



**KTH Industriell teknik
och management**

Slutrapport INFRA

Systemanalys av nätverk av problem associerade till flygbuller



INFRA - TRV 2016/15206

Pernilla Ulfvengren

Huvudsökande och projektledare

INDEK, KTH, Februari 2023

Sammanfattning

Projektet INFRA (2017-2022) har finansierats av TRV genom en utlysning av KTH Centrum för hållbar luftfart. I projektet utfördes en systemanalys och problemformulering där flyget studeras som ett infrasystem och där buller beaktas som en fullvärdig komponent i detta. INFRA studerar kommersiellt flyg i en svensk kontext och är mest relevant för våra största flygplatser och regioner som har problem med flygbuller. Materialet består av intervjuer och dokument.

Dagens flygsystem har utvecklats till ett infrasystem, ett stort tekniskt system. Under lång tid har det mognat till en sammanvävd komplexitet av beroenden mellan aktörer, tekniska system, lagar och regelverk som styr utformningen av systemet. Detta medför utmaningar för utveckling och innovation vilket leder till oönskade konsekvenser i form av negativa externaliteter, som flygbuller. Med flygets omfattning och spridning har flygbuller blivit ett svårlöst samhällsproblem, ett wicked problem.

I framgångsrik problemformulering används en repertoar av metoder med flera infallsvinklar på ett problem för att skapa en djup förståelse, en "rik bild". I INFRA studeras därför aktörer med olika problemformuleringar och perspektiv, representerade i systemet. De ingår i olika nätverk av problem associerade med flygbuller. Ett nätverk associeras till flygbuller, störning och hälsorisker, ett annat associeras till utveckling och innovation och ett tredje associeras till regler och strategier.

Resultaten visar att utveckling styrs av de transportpolitiska målen där tillgänglighet dominerar och klimat prioriteras framför flygbuller. Beslut och strategier bidrar till ökat flyg och en förtätning av bostäder runt flygplatsen. Denna utveckling ökar flygbuller och problem med flygbuller.

Man kan reducera flygbuller i framtida system genom att öka avståndet mellan flygplan och boende. Förutsättning för detta finns om det samtidigt bidrar till klimatomställning. Förutsättningar finns också för bulleråtgärder som bidrar till minskade bränslekostnader och ökad flygplatskapacitet. Åtgärder som enbart syftar till hållbar omställning av flyg har inte förutsättningar att minska, utan snarare att öka, flygbuller och problem med flygbuller. En ökad precision ökar förutsägbarheten vilket kan minska problem med flygbuller förutsatt att det fördelas rättvist. Förutsättningar för att realisera åtgärder som dessa beror på förmågan att hantera utmaningar i utveckling av system av system.

Ett viktigt komplement till åtgärder som kan minska flygbuller och minimera hälsorisker blir också att hantera icke-akustiska påverkansfaktorer på störning av flygbuller. Genom att erkänna känslor som ilska och tillämpa principer som respekt och förutsägbarhet i en fungerande praktik, kan tillit och förtroende skapas. Förutsättningarna för detta är minst sagt utmanande. Tidigare forskning om svårlösliga samhällsproblem är inte uppmuntrande, men det rekommenderas, ändå, att arbeta aktivt med detta och utveckla ett nytt sätt att hantera problem med flygbuller på. Alternativet är att fortsätta med fördröjande, fördyrande processer vilket kan öka problem med flygbuller för alla inblandade.

Hela Sverige är beroende av flygets utveckling men flygbuller är trots det ett svårlöst samhällsproblem. I nätverket för regler och strategier skiljer sig problemformuleringar åt, vilket skapar dilemman och en tudelning i utformning, tolkning och tillämpning av regelverk. Strategiska inriktningar beskriver inte nödvändigtvis flygbuller som ett problem.

Det krävs smarta och kanske modiga politiker och tjänstemän som kan ta ansvar för hela den utveckling som man faktiskt driver. Detta inkluderar att hantera förväntade oönskade konsekvenser med ökat flygbuller och ökade problem med flygbuller. Finns ett upplevt och erkänt problem, så kommer det finnas aktörer som målmedvetet agerar för att förbättra sin situation. Det är mänskligt. Reaktionen mot flygets utveckling bör förväntas. För att åstadkomma utvecklingen kan det krävas att den skyddas till exempel med mer entydiga riktlinjer och tillståndprocesser. Förutsättningar för omfattande innovation inom flygverksamheten behövs. Detta inkluderar forskning och utveckling men också utveckling som kan bidra till att utforma bullerreducerande lösningar och utveckla nya metoder och principer för att utveckla fungerande praktik för att hantera problem med flygbuller i framtiden.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
1 Introduktion	5
1.1 Syfte och forskarfråga	7
1.2 Bidrag.....	7
1.3 Avgränsningar	7
2 Projekt - metod och genomförande.....	8
2.1 Intervjuer	8
2.1.1 Urvalsmetod	8
2.1.2 Intervjuomgångar	9
2.2 Projektdeltagare och genomförande	10
2.3 Publika avstämningar och resultatspridning.....	11
2.3.1 KTH CSAs invigning och workshops 2017-2021	11
2.3.2 Övriga presentationer	12
2.3.3 Publikationer och konferenser	13
2.3.4 Metodutveckling inom studentprojekt	13
2.3.5 Licentiatavhandling – planerad 2023.....	13
2.3.6 Slutrapport och tidskriftsartiklar – pågående arbete	14
3 Flygbuller och problem med flygbuller	15
3.1 Flygbuller	15
3.2 Åtgärder för att minska flygbuller	15
3.3 Flygbullernivåer.....	16
3.4 Problem med flygbuller - Hälsorisker	17
3.5 Problem med flygbuller – störning	17
3.5.1 Icke-akustiska faktorer	18
3.5.2 Turer kring miljö tillstånd som en del av problem med flygbuller	19
3.5.3 Föreningen Väsbybor mot buller.....	19
3.5.4 Lösningförslag ur ett lokalt perspektiv.....	20
3.5.5 Rättvis bullerfördelning.....	20
3.6 Sammanfattning flygbuller	21
4 Systemperspektiv på flyget	22
4.1 Utveckling av stora tekniska system	22
4.2 Flygets centrala aktörer ur ett systemnivåperspektiv	22
4.2.1 Systemets aktörer i korthet.....	23
4.3 Flygtekniskt system – komplext system av system	25
4.3.1 Arlanda flygplats utformning	25
4.3.2 Att göra en inflygning till flygplats	26
4.3.3 Teknikutveckling i säkerhetskritiska system	27
4.3.4 Utmaningar med lokal utveckling av procedurer för kurvade inflygningar	28
4.3.5 Utmaningar i utveckling av system av system.....	28
4.3.6 Kurvade inflygning – problemformulering klimat eller flygbuller.....	29
4.4 En flygverksamhets problem med flygbuller	30

4.5	Sammanfattning exempel på teknisk utveckling och innovation inom flyget	32
5	Flyget ur ett regimperspektiv - bullerproblemnätverk.....	33
5.1	Flygets centrala aktörer ur ett problemrymdsperspektiv	33
5.2	Regler som styr systemets utformning och funktion	33
5.2.1	Riskintresseprecisering.....	34
5.2.2	Kommunernas byggande inom ramarna för riksintresseprecisering	35
5.3	Trafikbullerförordningen och hur den kan tolkas	35
5.3.1	Beräkning av bullerkurvor och händelser.....	37
5.4	Strategier för flyget – problem för flygbuller.....	38
5.4.1	Flygbuller inte ett uttalat problem	40
5.5	Dilemman och infrasytemets dubbla mål och ansvar	40
5.6	Flygbuller formulerat som ett ”wicked problem”	42
6	Flygets omvandling och hållbar utveckling	45
6.1	Landskapsnivå – nationella mål.....	46
6.2	Nischer för forskning och utveckling	46
6.3	En nisch dedikerad åt att minska flygbuller och problem med flygbuller	46
6.4	Ljudet av en hållbar omställning av flyget	48
6.4.1	Exempel på en ofullständig problemformulering?	48
6.4.2	Strategier och planering för framtida flyg med fel problem?	49
6.4.3	Metoder för hantering av svårlösta lokala och regionala samhällskonflikter.....	50
6.5	Förutsättningar för åtgärder utvecklade i nisch med fokus på flygbuller.....	52
7	Avslutande kommentarer och rekommendationer	53
7.1	Diskussion.....	54
7.1.1	Kommande forskning baserat på INFRA.....	55
	REFERENSER.....	56

1 Introduktion

Flyget är ett exempel på ett infrastruktursystem. Andra exempel är transportsystem, energisystem och kommunikationssystem. Dessa stora tekniska system definieras bland annat av att de inte längre har tydliga avgränsningar och där beroenden med andra infrasytem ökar (de Weck et al., 2011). Sammantaget påverkar komplexiteten möjligheterna att helt kontrollera utveckling och funktion, vilket leder till oönskade konsekvenser eller problem med negativa externaliteter (Hughes 1988; de Weck et al., 2011). Genom att studera flyget som ett infrastrukturellt system kan kunskap utvecklas för problem förknippat med en av flygets externaliteter, flygbuller. Idag har flyget en sådan omfattning och spridning att flygbuller kan ha utvecklats till ett svårlost samhällsproblem, "wicked problem" (Jordan och Andersson, 2010; Rittel and Webber, 1973).

INFRA är ett problemdrivet projekt som utgår ifrån flygbuller som ett problem inom luftfart. INFRA bedrivs som tillämpad forskning och använder tidigare kunskap och existerande teoretiska ramverk och modeller från infrasytem för att erhålla information om det undersökta problemet. Inom teknik- och samhällsvetenskap antas tillämpad forskning bidra till praktiska och tillämpbara lösningar för att bistå en specifik grupp som står inför en utmaning. INFRA bistår inte någon specifik grupp, utan hela det sammansatta infrasytemet som står inför en utmaning med flygbuller. INFRA-projektet är en del av den forskning som initierats av KTH CSA, med finansiering från TRV. INFRA som projekt syftar till att bidra till att kartlägga och utveckla ett systemperspektiv på flygbuller och problem med flygbuller.

Flygbuller är idag ett globalt problem. Medborgares klagomål, på flygverksamhet och flygplatsers utveckling, ökar i hela Europa. Klagomål från samhälle och medborgare, som störs av flygplatsverksamhet, har beaktats och resulterat i åtgärder. Ansträngningar pågår i form av riktlinjer och regler för att minska flygbuller internationellt (EU, 2019; ICAO, 2004). Men trots de förbättringar som har gjorts minskar inte antal klagomål. I själva verket har samhällets reaktioner på flygplatsverksamhet ökat över tiden (Leylekian et al., 2020). Det finns en växande medvetenhet om att buller i samhället, inte bara från flyg, också utgör hälsorisker (WHO, 2018).

INFRA studerar kommersiellt flyg i en svensk kontext. En rundringning till flygplatser visar att problem med flygbuller runt om i Sverige är relativt liten (Moberg, Rignér och Ulfvengren, 2014). INFRA är därför mest relevant för flygplatser i närheten av våra största städer som har erkända bullerproblem och dokumenterade klagomål. En utmaning med att hantera flygbuller är att flyget har oomtvistliga fördelar och stor samhällsnytta som erbjuder en central samhällsfunktion i form av transport och tillgänglighet, både nationellt och internationellt. Hela Sverige är beroende av flyg och det antas bidra till ett ökat välbefinnande, högre livskvalitet och ekonomisk utveckling. Flyget är dessutom en jobbskapande verksamhet och tillgänglighet underlättar bostadsförsörjning och näringsliv i Sverige (Regeringen, 2022). I dessa sammanhang ses inte flygbuller alltid som ett problem.

En bidragande orsak till problem med flygbuller är att vi förtätar storstadsregioner där flygplatser redan är etablerade. Stockholm är en av Europas snabbast växande regioner, som år 2050 väntas ha en befolkning på 3,4 miljoner. Det innebär en ökning med 50% från dagens 2,3 miljoner. I takt med detta så ökar också kraven på bostäder och tillgänglig infrastruktur. I Arlandautredningen (Regeringen, 2022), den nationella flygstrategin (Regeringen, 2017), och rapport från Arlanda-regionen (2017) framgår hur Arlanda och infrastruktur och kommunikation till och från Arlanda kan utvecklas och expandera för att öka tillgänglighet och flygets kapacitet, och möta en förväntad ökning av flygande.

Utsläpp och klimatpåverkan är en annan negativ externalitet från flyget. Denna externalitet är, till skillnad från lokalt buller, en global angelägenhet. Prioritet av å ena sidan tillgänglighet och å andra sidan klimat påverkar vilka satsningar som görs och som kan få påföljder för flygbuller lokalt. Det finns mål satta för fossilfritt flyg (net-zero) till 2050 (ICAO, 2022). Klimatpåverkan från flyget kan, med hållbar omställning, minska trots att flygtrafiken ökar. Men även ett fossilfritt flyg producerar flygbuller (CAA, 2019). Om denna regionala utveckling och strategi för flyget inte beaktar flygbuller pekar mycket på att problem med flygbuller kommer att öka.

Om problem med flygbuller ökar kommer även problem med flygbuller öka för de som vill utveckla flyget och dess samhällsfunktion eller utveckla en region och kommun i närheten av en flygplats. Flygbuller kan indirekt påverka planer och genomförande genom att dessa kan komma att fördröjas, fördröjas eller till och med stoppas på grund av samhällets eller boendes klagomål, motstånd och opinion.

Problemformulering eller systemanalys initieras med att man först identifierar ett problem. Sen försöker man förstå problemet. Vidare undersöker man hur problemet uppstått, vad som kan påverka problemet och till sist identifierar man lösningar och utformar dessa. Detta kan bestå i tekniska lösningar eller genom strategiskt beslutsfattande, beroende på problemets karaktär, men syftar till att man önskar minska problemet och helst lösa det.

När problem är mycket komplexa kan det leda till att man förenklar eller väljer ut ett avgränsat problem. En ofullständig systemanalys eller problemformulering kan leda till att man löser fel problem (Mitroff & Silvers, 2010) men man gör detta på ett utmärkt sätt. Det vill säga, den avgränsade lösningens effekt på det faktiska problemet blir liten eller uteblir. Å andra sidan kan en omfattande problemformulering göra det svårt att komma vidare då man kan hamna in i en till synes oändlig analys. Detta kan dock vara en indikation på att det faktiska problemet är mycket svårlöst eller till och med saknar en lösning (Rittel and Webber, 1973). I dessa fall kan detta konstaterande, i sig, ändå vara en del av en lösning genom att det kan leda till att man ändrar problemformulering och hanterar problemet annorlunda.

Infrasystem är komplexa och sociotekniska system. Den mänskliga komponenten och sociala faktorer tillför komplexitet vilket försvårar systemanalys och även vår förståelse för, och hantering av, komplexa sociala problem (Checkland 1981). En sådan faktor är att det alltid finns flera upplevda "verkligheter", eftersom människor gör olika antaganden om världen och sin situation. Människor har helt enkelt olika världsbilder (ibid.). Svårlösta problem beror på att dessa garanterat innehåller flera olika åsikter om problemet, både inom, mellan och utanför organisationer i system av system med flera intressenter, aktörer och grupper.

Vid framgångsrik problemformulering förväntas man använda en repertoar av undersökningsmetoder, som ger flera synvinklar på ett problems natur och skapar en "rik bild" (rich picture) (Churchman, 1971). En sådan rik bild är tänkt att avslöja nya perspektiv, beroenden och relationer. Om det finns ett upplevt och erkänt problem, så kommer det finnas aktörer som målmedvetet kommer att agera för att förbättra sin situation eller hela situationen. En rik bild kan stödja alla som berörs av problemet genom att bidra med förståelse av systemet. Den används som stöd för generering av idéer eller nya angreppssätt för hur problemet kan hanteras, vilket är både användbart och behövt. En omfattande problemformulering kan öka chanserna till att realisera åtgärder i framtiden som minskar flygbuller och problem med flygbuller.

För att utveckla en djup förståelse av flygbuller måste olika aktörer och perspektiv som finns representerade i infrasystemet tas med liksom deras olika problemformuleringar. Den grupp som direkt berörs av flygbuller genom exponering är de som bor i bullerutsatta områden. Alla i gruppen som direkt berörs uppfattar inte flygbuller som ett problem, men kan ändå riskera att få hälsoproblem av flygbuller. De som störs, vars livskvalitet och hälsa påverkas, vill få till stånd en lösning. Indirekt berörs också representanter i samhället som för deras talan, direkt eller genom verksamheter som skyddar medborgare för miljöeffekter, där buller ingår. Ett antal grundläggande sakfrågor som kan påvisa olika syn på flygbuller utifrån flera perspektiv är till exempel: Vad är flygbuller? Är det ett problem? För vem är det ett problem? Vad kan göras åt problemet? Vad kan göras för att minska flygbuller? och Vem kan göra något åt problemet?

Teknikutvecklare eller andra som ser en viss teknik som lösning på ett problem kan uttrycka otålighet: - Tekniken finns, vad väntar vi på? Detta belyser behovet av att förstå sociotekniska och systemiska aspekter i ett infrasystem. Flera modeller, en repertoar, tillämpas för att skapa förståelse för flygets utmaningar med utveckling och innovation i komplexa, stora tekniska system och system av system. Dessa utmaningar kan påverka infrasystemets möjligheter att minska flygbuller. Vilka är

förutsättningarna för att realisera teknisk innovation inom flyget? Vilka är förutsättningarna för att realisera bullerreducerande flygtekniska eller flygoperativa lösningar?

I problemformuleringen ingår även problem associerat med regler och strategisk styrning för utformning av systemet. Dessa aspekter kan bidra med att öka eller minska flygbuller och problem som uppstår i samband med att man hanterar problem med flygbuller. Detta ger ytterligare en dimension och frågor som till exempel: Vilka är förutsättningarna för att minska flygbuller? På vilka sätt kan man minska problem med flygbuller? Vilka är förutsättningarna att minska problem med flygbuller?

Det är viktigt att påminna om att INFRA bistår det sammantagna infrasytemets utmaning med flygbuller. Begreppet systemtänk kan uppfattas som att man antas studera varje aspekt utifrån hela universums perspektiv. Ett alternativ till detta följer istället en process som kallas *system(om)tänk* (re-thinking of systems)(de Weck et al., 2011). INFRA:s problemformulering är omfattande, men följer en iterativ process med ett urval av perspektiv, systemnivåer och ett antal olika infallsvinklar som sammantaget definierar en studerad problemrymd. Utifrån problemrymden kan man identifiera nätverk av problem med avseende på flygbuller och associerade aktörer i flygets infrasytem.

1.1 Syfte och forskarfråga

Syfte med studien är att 1) studera flyget som ett infrasytem och 2) på allvar beakta buller som en fullvärdig systemkomponent inom flyget.

Forskarfråga: Vilka är förutsättningarna för att minska flygbuller och problem med flygbuller?

1.2 Bidrag

Bidraget är att presentera rik bild som kan öka kunskap och förståelse av flygbuller och problem med flygbuller. Ett praktiskt bidrag är att denna kunskap dels kan öka förståelse för systemet men också genom att bidra till andras problemformuleringar och deras förståelse för flygbuller och bullerproblematiken. INFRA bidrar även med att tillämpa system(om)tänk och ger exempel på systemanalys och problemformulering av komplexa sociala samhällsproblem som beror av en negativ externalitet från ett infrasytem. Detta kan vara generaliserbart på andra externaliteter som upplevs som problem t.ex. buller ifrån vindkraftverk, gruvors påverkan på lokal rennärning, nyetablering av kärnkraftverk, införande av drönarsystem för taxi och gods i en storstadsregion.

1.3 Avgränsningar

INFRA är tänkt som ett komplement till den forskning som görs t.ex. inom ramarna för nationella flygtekniska forskningsprogrammet (NFFP), LFV:s och Swedavias forskning, TRV:s Luftfartsportfölj (det som avtalats mellan TRV och KTH CSA är medtaget). Inte heller stora program på EU-nivå, t.ex. SESAR eller Horizon2020, har genomlysts i detalj,

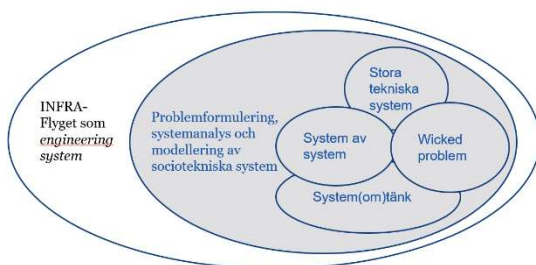
Även om det används begrepp som svensk luftfart, flyget och flygplatsverksamhet så är materialet baserat på de aktörer som redogörs för i metodkapitlet. I intervjuerna uttalar sig dessa i huvudsak om erfarenheter från Arlanda flygplats, grannkommuner och domar som berör Swedavias tillstånd för Arlanda och Arlandas riksintresseprecisering. Dessutom så är detaljer av flygvägar i stort begränsade till inflygning av jettflyg och inte lågfartstrafikens avveckling.

Ingen systematisk genomgång eller jämförelse har gjorts med forskningsprojektets ANIMA (Aviation Noise Impact Management with novel Approach många publikationer och bok. ANIMA hade en budget på 75M under fyra år med 22 partners.

