktliga störningar ändras förutsättningarna vad gäller sårbarhet. Spårtransporter i allmänhet och automatiska spårtransporter i synnerhet är mer känsliga för avsiktliga handlingar än ett bussystem. De direkta effekterna i form av olycksoffer kan bli större. Effekterna i form av trafikstörningar blir också allvarigare. En ytterligare potentiell fördel med ett bussystem är att man kan välja att använda lokalbussar för långväga mobiliseringstransporter om lokaltransporterna till stor del kan klaras med gång och cykel. Lokaltrafikens spårfordon är i allmänhet inte möjliga att använda i det långväga järnvägsnätet. Hur viktig denna faktor är beror på vilken efterfrågan som finns på busstransporter i ett mobiliseringsskede. I detta sammanhang bör dock nämnas att det i större städer är svårt att ersätta spårssystem med bussystem bl.a. av kapacitetsskäl.

5.2 Slutsatser och behov av fortsatt forskning

I denna pilotstudie har vi genom tre fallstudier tagit ett första steg i en analys av hur visioner av ett hållbart transportsystem kan förenas med visioner om ett robust samhälle. Den preliminära slutsatsen i sakfrågan är att ett hållbart transportsystem som vi här tecknat kan göras minst lika robust som dagens system, förutsatt att hänsyn tas till sårbarhetsaspekten när de olika systemen utformas i detalj.

Flera av de dimensioner som vi i denna studie behandlat kortfattat behöver emellertid utvecklas i framtida studier. En slutsats från denna studie är att sårbarheten är starkt beroende på vilken typ av hot som avses, t.ex. om det är avsiktliga mänskliga handlingar eller andra faktorer som ligger bakom. Exempelvis kan ett system med automatisk tunnelbana göras mer tillförlitligt vad gäller olyckshändelser än dagens manuella system, men samtidigt ökar sårbarheten sannolikt vad gäller avsiktliga handlingar. En mer detaljerad kategorisering och analys av olika störningar och hot är således viktig. Här kan

det vara lämpligt att analysera en hottrappa på ett mer systematiskt sätt än vad som det fanns tid till i föreliggande studie.

En annan slutsats från denna studie är att det är svårt att analysera sårbarheten hos enskilda transportsystem var för sig. Sårbarheten är starkt beroende både av hur det omgivande transportsystemet ser ut och hur samhällets strukturer i övrigt ser ut. Det handlar om bebyggelsestruktur, lokalisering av service och affärer, arbetets organisation mm. En lämplig väg för framtida studier kan därför vara att utgå från helhetsbilder av ett hållbart transportsystem där även antaganden om samhället i övrigt ingår, och sedan analysera sårbarheten hos dessa. En sådan studie kan inkludera en mer omfattande analys av de olika stegen i en hottrappa.

Ett ytterligare utvecklingssteg skulle kunna vara att utveckla framtidsbilder av ett både robust och hållbart samhälle. Detta är sannolikt en relativt stor uppgift.

Referenser

Banister, D., K. Dreborg, et al. (1998). Development of Transport Policy Scenarios for the EU: Images of the Future. WCTR, Antwerp, Elsevier Science Ltd.

Berdica, K. (2000). Analysing vulnerability in the road transport system. Department of Infrastructure and Planning. Stockholm, Royal Institute of Technology.

Bergström, M. och K. H. Dreborg (1984). Säkerhetspolitiska hot mot fredssamhället. Stockholm, SSLP, Försvarsdepartementet.

Börjesson, M. och B. E. Peterson (1999). Resenärernas upplevelser av automatiska bansystem. Stockholm.

COOL (1999). Climate Options for the Long Term including the Work Plan for Phase 2. Wageningen, Wageningen University.

COOL (2000). Climate Options for the Long Term: Path Analysis. Wageningen, Wageningen University.

Dreborg, K. H., E. A. Eriksson, et al. (1994). Planera för det okända? Om hantering av osäkerhet. Stockholm, FOA: 90.

Dror, Y. (1988). Uncertainty: Coping with it and with political feasibility. Handbook of Systems Analysis: Craft Issues and Procedural Choices. E. Quade. Chichester, Wiley & Sons.

Frost, C. och P. Ånäs (1999). Sabotage och terrorism, FOA.

Holmgren, Å., S. Molin, et al. (2001). Critical Infrastructures, Delft 2001: Vulnerability of Complex Infrastructure Power Systems and Supporting Digital Communication Systems. 5th International Conference on Technology, Policy and Innovation, Hague, Delft, LEMMA Utrecht, The Netherlands.

Höjer, M. (1998). "Transport Telematics in Urban Systems - A backcasting Delphi Study." Transportation Research 3(6): 445-463.

Höjer, M. (2000). What is the point of IT? - Backcasting, urban transport and land-use futures. Department of Infrastructure and Planning. Stockholm, Royal Institute of Technology.

Kaijser, A. (1994). I fädrens spår: Den svenska infrastrukturens historiska utveckling och framtida utmaningar. Stockholm, Carlssons förlag.

Naturvårdsverket (1996). På väg mot ett miljöanpassat transportsystem - Slutrapport från MaTs-samarbetet. Stockholm, Naturvårdsverket.

OECD (1997). Environmentally Sustainable Transport: Report on Phase II of the OECD EST Project. Paris, Environment Directorate.

OECD (1999). Transport and Environment: Synthesis of OECD Work on Environment and Transport and Survey of related OECD, IEA and ECMT Activities. Paris, Environment Directorate.

Orremo, F., C. Wallin, et al. (1999). IT, mat & miljö - En miljökonsekvensanalys av elektronisk handel med dagligvaror.

Peake, S. (1994). Transport in Transition: lessons from the history of energy. London, Earthscan, Royal Institute of International Affairs.

Peake, S. och C. Hope (1994). "Sustainable mobility in context: Three transport scenarios for the UK." Transport Policy 1(3): 195-207.

Pettersson (1976). Det sårbara samhället. Stockholm, Folk och Försvar.

RTK (2000). 2000 Årsstatistik för Stockholms län och landsting.

Steen, P., K.-H. Dreborg, et al. (1997). Färder i framtiden - Transporter i ett bärkraftigt samhälle. Stockholm, KFB-Rapport 1997:7.

Tegnér, G., J. Henningsson, et al. (1999). Spårtaxi - Ett effektivt och hållbart trafiksystem - Analyser av en pilotbana i Stockholm, marknad och ekonomi. Stockholm.

WCED (1987). Our Common Future. Oxford, The World Commission on Environment and Development.

Weissglas, Brydsten, et al. (1996). Sårbarhet på tre nivåer - om systemkollisioner i samhället, ÖCB Forskningsrapport.

Åkerman, J. (1996). Tid för resor - om tidsanvändning, värdering av tid och snabbare transporter.

Åkerman, J. (2000). Efficient high speed transport - Sustainable solution or dead end? KFB Research Conference: Transport Systems - Organisation and Planning, Stockholm.

Åkerman, J., K. H. Dreborg, et al. (2000). Destination framtiden - Vägar mot ett bärkraftigt transportsystem. Stockholm, KFB-Rapport 2000:66.

Åkerman, J., K.-H. Dreborg, et al. (2000). Destination framtiden - Vägar mot ett bärkraftigt transportsystem. Stockholm, Forskningsgruppen för miljöstrategiska studier: 168.