

Ulfvengren P*, Blomkvist P**, Okwir S* and Arvidsson N**

INDEK, ITM, KTH

*Industrial management, **Sustainability and Industrial Dynamics)

Kontakt: pernilla.ulfvengren@indek.kth.se

Förstudie till forskning om luftfarten som ett INFRA-system i förändring

Sammanfattning

Denna förstudie har finansierats av KTHs centrum för hållbar luftfart (CSA, Centre for Sustainable Aviation) och adresserar centrumets komplementära forskningsinriktning för Flygsystemförändring och Hållbarhetsaspekter som miljö och flygsäkerhet. Centrumet är etablerat med utgångspunkten att parterna är eniga om att något måste förändras i flygsystemet. Genom att studera förändring till exempel: vad som driver den, vad som hindrar den, vad som gör att en del ser lösningar där andra ser problem, bidrar till ökad kunskap för analys av system, processer för förändring och realisering av innovation. Forskningsprojekt kan tillföra nödvändiga resurser för att kartlägga och utveckla ett sådant helhetsperspektiv. Vår forskning utvecklar kunskap, metoder och verktyg för systemanalys och systemdiagnos. Tillämpningar av detta i samverkan med systemaktörer bidrar till att man förbättrar förståelse för systemet och de olika systemperspektiven i förhållande till sitt egna. Detta är grunden för att lyckas förändra systemet och också centralt att studera för att vidareutveckla kunskap om systemdynamik och implementering av systemförändringar.

Förstudien resulterade i en ansökan om ett större projekt INFRA inom KTHs centrum CSA. Det föreslagna projektet ska kartlägga, analysera och definiera en systemmodell för nuläget, hur detta system har vuxit fram historiskt, och en ideal framtida målbild för systemet. För framtida forskning föreslås även utveckling av en implementeringsstrategi samt att följa och utvärdera en pågående systemförändring.

Forskningen kommer att studera flyget som ett stort tekniskt system, ett sammanhållet transport och ett "infrasystem", hur externaliteter som buller internaliseras in i detta system, och detta i sin tur leder till utveckling av kunskap nödvändig för att utforma och anpassa metoder och verktyg för implementering och realisering av framtida lösningar. Projektet innehåller i huvudsak tre delar.

1. Studera flyget som ett transportsystem och infrasystem.
2. Studera buller som en systemkomponent inom flygsystemet.
3. Följeforska implementering av systemförändring samt utvärdera förhållningen i förhållande till målbilden (hantera risk för att inte förändringen ska lyckas och nå målet).

Resultaten från INFRA anses högrelevanta även för andra systemaspekter med målet att uppnå ökad hållbarhet. Vi kommer diskutera om internalisering av externaliteter är en väsentlig process för fler hållbarhetsaspekter än buller. INFRA kan då utveckla kunskap som långsiktigt är relevant för andra projekt inom KTH centrum för hållbar luftfart såsom andra miljöeffekter och säkerhet.

1 Introduktion

The Blind Men and the Matter of the Elephant

Beyond Ghor, there was a city. All its inhabitants were blind. A king with his entourage arrived nearby; he brought his army and camped in the desert. He had a mighty elephant, which he used to increase the people's awe.

The populace became anxious to see the elephant, and some sightless from among his blind community ran like fools to find it. As they did not even know the form or shape of the elephant, they groped sightlessly, gathering information by touching some part of it.

Each thought that he knew something, because he could feel a part....The man whose hand had reached an ear...said: "It is a large, rough thing, wide and broad, like a rug." And the one who had felt the trunk said: "I have the real facts about it. It is like a straight and hollow pipe, awful and destructive." The one who had felt its feet and legs said: "It is mighty and firm, like a pillar."

Each had felt one part out of many. Each had perceived it "wrongly"...This ancient Sufi story was told to teach a simple lesson but one that we often ignore: The behavior of a system cannot be known just by knowing the elements of which the system is made.

Luftfartens system eftersträvar ökad kapacitet med ökad säkerhet och minskad miljöpåverkan. Vanligtvis refereras till miljöpåverkan i termer av CO₂. Men här beaktas en annan miljöeffekt, buller. KTH centrum för hållbar luftfart har etablerats med mål och syfte att reducera buller inom luftfarten i samverkan med parterna i systemet.

Ett system är ett antal komponenter eller delar som formar en komplex helhet. Delarnas relationer till varandra är av stor och ofta avgörande betydelse för systemets sätt att fungera och hantera förändringar. Delarna kan vara självständiga enheter. Svensk luftfart kan beskrivas som ett system bestående av dess aktörer och deras verksamheter. De mest centrala delarna är LfV, Swedavia, flygbolag, Trafikverket och Transportstyrelsen.

Svensk luftfart är ett system som främst producerar flygtransporter för människor och gods i och till och från Sverige. Men systemet producerar även en bi-produkt, buller. Ingen av dess centrala aktörer ansvarar enskilt för eller vill producera buller. Men alla ingående komponenter och aktörer har inbördes relationer och beroenden som gör att systemet sammantaget producerar buller. Buller ligger långt ifrån de olika delarnas kärnverksamheter som är att tillhandahålla effektiv och säker: flygtrafikledning, flygplatsdrift och flygresor.

Detta system står nu inför utmaningen att signifikant minska det buller som det producerar. Ingen enskild aktör kan på egen hand nå ner till önskad bullernivå. Oavsett vilken form denna förändring kommer att ha, oavsett vilken typ av bullerbekämpande initiativ som tas, så kommer en implementering och realisering av detta att påverka och omfatta alla som ingår i systemet.

En grundförutsättning för att ändra systemet i denna önskvärda riktning är att förstå systemets funktionalitet. Att förstå hur systemet producerar buller, dess funktionalitet i detta avseende, är ett väsentligt första steg för att kunna förmå systemet att också minska buller. En utgångspunkt för denna forskning är att undersöka flygets bullerproblem genom en systemdiagnos där alla komponenter (tekniska och sociala/organisatoriska) och deras relation till buller kartläggs.

Var man ska dra systemavgränsningar i denna systemdiagnos beror på den fråga man ställer och vad man vill uppnå. I varje enskild aktörs verksamhet så finns tydliga mål inom dennes egna systemperspektiv, och därför har aktörerna olika intressen givet sina affärsmodeller. Detta gör i sin tur att givet att en viss teknik eller procedur skulle teoretiskt lösa bullerproblematiken tillfredsställande så kommer detta få unik inverkan, ställa olika krav och bidra till olika stora effekter på aktörerna. Samtidigt finns påverkan från lagar och samhälle som i värsta fall begränsar handlingsutrymmet och ökar risk för målkonflikter. Observerade exempel är säkerhetsföreskrifter, miljölagar och bullerklagomål från kringboende till flygplatsen.

Om dessa faktorer ligger utanför vad man betraktar som "sitt system" så hanteras de normalt som "externaliteter". Fram tills nu har buller varit en externalitet. Systemgränserna måste nu ändras att inkludera buller. Det innebär att buller går från att betraktas som en externalitet till att "internaliseras" i systemet. Detta, komplicerar systemet och ökar behovet av att hantera buller systemiskt, tillsammans, i samverkan med alla systemaktörer, alla de som berörs och de intressenter som kan påverka. Detta kan gälla både de som producerar buller och de som utsätts för det.

I analogi med den inledande Sufi-berättelsen förutsätter samverkan att alla ingående aktörer ser en elefant och alla dess delar även om man bara ansvarar för t.ex. snabeln. Det är viktigt i sammanhanget att olika systemperspektiv inte handlar om att ha rätt eller fel. Men om man tror att man talar om elefanten i enbart termer av en snabel kan man aldrig förlika sig med att någon annan talar om foten eller örat eller att tycka det är irrelevant. Det kan gå så långt att man anser att en annan part inte förstår eller ens talar sanning utifrån det egna systemperspektivet.