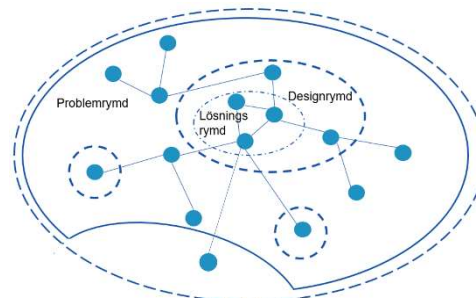
2 Projekt - metod och genomförande

Denna studie baseras på intervjuer, dokumentstudier kring såväl aktörer, domar och regelverk kompletterat med litteraturstudier och existerande teoretiska ramverk och modeller för att erhålla information om det undersökta systemet. Övergripande studeras flyget som ett infrastrukturellt system med tillhörande litteratur och teorier om system och sociotekniska modeller. En kombination av teori, empiri och metod för systemanalys och problemformulering har löpt parallellt under hela projektet. Arbetet har formats efter hand då analyser har resulterat i identifiering av olika perspektiv, dilemman och problemformulering av flygbuller vilket beskrivs som ett angreppssätt från *engineering systems* som kallas system(om)tänk (re-thinking of systems)(de Weck et al., 2011)(figur 1).

För att identifiera flera problemformuleringar används en modell som skiljer på områden, eller delutrymmen inom en avgränsad problemrymd. Här ingår en aktuell lösningsrymd, den lösning som råder, ett systems designrymd, det område inom vilket alternativa lösningar finns. Lösningsrymden är en delmängd av designrymden. Länkar och relationer mellan lösningar och möjliga alternativ som i sin tur associeras till olika noder i problemrymden, motsvarar ett nätverk av aktörer och problemformuleringar i relation till rådande flygsystem (figur 2).



Figur 1. Sammanfattande bild av de olika systemmodeller som använts för att förstå flyget som ett INFRA-system.



Figur 2. Sammanfattande bild av hur systemanalysen rör sig mellan olika utgångspunkter för att förstå problem med flyg och flygbuller i ett bullernätverk.

Metodkapitlet beskriver genomförande av projekt och insamling av materialet som har varit relevant och legat till grund för att utveckla kunskap om flygbuller och problem med flygbuller i INFRA.

2.1 Intervjuer

Sammantaget har 31 personer intervjuats från flygverksamheter som LFV, Swedavia, Transportstyrelsen och flygtekniska experter och de aktörer som framträdde med utgångspunkt från de som hanterar flygbuller som problem t.ex. myndigheter, kommuner, boende och juridisk expertis.

Samtliga intervjuer genomfördes av Pernilla Ulfvengren och Isabel Runebjörk. Varje intervju pågick under cirka en timma och spelades in efter samtycke av deltagarna. Intervjuernas ljudfiler är konfidentiella och har endast använts för transkribering, de sprids inte till andra. Transkriberingen har använts för att söka svar på frågor som ställts om verksamheter och buller och det är aktörsrollen som är i fokus och representerar ett systemperspektiv, inte en individs personliga åsikt. KTH:s riktlinjer för forskareetik har följts och varje informant har meddelats sin rätt att förbli anonym.

2.1.1 Urvalsmetod

För att identifiera lämpliga intervjupersoner använde vi oss av den så kallade snöbollsmetoden (e.g., Flick et al, 2004; Silverman, 2013). Det innebär att vi började med att intervjua personer nära Centrum för Hållbar Luftfart, det vill säga aktörer inom flygsystemet med kompetens inom området flygbuller. Vi bad dem att föreslå andra namn, inom och utanför sina organisationer, och fortsatte på samma sätt tills vi hade intervjuat tillräckligt många för att kunna bilda oss en mångsidig uppfattning om olika

problemformuleringar och flygbullerproblematiken. Vi stämde också hela tiden av så att vi hade flera, och motsatta, perspektiv på de frågor vi undersökte (cf Gutierrez et al, 2010). Resultatet av denna urvalsmetod var att vi gick utöver flygsystemets mest centrala aktörer inom luftfart och kunde identifiera andra aktörer som på olika sätt var inblandade i bullerfrågan: utsatta medborgare i Upplands Väsby, myndigheter som Naturvårdsverket och Länsstyrelser, inblandade kommuners miljö- såväl som plan- och byggnadskontor, liksom ett antal konsulter.

2.1.2 Intervjuomgångar

Vi gjorde tre intervjuomgångar från 2017 till 2019 (tabell 1 och tabell 2). Vi inledde våra intervjuer i omgång ett med en delmängd aktörer, i omgång två gjordes en horisontell breddning, och i omgång tre, en fördjupning. Ett brev skickades ut med projektets syfte och att det inte förväntades att man var direkt involverad i frågor som berör buller och att vi önskade få hänvisningar och material för fortsatt identifiering av nyckelfunktioner att personer att intervjuas vidare.

Tabell 1. Antal intervjuer och aktör i de olika intervjuomgångarna.

Intervjuomgång 1	Organisation/roll	Intervjuomgång 2	Organisation/roll
1	Transportstyrelsen	16	Konsult, flygexpert
2	Swedavia	17	Konsult, miljö, juridik
3	LFV	18	Kommun U-V
4	LFV	19	Naturvårdsverket
5	Swedavia	20	Swedavia
6	LFV	21	Boende
7	LFV	22	TRV
8	Swedavia	23	TRV
9	Swedavia	24	Swedavia
10	Swedavia	25	TRV
11	Transportstyrelsen	Intervjuomgång 3	Organisation/roll
12	Transportstyrelsen	26	Konsult, juridik
13	LFV	27	Boende
14	Transportstyrelsen	28	Boende
15	LFV	29	Konsult, flygexpert
		30	U-V kommun
		31	Boende

Tabell 2. Antal intervjuade per perspektiv och roller.

Antal	Perspektiv	Roller
4	Boende	Boende - både aktiva mot flygbuller och inte aktiva
3	TRV	Strategiska roller för transportpolitiska mål inom både miljö, tillväxt
7	Swedavia	Miljö, grannsamverkan, strategi, operativt, ledning
4	Transportstyrelsen	Flygprocedurkonstruktörer, miljöexperter
6	LFV	Forskning och utveckling för trafikledning och flygtrafikledare
2	Konsult, jurister	Angående domstolsärenden flygplats, miljölagstiftning
2	Konsult, flygexpert	Domänkunskap om piloters roll och flygtekniska frågor
2	Naturvårdsverket	Buller- och miljölagar
2	Kommun U-V	Grannkommun utifrån både tillväxt och miljö

Första intervjuomgången skedde med personer från Swedavia, LFV och Transportstyrelsen. Syftet var att få en bakgrundsbild av de centrala aktörerna som ingår i svensk luftfart och därmed uppfattades som mest relevanta för framtida bullerreducerande åtgärder kring Arlanda flygplats. De första intervjuerna samlade in data om respektive verksamhets nuläge och framtida utmaningar, intressenter, relation till buller. Ett delresultat var identifiering av ett antal dilemman som beror på målkonflikter som regional tillväxt, riksintresse och influensområde, bullerförordningen, bullerexponering och transportpolitiska mål.

Vid andra omgången hade vi breddat omfattningen på vilka som ingick i det vi nu kallade bullernätverket, det vill säga, inte enbart de centrala verksamheterna. Vi var intresserade av att träffa och tala med personer som på olika sätt berörs av flygbuller, antingen som grannar till flygplatsen, eller i sin yrkesroll i olika verksamhetsområden i flygsystemet. Vi intervjuade då grannorganisationen, Upplands Väsby kommun och Trafikverket. Intervjuerna syftade till att öka vår förståelse för tidigare identifierade dilemman.

I tredje intervjuomgången sökte vi aktörer i regeringsställning samt i Arlandarådet. Dessvärre fick vi inte tillgång till dessa, men försökte genom intervjuer med experter inom andra verksamheter att förstå vilka prioriteringar och strategier som styr flyg och flygbuller. Istället användes källor som rapporter och prognoser för flygets och regionens utveckling. Vi intervjuade också juridisk expertis, och fortsatte med intervjuer i kommunen och med boende. De frågor vi ställde var i stort sett samma som i omgång två, men med ett större fokus på specifika frågor kring dilemman och problemområden som mejslats fram under föregående två omgångar, gällande Riksintressepreciseringen för Arlanda och regional expansion.

2.2 Projektdeltagare och genomförande

INFRA har varit ett föränderligt projekt och en lärandeprocess för alla deltagande. Projektet kom till genom flera bidrag. Ett viktigt bidrag var "Förstudie för metodutveckling för inflygningsprocedurer för minskat buller" (Moberg et al., 2014) som utfördes på uppdrag från TRV redan innan KTH CSA etablerades. I studien ingick en initial analys av aktörer som skulle beröras vid genomförande av bullerreducerande åtgärder som föreslogs i studien. Drivkrafter och barriärer beskrevs i en tidig systemnivåmodell av flygsystemet. Ett annat bidrag till att INFRA initierades var ett nyetablerat samarbete mellan två avdelningar på INDEK KTH: SID – Sustainability och Industrial Dynamics (idag SIDE-Sustainability, Industrial Dynamics and Entrepreneurship) (Blomkvist) och IM – Industrial Management (idag M&T - Management & Technology) (Ulfvengren). Vi hade identifierat ett komplement mellan IMs kompetens inom luftfart och flygsäkerhet och SIDs kompetens inom hållbarhet och infrastruktursystem. Båda med en bakgrund i forskning om systemanalys och systemförändring med fokus på sociotekniska system. Dessutom delade vi intresse för teknikutveckling, innovation, implementering, omställning och transformation i industri. Detta resulterade i en ansökan som studerar luftfart och buller, utifrån flera sociotekniska utgångspunkter och som ett infrastrukturellt system.

Blomkvist och Ulfvengren skrev ansökan. Projektet utformades initialt som ett doktorandprojekt på 5 år med oss som handledare. Projektet startade 2017. Två rekryteringsförsök av doktorand gjordes under året. För att inte förlora tid under rekryteringsprocessen så planerades och genomfördes ett antal bakgrundsintervjuer av Ulfvengren våren 2017. För att komma vidare tog gruppen hjälp av Isabel Runebjörk som i sin egen research, om kollaborativ forskning, önskade följa en forskare och studera hur denne genom intervjuer får tillgång till fältet. Detta ledde till att Runebjörk var med på samtliga intervjuer och dessutom spelade in och transkriberade intervjuerna. När vi genomfört bakgrundsintervjuerna hade vi gemensamt redan ett mycket intressant material. Isabel anlätades som forskningsassistent i projektet först som konsult men sen i form av en projektanställning på KTH.

Mycket resurser i en kvalitativ studie läggs på datainsamling, dokumentering och att söka teorier och utveckla lämpligt teoretiskt ramverk. Blomkvist var en central kompetens under de första årens snåriga diskussioner om vad vi hade att göra med och hur det skulle kunna studeras. Han bidrog initialt med modeller kring stora tekniska system och transformation av dessa, vilket bidrog till att utveckla metod för projektet i relation till den omfattande empiri som samlats in. Vi tog även hjälp av Johan Rignér, som flygteknisk expert med förståelse för flygverksamhet och flygteknik i stort. Rignér har även varit projektledare och deltagit i andra projekt inom KTH CSA, så startsträckan var kort.

Byråkrati kring anställningsformer gjorde det svårt att få kontinuitet under några år, vilket ledde till en förlängning av projekttiden. Projektet fortsatte dock med oförändrad budget. Blomkvist hade resurser i projektet fram till 2019 och är idag är verksam på Mälardalens universitet, men är fortsatt aktiv i

publicering av artiklar. Runebjörk antogs till slut till forskarstudier sommaren 2020. Med återstoden av medlen kunde ett avhandlingsarbete som leder till en licentiatexamen påbörjas (detta räknas i stort som en halv doktorsavhandling). Denna avhandling kommer att läggas fram under 2023.

INFRA har även haft viss draghjälp av ett annat TRV-projekt, FLYT (Ulfvengren et al., 2020) som under arbetets gång utförde en relevant teorigenomgång av stora tekniska system och innovation samt erbjöd erfarenhet av tillämpning av modeller på ett sociotekniskt infrastrukturellt system. Projektet FLYT finansierades av TRVs portfölj 1- Planering. I detta projekt studerades förutsättningar för innovation inom kollektivtrafiken genom exemplet vattenburen kollektivtrafik.

En senare del av projektet tog ny fart under våren 2020, då Ulfvengren tillbringade tid som gästforskare på MIT, USA. Forskning inom socioteknik, stora tekniska system och systemdynamik på KTH, och på INDEK, har bland annat utvecklats och inspirerats av tidigare nära samarbete med MIT. Syftet med Ulfvengrens vistelse på MIT och deras institution för Aeronautics and Astronautics var att återetablera kontakten för både ingenjörutbildning och forskning inom systemteori och *systems engineering*. Trots att vistelsen sammanföll med pandemin bidrog samarbetet med nya angreppssätt och bidrag till systemanalys, som *engineering systems* och *wicked problems*. Dessa ersätter inte tidigare modeller kring socioteknik eller stora tekniska system, men de ger ytterligare perspektiv på komplex systemanalys och problemformulering. Detta ledde in på teoribildningen som på svenska kallas komplexa och svårlösta samhällsproblem.

INFRA-projektet har indirekt också fått insyn i andra KTH CSA initierade projekt genom engagemang och samarbeten inom KTH CSA. Under hela INFRA:s projekttid har det pågått diskussioner med andra projektgrupper inom CSAs nätverk. Detta har bidragit till förståelsen kring angränsande aspekter som studeras inom INFRA. INFRA har förhoppningsvis också har bidragit till CSAs nätverks förståelse för flygbullersystemet som helhet.

2.3 Publika avstämningar och resultatspridning

Under projektets gång så har man kunnat följa utvecklingen av forskningen och även projektorganisationen genom framförallt presentationer på KTH CSAs årliga seminarium (WS). Vi har även presenterat INFRA på konferenser och deltagit i andra sammanhang som berört flyg och buller.

I och med denna slutrapport avrapporteras projektet till TRV, i form av en forskningsrapport. Skrivande av artiklar till internationella tidskrifter och en licentiatavhandling pågår. Ett nytt forskningsprojekt har startat, APIS (Acousitics and annoyance of future aviation- Simulation platform and implementation system) (Orrenius et al., 2022) som en följd av bland annat INFRA.

2.3.1 KTH CSAs invigning och workshops 2017-2021

2015-Invigning av KTH CSA. Infrasystemförändring för hållbar luftfart (Pernilla Ulfvengren och Pär Blomkvist). Presentation av *INFRA:s förstudie*. Antagandet var att vi står inför ett teknikskifte och införande av bullerreducerande åtgärder. Detta antogs innebära att man skulle komma att ändra systemets input med bullerreducerande åtgärder t.ex. genom brantare inflygningsvinkel eller tystare starter. Vidare antogs att detta på något sätt skulle komma att påverka samtliga systemkomponenter som på olika sätt i sin tur påverkar flygsystems utfall.

2017-KTH CSA WS. Hur hanterar flyget buller? (Pernilla Ulfvengren, Pär Blomkvist, Isabel Runebjörk). Här diskuterades definition av systemet. Aktörer och funktioner i systemet beskrivs som oberoende inom var och en av verksamheterna men med beroende och relationer till varandra. Dessa relationer har stor betydelse och är kritiska för hur luftfarten definierar bullerfrågor, hur det producerar ljud och buller, hur det hanterar reduktion av ljud från flyg eller negativa effekter av ljud och buller. Systemanalysen beskrivs inledd genom att identifiera struktur, aktörer och deras inbördes relation för att förstå hur systemet fungerar. Systemanalys används för att förstå hur ett system fungerar och är en central utgångspunkt i problemlösning för att utveckla luftfart i önskvärd riktning.

En generisk systemnivåmodell presenterades och behov av att samverka i utveckling beskrevs centralt, eftersom buller kan beskrivas som ett emergent fenomen. Systemanalysen utifrån flera perspektiv visade på ett antal dilemman som olika perspektiv och målkonflikter ger upphov till:

- Lokalt och Globalt
- Buller och Utsläpp
- Buller och Säkerhet
- Tillgänglighet och Buller.
- Regional tillväxt och Buller
- Beräknat buller och uppmätt och upplevt buller

2018-KTH CSA WS. Vilket system ska studeras och hur fungerar det? (Pernilla Ulfvengren, Pär Blomkvist, Isabel Runebjörk and Johan Rignér). Beroende på vilket system som modelleras och med avseende på vad man modellerar får man olika insikter. Olika systemmodeller presenterades som: strukturella eller hierarkiska, funktionella och dynamiska modeller. Här introduceras även modell över sociotekniska aspekter och delsystem: ekonomiska, ekologiska, sociala, teknologiska och politiska delsystem. Dessa delsystem påverkar flygets utveckling och inte minst bullrets utveckling. Flygbuller förstås inte enbart av de ingående aktörerna i det som traditionellt beskrivs som flygsystemets centrala aktörer. De olika delsystemens egna strukturer och institutionella ramar bör ingå i en socioteknisk analys.

Utöver detta så presenterades också ett system utifrån flygbuller som ett problem som kallas bullernätverket. Det är det system som blir följden av att på allvar beakta buller som en fullvärdig systemkomponent. Begreppet att internalisera en oönskad konsekvens och negativ externalitet som buller diskuterades. De sociala systemkomponenterna som innefattas av bullerproblematiken är till exempel: kommuner och de boende, juridiska processer och regelverk, där de många olika domar som berör flygets utveckling och buller är medtagna. Ett delresultat är att detta är ett första steg att definiera vårt system och vilka andra krav på förändring, än rent tekniska, som kan behövas för att hantera bullerproblematiken.

2019-KTH CSA WS. En sammanfattning av tidigare presentationer och information om att arbete pågår presenterades (Pernilla Ulfvengren). Här informerades också om samarbete med MIT och deras International Center for Air Transportation som bland annat bedriver forskning om bullerproblematik runt Boston Logan Airport.

2020-KTH CSA WS. På denna presentation presenterades metoden och genomförandet av de tre intervjuomgångarna och deras olika inriktning (Pernilla Ulfvengren).

1. Systemets aktörer, uppdrag, mål
2. Buller-vad det är och hur det uppstår
3. Fördjupning av dilemman och systemperspektiv
 - miljö, tillväxt
 - institutioner och boende

Vid detta tillfälle presenterades också att ett *avhandlingsarbete påbörjats* med arbetstiteln ”Trust in socio-technical systems”.

2.3.2 Övriga presentationer

2016 - VTI flygseminarium på KTH. **Implementering av styrmedel och andra systemförändringar inom flyget** (Pernilla Ulfvengren). Ett seminarium om flygforskning på KTH anordnades av VTI. Flera forskare diskuterade EU, ETS och ICAO:s roll för flyget, olika perspektiv på marginalkostnader för luftfart och dess infrastruktur, flyget och klimatets möjliga åtgärder och styrmedel samt en utredning om skatt på flygresor. KTH CSA presenterades och delgav annan aktuell flygforskning på KTH. INFRA presenterades och utmaningar diskuterades i relation till övriga

presentationer. Bland annat så presenterades vad som är utmanande inom ett system av system som att: ingen systemaktör vill producera buller eller miljöutsläpp, men att ingen intressent eller aktör, enkelt på egen hand, kan minska buller eller utsläpp, att flyget är säkerhetskritiskt – och därmed inte lämpat för "trial and error", samt är starkt reglerat nationellt och internationellt för både miljö och säkerhet.

2022 - Hearing Arlandautredningen . **Flygets buller** (Pernilla Ulfvengren). KTH CSA blev inbjudet till hearing med anledning av Arlandautredningen. Presentationen innehöll en dragning om bullerproblematiken, utifrån både tekniska möjligheter att reducera buller, men också dilemman kring målkonflikter, och sociala problem och möjligheter att hantera wicked problems. Det var den enda presentationen som diskuterade flygbuller som en komponent i vår framtida luftfart. Nätverkande med andra flygaktörer ledde bland annat till en ny ansökan som behandlar buller som en av de enskilt viktigaste aspekterna att beakta för realisering av en fossilfri transportekonomi med drönare i stadsmiljö (APIS) (Orrenius et al., 2022).

2.3.3 Publikationer och konferenser

2018 - *Internoise – Chicago*. **Air traffic management and noise** (Mats Åbom, Karl Bolin, Pernilla Ulfvengren). En gemensam artikel presenterade om KTH CSA på Interoise 2018. Här beskrivs projekten INFRA, BRANTARE, SAFT och ULLA som en samlad satsning på forskning. (Åbom et al., 2018)

2019 - *Konferens FTF – Stockholm*. **Split system dilemma – growth and noise in aviation** (Pernilla Ulfvengren, Isabel Runebjörk, Johan Rignér och Pär Blomkvist). På Flygtekniska föreningens konferens i Stockholm 2019 presenterades delresultat, ett system med tudelat i ett antal målkonflikter och dilemman relaterat till dessa t.ex tillväxt och buller med målkonflikter från regeringsnivå, ner till individnivå. (Ulfvengren et al., 2019).

2022 *Internoise – Glasgow*. **Wicked problems in an aviation noise system** (Pernilla Ulfvengren och Isabel Runebjörk). Denna konferensartikel introducerar teori kring komplexa och svårlösta samhällsproblem. Ett resultat är att de identifierade målkonflikterna och dilemman som följd, representerar oförenliga världsbilder och djup oenighet i värderingar. Efter analys dras slutsatsen att dessa representerar ett tillstånd som är förknippat med vad som kallas ett "wicked" problem. Detta begrepp bidrar till en ökad förståelse och representation av flygbullernätverket, och öppnar för realistisk utvärdering och problemformulering som rekommenderar andra lösningar till bullerproblematiken. (Ulfvengren and Runebjörk, 2022).

2.3.4 Metodutveckling inom studentprojekt

Under höstterminerna 2020 och 2021 fick studenter i kursen "Systemteknik, ekonomi och ledarskap" (ME2314) på avancerad nivå i civilingenjörsprogrammet Industriell ekonomi på KTH arbeta med bullerfrågor och elektrifiering och metoder för systemmodellering och perspektivförståelse. Detta ledde till ett antal projekt som tillämpade (re)-visioning (här översatt till system(om)tänk) från *engineering systems*. Projekten innehöll kombinationer av aspekter på buller och elektrifiering (flygbuller, vindkraftsbuller, elflyg och energiförsörjning). Initialt fick samtliga studenter arbeta fram en systembeskrivning genom att tillämpa system(om)tänk. I kursen tillämpades generella systemteorier och ingenjörprocesser för att hantera komplexa system. Studenterna tränar sitt systemtänk och förståelse av relationen mellan systemavgränsning och definition och genom problemformulering utforma förslag på lösningsområden.

2.3.5 Licentiatavhandling – planerad 2023

En kommande Lic-avhandling är under arbete. Runebjörk antogs 2020 som forskarstuderande inom Industrial engineering and management. Runebjörk har en bakgrund som lingvist och erfarenhet inom ledarskap. Forskningen studerar förtroende som begrepp och vidare vilken roll detta har inom komplexa sociotekniska system och i relation till dess *wicked problems*. Avhandlingen läggs fram under 2023.

2.3.6 Slutrapport och tidskriftsartiklar – pågående arbete

2023 INFRA Slutrapport - en beskrivande sammanfattning av projektets genomförande, insamlade material, huvudsakliga innehåll och delresultat från den sammantagna forskningen som projektgruppen har bidragit med 2017-2021.

En version av slutrapporten kommer publiceras i KTHs TRITA-serie.

Kommande internationella tidskriftsartiklar är ännu under arbete 2022 och 2023 men arbetstitlarna är:

- “Aviation noise as a wicked problem”
- “Noise from sustainable transformation of aviation”
- ”Wicked problem-formulation – (system analysis method development)
- ”Methods and practice to reduce annoyance from aviation noise”

3 Flygbuller och problem med flygbuller

Resultatdelen i rapporten inleds med en allmän genomgång av flygbuller och problem med flygbuller utifrån olika perspektiv och aktörer, problemformuleringar från de som berörs direkt och indirekt.

3.1 Flygbuller

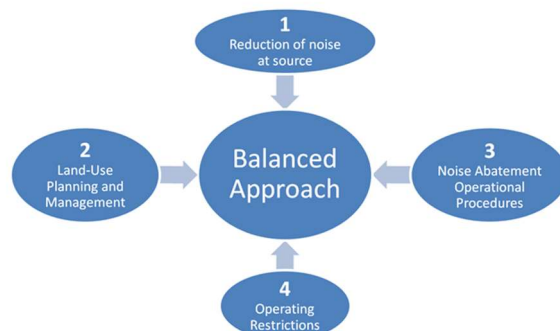
Buller definieras som oönskat ljud och flygbuller som oönskat ljud från flygverksamhet eller flygplan. I dagligt tal kan allt som är oönskat kallas för problem. Men även om ljud från flygplan är oönskat, så behöver det inte vara ett uttalat problem, utan kan vara en störning man accepterar. Om flygbuller inte är en accepterad störning så kan det däremot upplevas som ett ständigt, pågående och påträngande problem. Flygbuller upplevs mer störande än andra bullerkällor på samma ljudnivå (EC, 2002).

Flygplanet är själva ljudkällan. En vanlig uppfattning är att motorn är den dominerande ljudkällan på flygplanet och att flygplan låter som mest när de startar och motorpådraget är högt. Då starter sker under relativt kort tid, i flygplatsområdet så exponeras relativt få boende. Flygbuller kan istället upplevas som ett större problem inför landning eftersom flygplanen då befinner sig på relativt låg höjd, på ett nära avstånd till de boende runt flygplatsen. Under denna fas av flygningen bidrar även en annan ljudkälla, flygplanskroppen. Det är luftmotståndet mot flygkroppen som utgör flygbuller och det låter, även om motorerna går på tomgång. Flygplanskroppen är utvecklad för att under färd utgöra så lite luftmotstånd som möjligt för att öka flygets prestanda och minska bränsleförbrukningen. För jetflygplan låter flygkroppen mer än motor över en hastighet på 200 knop. När man bromsar flygplanet så måste man utnyttja mer luftmotstånd. Det skapas genom att fälla ut vingklaffar, slats, och inte minst landningsställ, vilket genererar en stor ökning av flygbullret vid inflygning.

3.2 Åtgärder för att minska flygbuller

För de som direkt störs av flygbuller, så kanske det spelar det mindre roll för varför det bullrar eller hur det bullrar. Men för de som försöker lösa problem med flygbuller så har det en avgörande roll. Tillsynsmyndigheter uppmanar flygets intressenter att implementera *Balanced approach* (ICAO, 2004) som består av fyra ben (figur 3):

1. Buller från källan
 - Krav på tystare flygplan i en framtid, differentierade startavgifter.
2. Operationella åtgärder
 - Utformning av start- och landningsflygvägar både lateralt och vertikalt (här krävs avvägning mot säkerhet och luftutsläpp).
3. Åtgärder hos mottagaren
 - Bullerisolering och fysisk planering
4. Driftsrestriktioner
 - T.ex. förbud mot vissa mer bullrande flygplanstyper, förbud mot viss bananvändning, förbud vissa tider på dygnet.



Figur 3. ICAOs fyra huvudområden kopplade till deras "balanced approach" (ICAO, 2004).

Om man utgår ifrån att det är flygplanen som låter så är en rimlig ansats till att lösa problemet att utveckla flygteknik som gör flygplan tystare. ICAO ställer bullerkrav på flygplanstillverkarna och det sker viss förbättring, i storleksordningen 0,1 dBA/år. Genom att utveckla tystare motorer och successivt fasa ut äldre modeller så kan bullret från enskilda flygplan reduceras.

Uppenbarligen så försvinner flygbuller om vi slutar flyga och om vi slutar flyga till områden där det bor någon. Båda lösningar är helt orimliga. Operationellt kan man minska flygbuller genom att tillämpa olika metoder som ökar avståndet mellan boende och flygplanet. Detta eftersom ljudets intensitet avtar när det färdas genom luften från ljudkällan till mottagaren. TRV tog initiativ till en förstudie där det analyserades flera sätt att öka avståndet på. Tre metoder identifierades som flygoperativt och flygtekniskt möjliga (Moberg et al., 2014):

1. ökad glidbanevinkel (flyga in högre och landa brantare närmare flygplatsen)
2. inflyttad tröskel (flyga in högre och landa längre in på banan på flygplatsen)
3. kurvade inflygningar (att öka avståndet till boende genom att flyga runt istället för över)

Det går också reducera exponering av existerande flygbuller genom att skydda individer och deras inom- och utomhusmiljö, åtgärder hos mottagare. Öronproppar, hörlurar, bullerisolerade hus (fönster, väggar och tak), byggalternativ (tysta hus och gårdar) och bullertak/plank är några sätt.

När det gäller fysisk planering kan man minska sårbarheten genom att inte bygga nära eller närmare flygplatser. Problem med flygbuller för boende kommer inte försvinna så länge vi flyger i storstadsregioner. Med tanke på förtätning och flygets samhälleliga fördelar så kommer flygbuller troligtvis fortsatt att vara ett samhälleligt problem. Ett exempel är planer som gäller hela Arlandaregionen. 2015 bodde 137 000 i Arlandaregionen och nu planeras för 175 000 invånare till 2030. Man vill bygga minst 22 000 bostäder perioden 2016-2030. Det gäller Arlandas grannkommuner Knivsta, Sigtuna, Upplands Väsby och Vallentuna.

Till sist kan vi minska flygbuller genom att flyga mer sällan över boende eller att bara flyga vissa tider, det som kallas flygrestriktioner. Här ingår också restriktioner för vissa flygplanstyper och bananvändningsmönster.

Det har föreslagits att de som störs kan välja att inte flytta till ett hus nära en flygplats. En del kanske kan välja att flytta när antingen bullret eller acceptansnivån förändras och man inte längre står ut. Men det är såklart långt ifrån alla som har möjlighet att flytta. Skälen kan vara allt ifrån ekonomiska, sociala, och även praktiska. Familjesituationen kan kräva att fler familjer måste flytta för att bo nära varandra av sociala och praktiska skäl.

3.3 Flygbullernivåer

Trafikbuller anses vara det näst mest allvarliga miljöorsaken till hälsorisker i västra Europa. Bara utsläpp av fina partiklar är värre (Naturvårdsverket, 2023). Naturvårdsverket bedömer att omkring två miljoner människor är exponerade för trafikbuller på nivåer över svenska riktvärden. Flygbuller är en del av detta trafikbuller, men flygbuller är en liten del i förhållande till vägtrafik (ibid.).

Det finns inga mått för bullernivå utan buller mäts som ljudnivåer och sen definieras gränsen för vad som är accepterad ljudnivå för önskat ljud eller buller. Hur buller upplevs kan vara individuellt och dessutom kan en lika hög ljudnivå, av samma person, upplevas som å ena sidan den "bästa konserten någonsin" eller som ett "öronbedövande outhärdligt buller" beroende på inställning till ljudkällan. Att buller upplevs subjektivt kan göra det svårt att förstå klagomål från de som utsätts och störs, då det inte ljudnivåmässigt behöver vara värre än till exempel byggbuller.

Det som mäts är ljudtrycksnivå (L_p) som har enheten decibel (dB). En logaritmisk skala gör att det kan vara svårt att få en känsla för hur mycket en ökning eller sänkning av till exempel 3 dB skulle innebära eller upplevas. Som exempel upplevs en ökning av 8-10 dB som en fördubbling av hörselintrycket.

Ljudmätning kan göras på flera sätt och det finns ljudmätare med olika filter som dB(A), dB(B) osv för filter A-D. Mäter man vid samma frekvens med olika filter så kommer man få olika ljudtrycksnivåer uppmätt dvs. olika värden för dBA och dBC. Så, när man läser 55 dB eller 55 dBA så är det inte nödvändigtvis samma fysiska ljudnivå och intensitet som menas. Man måste veta hur ljudet är uppmätt.

För trafikbuller används dessutom en ekvivalent ljudnivå som jämkar och straffar ljud beroende på när på dygnet det sker, då det anses mer störande och har större hälsorisk när buller kopplas till sömn. För detta finns en standard för beräkning av just flygbuller som kallas flygbullernivå (FBN) och maxvärde för flygbuller som kallas dBAMax (se bilaga 1). Man måste på samma sätt som ovan vara noga med att veta om bullret är uppmätt eller om det är ekvivalent ljudnivå som uppges. 70 dBA max kan inte jämföras med att en ljudmätare får ett värde på 70 dBA där och då. Till detta krävs att man också känner till att buller för flygtrafik beräknas och inte mäts med ljudmätare och att till exempel tillsyn av flygverksamhet görs med samma bullerberäkning (läs mer i kapitel 5).

I Sverige är riktlinjerna för flygbuller generellt satta till 55dB FBN och 70 dBA max. Naturvårdsverket bedömer att ca 19 000 personer [$\approx 0.2\%$] utsätts för flygbullernivån FBN > 55 dBA i Sverige och 1 % av befolkningen, ca 100 000 personer, uppges uppleva sig störda av flygbuller.

3.4 Problem med flygbuller - Hälsorisker

I WHO:s senaste rapport, med riktlinjer (WHO, 2018), rekommenderas att medelvärdet för flygbuller reduceras till en nivå under 45 dB L_{den} , eftersom buller över denna nivå associeras med allvarliga hälsoeffekter. L_{den} motsvarar svenska måttet för FBN – flygbullernivå. Vidare rekommenderas att flygbuller på natten reduceras till 40 dB L_{den} av samma skäl. Dessa rekommendationer är enligt riktlinjernas utformning klassade som "starka" och anses därmed kunna tillämpas i policyer av beslutsfattare i de flesta situationer. WHO bedömer att rekommendationerna uppväger de oönskade konsekvenserna, som dessa riktvärden skulle innebära för t.ex. verksamhet och samhälle. WHO:s nya riktlinjer ligger under riktlinjerna runt Arlanda enligt senaste Riksintrössepreciseringen (TRV, 2022).

Hälsorisker kan drabba även de som trots allt inte upplever flygbuller som störande (WHO riktlinjer). I de fall där flygbuller påverkar hälsan anges främst hjärt-och kärlsjukdomar. Detta beror bland annat att metaboliska funktioner påverkas av sömnstörning och olika former av stress. Man har också påvisat att buller maskerar tal och kan få effekter på kognitiva förmågor. Höga nivåer av buller kan påverka hörsel och vara en bidragande orsak till tinnitus. De som störs av buller kan bli stressade på grund av att man upplever att livskvalitet och mental hälsa påverkas negativt.

På gruppnivå så är det ur folkhälsoperspektiv ett större problem med föroreningar och partiklar från vägtrafik. Det finns därför de som ser det positivt att uppnå miljövinster genom att släppa på bullerkrav som skulle kunna innebära mindre utsläpp, som kortare flygväg. Det finns globalt på samma sätt argument för att prioritera klimat före buller inom flygets utveckling.

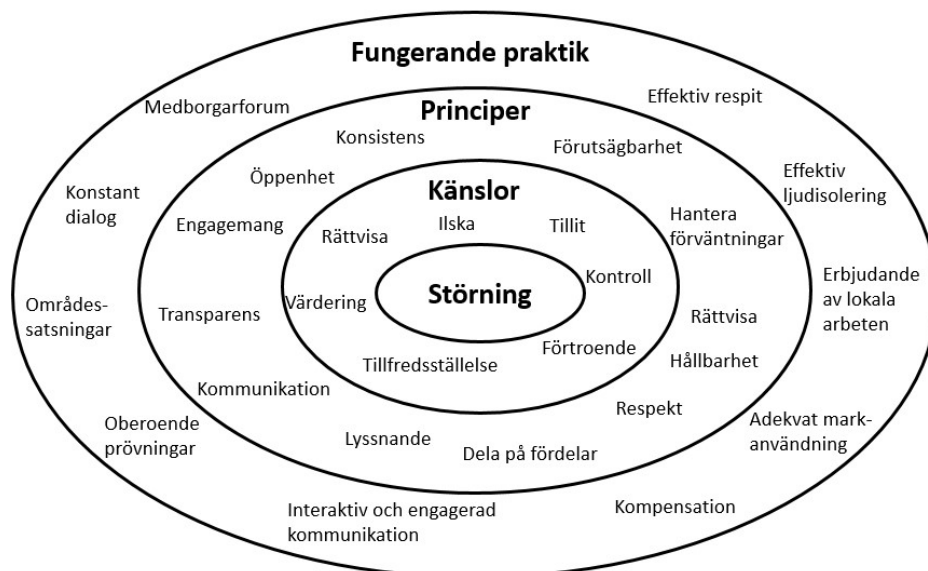
3.5 Problem med flygbuller – störning

Buller är ett problem för de som exponeras regelbundet på en nivå som stör dem. Huvudsakligen gäller detta för boende nära Arlanda och de som har direkta överflygningar. Flygbuller kan till exempel innebära att: man avbryts i konversationer, man väcks tidigt på morgonen eller på natten, barn vaknar och/eller har svårt att somna för natten, utomhusaktiviteter begränsas. Det oroar att förändringar i flygbuller kan påverka värdet på mark och boende negativt. Boende beskriver att bullret är väckarklockan, att det skakar i väggarna och att det händer att flygplanen är så nära att man kan läsa vad som står under planen. En del menar att man vänjer sig medan andra beskriver att de blir mer och mer frustrerade, arga och trötta. Flygbuller kan upplevas som konstant malande och i dessa perioder är det inte en lugn stund. Samtidigt kan det beskrivas som att överflygningar börjar plötsligt och att detta är jobbigt för att det blir ett överraskningsmoment som gör att man rycker till eftersom man inte är beredd. Flygbuller är ett intermittent buller som skiljer sig från vägtrafikens mer konstanta brus.

3.5.1 Icke-akustiska faktorer

Det kommer också riktlinjer på EU-nivå att lägga större vikt vid relationen störning/exponering och icke-akustiska faktorer för att hantera flygbuller. Den Europeiska gröna dealen ”the green deal” innehåller ett kriterium att ”inga människor eller platser ska lämnas utanför”. Det finns forskning som ett komplement till mer traditionella och tekniska tillvägagångssätt som tar upp icke-akustiska faktorer av flygbuller som baseras på störning (annoyance) (Heyes et al., 2019; Porter et al., 2021). Störning är ett problem i sig, men ingår också på WHO:s lista av flygbullrets bidrag till hälsorisker. En modell (figur 4) beskriver olika lager av störning baserat på känslor, principer för hantering och fungerande praktik som påverkar störning.

- **Känslor:** Rättvisa, tillit, förtroende, tillfredsställelse, ilska, utvärdering, kontroll, rädsla
- **Principer:** Öppenhet, konsistens, transparens, kommunikation, rättvisa, förutsägbarhet, hantera förväntningar, hållbarhet, respekt, dela på fördelar, lyssnande, engagemang
- **Fungerande praktik:** Medborgarforum, effektiv respit, effektiv ljudisolering, erbjudande av lokala arbeten, adekvat markanvändning, interaktiv och engagerad kommunikation, oberoende provningar, områdessatsningar, konstant dialog, medborgarforum



Figur 4. Efter Porter et al., (2021) icke-akustiska faktorer.

Ett exempel på fungerande praktik som nämnts är att Swedavia kontinuerligt kommunicerar pågående projekt och planer för utveckling av Arlanda och Swedavia. Man håller grannmöten på flygplatsen och samtalar med grannkommuner regelbundet. En del boende tycker informationsmötena är bra medan andra går dit för att få göra sin röst hörd och bli lyssnade på. De senare har inte alltid upplevt mötena givande då man mött andra grannar som tycker de överdriver. Detta visar att man kan bo på samma ställe och uppleva flygbuller väsensskilt.

Engagemang kan ske från olika aktörer. Nedan beskrivs Föreningen Väsbybor mot flygbuller. Utifrån deras perspektiv återfinns flera av de begrepp som nämns i modellen ovan och handlar om behov av förutsägbarhet, förväntningar, respekt, rättvisa och ilska. Boende hade fått ett löfte som inte infriades och upplevde detta som ett svek. Föreningen Väsbybor mot flygbuller anser att Swedavia har gjort flygbullersituationen värre än nödvändigt för boende kring Arlanda. Det är upprörda känslor och det upplevda sveket tar sig uttryck i att man beskriver Swedavias ”hänsynslösa sätt att bedriva Arlanda flygplats 3-banesystem på” och man undrar hur Swedavia fått ”tillstånd att störa så många människor”. Man ser det som att det är Swedavia som genom sina drivkrafter och intressen ”försatt” medlemmarna och andra boende i denna situation.

Upplands Väsby är den grupp boende som engagerar sig mest i öppna konflikter vad gäller överflygning över deras tätort. Rosersberg (i Sigtuna kommun) ligger närmare och är också bullerutsatt, kanske till och med mer än vad Upplands Väsby är. Där har det inte varit lika mycket diskussioner. En förklaring till detta kanske är att gruppen boende i Upplands Väsby inte hade bullerstörning innan rullbana tre kom i drift. De blev dessutom lovade att när den togs i bruk så skulle man tillse att man inte efter 2018 fick flyga med rak inflygning över tätorten Upplands Väsby. Med andra ord så är inte bullerproblematiken statisk och endast korrelerad med trafikmängden. Förändringar i var det bullrar kan spela stor roll. De som tidigare inte störts som får buller kan uppleva ett större problem än de som alltid haft buller.

3.5.2 Turer kring miljötillstånd som en del av problem med flygbuller

Koncessionsnämnden för miljöskydd beviljade i domar 1993-04-06 och 1998-09-07 att Luftfartsverket kan bedriva flygverksamhet i ett trebanesystem på Arlanda. Detta, tidigare, miljötillstånd innehåller flera särskilda villkor som dåvarande Luftfartsverket blev ålagda att följa, kopplat till buller. De särskilda villkor som framför allt berörde Upplands Väsby var då villkoren 1, 2 och 6.

I villkor 6 beskrivs ”ytterligare restriktioner för Upplands Väsby tätort”, som gränslinjer väster, öster och norr om Upplands Väsby. Tanken var att gränslinjerna skulle skydda tätorten från överflygningar genom att flygvägar till Arlanda skulle hållas utanför dessa linjer. Hösten 2003 förbjöds inflygningar till Arlanda över Upplands Väsby tätort. Luftfartsverket överklagade beslutet. Miljödomstolen kom i början av mars 2004 med ett utslag i ärendet. Domstolen uttalade då att villkoret i sin nuvarande utformning inte kan förbjuda Luftfartsverket att helt sluta med s.k. raka inflygningar över tätorten. Miljödomstolen förtydligade, i dom från november 2007, villkor 6 med formuleringen ”Regelmässiga raka inflygningar till bana 01L får inte ske efter den 1 januari 2018”.

Swedavia (ingick tidigare som en del i dåvarande Luftfartsverk) överklagade denna dom, men förlorade. Swedavia ansökte om ett helt nytt miljötillstånd för hela flygplatsen i april 2011 till Mark- och miljödomstolen. Domen kom i november 2013 och innehöll då fortsatt förbud för överflygningar av Upplands Väsby tätort vid trafikmängder under 84 rörelser per timme. Dvs man ansåg inte att det fanns tillräckliga skäl att göra undantag vid denna trafikmängd. I ytterligare en dom i november 2014, byttes detta totalförbud till ett villkor som innebar att överflygningar av Upplands Väsby tätort skall undvikas när det är möjligt. Denna dom vann laga kraft i maj 2015. Det nya miljötillståndet togs i bruk i januari 2016. Detta gav Swedavia tillstånd att flyga över centrala Upplands Väsby även efter den 1 januari 2018, dvs när det inte ansågs möjligt att undvika detta.