Det finns flera exempel att hämta från luftfarten. Om LFV säger att det helt enkelt inte går att flyga kurvat över Upplands Väsby så kan man ändå utifrån en flygoperatörs perspektiv hävda att det inte finns något hinder alls att göra det. Ett annat exempel skulle vara om Transportstyrelsen säger att det inte är lika säkert att flyga kurvat som att flyga rakt. Detta samtidigt som piloter inte ser större risk att svänga ett flygplan än att svänga en bil i en normal kurva.

Olika sätt att se på systemet ger också olika frihet till lösningsförslag. Systemets aktörer har helt unika tekniska förutsättningar och verksamheter som etablerar vad som är "görbart". För att tillmötesgå klagomål om buller skulle vi kunna sluta flyga i och till och från Sverige. Det skulle öka både flygsäkerheten och minska buller. Men detta är såklart helt orimligt ur ett annat systemperspektiv som vill främja tillväxt och göra Sverige och Stockholm till en lättåtkomlig nod i världen. Så, för att inte suboptimera systemet enbart efter en part, t.ex. bullerklagomål, måste även andra systemperspektiv beaktas.

Denna förstudie har finansierats av KTHs centrum för hållbar luftfart (CSA, Centre for Sustainable Aviation) och adresserar centrumets komplementära forskningsinriktning för Flygsystemförändring och Hållbarhetsaspekter som miljö och flygsäkerhet. Centrumet är etablerat med utgångspunkten att parterna är eniga om att något måste förändras i flygsystemet. Genom att studera förändring till

exempel: vad som driver den, vad som hindrar den, vad som gör att en del ser lösningar där andra ser problem, bidrar till ökad kunskap för analys av system, processer för förändring och realisering av innovation. Forskningsprojekt kan tillföra nödvändiga resurser för att kartlägga och utveckla ett sådant helhetsperspektiv. Vår forskning utvecklar kunskap, metoder och verktyg för systemanalys och systemdiagnos. Tillämpningar av detta i samverkan med systemaktörer bidrar till att man förbättrar förståelse för systemet och de olika systemperspektiven i förhållande till sitt egna. Detta är grunden för att lyckas förändra systemet och också centralt att studera för att vidareutveckla kunskap om systemdynamik och implementering av systemförändringar.

Denna rapport är skriven för i första hand ickeakademiker. För referenser så finns en mer utförlig engelsk beskrivning av de olika områdena i Appendix 1.

1.1 Mål med forskning om Flygsystemförändring

Det är beskrivet i forskning om systemförändringar att detta är något av de svåraste en organisation eller system, där flera organisationer ingår, kan företa sig. Det är en högriskaktivitet som bör tas på största allvar. Det är inte ovanligt att forskare kommer fram till att upp till 60% av alla systemförändringar misslyckas! En av riskerna är att man förbiser önskade effekter och suboptimerar för att man inte tillräckligt förstår systemets funktionalitet. I bästa fall genomförs förändringen men med avsevärt slöseri av resurser.

Ett övergripande mål för forskning inom Flygsystemförändring är att utveckla generaliserbar kunskap som kan bidra till att öka chanserna för att genomföra en hållbar och lyckad systemförändring för att minska buller. Ett delmål är att förbereda systemet på implementering av de nya bullerreducerande initiativ och lösningar som parallell forskning utvecklar (t.ex. andra finansierade projekt inom KTH centrum för hållbar luftfart).

Forskning om flygsystemförändring antas att medföra lärande och ökad samverkan mellan systemaktörerna som dessutom bidrar till "en flygande start" för att få till stånd en förändring i framtiden. Med en ingående beskrivning och djupgående analys av systemet kan man med större säkerhet bedöma effekter och nödvändiga kompromisser med olika alternativ. Man kan således även använda systemdiagnosen som modell för utvärdering. Detta kan spara mycket resurser, tid och frustration som kan skada samarbetsviljan. Denna forskning kan påskynda reell bullerminskning från systemet och öka chanserna till att den framtida nödvändiga förändringen blir hållbar och lyckad.

Buller är bara en av hållbarhetsaspekterna inom luftfarten. Ett övergripande mål för fortsatt forskning är att utveckla generaliserbar kunskap som framöver kan tillämpas på systemförändringar gällande även andra miljöaspekter och säkerhet.

1.2 Syfte med Förstudien INFRA

Syftet med förstudien INFRA är att identifiera vilka faktorer som hindrar respektive uppmuntrar till flygsystemförändringar. Förstudien kommer att vara vägledande för fortsatta studier och projekt tillämpat på systemförändringar för att uppnå minskat buller inom luftfarten.

Tidigare forskning inom flyget på INDEK har varit mycket tillämpad i sin art och inte tidigare kopplats till angränsande teorier inom industriell dynamik, i alla fall inte på ett systematiskt sätt. På samma sätt har forskning inom INDEKS forskning inom industriell dynamik inte tidigare studerat något flygsystem. För att detta ska kunna göras krävs en konceptualisering av flygsystemet som skulle innebära en

genomgång av tidigare forskning om flyget och hur den kan beskrivas och jämföras med teorier från relevanta områden samt en operationalisering av teoretiska begrepp som möjliggör tillämpning av och utveckling av teoretiskt ramverk för flygsystemets kontext.

Förstudien integrerar pågående relevant systemforskning inom olika forskningsgrupper på INDEK på KTH. Detta lägger grunden till att genomföra gemensam forskning med kombinerad kunskap.

2 Metod

Flyget är inte det första stora (socio-) tekniska systemet som studeras eller som måste hitta samverkansformer för att genomföra komplexa förändringar i en ny önskvärd riktning. Att se till hur andra har gjort och vilka lärdomar som finns kan ge en bild av "best practice" på området. För att säkerställa att det är tillämbart på vårt system så bör man också analysera skillnader och likheter mellan systemen.

På gemensamma seminarier har forskargruppen presenterat sina ingångsvärden för varandra. Då forskargruppens sammansättning kan ses som en del av metoden är lärande och integrering av våra olika kompetenser avgörande för forskningen. Ämnen för diskussion har varit de olika teorierna som översiktligt nämnts i resultatet från tidigare forskning inom flyg på INDEK på avdelningarna Industriell arbetsvetenskap/Industrial management (IM) och Sustainability and Industrial dynamics (SID). Forskare har förutom presentationer och diskussioner under seminarier delat med sig av både egen och andras forskning som gruppen från sina olika områden funnit relevanta.

Centralt för förstudien har alltså varit forskargruppens sammansättning. Med blandad kompetens inom systemteori, industriell dynamik, industriell arbetsvetenskap och human factors har gruppen kompletterat varandra väl. Dessutom har forskarna haft erfarenhet av flera olika typer av system t.ex betalsystemet, sjukvård, bilsystemet och flygsystemet. Att integrera dessa forskningsområden och den samlade kompetensen har identifierat ett flertal nya kopplingar mellan flygsystemet och teorier, som tidigare använts inom andra system.

En viktig källa för bakgrundsförståelse av Sveriges flygsystem har varit forskarnas inblick i centrumets uppbyggnad och branschens behov och prioriteringar. Bland annat gavs en inblick av flera perspektiv på centrumets invigning och under andra möten med presentationer och diskussioner med LFV, Swedavia, Trafikverket och även Transportstyrelsen, genom medverkan i KTH centrum för hållbar luftfart.

En initial systematisk litteraturstudie har genomförts för att kartlägga hur systemtänkandet inom flyget har utvecklats och tillämpats samt hur det tidigare analyserats med liknande angreppssätt.

I en iterativ skrivprocess har forskargruppen gemensamt beskrivit flygsystemet i termer från teorier som använts att beskriva stora tekniska system och infrastruktursystem. Ett antal dokument har producerats, sammanfattande rapporter av litteraturstudier, en halvtidsrapport, samt en ansökan som är inskickad till KTH centrumet CSA. Flera av dessa dokument är skrivna på engelska och har fungerat som arbetsdokument och är inte översatta för denna slutrapport. En sammanfattning och en del mer utförligare beskrivningar, samt referenser finns i en engelsk "state of art" i Appendix 1.

3 Resultat

Inom litteraturen har vi i stort sett inte hittat något tidigare publicerat om studier av flygsystemet som ett stort tekniskt system eller infrastruktursystem, eller ens transportsystem.