Swedavia tog det nya miljötillståndet i bruk i början på januari 2016. De villkor som ur bullersynpunkt mest och direkt berör Upplands Väsby i detta är villkor 1 och 10. I villkor 10, andra stycket står det: ”När så är möjligt utan att det påverkar flygplatsens kapacitet och med hänsyn tagen till regelverk för flygtrafiktjänsten, flygsäkerhetsskäl och väderleksförhållanden ska inflygningsprocedurer genomföras som undviker Upplands Väsby tätort.”

3.5.3 Föreningen Väsbybor mot buller

Föreningen Väsbybor mot flygbuller har sitt ursprung i planering och driftsättning av bana tre på Arlanda. Flygbullret kom att förändras för ett antal boende i Upplands Väsby redan då bana tre driftsattes 2003 som en följd av att man inte förmådde införa regelmässiga kurvade inflygningar som utlovats i miljötillståndet. I nordliga vindar kan bana tre användas för landning och i sydliga vindar för starter. När den används med raka inflygningar flyger man rakt över Upplands Väsby tätort. Detta innebar en kraftig ökning av flygbuller för boende i centrala delar av Upplands Väsby, som tidigare var skonade från flygbuller. Vid ett tillfälle så blev det dessutom mer flygning till bana tre än vad som planerats, då man var tvungen att stänga den parallella banan, ett, för reovering.

Föreningen Väsbybor mot flygbuller kom till med anledning av att boende verkligen hade ”trott på Luftfartsverkets tidigare påståenden om att flygplan inte skulle åstadkomma så höga ljudnivåer och att

de skulle göra en kurvad inflygning öster om tätorten”. Det faktum att man istället kom att flyga rakt över centrala delar av Upplands Väsby upplevdes som ett svek. Kurvade inflygningar utfördes inte som utlovats. På deras hemsida finns information om turerna kring miljötillståndet, utifrån deras bild. Där tillstår ändå föreningen att det sedan 2003 har förekommit vissa förbättringar som beror på att Arlanda endast använder bana tre vid ”högtrafik”. Idag förekommer även kurvade inflygningar som undviker Upplands Väsby. Men, eftersom flygtrafiken i ett längre perspektiv förutses öka, så bevakar de även att flygbuller inte ska öka på sikt.

Upplands Väsby har ca 45 000 invånare. Föreningen har idag över 1000 medlemmar, vilket gör den till Upplands Väsby kommuns största förening. Idag har föreningen också ett samarbete med sin systerförening i Sollentuna, ”Boende mot buller i Norra Sollentuna”. Bland föreningens aktiviteter så ingår att vara remissinstans hos myndigheter och domstolar när frågor som berör föreningens intresseområden behandlas. Föreningen är opinionsbildare och försöker göra allmänheten, myndigheter, politiker och media uppmärksamma på den situation som de boende i Upplands Väsby och Sollentuna upplever oacceptabel. Föreningen är inte motståndare till flygtrafiken och inte heller till Arlanda flygplats. Däremot är föreningen starkt kritisk till hur flygbullerproblemet hanteras.

3.5.4 Lösningförslag ur ett lokalt perspektiv

De boende som arbetar aktivt mot flygbuller är inte, nödvändigtvis, engagerade i att lösa problem med buller på ett mer generellt plan i samhället. Inte heller har man ambitionen att stoppa flygandet. De vill i första hand att lösningen ska reducera buller där de bor. Föreningen Väsbybor mot flygbuller är ett exempel. Även kommuner agerar i denna anda. Sigtuna har idag ett avtal som slöts i samband med att den tredje banan byggdes som innebär att Sigtuna kommun ska ha rättighet att stoppa utveckling av Arlanda som potentiellt ökar bullret för kommuninvånarna. Sigtuna är inte heller principiellt motståndare till att flygplatsen byggs ut, men de är oroliga för att en fjärde bana byggs i en sådan riktning att de skulle få mer problem med flygbuller.

NIMBY är ett uttryck som ligger nära till hands för lokala prioriteringar som skiljer sig mot den övergripande attityden inför den störning man utsätts för. NIMBY står för ”not in my back yard” och innebär att man i princip kan vara för en större vargstam, vindkraftsparker, sprutbyten och flyg, men man vill inte vara just den som drabbas av konsekvenserna som rivna tamdjur, visslande svischande ljud från vingpetsar, narkomaner i parken intill eller flygplansbuller. Denna typ av samhällsproblem kan klassas som svårösliga samhällsproblem, eller wicked problems (Jordan, 2010; Rittel and Webber, 1973). För boende som drabbas av denna typ av problem innebär det inte sällan att man kan fastnar i outtröttliga juridiska processer, lever med konstant missnöje och protesterar mot systemet och dess aktörer. Detta leder i flygbullersammanhang till klagomål och protester gentemot flygsystemet och främst flygplatsverksamhetsutövaren, Swedavia.

3.5.5 Rättvis bullerfördelning

Enligt uppgift innebar öppnandet av bana tre att 30 000 människor skulle få slippa buller från Arlanda. Men 5000 fick istället buller i Upplands Väsby. Så trots att 25 000 färre utsattes för buller i regionen, efter att man öppnat bana tre och 30 000 hade fått det mycket bättre i en kommun, så blev problemet med flygbuller på ett sätt större. Kan man definiera rättvis fördelning av flygbuller?

Forskning om rättvist flygbuller ha utförts vid flygplatsen Boston Logan Airport. Där har man erfarenhet av att den nya mer preciserade landningstekniken kunde packa flygplan tätare och få mer exakta flygvägar. Resultatet blev ökad kapacitet och ökad bullerproblematik då koncentrationen av flyg förvärrade störning för vissa boenden. I försök har man testat att använda en medveten, planerad spridning, med samma precisa teknik och räknar på rättvisa med avseende på buller (Hansman et al., 2021). Det finns även exempel i Europa där man har solfjäderformade utflygningsvägar så alla får buller, men man delar upp det.

Sverige har agerat utifrån principen att belasta så få som möjligt. Med ökad teknisk mognad så kommer man flyga med högre precision även på svenska flygplatser. Detta kan minska antalet som störs, men det kan öka problemet med flygbuller för de som får mer buller. Den naturliga spridningen försvinner.

3.6 Sammanfattning flygbuller

Resultaten av denna del av problemformulering visar att vad som menas med flygbuller, och problem med flygbuller, varierar och kan beskrivas på flera sätt. Det som beskrivs som problem är inte bara ljudnivån, utan också ljudkvaliteten, där flygbuller kan upplevas värre än andra ljud, och företeelsen i sig, med flygbuller, är irriterande. Sammantaget så innebär flygbullerstörning sämre livskvalitet och hälsa.

Flygbuller är svårt att förstå. Dels är ljud ett komplicerat fenomen. Akustik är ett komplicerat ämne med många mått, mätvärden och mätningmetoder för ljud och buller. Sen är människors uppfattning av ljud både subjektiv och varierande med avseende på ljudnivå och ljudkvalitet. Flygbuller varierar med avseende ljudkälla och hur piloter flyger planet och var flygplanet befinner sig i förhållande till de som störs. Flygbuller och flygvägar varierar med väder och vind. Denna kombination av akustik, ljudupplevelse och flyg måste förstås vid utformning av tillstånd, riktlinje, regelverk och kan antas skapa missförstånd och tolkningsutrymme utifrån vilken kompetens man har eller vilka antagande man gör, vare sig man är privatperson eller myndighetsperson.

Vi kan minska flygbuller för vissa grupper eller individer genom att öka avståndet mellan ljudkällan och de som störs eller ljudisolera individer och boende. Med andra ord så kan vi delvis skydda individer från flygbuller, men det finns en utmaning i att fördela flygbuller rättvist. Det totala antalet människor som exponeras för flygbuller är viktigt utifrån en folkhälsosynpunkt, men för individer som fortsatt störs, är det inte ett argument. Flygbuller är ett problem för de som störs och för de som utsätts för hälsorisker. Flygbuller är lokalt och temporärt, även om störning och hälsorisker kan vara bestående. Med högre precision kan förutsägbarheten öka, vilket anses vara något som kan minska grad av irritation.

I jämförelse med annat buller och föroreningar så är dock flygbuller ett mindre problem. Detta talar för att flygbuller inte kommer att prioriteras som externalitet inom flyget eller prioriteras bland andra lokala miljöåtgärningar med föroreningar och buller från andra källor. Men önskad tillväxt i kommuner och regioner kan också komma att leda till fler bullerklagomål. Andelen exponerade ökar när vi förtätar storstadsregioner där flygplatser redan är etablerade.

Störning verkar öka om man är med om en förändring i buller. Det varierar också om man varit irriterad på flygbuller innan försämringen eller om detta var helt nytt, något man inte förväntat sig. En del beskriver att det värsta problemet med flygbuller var sveket att ha fått ett löfte om att det inte skulle bli sämre, vilket sen visade sig vara fel. Hur buller hanteras kan med andra ord minska problem med flygbuller.

Det är också uppenbart att just bana tre triggade en bullerproblematik. En avgörande aspekt verkar ha varit att man inte i tid kunde implementera en ny lösning med kurvade inflygningar vilket pekar på ett samband mellan ett systems förmåga till utveckling och problem med flygbuller som en önskad konsekvens av detta.

4 Systemperspektiv på flyget

I detta kapitel beskrivs först generella egenskaper och utmaningar för utveckling och innovation i stora tekniska system. Sen presenteras de mest centrala aktörerna som påverkar och kan genomföra utveckling och innovation inom flyget. En modell beskriver dessa i ett hierarkiskt sociotekniskt system och dess oundvikliga dynamik i en samhällelig kontext. Sedan ges en bild av den operationella kontexten och exempel på komplexiteten av tekniska komponenter, handhavande av flygplan och flygtrafikledning som ingår om man ska införa operationella åtgärder som utformning av start- och landningsflygvägar. Här har tidigare nämnts tre bullerreducerande metoder som ansetts flygoperativt och flygtekniskt möjliga: ökad glidbanevinkel, inflyttad tröskel och kurvade inflygningar. Genomgången görs för att utveckla förståelsen för samband mellan ett infrasystems förmåga till teknisk och operativ utveckling och införande av bullerreducerande lösningar. Detta diskuteras vidare för att förklara specifika och generella utmaningar och förutsättningar som flygets infrasystem står inför, inte minst för att åstadkomma lösningar som kan reducera problem med flygbuller.

4.1 Utveckling av stora tekniska system

I egenskap av att vara ett utbrett sociotekniskt system med central samhällsfunktion så kan flyget definieras som ett infrastrukturellt system eller stort tekniskt system. Inom litteratur om komplexa och stora tekniska system (LTS – Large Technical Systems) (Hughes, 1983, 1987; Kaijser, 2004) beskrivs dessa systems egenskaper och generella utmaningar de står inför vid utveckling och innovation. Stora tekniska system (Hughes, 1987) beskrivs som mogna, robusta och tillförlitliga. I gengäld stagnerar de med tiden och det blir alltmer trögt att ändra inriktning på utveckling och innovation. Sociotekniska systems utveckling följer vanligen tre typiska faser (Hughes, 1983). I den första fasen, etableringsfasen, råder det osäkerhet kring framtida behov, kombinerat med att det genomförs massiva investeringar. I den andra, utbyggnadsfasen, vinner innovationen, det nya systemet, marknadsandelar, vilket möjliggör stordriftsfördelar, såväl i produktionen av olika systemkomponenter som i systemanvändningen. I denna fas får systemet genomslag och en de facto standard, en "dominant design" (Utterback, 1994), etableras. Systemets utformning och tekniken i systemets ingående delar börjar stabiliseras, vilket också innebär att metoder och arbetssätt institutionaliseras (Geels, 2004) och börjar tas för givna. I en tredje fas, tenderar stora socio-tekniska system att gå in i en stagnationsfas som kännetecknas av inlåsning till en specifik teknisk utvecklingslinje och paradigm. I denna fas är inte fokus längre på att utveckla systemets funktionalitet, utan snarare på att rationalisera och effektivisera existerande funktioner, där standards, regelverk, intressenter och ekonomiska modeller blir tätt sammanvävda med systemet. Stora system tillägnar sig på detta sätt vad man kan kalla *momentum* (på svenska: rörelsemängd) (Kaijser, 2004), vilket innebär att de når en kritisk massa av tekniska och organisatoriska komponenter som tillsammans gör att systemets vidareutveckling följer en specifik utvecklingskurva. När systemet nått till denna fas minskar förutsättningarna och utrymmet för förändring och systemisk innovation. I gengäld är det ett robust och tillförlitligt system.

Flyget har utvecklats och expanderat under över 100 år, men komponenterna som flygplan, piloter, flygtrafikledning och flygledare och flygplatser har trots teknikutveckling och automatisering i stort sett oförändrad funktionalitet i att tillsammans leverera flygtjänster. Systemet som är etablerat sedan länge styr den framtida utvecklingen eftersom det genom investeringar i fysisk infrastruktur och globala standards uppstår inlåsningseffekter då systemet över tid har institutionaliseras och tas för givna. Med denna historia och nuvarande system är det logiskt att anta att flyget befinner sig i fas tre, stagnationsfasen, men är å andra sidan ett ultrasäkert system (Amalberti, 2001). Det vill säga, flyget är robust, tillförlitligt och säkert men kan antas ha stora utmaningar med att utveckla och implementera nya lösningar, innovationer.

4.2 Flygets centrala aktörer ur ett systemnivåperspektiv

Givet hur ett flertal aktörer gemensamt ansvarar för flygets funktion och utveckling är det intressant att se på dynamiken i detta sociotekniska system beskrivet med en systemnivåmodell (Rasmussen, 1997). Nedan beskrivs först systemets centrala aktörer (baserat på information från deras hemsidor och

wikipedia) och verksamhetsmål och hur dessa organiseras (figur 5 och figur 6). Beskrivningarna är gjorda utifrån hemsidor hos aktörerna.

4.2.1 Systemets aktörer i korthet

FN-organet **ICAO** (International Civil Aviation Organization) tar fram regler för civil luftfart i samarbete med ICAOs 193 (2021) medlemsländer. ICAOs uppgift är att underlätta flygning mellan världens länder och bidra till ökad flygsäkerhet genom att verka för gemensamma och ändamålsenliga regler. Chicagokonventionen trädde i kraft 1947 och utgör grunden för ICAO. I konventionen fastslås att varje stat har absolut suveränitet över sitt eget luftrum. För reguljärtrafik krävs ett särskilt tillstånd eller annat bemyndigande av den främmande stat som är berörd av trafiken. Civila flygplan från länder som undertecknat överenskommelsen får flyga över andra signatärens luftrum i regelbunden trafik.

I EU finns även flygsäkerhetsorganet **EASA** (European Union Aviation Safety Agency) som utvecklar förslag till förordningar som sedan antas av EU (tabell 3). Flera EU-förordningar reglerar bland annat användningen av luftrummet och tillhandahållandet av flygtrafiktjänster.

LFV är namnet som luftfartsverket använder i förhållande till flygmarknaden och allmänheten. Luftfartsverket är fortfarande det officiella namnet och används därför till exempel i lagtexter. LFV, är ett svenskt statligt affärsverk som sorterar under Näringsdepartementet*. Verkets huvuduppgift är att tillhandahålla en säker, effektiv och miljöanpassad flygtrafiktjänst för civil och militär luftfart i Sverige. I detta ingår flygledningstjänst där de tar hand om drift, förvaltning och utveckling av teknisk infrastruktur så som kommunikations-, navigations- och övervakningsutrustning och tjänster på och utanför vissa flygplatser.

Swedavia är ett statligt bolag och sorterar under Näringsdepartementet*. Swedavia äger, driver flera svenska flygplatser, däribland Arlanda. Swedavias övergripande uppdrag från ägaren (staten) är att på ett företagsekonomiskt lönsamt sätt ansvara för driften och utvecklingen av kostnadseffektiva, säkra och välfungerande flygplatser. Detta innebär bland annat att Swedavia ska: finansiera, äga, förvalta, driva och utveckla flygplatser med därtill hörande byggnader och anläggningar, tillhandahålla och utveckla flygplatsoperativa tjänster samt kommersiella tjänster och produkter med anknytning till flygplatsverksamhet såsom bilparkering, upplåtelse av lokaler och fastigheter, marktjänster, reklam, servicetjänster samt konsulttjänster m.m., inom ramen för affärsmässighet, aktivt medverka i utvecklingen av transportsektorn och bidra till att de av riksdagen beslutade transportpolitiska målen uppnås.

* Näringsdepartementet handlägger frågor om bostäder, stadsutveckling, landsbygden, IT, transport- och infrastrukturpolitik samt näringslivsutveckling, regional tillväxt och turism. LFVs huvuduppgift är att tillhandahålla en säker, effektiv och miljöanpassad flygtrafiktjänst för civil och militär luftfart i Sverige.

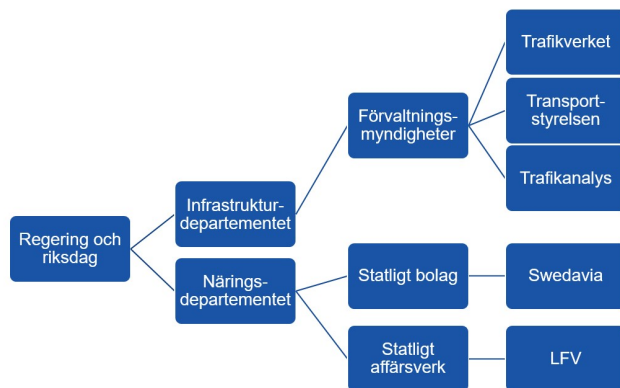
Transportstyrelsen (TS) är en statlig förvaltningsmyndighet, som sorterar under Infrastrukturdepartementet** och har till huvuduppgift att svara för regelgivning, tillståndsprövning och tillsyn inom transportområdet. Transportstyrelsen har ett samlat ansvar för den civila luftfarten i Sverige och ska främja en säker, kostnadseffektiv och miljösäker civil luftfart.

Trafikverket (TRV) är en statlig förvaltningsmyndighet som sorterar under Infrastrukturdepartementet**. TRV ansvarar för långsiktig planering av transportsystemet för vägtrafik, järnvägstrafik, sjöfart och luftfart samt för byggande, drift och underhåll av statliga vägar och järnvägar. Den övergripande styrningen för hur det svenska transportsystemet ska utvecklas är de transportpolitiska målen. TRV ska göra vad de kan för att nå de transportpolitiska målen.

Trafikverket ansvarar för den långsiktiga infrastrukturplaneringen av luftfart så som tillgänglighet, kapacitetsplanering och prognoser. I deras uppdrag ingår idag Riksintresseprecisering.

Trafikanalys är en statlig förvaltningsmyndighet, som sorterar under Infrastrukturdepartementet** Trafikanalys har till huvuduppgift att, med utgångspunkt i de transportpolitiska målen, utvärdera och analysera samt redovisa effekter av föreslagna och genomförda åtgärder inom transportområdet. Vidare ska myndigheten ansvara för att samla in, sammanställa och sprida statistik på transportområdet. Trafikanalys ansvarar för statistikområdena kommunikationer och transporter i Sveriges officiella statistik.

**Infrastrukturdepartementet handlägger frågor om transporter, infrastruktur, digitalisering, informationsteknik, post och energi.



Figur 5. Hierarkisk bild av svenska aktörer relevanta för luftfarten

FN			EU	
ICAO		WHO	EASA	Eurocontrol
Flygsäkerhet	Miljö	Buller och hälsa	Flygsäkerhet	Single European sky (SES)
	State CO2 plan			SESAR teknikutveckling ATM/ATC

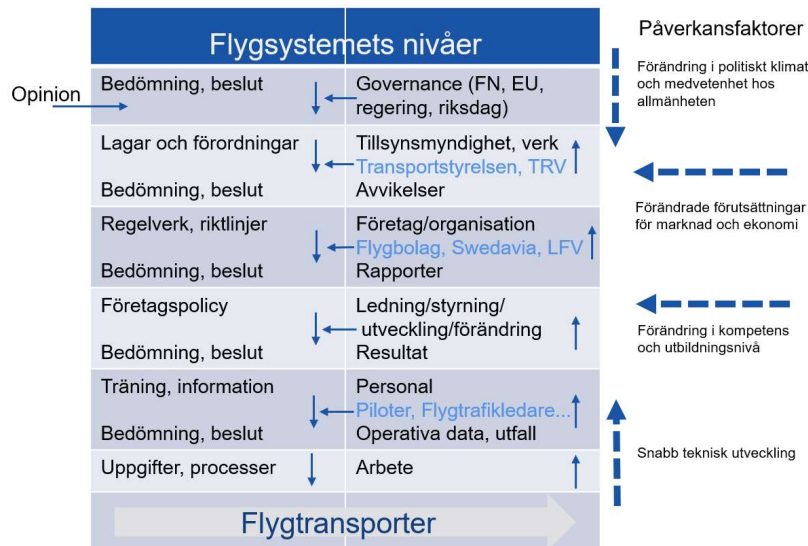
Tabell 3. Organisationer som sorterar under FN och EU för miljö och säkerhet inom flyget.

I en systemnivåmodell beskrivs flygets centrala aktörer på olika nivåer och sammantaget placerade i en samhällelig kontext som direkt och indirekt påverkar flygets funktion, teknisk utveckling och omvandling, figur 6. I modellen beskrivs att teknisk utveckling inte alltid kontrolleras uppifrån, med en övergripande helhetssyn för systemets utveckling. Tekniken introduceras istället inte sällan i den operativa delen hos aktörer som utvecklar sin teknik och processer för drift. Effekter, positiva eller negativa, förmedlas över tid uppåt. Detta innebär att regelverk eller lagar som kan hantera den nya tekniken laggar den tekniska utvecklingen. Systemnivåmodellen beskriver också att övre nivåer påverkar verksamheter indirekt genom att beslut i hierarkin så småningom ”sippra ner” till nivåerna under, vilket kan initiera oförutsedda konsekvenser som består åtminstone tills feedback om oönskade effekter når nivåer som kan fatta nya beslut. En annan dynamik kommer ifrån påverkansfaktorer som förändringar i det politiska klimatet och i medvetenhet hos allmänheten, förändrade ekonomiska förutsättningar, samt förändringar i kompetens och utbildningsnivå, både i allmänhet och hos individer inom systemet. Detta beskriver en dynamik som pågår och gör en ständig förändring oundviklig för system som interagerar med en omgivning. Poängen är att det inte går att kontrollera all utveckling utifrån den egna verksamheten och att det finns fördröjning i systemet. Från det att något inte längre upplevs fungera, så tar det tid innan detta når erforderlig nivå och åtgärd i form av beslut.

De generella förutsättningarna för förändring och innovation inom flyget är på flera sätt mer utmanande än andra infrastruktursystem. Dels så är det ett säkerhetskritiskt system som regleras genom att varje förändring måste vara lika säker eller säkrare än utgångsläget. Det är reglerat internationellt och

fungerar standardiserat globalt, och samtidigt så anpassas det för lokala kontexter och förutsättningar på plats, som väder, infrastruktur, övrig trafik osv. På grund av säkerhet finns skäl att skynda långsamt.

Kraven på förändring har fram till nyligen inte handlat om att flyget skapar problem, utan har handlat om en positiv vilja för ökad effektivitet, ökad kostnadseffektivitet, punktlighet och säkerhet. Modellen som visar hur opinion, marknad och förändring i politiskt klimat påverkar systemet som idag driver en förändring för flygets omställning för att minska klimatpåverkan, men hit hör också krav på förändring med avseende på buller.



Figur 6. Systemnivåmodell över flygsystemet (efter Rasmussen, 1997).

4.3 Flygtekniskt system – komplext system av system

På liknande sätt som ljud, akustik och flygbuller är svårt att förstå, så är flygteknik också ett område med stor komplexitet, exempel flygoperativa beslut, processer för att utforma nya flygprocedurer, flygtrafikledningens utmaningar i olika väder och trafikintensitet och komplexiteten i samverkan mellan piloter och flygtrafikledare. Det kan finnas teknik som gör att det är flygoperativt möjligt att flyga på flera sätt, men som inte är praktiskt möjliga utifrån rådande flygtrafikledningsteknik eller regler.

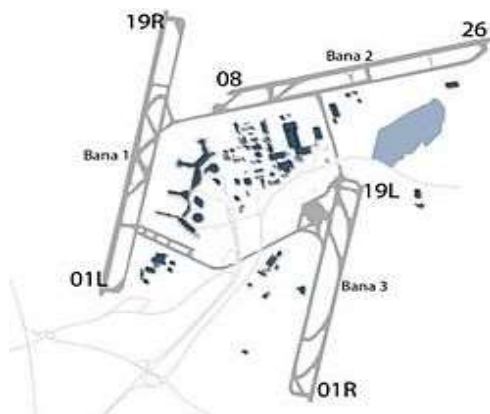
Att utgå ifrån från ett flygoperativt (handhavande av flygplan och flygtrafikledning) och flygtekniskt perspektiv ger exempel på hur olika lösningar ser ut idag. Fokus för denna genomgång ligger på inflygning som är ett flygsegment som orsakar bullerstörning för boende nära flygplatsen. Inflygning kan variera beroende på flera val som görs av piloter och trafikledare, men variationen begränsas av flygplatsens utformning, inte minst placering av rullbanor och användning av dessa för inflygning och landning och de flygprocedurer som är godkända och tekniskt gångbara. Detta avsnitt ger en bild av komplexiteten av den operativa och tekniska delen under inflygning och landning och vidare förutsättningar för utformning av teknik och procedurer för detta segment. Detta är relevant då det har en direkt effekt på möjligheter att genomföra operationella åtgärder som är bullerreducerande.

4.3.1 Arlanda flygplats utformning

Stockholm Arlanda Airports totala markandel är cirka 3400 ha, varav 1400 ha utgör flygplatsområdet. Av flygplatsområdet är cirka 900 ha avsett för luftfartygens rörelser på marken. Detta område är inhägnat och kallas airside. Alla aktiviteter som äger rum på airside är relaterade till flygplanens ankomst, avgång, uppställning, underhåll och reparationer. Airside består av rullbanor, taxibanor, stråkytor, rampytor, uppställningsytor, hangarer och delar av terminalerna. Den del av flygplatsområdet som inte utgör airside benämns som landside, och består främst av tillfartsområde, och trafikeras av

markbunden fordonstrafik som buss, taxi och övriga bilar samt de delar man möter som passagerare som incheckning, säkerhetskontroll, affärer, restauranger och gaterna.

Varje rullbana kan användas för start och landning i två riktningar. Varje riktning är namngiven efter den kompassriktning i vilken det sker inflygning mot eller start ifrån. Stockholm Arlanda Airport har tre rullbanor som används för flygplanens starter och landningar. Bana 1 och bana 3 ligger parallellt i nordsydlig riktning, bana 2 ligger i ost-västlig riktning. Bana 3 är den nyaste och togs i drift 2003. Inflygningsriktning 10 grader innebär att banan benämns bana 01. Motsatt inflygningsriktning på 190 grader innebär att banan benämns bana 19. Där det finns parallella banor namnges de 01L och 01R då man för att undvika att korsa flygvägar svänger eller kommer in från höger (Right) eller vänster (Left) till banan. Rullbana 1 består av bana 01L och 19R, rullbana 2 av banorna 08 och 26, och rullbana 3 av banorna 01R och 19L. Banorna används i olika bankombinationer där i regel två banor i taget utnyttjas. Bansystemet på Arlanda med numrerade rullbanor illustreras i figur 7.



Figur 7. Bansystemet på Arlanda med numrerade rullbanor och start- och landningsbanor i två riktningar per rullbana (<https://sv.wikipedia.org/wiki/Arlanda>, februari 2023).

4.3.2 Att göra en inflygning till flygplats

När ett flygplan närmar sig sin destination planeras för inflygning och landning. Det finns det bestämda in- och utflygningsprocedurer till en flygplats. De är konstruerade på förhand för att garantera en säker rutt med angiven höjd och position. Dessa flygprocedurer är standard för en flygplats och byts sällan ut men beroende på väder och vind väljer man mellan ett antal godkända flygprocedurer för en inflygning. Rådande väder och vindriktning påverkar vilka banor som används. Generellt undviker man kraftig sidvind och det är fördelaktigt att landa och starta i motvind, vilket ökar lyftkraft vid låg fart. Piloten programmerar in den valda, klarerade, proceduren i flygplanets Flight Management System (FMS). Piloter vet inte alltid på förhand vilken bana de, i slutändan, ska landa på. Då får de lägga in en förväntad bana för att FMS:en ändå ska kunna räkna ut en så optimal sjunk(descent)profil som möjligt. Denna programmering kan alltså behöva uppdateras då flygplanet närmare sig flygplatsen. Piloten kan även behöva ändra FMS:en om det uppstår ett banbyte på grund av ändrade väderförhållanden eller att man ombeds uppdatera en tidigare angiven ankomstrutt/bana. Det som normalt programmeras in av piloterna är initial ankomstrutt, s.k. standardflygväg för inflygning till flygplats (STAR, Standard Arrival Route), samt den slutliga inflygningen, vilken är den sista sträckan inför landning där flygplanets fart reduceras till landningshastighet och vingklaffar/slats, samt landningsställ fällt ut.

Flygtrafikledarna tar i något skede över kontrollen av flygplanet genom att ge piloterna direktiv gällande riktning, höjd och fart. Detta säkerställer tillräcklig separation mellan ankommande flygplan samt en effektiv trafikavveckling (starter och landningar) där den delen som inte bestämts på förhand kan användas som "buffert". Flygtrafikledarna leder flygplanen till en punkt i banans förlängning, eller till någon punkt på en kurvad (icke-rak) inflygning, för att ansluta på den slutliga inflygningen. En flygledare övervakar och hanterar alla ankommande och avgående flygplan. De analyserar fart, riktning och höjd mellan de flygplan som tillhör deras ansvar och hanterar trafiken för att undvika konflikter i

luften genom att säkerställa separation i höjd- och sidled. Hög trafikintensitet och en dynamisk kontext med olika flygplanstyper (varierande vikt, fart och tekniskmognad), väder och vind innebär ökad komplexitet. Till sin hjälp kan flygtrafikledare ha olika beslutsstöd i form av simulationer i närtid som genererar scenarier och förslag.

För att ett flygplan ska kunna landa i sämre väder, med dålig sikt och eller med låg molnbas, krävs olika typer av inflygningshjälpmedel. För att förstå detta i detalj så förklaras olika typer av inflygningar ur ett tekniskt perspektiv. Några exempel ges för att visa att det finns många operativa val och dess beror av kontexten t.ex: Flygregelmässigt görs en distinktion mellan visuella flygregler, VFR (Visual Flight Rules), samt instrumentflygregler, IFR (Instrument Flight Rules). Det finns olika typer av slutliga inflygningsprocedurer kopplat till 2D alternativt 3D, där de har olika krav på hinderfrihet med hänsyn till grad av precision. Inflygningsprocedurer delas in i:

- Precisionsinflygningar (precision approach),
- APV (Approach with Vertical guidance)
- Icke-precisionsinflygningar (non-precision approach)

Sedan inte alltför lång tid tillbaka ska en instrumentflygplats ha APV approacher till varje banriktning med instrumentinflygning. Denna procedur ska vara baserad på satellitnavigering (GNSS) med en virtuell glidbana (baserad på tryckhöjd BARO VNAV alt. satellitbaserad, SBAS). Om man bortser från de mindre vanliga inflygningstyperna som t.ex. MLS, GBAS, återstår i praktiken två typer av inflygning: ILS (Instrument Landing System) och RNP (Required Navigational Performance).

ILS är den vanligaste inflygningsformen på alla större flygplatser och definieras som en precisionsinflygning. En ILS-inflygning är alltid en rak inflygning där det finns en mottagare ombord på flygplanet som känner av radiosignalen som skickas ut från ILS-utrustningen på marken.

RNP baseras i huvudsak på satellitnavigering. En RNP-inflygning är också oftast rak. RNP är däremot inte beroende av att en ILS är installerad på banan. I många fall finns både ILS- och RNP-inflygningar till samma landningsbana vilket bidrar till redundans. RNP kan genomföra icke-raka inflygningar men kräver speciella RNP-procedurer. Kurvade segment kallas RNP Authorization Required (AR). Vid sådana inflygningar ställs speciella krav på utrustning ombord på flygplanet samt specifik träning av besättningar för att få flyga dessa inflygningar.

När den exakta distansen som flygplanet ska flyga inte är känd är det svårt för piloterna att optimera sjunkprofilen med hänsyn till höjd och fart. Man kan låta planet sjunka men sen behöva återta höjd med gaspådrag. Detta leder oftast till en högre bränsleförbrukning än om den distansen är känd i förväg. Denna problematik har adresserats i flera utvecklingsprojekt för att i större utsträckning kunna möjliggöra en så kallad CDA (Constant Descent Approach) inflygningar.

Bara från detta korta exempel ur ett rent flygoperativt perspektiv så belyses ändå den dynamiska kontext i vilken flygtjänster utförs, där inte minst trafiken och vädret, har stor inverkan på hur inflygningen till slut sker. Utifrån ett flygtrafikledningsperspektiv så är den dynamiska kontexten ett viktigt skäl till att försöka bevara en viss buffert för att dirigera och omdirigera flyg nära inpå inflygning. En tydlig prioritet från piloter och flygtrafikledare är tid och bränsleförbrukning. Flygbolagens verksamhet gynnas av minskade bränslekostnader och att utföra flygtjänster på utsatt tid. Både flygbolag, flygtrafikledartjänster och flygplatsens verksamhet önskar effektivitet, förutsägbarhet, tillförlitlighet och säkerhet i systemet.

4.3.3 Teknikutveckling i säkerhetskritiska system

Gemensamt för all flygteknisk utveckling är att den är extremt reglerad med avseende på säkerhet. Flyget är ett så kallat ultrasäkert system och jämför sig inte med något annat säkerhetskritiskt komplext och sociotekniskt system. Säkerhet är gränssättande för flygtrafikledningssystemen. Flygsäkerhet är prio ett, och får inte äventyras på något sätt. Flyget kan bara göra förändringar som är lika säkra eller

säkrare än tidigare. Det kan dock skilja på hur man tolkar regelverk och har man en mer försiktig eller noggrannare tillsynsmyndighet, kan flygsäkerhet öka tröghet för utveckling olika i olika länder.

Teknikutvecklingen inom flyget, både för flygplan och för flygtrafikledning har möjliggjort att vi idag har flygtjänster som tillåter hög trafikintensitet och effektivitet men samtidigt är säkert. De tekniska systemen i både flygplan och flygtrafikledning blir allt mer integrerade och avancerade. Detta är en faktor i utveckling av säkerhetkritiska verksamheter. Flyget är inte lämpat för experimentell verksamhet och "trial and error", vilket bidrar till att flyget kan upplevas som en konservativ bransch när det gäller mer radikal innovation och utveckling. Det finns skäl till detta och ett exempel är ett antal automationsrelaterade olyckor under 80-talet då en ökad automationsnivå infördes i en ny generation flygplan. Utveckling inom en rad områden kopplade till säkerhet har lett till att automation i flygplanen idag är accepterat och har bidragit till ökad säkerhet. För piloter ökade acceptansen troligtvis efter ett generationsskifte. Under införandet var en vanlig uppfattning att man hellre ville "flyga flygplan än en dator". När nästa generation piloter, som kom till utbildning, hade redan datorvana, vilket gjorde steget mindre.

Flygtrafikledare står troligen också inför automatisering. Forskning och utveckling inom ATM området drivs både internationellt och nationellt utifrån ett flygtrafikledningsperspektiv. Detta manifesteras i Europa genom SESAR och tanken om Single European Sky (SES). Initiativet har tillkommit för att effektivisera och på sikt automatisera flygtrafikledning över Europa. Med SES skulle man kunna flyga mer oberoende av nationsgränser och därmed få kortare färdväg, restid och minskad bränsleförbrukning. Tanken är också att få en förutbestämmdhet som skulle förenkla automation och beslutsstöd för ökad trafik. Automatiserade system förväntas få effekter på både effektivitet av flygvägar och kapacitet, men även ökad säkerhet och minskad klimatpåverkan.

4.3.4 Utmaningar med lokal utveckling av procedurer för kurvade inflygningar

Ett initiativ till att skapa fokus i arbetet med att öka antalet genomförda icke-raka inflygningar skapade Swedavia 2016 ett särskilt program kallat "IRIS – Icke-raka inflygningar till Stockholm Arlanda Airport" (Swedavia, 2022). IRIS är ett exempel på pågående utveckling av flygtrafikledning för kurvade inflygningsprocedurer med hjälp av tekniken RNP-AR. Kurvade inflygningar beskrivs ha potential för att korta flygvägar, erbjuda större flexibilitet för flygbolag och minska klimatpåverkan. Syftet är att öka antal kurvade inflygningar. Som ett led i detta arbete såg man fördelar med att utveckla konceptet brett i hela Swedavias flygplatsnätverk, vilket ledde till att programmet som nu heter Icke Raka Inflygningar till Swedavias flygplatser (Swedavia, 2022). Swedavia hade sen tidigare tillstånd för att testa kurvade inflygningar med en redan godkänd procedur. Utmaningar som Swedavia identifierat är (ibid.): att den godkända kurvade RNP AR-proceduren anses onödigt komplicerad för att kunna tillämpas i större omfattning, man saknar systemstöd för flygtrafikledare för att ha hantera olika procedurer, en del kurvade och en del raka ILS-inflygningar, dessutom behöver man utveckla ett sätt att i tid ta reda på om ett ankommande flygplan har rätt teknik för att flyga en RNP AR-procedur. Var och en av dessa utmaningar kräver utveckling och forskning och beskrivs här som ett exempel som ska belysa generella utmaningar med utveckling av teknik i infrastrukturella system med flera aktörer och aspekter att förhålla sig till och precis som Swedavia säger i sin rapport (ibid.), det är många delar i detta. Man uppger att utveckling av systemstöd och integrering av detta i flygtrafikledningssystemet kommer att ta lång tid och nämner också att det utvecklingsarbete som krävs till stor del ligger utanför IRIS-programmet, inte minst stora förändringar av luftrummet.

4.3.5 Utmaningar i utveckling av system av system

I det flygoperativa stycket ovan ges en, mycket förenklad, bild av hur piloter och flygtrafikledare arbetar, vilken teknik de använder och de dynamiska omständigheter som råder. Detta följs sedan av ett exempel på ett utvecklingsprojekt som Swedavia leder som ett led för att skapa effektivare flygplatser vilket direkt kopplar till piloters och flygtrafikledares arbete och teknik (Swedavia, 2021). Det är tydligt att det i flygsystemet finns flera aktörer som gemensamt producerar övergripande tjänst för flygtransport och att deras respektive verksamhet beror av varandra. Swedavia nämner att deltagare i IRIS inkluderar

flygplats, flygbolag, flygtrafiktjänst, flygplanstillverkare, procedurkonstruktörer, luftfartsmyndighet och även meteorologisk institution. Det finns inte en enskild aktör, eller systembyggare, som ansvarar för koordination och samverkan när flera delar måste utvecklas samtidigt för att få till en systemisk förändring. Swedavia är beroende av att flygbolag investerar i teknik för att öka navigationsförmåga. I ett internationellt och globalt system kan inte en lokal aktör styra över vilken utrustning eller förmåga piloter och flygplan har som använder vårt luftrum. Swedavia bedömer att ett viktigt incitament för att åstadkomma detta är att kurvade inflygningar blir bränslebesparande. LfV behöver utveckla systemstöd för trafikledare som tillåter att mixa flygvägar i hög trafik för att hantera flygplan med olika utrustning, Transportstyrelsens godkända procedurkonstruktörer ska godkänna procedurer utifrån flygsäkerhet. Det behövs även samarbete mellan flygbolag, Swedavia och LfV för att utveckla en procedur mellan piloter och flygtrafikledare. Flera av dessa utvecklingsområden är helt avhängiga av internationella regelverk men trots det behöver anpassningar utvecklas för rådande trafik och procedurer i den lokala kontext.

Andra aspekter man inte har direkt kontroll över själv är marknaden för kurvade inflygningar. Om kurvade inflygningar erbjuds i stor utsträckning i det globala flygsystemet antas att fler flygbolag kommer att välja att investera i erforderlig mjukvara, utrustning och träning av piloter. När andelen flygplan som är godkända för kurvade inflygningar ökar så skulle detta samtidigt underlätta för flygtrafikledningen och till slut skulle det vara ett undantag med bolag som inte kan genomföra en kurvad inflygning.

Begreppet system av system (SoS) (t.ex. Dahlmann, 2014) beskriver komponenter som i sig består av självständiga enheter som har egen drift och ledning och är oberoende av andra för egen verksamhet. Inte desto mindre så producerar dessa självständiga och oberoende enheter något gemensamt som ingen enskild kan göra själv (Maier, 1998). System av system har generella utmaningar vid ledning och utveckling: det saknas en övergripande ledning för gemensam utveckling av alla system, om man ändrar eller ens justerar en del som är sammanvävd med andra delar så får detta propagerande effekter, system som inte utvecklas i samma takt som andra orsakar också systemiska problem.

Trots att systemet som helhet kan ha nått en hög mognadsgrad, kan enskilda justeringar göra att någon del av systemen inte ligger i fas med andra delar. En till synes behövlig men liten förändring kan få stora konsekvenser i många gränssytor till andra delar som då inte längre uppnår tillräcklig interoperabilitet, fortsatt fungerade gränssytor mellan olika komponenter. Olika mål i verksamheten kan dra åt lite olika håll. Det kan även finnas behov av utveckling som alla har nytta av men det kan komma att kosta mer för en aktör än de andra. En del av systemet kan välja att uppgradera sitt system och får då en kapacitet som resten av systemet kanske saknar. Därför kan inte detta utnyttjas eller så tvingar det andra att följa efter. Direktiv från internationella aktörer kan komma att gälla enskilda aktörsgrupper eller samtliga. Det kan handla om att man enskilt saknar mandat för beslut och inte minst kapital och resurser för investeringar. Det kan vara svårt att prioritera gemensamma satsningar som ska göras. Inom ramarna för ett system av system har aktörerna egna mål och intressen. För dessa råder lokal självorganisering, vilket kan ge upphov till att nya utvecklingsmönster i systemet skapas. Detta innebära att systembyggare omöjligt kan börja om och "göra om – göra rätt", när förutsättningar ändras eller nya krav tillkommer eller får annan prioritet. Dessutom kan man inte pausa verksamheten under arbetet med utveckling, utan förändringar måste genomföras under gång. Det blir inte sällan en fråga om vem som ska leda utvecklingen och vem som ska bekosta den. En vanlig lösning är samverkan och samarbete, vilket ytterligare stärker både tekniska och sociala kopplingar.