Ett antal olika kategorier av teorier som har identifierats som relevanta tas upp här. De som har utvecklats för att beskriva och analysera system och de som beskriver och analyserar systemförändring där det även ingår att utvärdera och analysera risker vid systemförändring.

3.1 Flygsystemförändring som komplementärt forskningsområde

Det har blivit tydligt i diskussioner med olika flygsystemaktörer och i dokument som beskriver nationella flygforskningsagendan, NRA Flyg 2010, och det som beskrivs som inriktning i Trafikverkets portfölj 9 för Luftfart (Trafikverket, 2015), att detta är en annan forskningsinriktning än den som vanligtvis associeras med flyg. Vanligtvis beskrivs flygindustrins teknikutveckling som t.ex. militära flygsystem och svensk industri som producent av viktiga delsystem till de största flygplanstillverkarna. Exempel på huvudområden inom flygforskning är militära och civila flygmotorer och andra flygplansdelar samt operatörers arbetsmiljö och verktyg, främst piloter och trafikledare. Den senare delen influeras av annan teknikutveckling än bara flygindustrins egna innovationer: t.ex. införandet av "electronic flight bags" i form av "plattor", trådlös dataöverföring, datahantering och system som tillåter ökad automationsgrad. I nationella flygforskningsagendan anges följande teknikområden: Grundläggande flygteknik, Helhetsförmåga (integrering av rent tekniska system) och konceptstudier, Avancerad struktur, Intelligent ombordsystem, Motorteknologi och Flygtrafikledning. Forskning på dessa teknikområden skiljer sig väsentligt åt med avseende på kunskap som krävs och utvecklas. Det kan vara forskning inom allt från kognitionspsykologi och beslutsfattande till hållfasthetslära. Med tanke på denna bredd är det inte kunskapsfältet som avgör om det är flygteknik eller flygforskning utan med vilken systemsyn man har avgränsat det man menar med komplett flygsystem, säkerhetskritiska system, människa-tekniksystem osv. Finansieringen av forskningen sker för NRA genom Nationella flygtekniska flygprogrammet (NFFP) som främjar samarbete med en industripart och kommersiella tillämpningar inom överskådlig framtid. Något som talar tekniska produkters och teknikutvecklings tydliga språk.

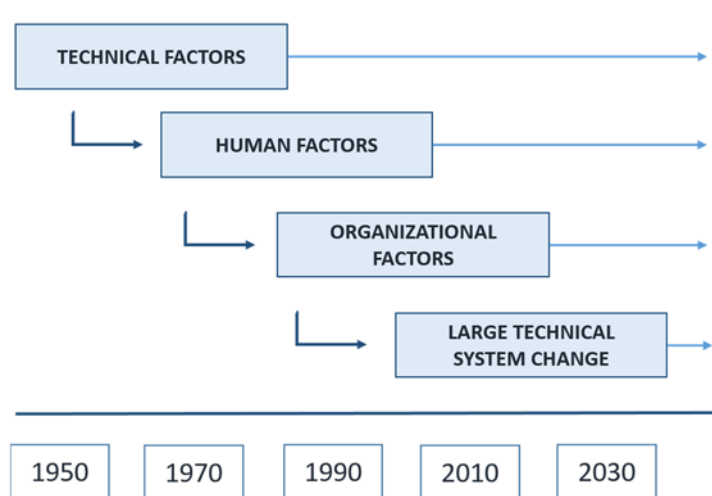
KTHs centrum för hållbar luftfart (Centre for Sustainable Aviation, CSA) har delvis valt en annan inriktning på flygforskning som möjliggör komplementär forskning, däribland Flygsystemförändring och Hållbarhetsaspekter som miljö och flygsäkerhet. Relevanta ämnesfält för denna forskning är snarare ämnen som industriell verksamhetsledning, industriell dynamik och human factors med både macroergonomi (ODAM, organisational design and management) och microergonomi (arbetssystem och processer). Inom dessa forskningsfält studeras förändring av verksamheter, implementering av teknik, organisationsförändringar och ändring av stora (socio-)tekniska system som transportsystem och infrastystem.

Flygforskningens fokus beskrivs ofta som en utveckling (främst säkerhetsforskning) från teknikfokus, till människan (human error/performance) till på senare tid och idag organisationsaspekter (ICAO, 2014). Inom förändrings- och implementeringsforskning finns mycket kunskap som visar att systemförändringar och organisationsförändringar ofta misslyckas med att möta uppsatta mål och förväntningar. Man vet också att implementering eller införandet av ny teknik och nya processer ofta för med sig oväntade överraskningar och inte alltid blir som man har tänkt sig.

Inom ramen för CSAs mål och syfte att genom forskning minska buller samt övriga miljöeffekter från flygtrafik i Sverige kommer troligtvis att medföra en flygsystemförändring som sträcker sig utanför systemavgränsningen för ren flygteknik och flygtrafikledning.

Systemsynen inom denna flygsystemforskning bidrar till att involvera och beakta alla intressegrupper och deras aspekter inom systemet: medborgare, infrastrukturhållare, flygindustrin (flygbolag, flygtrafikledning, flygplats och infrastrukturhållare, systemleverantörer) och övrigt näringsliv. Forskningsinriktningen är också tillämpad och verkar för att resultaten kan omsättas i tillämpbara processer och verktyg för analys, implementering och utvärdering av stora systemförändringar.

Denna skala föreslås att utökas (figur 1), som ett resultat av denna förstudie, med att även inkludera stora tekniska system som nödvändig forskning för hantering av hållbarhetsaspekter framöver.



Figur 1. Flygforskningens utveckling mot stora tekniska system och hållbarhet (Ulfvengren et al. 2016).

3.2 Systemsyn - från General system theory till Complex systems

*A system is characterized by the **interactions of its components** and the **nonlinearity** of those interactions.* - Ludwig von Bertalanffy

Det var biologen Ludwig von Bertalanffy, tillsammans med andra framstående systemtänkare som Kenneth Boulding, som tog ledningen i utmejsla de olika systemrelaterade forskningsområden till ett sammanhängande systemkoncept som kallas "General system theory" (GST). Utmärkande för GST är interaktionen mellan komponenter och att dessa interaktioner har icke-linjära samband. Han hävdade att så länge ett system är öppet för interaktion med den omgivande miljön, det vill säga ett öppet system, aldrig bör hanteras isolerat (Von Bertalanffy 1968). Och eftersom inga system är helt avskurna från sin omgivning så är alla system öppna system, med undantag för eventuellt universum.

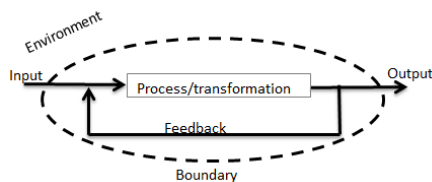
- Ett system är ett antal komponenter eller delar som formar en komplex helhet.
- Delarnas relationer till varandra är av stor och ofta avgörande betydelse för helhetens sätt att fungera och hantera förändringar.
- Delarna kan vara självständiga enheter.
- Systemet anses vara större än summan av delarna.

GST syftade till att förena systemtänkare i en generell teori. Von Bertalanffys arbete var också ett svar riktat mot det reduktionistiska synsätt som föreslog att alla delar i ett system kan delas in i dess enskilda komponenter och optimeras separat, vilket faller mer inom området Cybernetics.

3.2.1 Cybernetics

Cybernetik är, precis som GST, ett tvärvetenskapligt angreppssätt för att studera och förstå system. Matematikern Norbert Wiener publicerade 1948 sin inflytelserika bok *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Wiener använde termen cybernetik att beskriva självreglerande mekanismer.

Cybernetik är främst tillämplig för system som är starkt kännetecknas av en sluten återkopplingssignal så som fysiska system som konstruerats för att fylla ett visst syfte. Ett exempel på en enkel cybernetisk självreglerande systemet ses figur 2, med omvandlingsprocessen av ingångar till utgångar som regleras av en återkopplingsslinga och med en definierad gräns gentemot miljön.