Aktörer som Swedavia och LfV står inför liknande utmaningar som är generella för utveckling av komplexa tekniska system i system av system.

4.3.6 Kurvade inflygning – problemformulering klimat eller flygbuller

I rapporter om utveckling av kurvade inflygningar så framgår att flygbuller inte lyfts fram som det huvudsakliga problemet. Men man anger att Villkor 10 är en drivande faktor och det villkoret kommer sig av riktlinjer för bullervärden över tätort och även på grund av tvister som förekommit med anledning

av Swedavias miljötillstånd. Kurvad inflygning är en teknisk lösning som är en knäckfråga för flygbullerproblematiken i Upplands Väsby. Det villkor som hänvisas till är villkor 10. I andra stycket i gällande miljötillstånd för Arlanda står det: ”När så är möjligt utan att det påverkar flygplatsens kapacitet och med hänsyn tagen till regelverk för flygtrafiktjänsten, flygsäkerhetsskäl och väderleksförhållanden ska inflygningsprocedurer genomföras som undviker Upplands Väsby tätort.”

I förstudien Luftrum 2040 (2017), är problemformuleringen att uppnå önskad kapacitet i luftrummet. Här beskrivs allmänt hur Miljötillståndets villkor kan påverka möjligheten att uppnå önskad kapacitet vilket ställer stora krav på luftrumets utformning. Vissa villkor reglerar utsläpp medan andra villkor ställer krav på Swedavia att utveckla ett system för tillämpning av kurvade inflygningar med syfte att minska störning av buller för boende runt Arlanda, framförallt undvika tätorten Upplands Väsby. Den samlade bullerexponeringen anges bli mindre omfattande om RNP AR-procedurer (kurvade inflygningar) tillämpas fullt ut jämfört med ett fullt nyttjande av raka inflygningar med ILS. Men vilket redan har diskuterats så kommer förändringen av flygväg flytta flygbuller. Det behöver inte öka problem med flygbuller men det kan få nya boende att reagera med klagomål.

Trots att villkor 10 varit drivande för IRIS så nämndes i rapporter från Swedavia anger man att syftet inte är att utveckla en speciallösning för Upplands Väsby, utan en generell lösning som uppfyller gällande krav också på sikt. Kurvade inflygningar kan få positiva effekter även på bränslekostnader och utsläpp, vilket talar för att man utvecklar en lösning som klarar en större variation och flexibilitet överlag. I villkor 17 för gällande miljötillstånd så ges Swedavia möjlighet att bedriva testverksamhet vid flygplatsen, utan särskilt tillstånd för detta (Swedavia, 2022). Det är en viktig förutsättning för att Swedavia ska lyckas öka andelen icke-raka inflygningar till bana 01R.

En annan förstudie (Swedavia, 2018 a) syftar till att optimera kurvade flygbanor med avseende på meteorologiska effekter runt flygplatsen. Detta hoppas man ska leda till både mindre buller och emissioner då flygplanen kan ha vingklaffar infällda under längre period.

Idag är ett alltså ett angeläget syfte med utvecklingen av kurvade inflygningar att så långt som möjligt förkorta inflygningarna för att därigenom spara bränsle och därmed minska utsläppen till luft. Det är ett stort incitament för flygbolagen att tillse att de kan använda kurvade inflygningar om det sparar bränsle och det är en global angelägenhet att minska fossila utsläpp. Flygbolagens stora kostnad är bränsle, så för dem är kortare flygväg/mindre utsläpp prioriterat av ekonomiska skäl. För flygledare handlar det om att en bra tjänst är att minska bränsleförbrukning för flygbolagen. Swedavia vill prioritera klimatfrågan när bullervärden ligger under 70 dBA. Vilket innebär att den kortare vägen kan innebära mer bullerexponering, men dock under riktvärdet.

Internationellt har skiftet skett i och med klimatkrisen och emissioner är idag den helt dominerande miljöfaktor inom flyget. Buller är till skillnad från klimat en lokal fråga. Klimatet berör alla, medan buller endast berör de utsatta. Detta når även Swedavia i andra miljökrav så det är en fråga om prioritering av fler än Swedavia och LFV.

4.4 En flygverksamhets problem med flygbuller

Swedavia äger och driver flera svenska flygplatser, där Arlanda är den största. Swedavia AB ägs till 100 procent av svenska staten. Swedavia ingår i gruppen statligt ägda företag som verkar under marknadsmässiga villkor och krav. Swedavias övergripande uppdrag från ägaren är att på ett företagsekonomiskt lönsamt sätt ansvara för driften och utvecklingen av kostnadseffektiva, säkra och välfungerande flygplatser. Denna verksamhet ska bedrivas inom ramarna för ett miljötillstånd som har 37 villkor inom många områden som utvärderas av tillsynsmyndigheten. Villkor som berör flygvägar och buller är inte mindre än ca 20 stycken.

För Swedavias del blir flygbuller som upplevs som ett problem av andra också ett problem för dem, t.ex. så har de en komplicerad och omstridd tillståndsprocess, som engagerar både myndigheter, kommuner och privatpersoner. Tillståndsprocessen är enormt omfattande och i Swedavias fall med Arlanda så har

just miljötillståndet i omgångar överklagats av olika aktörer. Detta måste ändå sägas direkt påverka deras utveckling och verksamhet, inte minst att det blir fördyrande och fördröjande. Swedavia är liksom de boende delaktiga i de outtröttliga juridiska processerna. Medarbetare möter missnöje och protester och boende uttrycker sig i termer av svek och att Swedavia bedriver ”hänsynslös verksamhet” och ”försatt” boende i en bullerutsatt situation.

Utifrån Swedavias perspektiv så arbetar de med utveckling utifrån bästa förmåga. De generella förutsättningarna har beskrivits men det har getts exempel på specifika utmaningar också. I villkoret står till exempel att kurvade inflygningar ska användas för att undvika Upplands Väsby tätort när så är möjligt. Men detta innebär särskilda utmaningar eftersom den teknik som finns tillgänglig för kurvade inflygningar inte kan tillämpas för att undvika: en tätort så nära flygplatsen, i högtrafik, i ett så komplext luftrum som i Stockholmsområdet, och tillsammans med ett stort antal flygningar som måste flyga rakt (ILS-inflygningar)” (Swedavia, 2022).

Det var inte av illvilja man angav en sak i en miljötillståndsprövning som byggde på att ny teknik och metod för flygtrafikledning skulle implementeras och därmed få OK från kommun och boende att bygga bana tre. Man hade en plan och man menade att hålla den. Sen hände det saker. Det visade sig inte gå så fort som tänkt och det visade sig vara mer komplext än tänkt.

Tanken med kurvad inflygning för att undvika Upplands Väsby och Swedavia arbetar med att flygbuller ska drabba så få som möjligt. Det är en god sak då att t.ex. 30 000 skulle slippa ljud. Det är ur denna synpunkt inte bra med att 5000 fick mer ljud, men 25 000 färre är fortfarande bättre. Ur denna synvinkel var det lyckat att införa bana tre. Från Swedavias håll har anstormningen av klagomål 2003 beskrivits som en nära-döden-upplevelse, likt de boende som från en dag till en annan hade inflygningar över sitt hus. Någon nämner att man inte på allvar förstätt att flygbullret var ett verkligt problem. Det finns känslor på Swedavia också som menar att det inte räcker att de följer lagen, ”vi får skit ändå”. Man upplever också på håll att det är svårt att få gehör för att ”det verkligen inte går”, de som inte föreslår ”att tekniken finns...vad är det som tar sådan tid?” förstår inte de komplexa utmaningarna man står inför.

När det gäller förutsättningar för att uppfylla det man angett i miljötillståndet så kan det också nämnas att man planerade för icke-rak inflygning 50% av tiden. Man var också hoppfull att utvecklingen i Europa skulle ha nått en standard så att kurvade inflygningar var etablerat. Den procedur man planerat för hade 23 graders vinkel. Sen hände en olycka i Schweiz. Detta gjorde att de internationella reglerna gjordes om från 23 grader till 16 grader. Detta var inte tillräckligt för att undvika Upplands Väsby. På detta sätt har säkerhetskrav varit bidragande till att inte tillåta kurvad inflygning på bana tre vid hög belastning i otillräckliga väderförhållanden. Transportstyrelsen har lättat på detta säkerhetshinder för kurvad inflygning och sedan december 2020 har Swedavia inlett kurvade inflygningar.

Det är inte heller enskilt Swedavia som kan åtgärda problem med bristande förmåga i utveckling av systemet. LFV är den närmaste verksamhetsutövaren som måste förmå att utveckla eller på annat sätt uppgradera sina system för att så småningom klara det ”som inte går”. Sen räcker det inte alltid med LFV som organisation att utforma lösningar. Att avgöra när det är möjligt att genomföra en icke-rak, eller kurvad inflygning är det ytterst en flygledare som inom ramen för sitt minutoperativa arbete ska fatta beslut om. Det innebär att man ibland i efterhand kan visa att det borde ha varit möjligt vid specifika tillfällen. Uppföljningen av operatörers bedömning bör alltid ta hänsyn till under vilka förutsättningar beslutet fattades. Detta är allmän kunskap inom riskhantering och viktigt för säkerhetskulturen inom alla delar av flyget. Men villkoren följs upp och Swedavia får stå till svars. Ett annat område är utformningen av luftrummet i Stockholms terminalområde har stor betydelse för möjligheterna att utveckla kurvade inflygningar. Stora förändringar krävs för att det ska vara möjligt att i högtrafik tillämpa detta regelmässigt (Luftrum 2040, 2017). Detta ligger inte i heller helt i Swedavias händer.

Kanske är förutsättningar för utveckling av flygets infrasystem också sämre än andra delar av världen? Det förklarades att detta berodde på att vi har en försiktigare/noggrannare tillsynsmyndighet när det gäller flygsäkerhet. Ett exempel på Transportstyrelsens försiktighet är att det uppges att de har valt att tyda "should" som *skall*, inte som *bör*. De internationella regelverken ska gälla hela världen och formuleras därför lite mer öppet. Det är ett val man gör, hur "should" ska läsas. Oavsett tolkning så ska alla nya tekniska lösningar bedömas vara lika säkra eller säkrare än de tidigare.

För en utomstående är det omöjligt att förstå vad som är normalt inom flyget. Och hur ska det normala jämföras mellan olika problemperspektiv. Från boendes håll känns det inte normalt att väckas 2 ggr på natten, men från flygtrafikledning var det normalt givet trafik och väderförhållanden som råder, dvs då det inte är möjligt att undvika Upplands Väsby. Hur ska någon som inte är helt insatt i flygtrafikledning avgöra vad som är normalt där?

4.5 Sammanfattning exempel på teknisk utveckling och innovation inom flyget

Förutsättningarna för att realisera teknisk innovation inom flyget antas vara mycket utmanande. Dels har det tekniskt och operativa systemets en komplexitet som innebär utmaningar för utveckling som andra system av system. Utöver det har flyget säkerhetskrav som innebär att man gör ändringar med en medveten försiktighet.

Förutsättningarna för att realisera bullerreducerande flygtekniska eller flygoperativa lösningar liknar utveckling inom komplexa tekniska system i stort. En försvårande omständighet är att problemformuleringen styr vilka satsningar som görs. Att göra lokala anpassningar blir svårmotiverat om det finns problem som har högre prioritet för verksamheten. De problem som formuleras inom nuvarande lösning och i verksamhetens momentum, kommer alltid ha lättare att få resurser och realiseras än de som ligger utanför, speciellt då förutsättningar för teknisk innovation är så utmanande.

I den bästa av världar så innebär till exempel omställning och innovation för att minska klimatpåverkan också att flygbuller minskar. Utveckling som ligger i systembyggarens intresse och bidrar till deras uppdrag och de transportpolitiska målen.

5 Flyget ur ett regimperspektiv - bullerproblemnätverk

Utveckling av och i ett stort tekniskt system beror, namnet till trots, inte enbart på tekniska inslag. Då det finns sociala och institutionella aspekter som bidrar till systemets momentum så måste dessa också beaktas. I de tidigare exemplen ingår en blandning av tekniska, organisatoriska och sociala komponenter som inom flyget innefattar flygplan, piloter, trafikledare, myndigheter, olika organisationer, lagar och regelverk och till och med kognitiva mänskliga faktorer, hur människor i systemet tänker om sig själva, om andra och vad man ser som problem och lösningar.

Allt sammanvävt brukar detta benämnas den rådande sociotekniska regimen (Geels, 2004). Man brukar dela in denna i olika delregimer: teknisk regim, sociokulturell regim, marknads- och användarregim, och policyregim. Det säger något om vad som ingår: lagar, regelverk och riktlinjer, policy och politiska inriktningsbeslut, metoder och modeller, sociala relationer, kultur och olika kunskap och expertis, tekniska system och standards. Det som gör systemet robust, men också trögt är att regimen olika delar har utvecklats tillsammans med inbyggda och sammanflätade beroenden och relationer mellan människor, grupper, olika funktioner och roller i ingående institutioner, som verksamheter och myndigheter. Den rådande regimen sätter de övergripande spelreglerna för systemet.

Ingen av de centrala aktörerna ansvarar enskilt för eller har som mål att orsaka oönskade konsekvenser eller externaliteter som flygbuller. Men alla ingående aktörer producerar sammantaget flygbuller. Det finns ytterligare en grupp av aktörer som kan påverka flygbuller och problem med flygbuller genom strategiska och politiska beslut, eller utformning och tillämpning av regelverk och riktlinjer. Regler och begränsningar som styr systemets utformning och funktion har delvis nämnts i samband med exemplen på de huvudsakliga fysiska och tekniska elementen och aktörernas förutsättning för utveckling. Strategiska och politiska beslut ligger inbäddat i olika myndigheters uppdrag och verksamheters mål, vilket kortfattat nämndes i aktörernas presentation. I detta kapitel undersöks exempel på problem inom dessa delar av regimen. Om något av dess problemområden kan åtgärdas kan oönskade konsekvenser minska. Logiken är då att detta också minskar problem med flygbuller. Detta kommer inte alltid innebära att man minskar exponering av buller, men kan ha påverkan på störningsfaktorer från problem associerade med flygbuller.

5.1 Flygets centrala aktörer ur ett problemrymdsperspektiv

Den tidigare gruppen av aktörer i flygsystemet presenterades som Swedavia, LfV, Transportstyrelsen, Trafikverket och Trafikanalys. Ett tydligt nätverk (figur 8) av ytterligare aktörer framträder vid genomgång av domar och turer kring Swedavias miljötillståndsprövningar.

- **Länsstyrelsen i Stockholms län** - tillsynsmyndighet.
- **Länsstyrelsen i Uppsala län** - remissinstans.
- **Mark- och miljödomstolen** (som är en del av tingsrätten)- tillståndsmyndighet.
- **Mark- och miljööverdomstolen** är den överinstans där Mark- och miljödomstolens avgöranden kan överklagas. Denna finns i Svea Hovrätt och är slutinstans för ärenden som startar i länsstyrelsen.
- **Högsta domstolen** är slutinstans för mål som startat i Mark- och miljödomstolen.
- **Naturvårdsverket** - en statlig myndighet för miljöfrågor.
- **Berörda kommuner** - Sigtuna, Upplands Väsby, Vallentuna kommun, Upplands-Bro

Boende och aktiva föreningar är inte med i bilden med deras perspektiv har diskuterats tidigare. Kommuners intressen och ömsesidiga bidrag till problem med flygbuller beskrivs nedan.

5.2 Regler som styr systemets utformning och funktion

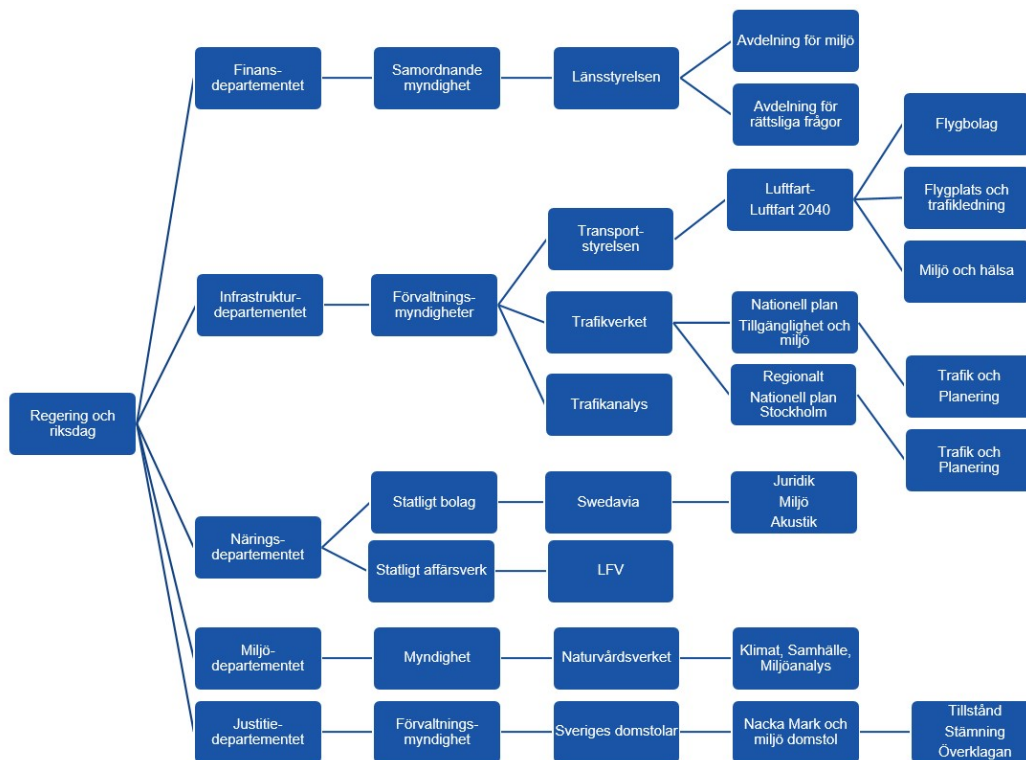
Kontexten för dessa aktörer innehåller lagar, regler och politiska prioriteringar. Dessa lagar (exempelvis miljöbalken), regler (exempelvis riskintresseprecisering och trafikbullerförordningen), och politiska prioriteringar (exempelvis nationella mål för transport och klimat) påverkar aktörernas agerande,

problemlösning och beslut om åtgärder. Regler om buller finns i såväl plan- och bygglagen som miljöbalken och i förordningar.

5.2.1 Riskintresseprecisering

Arlanda är Sveriges huvudflygplats och utgör ett så kallat riksintresse. Ett riksintresseområde ska, i enlighet med miljöbalken, skyddas mot "åtgärder som påtagligt kan försvåra tillkomst eller utnyttjande av flygplatsen" (TRV, 2022). I Arlandas långsiktiga planering och visionsbild 2070, undersöker man idag två nya banor, bana fyra och fem. Man vet inte idag om dessa någonsin kommer att byggas, men man är proaktiv och undersöker därför lämplig placering ifall de en dag ska byggas.

Riksintresseprecisering för Stockholm Arlanda Trafikverket är framtagen av en arbetsgrupp bestående av representanter från länsstyrelserna i Stockholms och Uppsala län, Swedavia och Trafikverket, Airport (TRV, 2021). En karta med bullerkurvor för precisering är fastställd av TRV. Preciseringen är tänkt att tjäna som underlag för kommunernas fysiska planering och tillståndsprövning och andra myndigheters handläggning. Länsstyrelsen har en central roll i hela samhällsplaneringsprocessen även om det är regioner idag som har detta ansvar. Länsstyrelsen ska ta tillvara och bevaka statens intressen, vilket inte alltid går hand i hand med kommunernas planering. Riksintressepreciseringen är tänkt att fungera som "ett underlag för prövande myndigheter och domstolar i ärenden där riksintresset ska vägas mot exempelvis exploateringsintressen" (TRV, 2022).



Figur 8. Problemnätverk med fokus på strategier och regelverk som utformar systemet och dess associerade aktörer i en hierarkisk struktur.

Riksintressepreciseringen från 2008 ändrades 2021 och gäller tills vidare. Skälen för uppdateringen avses i huvudsak ha utgått från två argument: det första är eventuellt behov av att flytta över Brommas trafik till Arlanda och det andra att dagens flygplan är tystare än de som användes då förra preciseringen gjordes. 2008 gjordes en prognos på bullerkurvor baserat på 480 000 flygrörelser, men modellen utgick ifrån de flygplanstyper och motorer som användes i trafik då. Idag är modellen uppdaterad så att den

stämmer med dagens trafik med avseende på flygplanstyper och motorer, en modernare flygflotta och delvis ny teknik med kurvade inflygningar. I den nya preciseringen görs en prognos för två nya landningsbanor och trafik på 540 000 rörelser och prognosen räcker till 2070 (enligt inriktningsbeslut TRV 2019). Riksintressepreciseringen medger stor osäkerhet kring pandemins konsekvenser på luftfartens utveckling. Därför ska preciseringen ses över och uppdateras inom några år och med korta intervall.