Figur 2: En modell av ett enkelt system

Den banbrytande dataingenjören Jay Forrester utvecklade "field system dynamics" vid MIT Sloan School of Management på 1950-talet. Driven av framsteg från Wiener och Cyberneticsforskningen. Utvecklades systemdynamiken för att förstå de komplexa och icke-linjära aspekter av system genom återkopplingar mellan samverkande komponenter med t.ex. tidsfördröjningar i systemet. År 1970 skapade Forrester en systemmodell för att simulera världen som ett socio-ekonomiskt system (World1).

3.2.2 Complex systems

"Complex system theory" fokuserar på samspelet mellan system och har ett brett användningsområde, vilket gör det nästan lika allmänt som den allmänna systemteori. Beroende på systemavgränsningar måste all systemteorier ta itu med komplexitet och växelverkan mellan system, delsystem och komponenter. Inom komplexa system beskrivs de ömsesidigt beroende interaktionerna mellan komponenter som samevolution. Samevolution är en term från biologin som används i evolutionär ekonomi för att förstå påverkan som aktörer har på andra aktörer och deras omgivning, och vad som påverkar aktörerna själva.

3.2.3 Stora socio-tekniska system – Large technical systems (LTS)

Centrala begrepp för Large Technical Systems (LTS) (Hughes, 1983, 1987) är "salient", den springande punkten som visar en möjlig väg till utveckling. Hughes beskriver att förändring i ett sociotekniskt system utgår från den springande punkten från en front som rör sig eller markerar dagens systemläge, relativt stabilt. Det krävs att denna front kommer ikapp den springande punkten på alla delar i det sammanhållna systemet innan systemförändringen uppnås. Ett annat begrepp är "reverse salient" en laggande punkt som förhindrar utveckling. I många fall är inte teknikutveckling och systemutveckling de reella utmaningarna. För dessa gäller det att hitta produktiva, effektiva och konkurrenskraftiga inriktningar på sin verksamhet, mycket med hjälp av de resurser man har att tillgå idag eller på kort

sikt. Stora tekniska system som är mogna är svåra att förändra eftersom de inblandade aktörerna har investerat betydande resurser i att bygga upp systemet, därför att den fysiska infrastrukturen inte lätt låter sig förändras och därför att brukarna (och systemoperatörerna) har vant sig vid att systemet fungerar på ett visst sätt – systemen har vad som kallas momentum eller egentygnd samt ofta en konservativ "systemkultur" där lösningar på problem söks "i tangentens riktning". Forskning inom Stora Tekniska System och Sociotekniska system beskriver generellt flera av dessa aspekter. Bland annat hur tillsynen kan ha "best practice" krav på t.ex utsläpp hos en viss industri. När en aktör lyckas sänka utsläppen med ngn innovation så kommer man se vad som faktiskt är möjligt och då kommer tillsynen kunna skärpa kraven på andra aktörer med argumentet att "de där kan ju". Det finns flera exempel i historien som visar hur en sådan laggande punkt har lösts efter att någon identifierat och löst ett kritiskt problem (critical problem).

3.3 Luftfarten - ett stort sociotekniskt system och infrasystem

I våra initiala sökningar finner vi att nästan ingen har studerat eller beskrivit flyget som ett stort tekniskt system eller som ett infrastruktursystem, eller ens transportsystem. I en artikel fanns en diskussion som ger exempel på förklaring på skillnader mellan de vanliga systemsynsätten (matematisk modellering) och stora sociotekniska system (LTS).

The difference between technical artefacts and technical systems seems to be one mainly of scale and complexity. Civil aviation is, for instance, a complex public transportation system making use of all kinds of technological artefacts (aircraft, runways, luggage transport systems, communication equipment, fuel, etc.), all of which contribute to or are indispensable for the functioning of this transport system as a whole. This way of distinguishing between technical artefacts and systems is in line with the idea that the emergence of systems engineering as a separate engineering discipline is related to a specific phase in the development of technology, namely one in which large-scale, complex technological systems come to play an important role. Whereas the various branches of traditional 'artefact' engineering are focused on the design, development and production of isolated, stand-alone material objects with a specific technical function, systems engineering is focused on the design, development and implementation of complex combinations of technical artefacts (coming often from various engineering branches) (see, for instance, Auyang, 2004, p. 170ff.). A problem with this distinction between technical artefacts and systems is that the meaning of the notions of scale and complexity is highly context-dependent. What can be considered as a technical artefact from one perspective may appear as a complex technical system from another. Aircraft can be considered as technical artefacts within a high-level analysis of civil aviation as a public transport system, but they become extremely complex technical systems by themselves when looked upon from the point of view of aircraft design. And from the latter perspective, a tyre from the landing gear may appear to be a 'simple' technical artefact, but it again becomes a complex system when looked upon from the point of its physical-chemical composition. Thus the technical system versus technical artefact distinction is a relative one. When one tries to decompose, from a certain perspective, a technological system in terms of its constituent technical artefacts, a kind of Russian doll effect occurs: from another perspective the constituent technical artefacts themselves may turn out to be

complex technological systems. We end up with a picture in which technical systems are embedded, as technical artefacts, in higher-level technical systems, which themselves are embedded, as technical artefacts, in again higher-level systems, etc.

ur TECHNICAL ARTEFACTS VERSUS ENGINEERING SYSTEMS (Kroes et al, 2006)

Detta visar att systemtänkande och systemteorier har använts utbrett inom flyget men fokuserar mer på de mer matematiskt tunga tillämpningar av "General systems theory", "Systems engineering" eller "Complex systems" och i system av mer teknisk natur.

Som nämnt tidigare så är det problematiskt och mindre fruktbart att studera luftfarten ur ett visst flygtekniskt perspektiv i syfte till att förändra flygsystemet. Så gängse systemsyn och systemteorier inom flyget kan med fördel kompletteras med teorier med andra systemavgränsningar som inkluderar socio-tekniska systemperspektiv.

Att beskriva luftfarten som ett stort sociotekniskt system kan vara avgörande och kan identifiera specifika förutsättningar för utveckling, innovation och systemförändringar. Det är just helheten som måste problematiseras och lösningar som signifikant kan skapa bättre förutsättningar kräver systemlösningar i samarbete mellan de olika delarna. Av denna anledning är det delvis meningslöst att reducera en analys till en eller en del avgränsade områden.

I detta fall finns det dessutom ytterligare försvårande omständigheter. Flyget är ett tekniskt infrastruktursystem – ett infrasystem – som på många sätt liknar andra infrasystem (främst inom transportsektorn, men flyget liknar också andra ledningsbundna och icke ledningsbundna system). Alla infrasystem är per definition sociotekniska – det finns en teknisk kärna, men systemen är så sammanväxta med samhälle, marknad, institutioner, lagar och regler, etc. att det är omöjligt att analysera tekniken för sig självt. Om man ändrar en väsentlig del (en socioteknisk komponent) i ett infrasystem påverkar denna ändring resten av systemets komponenter. Flyget är ett sammansatt system av en mängd olika aktörer som bedriver verksamhet i detta.

Bara inom Sveriges gränser agerar en mängd olika aktörer i systemet. Flygbolag, flygplatser (både privata och kommunala), LFV (Sveriges flygtrafikledning), Transportstyrelsen (tillsynsmyndighet), Trafikverket samt en mängd aktörer på och runt flygplatserna som ground handling, catering, bränsleföretag och marktransporter. Bland dessa finns en mängd olika förhållanden, affärsmässiga och nödvändiga samarbeten för att utföra flygtjänster gemensamt. Utöver dessa aktörer och intressenter har också redan nämnts kommuner och boende som störs av till exempel flygets buller.

3.4 Systemforskning på INDEK KTH

På INDEK, KTH, har vi forskat på förändring och implementering av nya sätt att bedriva verksamheter inom flyget (MASCA – MAnaging System Change in Aviation). Inom flygbolag har utveckling och implementering av nya internationella krav på säkerhetsledningssystem (SMS) gjorts och på Arlanda har implementering av en ny flygplatsstandard, A-CDM (Airport Collaborative Decision Making), studerats och stöttats under aktionsforskningsliknande former. INDEK på KTH har även lång erfarenhet av forskning inom säkerhetskritiska system, där säkerhet är ett systemiskt element. Flyget, kärnkraft samt sjukvård har studerats.

En forskargrupp har pågående forskning inom flygsystemförändring och har deltagit inom tre EU-projekt över en 10-årsperiod. Samtliga projekt HILAS (Human integration into the life cycle of aviation),

MASCA (Managing system change in aviation) samt PROSPERO (Proactive safety performance in operations) har systemförändring inom flyget studerats på dels enskilda organisationers nivå, samt på en nivå av flera aktörer inom samma system och delvis på policy och regelverk. En sammanställning av forskning från dessa finns beskrivna mer utförligt i appendix 1.

Forskning relaterat till flera av dessa utmaningar finns inom Industrial management, Technology management, Industriell dynamik och Teknikhistoria. Inom KTHs avdelning INDEK forskas bland annat även på industriell dynamik där man bland annat har studerat biltransportsystem och där forskning pågår just nu på att analysera betalsystemet som står inför utmaningar kring kontanter och gemensamma betal lösningar mellan enskilda affärsaktörer som banker och telefonbolag.

En systemförändring i system som transport- eller infrasystem är omfattande. I stora drag så är flera teorier och modeller för förändringsprojekt eniga om att först kartlägga systemet, skapa en gemensam framtida målbild av systemet och ta fram en strategi för genomförande samt implementering av förändringarna och i bästa fall kontinuerlig utvärdering av hur implementeringen går (se metoder och ramverk i appendix 1).

3.4.1 Externaliteter och hållbarhet

Externaliteter är ett begrepp som används om sådant som föreligger om en investering påverkar nyttan för tredje part. Externaliteter kan vara både positiva och negativa. Externaliteter är något som har studerats inom t.ex förändring av betalsystem. När stora, industriella system står inför omdanande förändringar där kritiska faktorer på flera systemnivåer – t ex kopplat till samhällsförändringar eller teknologit utveckling i den yttre kontexten samt t ex konkurrens och kundefterfrågan i den inre kontexten – finns risker att systemet fastnar i "turbulens" (Emery & Trist, 1965), dvs. i processer som inte leder till en förbättrad systemeffektivitet (Ramirez et al, 2010; McCann & Selsky, 1984).

Ett annat sätt att diskutera externaliteter kan vara att säga att system resulterar i emergenta fenomen, som bi-effekter. De ligger utanför det man betraktar som sin egna systemgräns. Ingen har för avsikt att producera de, ingen ansvarar för eller enskilt kan undvika dem.

För hållbarhetsaspekter som buller och utsläpp så handlar ökad hållbarhet ofta om att reducera negativa bi-produkter som systemet skapar. Utifrån ett hållbarhetsperspektiv så vänder vi på det och säger att en av systemets funktioner är att det producerar buller och att det nu måste ingå i systemet som en komponent. Externaliteten internaliseras då i systemet och detta får konsekvenser också för systemavgränsning och eventuellt att man måste beakta andra aktörer och intressenter som skulle tjäna på att reducera bi-produkten och som utifrån sitt systemperspektiv inte nödvändigtvis är intresserad av att maximera systemets primära funktion.

Som jämförelse kan det vara intressant att nämna säkerhet. Säkerhet inom flyget är en systemisk produkt men till skillnad från buller och utsläpp, en önskad och positiv sådan. Den är dessutom en central systemfunktion för alla delsystem. Forskning talar dock för att på samma sätt som buller så kan inte någon enskild aktör ensam göra något radikalt åt systemsäkerheten. Även här krävs att man gör gemensam sak i hur systemet hanterar säkerhet.

Det verkar finnas stora likheter som enar dessa exempel på hållbarhetsaspekter. Trots att de i flera hänseenden är väsensskilda, positiva och negativa så har de en systemisk natur och det gemensamt att systemförändringar krävs för att utveckla mer hållbara system med avseende på dessa aspekter.

3.5 En flygsystemnivåmodell samt centrala aktörer

För att beskriva system är det vanligt att visa på olika nivåer i en systemhierarki där de underliggande nivåerna etablerar vad som påverkar och påverkas av förändringar. Jens Rasmussen är en dansk elektroingenjör som var pionjär och har varit verksam inom kärnkraftsforskning sen 70-talet. Rasmussen utvecklade en modell "Risk Management in a dynamic society" över risker i ett socio-tekniskt system och hur de externa och interna faktorerna påverkar dynamiken i systemet. Modellen illustrerar hur allt från politiska beslut till myndigheters agerande påverkar risk i olika nivåer i en verksamhet. Modellen visar också hur en koncerns och ett bolags ledning genom sina beslut (inom ramarna för politiska beslut och tekniska möjligheter), skapar förutsättningarna för organisationens alla funktioner inklusive den operationella driften. Modellen visar också vilka forskningsområden/-discipliner som kan bidra lokalt i olika funktioner och vilken kunskap som kan bidra till att möjliggöra samspel och systemsyn mellan olika nivåer. De mest avgörande besluten för säkerhetsrisker fattas högt upp i systemet i denna modell.

Systemnivåmodellen visar på komplexiteten och svårigheten och effekterna av att avgränsa ett system. I en studie som genomfördes åt Trafikverket 2014 (Moberg, Rignér och Ulfvengren, 2014) användes en anpassad variant som ansågs lämplig för att belysa olika aktörers förutsättningar och drivkrafter för i den studiens föreslagna förändringar och även på vilken systemnivå dessa fanns, och på så sätt identifiera prioriterade områden. Modellen ansågs lämplig då den:

- visar på hela systemet och den kunskap/kompetens som behövs för att systemet ska fungera och utvecklas i en dynamisk miljö.
- förutsätter, att det finns ett ledningssystem som stödjer erfarenhetsåterföringen inom och mellan nivåerna. En förutsättning för att lärandet ska kunna äga rum.

De mest relevanta aktörerna och intressenterna i det svenska flygtrafiksystemet var inkluderade i denna systemnivåmodell. Nedan ges exempel på några olika nivåer och påverkan på olika aktörer.

Systemnivå 1. Samhälle - Regering

Hur viktigt är det för samhället att minska buller från Svenska flygplatser kontra de infrastrukturella fördelar som följer med flygtrafiken?

Systemnivå 2. Myndigheter - Intresseorganisationer

Transportstyrelsens uppdrag att uppnå god tillgänglighet, hög kvalitet, säkra och miljöanpassade transporter kan behöva belysas ytterligare. Det är uppenbart att det finns skillnader hur olika nationella tillsynsmyndigheter tolkar och implementerar gällande regelverk vilket skapar olika förutsättningar. Vilka metoder används eller kan användas för att värdera t.ex. flygsäkerhet när detta skall ställas mot ev. miljömässiga fördelar?

Systemnivå 3. Organisationer - Företag

Vilka möjliga intressen finns för bullerreducerande åtgärder hos de olika företagen som verkar inom flyget idag? Hur ser de olika aktörernas affärsmöjligheter ut, framtida potentiella intäktsförluster? Eller potentiella fördelar som t.ex. minskad bränsleförbrukning?

- ANSP – företagsnivå: ev påverkan genom nya sekvenseringshjälpmedel, utbildning, uppdatering av styrande dokument, investeringar riskerar att bli omoderna då internationell standard utvecklas för framtida Europeisk ATM miljö.
- Flygplatser – företagsnivå: Kapacitetsbehov, ständiga krav på minskat buller och miljöpåverkan i övrigt.
- Flygbolag – företagsnivå: Flygplatsers tillgänglighet är av stort intresse, ev. investeringar i utrustning och utbildningskrav och krav på hållbara affärsmodeller t.ex. i form av minskad bränsleförbrukning, nyttjande av differentierad prissättning för mer eller mindre miljövänliga flygbolagen. Till viss grad beroende av att flygplanstillverkare utvecklar teknik för framtiden.