I Riksintresseprecisering anges att flygbuller orsakas främst av flygplanens motorer och eventuella propellarar, men turbulens runt flygplansskrovet nämns också. Ett skäl till fokus på tystare flygplan kan vara att man i preciseringen tar särskild hänsyn till ett av Swedavias miljötillståndsvillkor 5 gällande lågfartsflyg. "Lågfartsflyg är propellerplan som utgör en del av Sveriges inrikesflyg" (TRV, 2021 a) dvs inte traditionella jetflyg. Dessa plan förmår inte tillräckligt snabbt nå erforderlig höjd. Villkoret anger därför att lågfartstrafik inte får flyga över tätort på lägre höjd än 1000 meter om den maximala ljudnivån på marken överstiger 65 dBA. I detta lågfartsområde får man inte anlägga nya tätorter. Det finns dock tre undantag för orter som sedan 2010 nått tätortstatus inom detta lågfartsområde som ska undvikas, vilket komplicerar utformning av luftrum. Detta innebär i praktiken att man kan tillåta kommuners redan planerade utbyggnad men översiktsplaner och detaljplaner måste fortsatt beakta restriktioner. Marktytor i till exempel Sigtuna och Upplands Väsby som tidigare har hindrats kan nu bebyggas.

Med rådande precisering och med argument om tystare flygplan tillåts man nu bygga närmare flygplatsen men innebär samtidigt att verksamhetens utveckling är skyddad från nya tätorter. Detta ska säkra framtida utveckling av Arlanda.

5.2.2 Kommunernas byggande inom ramarna för riksintresseprecisering

Arlandas långsiktiga planering och visionsbild 2070, kommuniceras till kommunerna så att de får förutsättningar att utveckla sin verksamhet efter vad som kan komma att hända. Ett riksintresse innebär att staten går in och gör ett intrång i det kommunala planmonopolet. Riksintressepreciseringen svarar på kommunernas fråga: Var får vi bygga? Denna information ger också insyn i hur bullersituationen kan komma att se ut för grannar och för de som står inför husköp. Bullerkurvor som beskriver influensområden är viktig information för framtida bullersituation.

Riksintresseprecisering ingår som underlag i en långsiktig regional planering för Stockholmsregionen, RUF2050, och prövas efterhand i planering och bygglov enligt plan och bygglagen (PBL). Kommuner ska tillgodose riksintresse i översiktsplanen för att ge vägledning för detaljplanering och bygglov. Kommunerna avgör genom sin översiktsplanering ärenden om detaljplaner och bygglov genom att föreslå lämplig markanvändning inom påverkade områden. Swedavia kan överklaga kommuners detaljplaneförslag om de strider mot verksamhetens intressen som till exempel att transformera en småort till en tätort, som då kan behöva undantas från villkor 5 och komplicera luftrummet än mer.

Kommunen ska redovisa hur riksintresse för flygverksamheten påverkas av detaljplanen. Det handlar både om hur planen kan påverka anläggningen, men också vilken påverkan riksintresset kan ha på planen när det gäller flygbuller. (TRV, 2020) Det är viktigt att bullerfrågan kommer in så tidigt som möjligt i planeringsprocessen, så att störningarna styr placering och utformningen av bebyggelsen. Kommunen eller exploatören ska bedöma om platsen är lämplig för ändamålet med hänsyn till buller.

Utöver markanspråk och planering för flygplatsens verksamhet och dess påverkansområde så måste även tillgängligheten till och från flygplatsen fungera bra. Detta innebär att kommuner och regionen också måste se till att planering av infrastruktur som vägar och transporter i områden kring flygplatsen inte påverkar tillgängligheten till flygplatsen negativt.

5.3 Trafikbullerförordningen och hur den kan tolkas

Trafikbullerförordningen(2015:216) syftar till förebyggande av olägenhet för människors hälsa och måste beaktas i planering av bostäder och i byggande. Hänsyn till buller finns med i PBL (plan- och

bygglagen (2010:900): 1. vid planläggning, 2. i ärenden om bygglov, och 3. i ärenden om förhandsbesked. Trafikbullerförordningen är utformad i enlighet med miljöbalken. Miljöbalken ska tillämpas så att "människors hälsa och miljön skyddas från skador och olägenheter. De allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken innehåller grundläggande krav som gäller vid tillämpningen av balken." PBL (2010:900). Förordningen används också för Swedavias tillståndsprocess och tillsyn av verksamheten som utförs av Länsstyrelsen.

Utdrag nedan ur bullerförordningen 6 och 7 §§ gäller buller från Arlanda flygplats (villkor för Stockholms kommun och Bromma inte inkluderade här):

6 § Buller från flygplatser bör inte överskrida 55 dBA FBN och 70 dBA maximal ljudnivå flygtrafik vid en bostadsbyggnads fasad.

7 § Om den ljudnivå om 70 dBA maximal ljudnivå flygtrafik som anges i 6 § första stycket ändå överskrids, bör nivån inte överskridas mer än

1. sexton gånger mellan kl. 06.00 och 22.00, och
2. tre gånger mellan kl. 22.00 och 06.00.

Förordningen har "angripits" från flera håll. Det resoneras att den tillkom under en regering med delvis splittrad politisk hållning till tillväxt och miljö och att detta kan ha bidragit till kompromisser som ledde till förordningens tvetydighet. Trafikbullerförordningen tillkom bland annat i syfte att skapa förutsättningar för att man skulle kunna bygga fler bostäder. Det var stor bostadsbrist och frågan dominerade politiken. Bullervärden hindrade byggande. Den nya förordningen innebar då att man måste acceptera mer buller än tidigare riktvärden. Mer buller kan ge motreaktioner som enligt uppgift ofta riktas mot Swedavia.

Det är flera myndigheter och instanser som är involverade när det gäller miljötillstånd, tillsyn och hur dessa utformas. Miljödomstolen handhar miljötillstånd och Länsstyrelsen är tillsynsmyndighet (i Stockholms län). Verksamhetsutövaren på flygplatsen är Swedavia. Transportstyrelsen är rådgivande som experter på internationella regelverk för flyg och flygbuller. Naturvårdsverket är rådgivande för grundläggande riktlinjer för buller vid bostäder. I miljöbalksprocesser förhandlar vanligtvis verksamhetsutövare, Swedavia, och tillsynsmyndigheten, Länsstyrelsen. När bullerförordningen kom så hoppades flera av dessa aktörer att det skulle bli entydigt för hur den skulle tolkas och tillämpas. Utformningen har visats sig ge utrymme för olika tolkningar. Myndigheter har utifrån sitt huvudsakliga uppdrag tolkat förordningen utifrån sina perspektiv.

Miljödomstolar utgår ifrån miljöbalken men det verkar inte alltid som att bullerförordningen tolkas entydigt med miljöbalken när det gäller flygbuller eller att den tillämpas strikt. Det är i bullerförordningen som riktvärdena anges. En förklaring till detta kan vara att myndigheterna historiskt inte var överens om bullerhändelser, riktlinjer och bullernivåer. I tidiga diskussioner så förekom olika förslag på vad som skulle beaktas som en bullerhändelse. Naturvårdsverket ska ha föreslagit max 60 dBA och drev sin linje i sin roll som en "grön" myndighet. Idag är en händelse då bullerexponering överskrider 70 dBA. Men det fanns även ett tredje förslag på 65 dBA som en kompromiss "mitt emellan". Logiken kan ifrågasättas i att lägga sig mellan två värden på en logaritmisk skala och kalla det för "mitten". Denna logik kan försvaras då "mitt" kan vara att data kring %HA (procent high annoyance), procent av utsatta som upplever en hög nivå av irritation visar att 5dB steg i detta bullerintervall ligger mitt emellan nivån för irritation (60dB 36%HA, 65dB 46%HA och 70dB 56%HA)(WHO, 2018). Denna härledning av en logik av "mitt" är inte bekräftad utan visar bara på en möjlig förklaring till en mitt.

I arbetet med trafikbullerförordningen (i samband med att tredje banan utreddes 1989) ansågs det rimligt att stå ut med i medeltal en bullerhändelse per timme, alltså 16 händelser dag/kväll från kl 6 till kl 22 över 70 dBAm_{ax}. Om det är mer anses det inte lämpligt att bygga en bostad där. Det som räknas

och redovisas är ett medelvärde över dygnet, och ibland över årsmedeldygnet. Det innebär det att händelser inte sker regelbundet utan det är tillåtet med fler händelser i rusningstrafik morgon och kväll. På natten får det dock högst förekomma tre bullerhändelser. Men ligger flygbullernivån under 70 dBA så räknas det inte som en bullerhändelse enligt bullerförordningen. Bullerhändelser rapporteras på årsbasis till tillsynsmyndigheten som är Länsstyrelsen.

Buller upplevs olika av olika individer. Människors värdering på vilket och hur mycket buller man kan stå ut med varierar. Vi kan störas olika mycket vid samma exponering. Just flygbuller upplevs som mer störande än buller från andra trafikslag och verksamheter (EC, 2002). Men oavsett var bullergränsen går så kvarstår en möjlighet till oenighet mellan modeller för mätning och utvärdering av flygbuller.

Värden som uppges i bullerförordningen, 55 dBA FBN och 70 dBA maximal ljudnivå är ekvivalenta värden. Det finns en vedertagen modell och standard för mått (bilaga 1). Vid tillsyn så utvärderas inte Swedavias verksamhet utifrån "faktiskt" eller uppmätt ljud. Men för den som störs finns möjligheten att mäta det faktiska ljud som pågår i realtid. Men då verksamheten i stort bedöms på årsbasis finns det därför inte möjlighet att bedöma överträdelser i realtid. För boende så är det inte heller helt logiskt att använda medeltal för bullerexponering, eftersom flera upprepade flygningar kan upplevas värre än någon enstaka överflygning utspritt på några nätter om året.

Det uppfattas från olika håll, boende, myndigheter och verksamheter, som att spelreglerna inte tolkas och följs lika, och det är som uppgjort för konflikt. Detta har bidragit till tvister och domstolsförhandlingar. Om Miljödomstolarna tolkar förordningen och miljöbalken så att buller inte får överstiga 70 dBA och sen tillämpar en säkerhetsmarginal som ligger på 65 dBA så tillämpar de en strängare tillämpning än Trafikverket och Länsstyrelsen.

Att det kan skilja dels i gränsvärdet som används och tillämpning av förordningen kan upplevas både frustrerande och godtyckligt. Detta skapar också osäkerhet för den enskilde att fall kan bero på vem som driver argumentation i förhandlingarna och vilken kompetens denne har. Att man bedömer olika i fall till fall kan bero på en skrivning som lyder: *Trots första stycket får förelägganden eller förbud beslutas om det med hänsyn till de boendes hälsa finns synnerliga skäl för det*. Det kan till exempel gälla för en riskgrupp av något medicinskt skäl. Men detta handlar också om rättvisa, rättssäkerhet och likabehandling av medborgare och organisationer. Det är förstäeligt att man hade hoppats på ett entydigt regelverk. Men det faktum att en del tycker att det är entydigt och andra inte innebär att det inte uppfattas vara det.

Att bullerförordningen inte fungerar entydigt kan säkert ha gjort Swedavia "förtvivlade" också, då detta i praktiken minskar influensområdet. Flygbuller oförändrat. I Swedavias miljötillstånd (allmänna villkoret 1) står att: "alla angivna värden som avser flygbuller ska vara beräknade värden, om inget annat anges, vid beräkning av flygbuller ska vid var tid fastställd bullerberäkningsmetod tillämpas, vilket för närvarande är den metod för flygbullerberäkning som fastställts i kvalitetssäkringsdokumentet".

Denna konstruktion ger fortsatt upphov till klagomål då ljudmätningar kan användas som argument för att Swedavia inte uppfyller tillståndskrav enligt villkor och bullerförordningen. Att beräkningsmodeller för buller och uppmätt ljud på marken inte är överensstämmande demonstreras när boende beskriver missnöje över antal faktiska överflygningar under ett dygn, och vilken ljudnivå som har uppmätts. När dessa mätningar inte korrelerar med riktvärden kan förtroende och tillit skadas och missförstånd kan leda till att störning och därmed problem med flygbuller ökar.

5.3.1 Beräkning av bullerkurvor och händelser

Alla modeller, även de som ligger till grund för bullerberäkningar av flygrörelser, är i grunden en representation av en verklighet som bygger på antaganden. Boende, myndigheter och verksamhet kan bli oeniga om beräkningsmodeller som används och därför ifrågasätta hur man mäter och vad som är avgörande kriterier för bedömningen och om flyget har överskridit förordningens gränser eller inte.

Metoden för att beräkna flygbuller är överenskommet mellan Transportstyrelsen, Naturvårdsverket och Försvarsmakten i ett uppdrag från regeringen. Det finns beskrivet i Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar (Regeringen, 2011) och är baserat på ECAC doc29. Dokumentet har som syfte att skapa enhetlig tillämpning av flygbullerberäkningar i Sverige. Beräkningar utgår väsentligt efter vilken flygplanstyp och motor det rör sig om.

ECACs modell räknar ut medelvärden baserat på en antagen höjd och hastighet. För turbulens från flygplansskrovet, inkluderas ett antagande att flaps och vingklaffar är helt utfällda (ECAC29). Två begrepp är centrala i modellen, ANP och NPD. ANP (Aircraft Noise and Performance database) är en internationellt vedertagen databas för buller och "performance-data" från flygplanstyper. Med performance avses höjd, gaspådrag och hastighet utmed flygsträckan. NPD (Noise-Power-Distance) är ett samband mellan avstånd, gaspådrag och buller.

Det anses viktigt att dessa bullerberäkningar alltid och fortsatt görs på samma sätt. Detta eftersom hela flygbullertillsynen, Riksintressepreciseringen utgår ifrån de beräknade värdena och deras överensstämmelse med riktlinjer och bullerförordningen. Beräkningsnoggrannheten beror av kvaliteten på indata, men för tillståndsprövning och tillsynsverksamhet är noggrannheten i beräkningen bedömd tillräcklig om det gemensamma kvalitetssäkringsdokumentet följs. Det man är ute efter är att kvalitetssäkra just entydigheten mellan bullerberäkning, riktlinjer och förordning.

I ett projekt SAFT (Tengzelius et al., 2019) så utvecklades ett alternativ för att simulera mer exakt ett flygplans bullerutbredning över tid, beroende på flygplanets konfiguration t.ex. var och när landningsställ fälls ut. I en jämförelse kunde man överlag validera att modellen baserad på ECAC29 överensstämmer, men av lite olika skäl. Modellen gör till exempel förenklade antaganden om konfiguration och hastighet. Men förenklarna tar delvis ut varandra. Modeller föreslås ta hänsyn till olika konfigurationer och variation i dominanta ljudkällor om man vill beräkna buller för inflygning.

Om en utveckling skulle göras där andra metoder blev standard, så skulle en ökad precision kunna minska missförstånd och tolkning av olika värden. I ECACs egna dokument beskrivs att det idag finns tillräcklig simuleringskapacitet för att använda mer avancerade metoder än förenklade beräkningsmodeller och nämner just att överenskommelse och kalibrering av värden och hur de ska användas i t.ex. bullerförordning, bullerkurvor, och tillståndstillsyn, är av politisk och pedagogisk karaktär. Man hävdar att det inte längre finns någon ursäkt vad gäller tid, datorkapacitet och kostnad för utveckling av simulatorer, men man drar ändå slutsatsen att: "Comparative assessments do not ask primarily for absolute accuracy but for consistency" (ECAC Doc 29).

En utveckling av nya beräkningsmodeller blir problematisk, nästan oavsett hur man gör. Om det utvecklades en transparent modell där varje faktiskt överflygning mäts och rapporteras så finns en risk att kraven på Swedavias verksamhet skulle öka. Man skulle behöva visa att bullret är oförändrat och vad som krävs för den verksamhet man har tillstånd för. Å andra sidan om den vara transparent genom att utgå ifrån den flygbullernivån som dagens lösning på flygverksamheten ger upphov till skulle acceptansnivån för flygbuller behöva justeras och en ny regim gälla. Här finns koppling till politisk och strategiska beslut som Swedavia har i uppdrag att uppfylla. Om tillgängligheten ska sätta ramar för buller eller om buller ska sätta ramar för tillgängligheten är det inte Swedavia som beslutar.

Att mätningar av ljudnivåer och bullerberäkningar jämförs är idag inte meningsfullt och kan skapa missförstånd och bidrar till onödiga meningsskiljaktigheter. Oavsett så är det ett problem förknippat med flygbuller. Om dessa missförstånd och meningsskiljaktigheter skulle minska skulle det kunna minska problem associerat med flygbuller.

5.4 Strategier för flyget – problem för flygbuller

I den svenska flygstrategin (Regeringen, 2017) definieras sju fokusområden: 1) Tillgänglighet inom Sverige och internationellt, 2) Stärk Arlanda som nav och storflygplats, 3) Flygets miljö- och klimatpåverkan ska minska. 4) Hög flygsäkerhet med målbaserade regelverk, 5) Rättvisa villkor och

sund konkurrens, 6) En forskningsstark och innovativ flygindustrination och 7) Ökad export av svenska varor och tjänster. Om klimatet nämns sägs (med referens till Naturvårdsverket) att flyget står för omkring två procent av de globala utsläppen av koldioxid, och den svenska inrikes luftfarten står för ca tre procent av utsläppen från inrikes transporter, vilket motsvarar en procent av de nationella utsläppen av växthusgaser totalt.

Rapporten lyfter fram flygets viktiga samhällsfunktion för tillgänglighet nationellt som internationellt, regional och bidrag regional tillväxt och utveckling, relationer och handel med omvärlden och vikten av att etablera verksamhet och industrinäring t.ex. ”den svenska flygbranschen och flygindustrin bidrar med omkring 90 000 arbetstillfällen och ca 75 miljarder kronor till svensk BNP. Därutöver bidrar flygtillgängligheten (turism, handel, investeringar m.m.) inom samt till och från Sverige med ytterligare omkring 100 000 arbetstillfällen och 80–100 miljarder kronor till svensk BNP”. (Regeringen, 2017)

Enligt strategin är målet att Arlanda ska bli Nordens ledande storflygplats med en hållbar utveckling. Arlandarådet tillsattes för att vara ett rådgivande organ, som skulle stötta regeringen att långsiktigt utveckla Arlanda flygplats utifrån ett trafikslagsövergripande helhetsperspektiv. Med trafikslagsövergripande menas att för att bli Nordens storflygplats så måste man också sörja för infrastruktur på marken, som transport till och från flygplatsen. Detta ledde till en Arlandautredningen som presenterades 2022 (Regeringskansliet, 2022) och innehåller en plan för utveckling och utökning av Arlanda flygplats som ska säkra tillräcklig flygkapacitet i Stockholmsområdet i framtiden. Systemet som involveras är allt ifrån flygplatsutformning, luftrumutformning, anslutande transporter och infrastruktur på marken för att resa till och från Arlanda, samt tillgång till andra flygplatser i Stockholmsregionen, nationellt och internationellt.

Vikten av att infrastruktur och kommunikation till och från Arlanda ska säkras och är en något som kommunerna driver aktivt. Detta visar hur länkad flygverksamhet är till andra samhällsstrukturer och funktioner. Till framtiden verkar man alltigenom positiv från kommunernas håll, då satsningar på Arlanda ger förutsättningar för deras expansion och tillväxt (Arlandaregionen, 2017). Arlandaregionens utveckling sker delvis i samverkan mellan grannkommuner till Arlanda flygplats. I en gemensam rapport beskrivs att ”Arlandaregionen är en av Sveriges mest expansiva regioner. Med sitt strategiska läge, mitt mellan Stockholm och Uppsala, och närheten till Stockholm Arlanda Airport är regionen attraktiv att bo, leva och arbeta i”.

Även om delar av utredningen utfördes innan Covid-19 pandemin som skapade ett totalstopp för flygtrafiken och framväxande av flygskam mattade flygandet så är det tydligt att man också efter pandemin planerar för ökad trafik. Återhämtningen för utrikesresor tros hämtat sig redan 2026 i prognosen. 2017 hade flygplatsen 26,6 miljoner och prognosen pekar mot 47 miljoner passagerare år 2040 och 54 miljoner passagerare år 2050.

Inför framtiden föreslås att ”Regeringen bör, för det fallet Swedavia ansöker om ett nytt miljötillstånd för verksamheten vid Arlanda flygplats, förbehålla sig rätten att pröva tillåtligheten för verksamheten. Arlanda flygplats har en särställning i det svenska flygplatssystemet och är av nationellt intresse”. Detta innebär att det är regeringen som tar ställning till om verksamheten kan tillåtas eller inte.

Det skäl som anges är att ”endast regeringen kan åstadkomma en allsidig prövning med en sammanvägning av bland annat miljöskyddsmässiga, arbetsmarknadspolitiska och regionalpolitiska synpunkter”. I detta sammanhang låter detta likt en omfattande problemformulering och rik bild.

Luftrum 2040 var en förstudie som rapporterades 2017 och utfördes, gemensamt, av FMV, Försvarsmakten, LFV, Swedavia och Trafikverket. Det undersöker det svenska luftrumets kapacitet fram till 2040. För att planera för en optimal utformning av luftrummet så beaktas flygtrafikens omfattning, miljökrav, det säkerhetspolitiska läget och introduktionen av nya farkoster. Man beskriver att det svenska luftrummet idag är utdaterat och utformat för när SAS flög DC-9 och flygvapnet flög Viggen. Man antar att antalet flygrörelser i luftrummet kommer att öka fram till 2040 och bristerna som

identifierats kräver en större förändring för att klara framtidens flyg. Man nämner att regeringens flygstrategi med ett Arlandaråd och ser behov av samordning eftersom detta även är tänkt att befatta sig med luftrummet. Intressant är också att de medvetandegör redan i denna kravspecifiering att mycket handlar om möjlighet för att realisera åtgärder. Dessa ska göras inom ramarna för villkoren i de miljötillstånd som Swedavia har samt att nå uppsatta miljömål för LFV och Swedavia.