Systemnivå 4. Verksamhetsledning (management)

Implementering och införande av ev ny teknik och nya arbetssätt. T.ex så skulle introduktion av nya procedurer och hantering av en ökad mix av flygtrafik och deras teknikförutsättningar leda till kostnader för LFV i form av utbildning, inkörning av nya system etc. Infasningsproblem med trafikstörningar i form av reducerad kapacitet kan vara tänkbart.

För flygplatser kan det ställas ökade kompetenskrav samt att samordna förbättringsarbete bland alla olika aktörer som ingår i produktionen av flygplatstjänster.

I vissa fall skall specifikt godkännande sökas med tillhörande kostnader. För ett flygbolag finns idag, på managementnivå, ingen direkt identifierbar nytta av att införa t.ex bullerreducerande åtgärder.

Systemnivå 5. Personal /Arbetssätt/Procedurer/Teknik

För piloter kan t.ex. förnyade procedurer och ökad variation leda till både risk och tänkbar ökad arbetstillfredsställelse.

Men på personalnivå kan det förutses att det primärt är flygtrafikledare som är berörda av de föreslagna förändringarna. Arbetsmetodiken är för närvarande i huvudsak baserad på den enskilde flygtrafikledarens förmåga att tolka "radar-bilden" och sekvensera flygplan därefter. Utan tekniska hjälpmedel för t.ex. sekvensering och separation kan arbetsbelastningen bli för stor.

En viktig aspekt i detta sammanhang är hur automation potentiellt kan förändra flygledarnas arbetssituation på samma sätt som piloternas arbetsinnehåll gått från ett aktivt genomförande till en mer systemövervakande roll.

3.6 Sammanfattning av förstudien INFRA

I förstudien INFRA har områden och frågeställningar identifierats för fortsatta forskningsprojekt.

- Systemtänkande inom flyget har hittills varit centrerat kring operativa delar och innovation i form av tekniska delsystemkomponenter.
- Flyget är relativt slutet och drivs av experter från operativa verksamheter och ingenjörer inom flygteknisk utveckling. Flyget verkar ha varit mer skonat från politiska kontroverser som många andra stora tekniska system.
- Externaliteter kan komma att omvandlas till en reverse salient och internaliseras om andra systemaktörer påtalar att nu ingår även detta i systemet och det måste lösas.

Det specifika med behovet av en systemförändring som ska leda till reducerat buller har också lett till att specifika begrepp inom olika systemteorier identifierats som relevanta att använda i analys av flygsystemet. Som exempel kan nämnas, turbulens (organisatorisk turbulens), teorier om externaliteter och reverse salients och salients.

En idé för genomförande av studie av detta är att genom att engagera systemaktörer skapa den ideala bilden av flygsystemet. Där var och en av aktörerna ges hela problemformulerings-privilegiet, var och en i sin tur. Genom att studera hur var och en konstruerar sin idealbild och sedan analyserar dessa ihop kan de olika eller gemensamma salients, reverse salients och externaliteter identifieras. De metoder som beskrivs i ansökan (delar i appendix 1) kan kombineras. Till exempel Structured Enquiry från MASCA projektet, systemdiagnos som använts inom industriell dynamik och en metod som används för framtidsforskning och planering av stora systemskiften som kallas "back casting".

Teorierna har mycket gemensamt, t.ex. behovet av att definiera systemet och dess avgränsningar, identifiera systemaktörer, komponenter och element, den grundläggande logiken att det är nödvändigt att förstå systemets funktion och systemdelarnas relation till varandra för att kunna initiera en relevant systemförändring i en önskad riktning. En vanlig utmaning i detta är att de olika systemaktörerna har sitt egna systemperspektiv och agerar utifrån lokala systemfunktioner.

I en mer ingående analys blir det väldigt tydligt på hur många olika sätt som aktörer och intressenter kommer att påverkas och hur deras tekniska förutsättningar och verksamheter spelar in och är avgörande för vad som är drivande och bromsande givet olika affärsmodeller. Exempelen ovan kommer ifrån en initial analys som visar att en viss teknik eller procedur teoretiskt skulle kunna lösa bullerproblematiken tillfredsställande så kommer detta inte att kunna realiseras utan yttre påverkan eller krav på förändring på systemets aktörer.

I den tidigare utredningen beskriven i sektion 3.5, identifierades bromsande faktorer både på managementnivå och på övergripande strategisk företagsnivå som ger skäl för att de inte kommer att driva detta arbete med bullerbegränsande inflygningar. Som helhet kan alltså konstateras att för de aktörer som står närmast en eventuell problematik med införande av bullerreducerande inflygningar så finns i princip inga naturliga incitament för att stödja en sådan utveckling.

Det kan också här vara värt att notera olika ansvarsförhållanden och vem som bär olika kostnader, t.ex. för utveckling av inflygningsprocedurer, kontra trafikverkets övergripande roll. Men vem kommer att ha det övergripande ansvaret att förändra och bygga det nya systemet? Vem ska betala vad? Och vem är intresserad av att driva detta?

Förstudien resulterade i en ansökan om ett större projekt inom KTH centrum för hållbar luftfart. Det föreslagna projektet kartlägger, analyserar och definierar en system modell för nuläget, hur det har vuxit fram och ideal framtida målbild. För framtida forskning föreslås även att ta fram en implementeringsstrategi och följa och utvärdera en pågående systemförändring.

3.7 Planerad forskning

Forskningen kommer att studera flyget som ett sammanhållet infrastrukturellt (transport-) system – ett "infrasystem", hur externaliteter som buller internaliseras och detta i sin tur leder till utveckling av kunskap nödvändig för att utforma och anpassa metoder och verktyg för implementering och realisering av framtida lösningar.

1. Studera flyget som ett transportsystem och infrasystem.
2. Studera buller som en systemkomponent inom flygsystemet.
3. Följeforska implementering av systemförändring samt utvärdera förändringen i förhållande till målbilden (hantera risk för att inte förändringen ska lyckas och nå målet).

1. Studera flyget som ett infrasystem.

Andra transportsystem, än flyget, är utförligt studerade och detta finns väldokumenterat. Lite förvånande fann vi i förstudien att detta inte är gjort tidigare inom luftfarten. Det kan finnas flera skäl till detta. Ett skulle kunna vara att varje delsystem är ett tillräckligt stort område i sig för att ha utvecklat egna forsknings- och utvecklingstraditioner med industrispecifik teknikutveckling.

Genom att förstå flyget som ett infrasystem likt andra, kan jämförelser göras samt skillnader och likheter mellan olika infrasystem identifieras. Där det finns rimliga likheter kan vi ta lärdom.

2. Buller som en systemkomponent inom luftfarten.

Projektet kommer att studera hur buller på allvar kan beaktas som en internaliserad systemkomponent inom luftfarten. Buller är en biprodukt, en externalitet. Ingen del av systemet ansvarar enskilt för eller vill producera buller, men systemet som helhet gör det. I projektet kommer vi studera dels hur olika aktörer beaktar buller och inkluderar buller. Vi kallar denna del av forskningen för internalisering av externaliteter.

3. Implementering av bullerreducerande initiativ

Projektet INFRA ses som en början på vidare implementeringsforskning. En fortsättning på INFRA är viktig för validering och vidareutveckling av resultaten i INFRA. Forskning och utvecklingsarbete som pågår parallellt med INFRA, utvecklar tekniska lösningar och bullerreducerande initiativ. Då detta ska implementeras så antas det krävas en systemförändring. I kommande forskningsprojekt planeras resultat från INFRA att tillämpas och valideras genom att medverka och följa implementering av bullerreducerande åtgärder.

Resultaten från INFRA anses högrelevanta även för andra systemaspekter med målet att uppnå ökad hållbarhet. Vi hävdar att internalisering av externaliteter är en väsentlig process för fler hållbarhetsaspekter än buller. INFRA kan utveckla kunskap som långsiktigt är relevant för andra projekt inom KTH centrum för hållbar luftfart som andra miljöeffekter och säkerhet.

APPENDIX 1

State of the art

The research group has in the pre-study discussed the air transportation system and socio-technical theory. Here is a selection of ideas that are identified useful for this research project.

System theory

Systems thinking has been influential in almost every research field and became especially wide spread after the Second World War, originating from success of efforts in “operational” research that promised control of large and complex technological systems. To understand the research connected to the ambition to control systems it can be fruitful to start with a simple system that is characterised by few components with few interactions. These are systems that are easy to understand like temperature regulating thermostats, a simple self-regulating system. The transformation process of *inputs* to *outputs* regulated by a *feedback loop* and with a permeable *boundary* towards the *environment*.

A complex system is characterized by a high number of components and subsystems and high level of interactions between these parts. The complex system has *equifinality*, which means the ability to achieve its goal in different ways. Sometimes complex systems are described as being on the *edge of chaos* because the interactions of simple sub-systems can result in unpredictable and seemingly random outputs. A complex system may be emergent.

The borders of a system are not given by nature, but it is the task of the analyst to define the delimitations of the system that the analyst sets out to investigate. Churchman (1968) provided a way of defining system borders, or rather to define what was a part of the system and what was not. His approach was to ask two questions: (1) Does “it” matter concerning the systems possibility to fulfil its goals? (2) Can the system do anything about “it”? (Churchman 1968).

In the middle of the 1960:s systems thinking had spread to many fields with ambition to control systems. One prominent example is the *General systems theory* (GST) (Von Bertalanffy, 1968). In the work on GST the *interactions between components* and the *nonlinearity* of these interactions in a system was highlighted. He also argued that no system that is open to interactions with the surrounding environment, i.e. an *open system*, should be viewed in isolation. This work was a response to the reductionist approach that suggested that all parts of a system could be divided into its individual components and optimised separately.

Another important systems concept that developed in parallel with GST was Cybernetics. The mathematician Norbert Wiener published the seminal book *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine* in 1948. Wiener used the term *cybernetics* to describe self-regulating mechanisms. Cybernetics is foremost applicable for systems that are strongly characterised by a (semi-) closed feedback signalling loop and is often connected to designed systems, i.e. man-made physical systems designed to fill a specific purpose, figure 1.

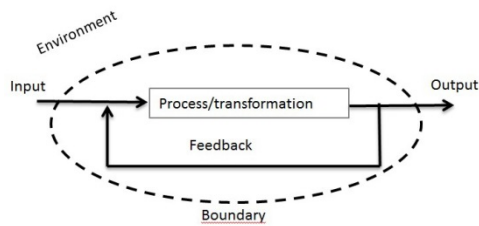


Figure 1: A figure of a simple model.

Influenced by Cybernetics-research the pioneering computer engineer Jay Forrester developed the System dynamics at MIT Sloan School of Management in the 1950's. In 1970 Forrester created a system model to simulate the world as a socio-economic system (called *World1*).

The agent-based modelling (ABM) approach represents a more recent advancement in modelling social systems. It is not equation based and as structured as the above mentioned system dynamics approach but instead focus on the behaviour of actors and rules for this.

After WWII systems thinking began spreading to management. But even though system researchers in social sciences highlighted the need to include both social and technical aspects in optimising systems, they did not acknowledge the importance of actor agency on systems.

Changing Large Socio-Technical Systems

Hughes (1983) stressed that a large technical system must be analysed as a *seamless web* of socio-political, economic, cultural, institutional and technical components and thus not only *technical* but *socio-technical* in its nature. The basic idea of the LTS perspective is that technological development can't be analysed properly by only investigating the individual component or the different sub-systems (Hughes 1983; Kaijser 2003).

A *mature* system is deeply embedded in society and not easily changed or transformed. It is often noted that it was not the stage coach owners that invested in the railroad. The system culture in mature socio-technical system is often very conservative, its actors, *system builders* are unwilling to change since they are living of the system¹.

In Hughes's (1992) terminology, change is caused by a "*salient*" or a "*reverse salient*". These are metaphors borrowed from the military, denoting a bulge that is ahead or behind of a front moving forward. The concepts are used to describe a system component or a sub-system being ahead or lagging, compared to other components and given the desired direction of the advance. Salients and reverse salients disturb the system and slows down growth. They give impulses to innovate, but only if they are recognized by key actors.

The fact, that system actors must recognize a reverse salient, is crucial when managing a system in periods of transformation pressure. But identifying a salient or a reverse salient can be difficult for actors deeply embedded in the system. A reverse salient is, to a certain extent, a social construction as its definition depends on the point of view of different actors – a reverse salient is a fact in the eye of the beholder.

¹ A concept used by Swedish historian of technology, Professor Arne Kaijser.

In the management of infra systems it is evident that history matters. History and heritage is evident within the existing system and influences the way its actors are able to meet the need for transformation. The physical system components are standardized and aligned with each other and system actors are used to deal with system operations and business models in a certain way. Thus, every established system has its own systems logic. When change is approaching it is not even certain that the incumbent system actors are able to identify the way to handle the upcoming challenges. It is hard to think outside the systems logic with its established architecture of standardized components, stable hierarchies and successful business models and when trapped in a conservative “systems culture”.

Of course, the incumbent system actors can use another strategy to deal with a reverse salient, and that is to view it as an “externality”. That is, to draw the border of the system in such a way that the issues related to more serious transformation pressure is placed outside their responsibilities. But what happens when an externality, as previously defined by system actors, is transformed into a reverse salient? What happens when system actors must handle issues that they earlier saw as problems outside the realm of the system? Like CO2 or noise?

Tom Hughes stresses the importance of identifying reverse salient and trying to formulate a solution within the system logic. Defining a reverse salient as one or more critical problems is in itself a major step toward a solution. But who has the right to define a reverse salient and point to a solution? In our interpretation of this process we want to point to the “privilege of problem formulation”. Which actors gain this privilege as well as the strategy to solve it?

Socio-technical process and system analysis

Understanding the functionality of a socio-technical system is key to managing it more effectively, changing it for better outcomes, or designing a well-functioning future system. This is a starting point for a research program on system and process analysis in socio-technical systems that have been led by Nick McDonald at the Centre for innovative human systems at Trinity College, Dublin (Corrigan and McDonald, 2015; McDonald, 2015). A series of EU-funded projects over a period of 20 years has produced more than 20 case studies, performed with participative design with industrial partners, mainly in aviation. This research is still on-going and has resulted in a number of socio-technical frameworks: SCOPE (System Change and Operations Evaluation) a concept and software tool and Structured Enquiry which is a systematic method for iteratively analyse and evaluate change.

SCOPE

In order to deliver value at an operational level it requires knowing how to reduce the uncertainty that can compromise the outcome of the process. In any functional process, these elements have been identified as core source of uncertainty (figure 1):

- Availability of resources (people, material, information) according to demand.
- Performance of tasks, including influence of contextual factors
- Coordination between tasks and processes
- Clarity of process goals

If one is to represent a system, then it is not enough to represent different points of views. It needs to be systemic and establish a consistent pattern of activity that relates to some underlying boundary conditions of the production system, such as: the technology that makes possible the transformation

of resources, the organization of technologies that enables delivery of product or service and the organization of people to make the system work.



Figure 2: Architecture of process analysis (source: McDonald, 2014).

However, the real social system of production is nearly always partially hidden. The normal way of doing is not written down. The actual functional social groupings are not recognizable as a team. The knowledge of how things happen is tacit. Information does not flow freely. Management processes often do not have clear outcomes and their functional role in the system as a whole is not understood even by the people performing them. Therefore, the underlying reality of the production system needs to be uncovered in a deliberate and purposeful way. In order to do this some basic principles are proposed to direct an enquiry producing an analysis of a socio-technical system. A theory of the mechanisms of socio-technical systems is proposed based on the relation between the functional requirements of its processes and the social relations that are necessary to support them. Cycles of knowledge and information mediate between these and provide opportunities for intervention. Each sub-system is organized according to a particular logic (figure 2). Each if the logics have a basic organising principle, a mode of creating value, a timescale and a role (table 1).

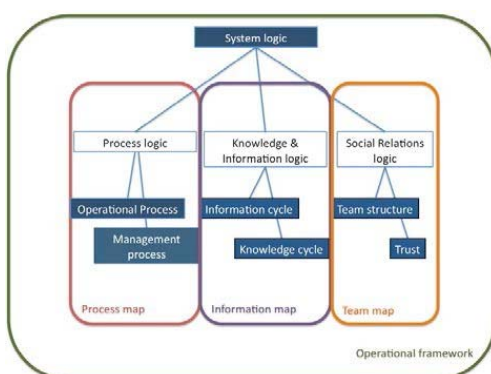


Figure 3: Architecture of overall system analysis(source: McDonald, 2014)

- Process logic: The functional integrity and the technological support of either operational or management processes (similar mechanisms applies).
- Social logic: The structure and quality of social relations (team structure and trust).
- Knowledge logic and information logic: The way in which knowledge can be deployed in functional processes and in adaptation and change.

Table 1. Functional principles of subsystems 1, 2 and 3.

Initial state	Do deficiencies of the existing state threaten the sustainability of the system? Are the risks of not changing understood? Can divergent interests block change?
Goals	Do goals represent credible targets that improve system sustainability? Are goals clear, well defined & attainable? Are goals shared amongst stakeholders?
Operational process	Can the (to-be) operational process deliver the performance to satisfy the goals?
Management process	Can (to-be) management processes enable operational processes in achieving the goals?
Social structure	Does the quality of the social relationships match the demands of the change? Are all relevant stakeholders involved in a team structure that enables effective decision & action?
Trust	Does the level of mutual trust support collaboration to achieve the goals?
Knowledge cycle	Is system knowledge actively developed, shared & validated to • Support operational action? • Support system design and change?
Information cycle	Will the flow of data provide knowledge about the activity of the system and its situation, to • Support operational action? • Support system review & evaluation?

If the goal is to deliver value for the customer then goals relate to interests which may vary with various stakeholders within and externally to the system with conflicting or counter balanced goals as result. Within an organization this is commonly referred to balancing between individuals potential conflicts of interests with the organization. The analysis of value interests and strategy should identify where there are conflicts of interest. People will have different points of view of the socio-technical system they share. “Fundamental conflicts of interest cannot be resolved simply through analysis and recommendation, as if there were a technocratic solution to everything.” (McDonald, 2015).

However, even when there are fundamental conflicts of interest, there can still be a need to cooperate and work to achieve an objective. A specially tailored analysis of socio-technical systems could support a way to do this. With a participative approach it can help create mutual understanding of each other’s perspective on the system, as a shared precursor to a shared understanding of how the system can be improved.

Structured Enquiry - Evaluation of change

The structured enquiry is supported by the SCOPE model representing the functionality of the system. However, here it is used for relevant enquiries to support and evaluate a process of change. Understanding how the system performs in relation to the three sub-systems recommendations per system logic may be given and evaluated, depending on the progress of change which may alter which logic needs mitigation in order to increase chances for successful change.

The predictive element is initiated with predictive risk assessments, based on expert judgement. With a thorough system analysis prior to change an objective reference point is available, against which to extrapolate what could happen in the future. A series of extrapolation needs to be conducted iteratively throughout the process of system change. It is comparable to a “moving bow-tie”. Questions are listed in table 2.

Table 2. Synthesis of Structured Enquiry (McDonald, 2014)

	1: Process logic	3: Knowledge logic	2: Social logic
<i>Value delivered</i>	Transactional value	Possibility of change	Enduring relationships, sustain value
<i>Mechanism</i>	Transformation of resources to output	Transformation of meaning	Team integration and trust
<i>Relationships</i>	Sequential	Circular – validation	Reciprocal
<i>Timeline</i>	Real time	Relates past, present and future	Slow build up over time
<i>Key functional parameter</i>	Propagation and/or control of uncertainty	Common understanding of system and values	Co-ordination of activity

The data comes from a dossier that is built through the structured enquiry with representatives of the actor, the company or organization and need to be a thick description to give reasonable degree of confidence in answering the questions. In consolidation of each enquiry the experts answers questions like: Assuming a successful implementation, how likely is the current situation? Assuming an unsuccessful implementation, how likely is the current situation? As barriers are identified from analysis of system requirements, recommendations are given to change the prospect for success of the initiative. The effectiveness of these is then measured by comparing the outcome to a current reference point, the system model.

Backcasting for the future

Backcasting is used in studies of industrial transformations (Quist and Vergragt, 2006) and provides various types of scenario analysis in developing strategies and pathways during major changes of society. The method starts by constructing scenarios by looking backwards from the desired future. Possible uses of scenarios may include, risk and crisis management, project development, clarifying conflicts to understand their causes, and to antecedents when consensus regarding what you disagree on (figure 4 and 5).

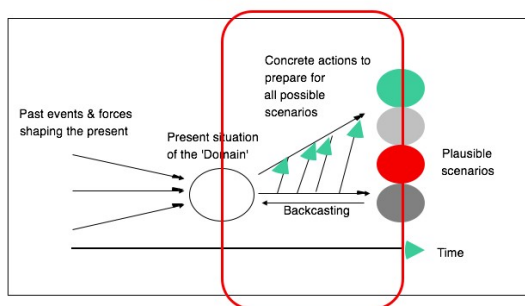


Figure 4. Scenarios are wind Tunnels for testing a current and alternative strategies.

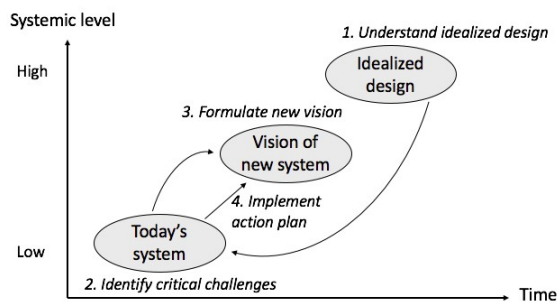


Figure 5. Method steps from idealized design to new system.

Idealized system is an ideal picture of how a system could look like, free from historically conditioned restrictions that no longer serve a purpose. It attempts to answer the question of what a logically coherent system could look like starting from the current knowledge.

REFERENSER

- Beer, S. (2002), "What is cybernetics?", *Kybernetes*, Vol. 31 No. 2, pp. 209–219.
- Bertalanffy, L. (1969), "General System Theory: Foundations, Development, Applications".
- Churchman, W. (1968), *The Systems Approach*, Dell Publishing Co., New York.
- Corrigan, S. and McDonald, N. (2015) Introduction: What makes for successful change? *Cognition, Technology and Work: Volume 17 Issue 2*, May 2015 Springer-Verlag
- Dent and Powley (2001). Employees Actually Embrace Change: The Chimera of Resistance. *Journal of Applied Management and Entrepreneurship*, September 26, 2001
- Hughes, T.P. (1979), "The Electrification of America: The System Builders", *Technology and Culture*, Vol. 20 No. 1, pp. 124–161.
- Hughes, T.P (1983) *Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930*. JHU Press.
- Kotter, J. P. (1995, Mar-Apr). Leading change: Why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*, Vol. 73, No. 2, March/April, pps. 59-67.
- Lopreato, J. and von Bertalanffy, L. (1970), "General System Theory: Foundations, Development, Applications.", *American Sociological Review*.
- Macal, C.M. and North, M.J. (2010), "Tutorial on agent-based modelling and simulation", *Journal of Simulation*, Vol. 4, pp. 151–162.
- McDonald, N., 2015 The evaluation of change. In *Cogn. Tech. and Work*, Vol 1(2), p 193-206.
- Meadows, D., Randers, J. and Meadows, D. (1972), *Limits to Growth*.
- Moberg, B., Rignér, J. and Ulfvengren, P. (2014) Förstudie för metodutveckling för inflygnings-procedurer för minskat buller. RPT-2014-103 Trafikverket
- Quist, J. and Vergragt, P. (2006), "Past and future of backcasting: The shift to stakeholder participation and a proposal for a methodological framework", *Futures*, Vol. 38 No. 9.