Sammanfattningsvis av strategier och prognoser så kommer flygtrafiken att öka, Arlanda ska utvecklas och expandera, Luftrummet ska genomgå stora förändringar för att klara kapacitet i framtiden, infrastruktur och transporter till och från flygplatsen ska utvecklas och detta kommer tillåta regionen att växa och främja kommunernas tillväxt. Ingen analys av önskade konsekvenser av externaliteter som flygbuller görs.

5.4.1 Flygbuller inte ett uttalat problem

Dokumentet och rapporterna om framtidens flyg uttrycker tillgänglighet som dominerande mål och klimat tycks ha prioritet över säkerhet, miljö och hälsa (även om man förväntas beakta dessa samtidigt).

I Luftrum 2040 nämns flygbuller i förordet då man påminner om att på DC-9:ans tid var buller den enda externaliteten från flyg som uppmärksammades. I övrigt så nämns ramarna vara Swedavias miljötillstånd och där ingår de lagstadgade villkoren för buller. I övrigt är problemformuleringen att klara kapaciteten med ökad trafik och nya inslag av t.ex. drönare.

Arlandaregionens rapport nämner också bara buller en gång när man beskriver hur Stockholm Arlanda Airport ligger i framkant med hållbarhetsarbetet och arbetar ”bl.a. med bullerreducering samt för att minska klimatpåverkande utsläpp”.

I flygstrategin nämns flygbuller en gång i rapporten i en uppräkningslista av andra lokala miljöaspekter än utsläpp i förhållande till klimatet. ”Flygets miljöpåverkan omfattar även bl.a. buller, föroreningar till luft, mark och vatten samt påverkan på den biologiska mångfalden”.

Regeringen planerar i sin utredning för framtidens flygindustri för tillväxt och expansion av Arlanda. Buller nämns tre gånger i denna utredning. Då det väl nämns, används det som ett positivt argument till att stänga Bromma flygplats, eftersom flygbullret över bostadsområden runt Bromma kommer att försvinna. Det vill säga flygbuller är ett problem, men kan flytta till Arlanda. Andra gången det nämns är det i ett positivt argument att flygindustrin producerar tystare flygplan med mindre bullriga motorer ”Framtida flygplan kommer ha både annan och lägre bränsleförbrukning, lägre utsläpp av kväveoxider och minskat buller i jämförelse med flygplan som produceras idag”. Tredje gången refereras till Riskintressepreciseringen och utredaren sammanfattar: ”Jag kan konstatera att den senaste preciseringen visar på att påverkansområdet avseende flygbuller minskat betydligt på grund av lägre flygbuller hos nya och framtida flygplan”. Det vill säga problem med flygbuller antas minska, men ingen diskussion görs om vad på flygplanen som blir tystare och vad det har för effekt för t.ex. inflygning.

Denna avsaknad av problematisering av buller tyder på att buller inte anses vara ett problem i framtiden för flyget i Sverige. Idag är bullerproblematiken därmed långt ifrån framträdande i den rådande regimens strategiska dokument.

5.5 Dilemman och infrasystemets dubbla mål och ansvar

Baserat på trafikbullerförordningen, framtidsvisioner och riksintresseprecisering så är de styrande ramarna satta för flyget och byggande. Samtidigt ska kommuner och myndigheter bidra till egna och övergripande nationella mål som de transportpolitiska målen och klimatmål. De transportpolitiska målen uttrycks i termer av både ett funktionsmål som handlar om att skapa tillgänglighet för resor och transporter och hänsynsmålet som handlar om säkerhet, miljö och hälsa.

Kommunen har en dubbel målsättning att skapa förutsättningar för god hälsa och miljö för invånarna, däribland minskat buller och klimatpåverkande faktorer och samtidigt tillgodose regional och

kommunal tillväxt genom expansion och utveckling av kommunikationer och bostäder. Tillgänglighet måste tillgodoses till och från arbete och till och från hemmet. Kommunens miljökontor vill begränsa flygbullret och utsläpp från transporter. Kommunens plankontor vill expandera byggande mot kommungränsen.

Det ser liknande ut för Trafikverket som har olika måldirektörer för dessa mål för å ena sidan tillgänglighet och å andra sidan klimat och miljö.

Prioriteringar inom dessa områden visar på ett tudelat system med en mångfald av behov och förväntningar med tydliga målkonflikter. Detta leder också till oönskade konsekvenser och följd effekter för främst boende och flygverksamheter.

Inflätat i detta finns ett antal dilemman, som har kausala samband, vilket gör att om det ena, så det andra. Ett dilemma har ingen optimal lösning, utan en aspekts fördel innebär direkt en annan aspekts nackdel. Flygbuller finns så länge vi flyger där människor bor. Bostadsbyggande kräver utrymme vilket innebär att grannkommuner till Arlanda flygplats behöver bygga närmare Arlanda, vilket minskar influensområden, vilket försvårar för Swedavias möjligheter att expandera flygplatsen, samtidigt kan det innebära att nyinflyttade utsätts för buller. Detta kan leda till att grannar som störs slår tillbaka mot Swedavia, som agerar efter sitt tillstånd, vilket bestrids och leder till konflikt mellan medborgare eller kommuners miljökontor och så vidare.

Flera exempel som visar på samband vars prioritet kan bero på olika problemformuleringar:

- Flyg och bostäder/ boende – Vi flyger till storstadsregioner där det bor mycket människor, så egentligen är det tillräckligt för att förstå att ju mer människor desto mer problem med flygbuller, ju mer flyg desto mer flygbuller. Beroende på hur vi kan reducera flygbuller genom isolering, öka avstånd så har vi ett svårlöst samhällsproblem och dilemma
- Flyg och utsläpp – Dilemma. Ökat flyg ökar bränsleförbrukning och utsläpp.
- Global och lokal externalitet – Dilemma - en ständig konflikt mellan att prioritera det som är bra för alla med det som är dåligt för några få. Klimatomställningar kan komma att leda till fler dilemman av detta slag i de samhällsutmaningar vi står inför. En uppfattning är dessutom att buller är ofarligt, vilket kan minska intresse för frågan.
- Flyg och buller – Dilemma - direkt samband. Att flyga låter. Tyst flyg kan betraktas som en oxymoron.
- Fossilfritt flyg och buller – Dilemma -direkt samband. Att flyga låter, elflyg, vätgas, flyg med biobränsle låter också. En möjlig missuppfattning är också att fossilfritt flyg betyder elflyg och att elflyg är tyst. Att flyga låter.
- Fossilfritt flyg och utsläpp - Inte alltid dilemma - givet att flyget är fossilfritt, men biobränsle kan släppa ut annat lokalt och höghöjdseffekter på klimat är inte helt klarlagt än.
- Flyg och säkerhet – Inte alltid dilemma – Utmaning - Säkerhet är en utmaning i utveckling och innovation av komplexa system och säkerhet kan bidra med att omställning tar längre tid.
- Flygbuller och säkerhet – Inte alltid dilemma – Utmaning - Om utveckling krävs för kapacitet eller klimat så kommer säkerhet fortsatt att vara flygets högsta prioritet. Det som driver flygets utveckling är kostnad och klimat och när de samverkar kan kapacitet öka och då ökar flygbuller. Problem med flygbuller ökar inte nödvändigtvis.

Några exempel på samband med resonemang mellan drivkrafter för utveckling och möjlig påverkan på flygbuller och problem med flygbuller:

Problem: Bränslekostnad

- Lösning: → kortare flygväg → mindre bränsle → kav på RNP-AR → minskat utsläpp → minskat flygbuller över tätorter man kan undvika → buller flyttas → färre utsätts → nya får buller

Problem: Bränslekostnad

- Lösning → sjunka utan trappvisa pådrag (CDA) → minskat utsläpp → minskat flygbuller vid inflygning → minskat problem med buller

Problem: Klimat

- Lösning: Klimatomställning flyget → fossilfria transporter → minskade CO₂ utsläpp → ökad trafik (ingen skam?) → krav på utvidgning eller kapacitet → tillgänglighet → tillväxt → boende → ökat problem med flygbuller som t.ex:
 - Boende störs och får risk för hälsoeffekter
 - Kommuners miljöansvar för boende agerar
 - Swedavia får klagomål vilket kan leda till tvister
 - Naturvårdsverket, Länsstyrelsen, Miljöödomstol, Trafikverket – brist på entydighet i regelverk engagerar flera parter

Problem: Tillväxt

- Lösning: Transport → tillgänglighet → tillväxt → boende → problem med flygbuller →
 - Boende störs och får risk för hälsoeffekter
 - Kommuners miljöansvar för boende
 - Swedavia får klagomål vilket kan leda till tvister
 - Naturvårdsverket, Länsstyrelsen, Miljöödomstol, Trafikverket – brist på entydighet i regelverk engagerar flera parter

Det framgår allt mer att det saknas en uppenbar lösning på flygbuller och problem med flygbuller. Oavsett lösning så kommer det behöva involvera ett stort antal aktörer och ett stort antal komponenter och systemnivåer. Det finns dessutom ett antal andra problem inom transport och samhälle med lösningar som har visat sig få oönskade konsekvenser på flygbuller och ökat problem med flygbuller. Detta borde öka ett antal aktörers intresse att internalisera flygbuller med en mer omfattande systemanalys och problemformulering. En fortsatt ofullständig problemformulering kan fortsatt leda till att verksamheter begränsas eller att tillståndsprocesser och juridiska processer tar mycket tid och resurser. I förlängningen kan detta bidra till att minska förutsättningar för en hållbar utveckling av flyget. Beslutsfattare på strateginivå kan behöva tydliggöra prioriteringar de gjort för att bättre skydda verksamhetsutövare som trots att de följer lagen anklagas för "hänsynslös verksamhet".

5.6 Flygbuller formulerat som ett "wicked problem"

Efter att ha vänt och vridit på systemet och undersökt ett antal problemformuleringar och dilemman framstår det som att det inte finns någon optimal lösning på flygbuller. Problem med flygbuller är väldigt svårlöst. Ett sista begrepp som används i denna studie är därför *wicked problem* (Rittel and Webber, 1973), som är ett begrepp som på svenska används för svårlösliga samhällsproblem (Jordan et al., 2010).

Forskningen inom detta fält försöker besvara ett antal frågor: Vad är det som gör komplexa samhällsfrågor så svåra att lösa? Varför är vi inte bättre på att hantera dem? Vad behöver vi för att bli bättre för att våra strategier ska bli mer effektiva? Vad behöver vi egentligen göra? (ibid.)

Ett svar skulle kunna vara att det uppfattas som att vissa delar av systemet inte verkar lösa eller hantera vad andra uppfattar som akuta problem. Eller så finns det verkligen goda avsikter från en part men lösningar får ändå, oavsiktligt, oönskade konsekvenser för en annan. I termer av denna forskning så kan det bero på ofullständig problemformulering och avsaknad av en "rik bild". Komplexa sociala problem är inte bara svårlösliga, de är också mer utmanande att analysera, vilket kan resultera i att om man löser problemet som man brukar så är problemet otillräckligt genomlyst och enbart formulerat efter det egna eller ett fåtal perspektiv (Moorman & Miner, 1998).

Presentationen av en uppsättning identifierade dilemman och oönskade konsekvenser representerar oförenliga världsbilder och djup oenighet om värderingar. Det finns ett samlat namn för svårlösliga samhällsproblem, *wicked* problem. Rittel och Webber's 1973 formulerade 10 dilemman som specificerar ett wicked problem inom planering (Rittel and Webber, 1973):

1. Ett wicked problem går inte definitivt att formulera
2. Wicked problem har inga stoppregler
3. Lösningar på wicked problem är inte sanna eller falska, utan bättre eller sämre.
4. Det går inte direkt och slutgiltigt testa en lösning på ett wicked problem.
5. Man får bara en chans för varje lösning på ett wicked problem, det finns inte möjlighet att testa sig fram, varje försök är avgörande.
6. Wicked problem har ingen lista över (alla) alternativa lösningar och det finns inte heller en lista definierade tillåtna förslag som kan ingå i en plan.
7. Varje wicked problem är i huvudsak unikt
8. Varje wicked problem kan anses vara ett symptom på ett annat problem
9. Då ett wicked problem representeras av att det saknas samband mellan teori och praktik så kan detta förklaras på flera sätt. Förklaringsmodell är avgörande för problemets lösning.
10. Systemplanerare har ingen rätt att ha fel (ansvariga för konsekvenserna av sina handlingar)

Problem som är *wicked* är av en sådan natur att de är svåra att generalisera, men de har ett antal generella karakteristiska drag eller egenskaper. Samtliga punkter har belysts i detta arbete, vilket indikerar att problem med flygbuller är *wicked*. I tabellen nedan ges en liknande lista förutsättningar, förklaring och exempel från projektets problemanalys (tabell 4).

Tabell 4. Analys av bullerproblematiken utifrån wicked problem, efter Rittel and Webber (1973):

Förutsättning	Förklaring	Exempel från nätverk av problem med flygbuller
1. En unik problemformulering saknas	Flera intressenter och aktörer har flera perspektiv på problemet, vilket resulterar i en otydlighet av problemets natur.	Olika nätverk av problem ryms i problemrymden associerad till flygbuller. Ett nätverk associeras till flygbuller, störning och hälsorisker, ett annat associeras till utveckling och innovation och ett tredje associeras till regler och strategier.
2. Mållkonflikter	Framgång och resultat bedöms i termer av objektiva mål, vilket resulterar i att otydlighet kring vad som är ett önskat resultat.	Dilemman och dubbla mål och ansvar påverkar prioritering inom transportpolitiska mål, som tillgänglighet, och hänsyn. Verksamhetens uppdrag med givna tillstånd kan bedömas olika av olika myndigheter och aktörer.

3. Motstridiga värderingar	Värderingar avgör med avseende på vilka kriterier framgång ska utvärderas, vilket resulterar i att otydlighet kring vad som är ett önskat resultat.	Vilken metod, modell eller verktyg som används ger olika resultat. Ska förordningen eller metod ändras eller ska de bullernivåer som uppmäts i praktiken tillåtas vara högre. Medelvärde på icke-akustiska faktorer ifrågasätts. Ska tillgänglighet begränsa buller eller ska buller begränsa tillgänglighet.
4. Dynamisk situation eller kontext	Statiska lösningar fungerar inte i en dynamisk kontext, där förutsättningar ändras.	Arlanda etablerades långt innan trafik och bebyggelse nådde dagens omfattning. Boendet nära Arlanda ökar, men Arlanda ligger kvar. Bana tre är statisk och lösningen utformad efter rådande förutsättningar. Förutsättningarna ändrades men bana tre ligger kvar.
5. Vetenskaplig komplexitet och osäkerhet	Osäker eller ofullständig kunskap leder till otillräckligt underlag för informerade beslut.	Ljud och buller fysiskt och psykologiskt komplext fenomen, med individuella värderingar. Mycket teknisk forskning fokuserar på flygteknik och flygtrafikledning. Annan teknisk forskning riskerar att marginaliseras då man inte studerat dellösningar i en större helhet, vilket resulterar i osäkerhet om dellösningars påverkan. Relativt liten övrig forskning om sociala problem och socioteknisk realisering av tekniska lösningar.
6. Politisk komplexitet och osäkerhet	Tvetydighet i politiska koalitioner och inflytande resulterar i otydlighet i vilka värderingar som dominerar och vinner.	Strategiska beslut pekar på olika värderingar som är tudelade i förhållande till problem som fått oönskade konsekvenser på buller. Prioriteringar mellan klimat och tillväxt och miljö och tillgänglighet märks i strategidokument och rapporter.
7. Administrativ komplexitet och osäkerhet	Tvetydighet om till exempel budget eller i processers kontinuitet resulterar i otillräcklig implementation eller tillämpning.	Om problemområdet internaliserar buller ökar komplexitet och osäkerhet i varje beslut som tas. Det finns dessutom en risk att oavsett beslut får det troligtvis negativ påverkan på någon del av systemet. Stora tekniska system och system av system har en utmaning i att fördela ansvar och resurser då det saknas ledning som tar ansvar för hela utvecklingen man driver.
8. Flera olika taktiker används för att adressera problemet	Otydlighet om mål och kriterier resulterar i otydlighet om hur man ska komma vidare.	Så länge flygets och samhällsplanering drivs från olika håll av olika aktörer och inte ett samlat grepp tas så kan även goda initiativ på att komma vidare få oönskade konsekvenser och många initiativ fördröjs och kanske aldrig realiserar.
9. Flera olika intressenter och aktörer som har inflytande på rådande värderingar.	Flertalet intressenter med flertalet värderingar och olika inflytande bidrar till olika definitioner på lyckat utfall.	Detta kopplar till flera exempel också i punkt 3 och 4 Givet det stora antal aktörer som gemensamt bidrar till flygbuller och problem med flygbuller utifrån sina egna mål och drivkrafter uppstår dilemman och prioriteringar med negativa konsekvenser för flygbuller.

6 Flygets omvandling och hållbar utveckling

Sammanfattningsvis så finns det ett antal dilemman. Dessa är inbyggda i ett delvis på förhand tudelat system av målkonflikter. Ny teknik och nya lösningar kan vara nödvändiga för omfattande utveckling eller omställning av flygets stora tekniska system, men det är aldrig tillräckligt att tekniken finns för att realisera ens en eftersträvd förändring. För detta krävs att den rådande "systemregimen" också ändras på en eller flera områden.

Det finns ytterligare en modell som delvis kombinerar modeller om sociotekniska systems dynamik och stora tekniska system och förklarar infrasytems omställning (dynamik) med teknisk innovation. Idag studeras hur klimatomställning kan ske i olika sektorer som transport och energi. Denna modell kan ge kunskap om hur man kan öka förutsättningarna för att lyckas med teknikinnovation och produktutveckling som främjar en hållbar omställning. Modellen kallas Multi-Level Perspective (MLP)(Geels, 2004). Modellen består av tre nivåer: mikro, meso och makro (figur 9).

- **Makronivån** kallas det sociotekniska landskapet och definieras som systemets omvärldsmiljö. Landskapsnivån ligger utanför direkt inflytande från systemets intressenter, men stimulerar och utövar press på såväl intressenterna som systemet som helhet. På landskapsnivån speglas den generella samhällsutvecklingen, ofta enligt djupt liggande kulturella mönster och politisk logik.
- **Mikronivån** kallas nischnivån och här sker teknik- och kunskapsutveckling av olika innovatörer. Det är på denna nivå som potentiellt radikala innovationer kan uppstå som - om de får genomslag - kan förändra systemet. Nischer beskrivs som en skyddad miljö utan vanlig konkurrens, för att undvika att bra idéer slås ut tidigt innan verkshöjd eller kritisk massa har uppnåtts.
- **Mesonivån**, mellan de andra, består av den sociotekniska regimen. Denna regimen tenderar att stabilisera rådande regimen. Det kan uppfattas som att regimen "försvarar" existerande systemet. Detta motsvarar stora tekniska system och det momentum som infinner sig i fas tre i etablerade infrasytems utveckling.

Förutsättningar för innovation skapas genom att den etablerade regimen förändras och anpassas efter delvis nya spelregler. Enligt MLP initieras denna förändring genom att tryck utövas från två håll, från makro och mikro nivån, tillsammans skapar en spricka i olika delar av regimen på mesonivå. Med erforderligt landskapstryck och uppvisande av teknisk potential så kan regimen öppna upp för en omställning. Detta följs kanske av ett omfattande teknikskifte som innebär utveckling av system av system vilket kräver stora samlade resurser för att anpassa andra delar av regimen för den nya tekniken. Detta gäller även andra delar av regimen än de tekniska komponenterna och infrastruktur. Alltifrån myndigheters kultur, tjänstemäns kompetens på området, nya modeller och verktyg för beslut, nya lagar och tillstånd till anpassning av befintlig infrastruktur.

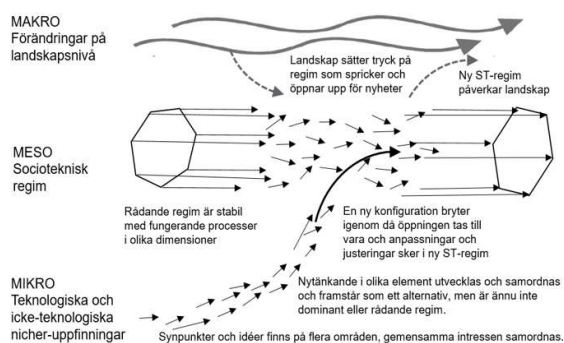


Figure 9. Modellen MLP om innovation och omställning av t.ex. infrasytem (källa fig 3.1 i Ulfvengren et al., 2019, och efter Geels, 2004).

6.1 Landskapsnivå – nationella mål

ICAO har satt ett mål för flyget att vara ”net-zero by 2050”. Man tänker sig en fördelning mellan elflyg och vätgas (13%), biobränslen(SAF) (65%), rakare och kortare flygvägar (3%) för att klara att ställa om flygindustrin. De 19 kvarstående procenten är tänkt att låna av andra industrier som kommer ha negativa utsläpp (offset och carbon capture). 2016 införde ICAO ett globalt styrmedel för koldioxidutsläpp för flygtrafik, vilket anges ska vara obligatoriskt från 2027. Tidigare i rapporten nämndes riktlinjer för ”Balanced approach” och EUs ”green deal”.

På landskapsnivå drivs utveckling idag främst av klimat och tillväxt. Inte sällan ska en myndighet hantera dessa mål samtidigt. De transportpolitiska målen syftar samtidigt till tillgänglighet (transportsystems funktion) och säkerhet, hälsa och miljö (hänsynsramar för funktion). I de strategiska dokumenten och planerna dominerar klimat inom hänsynsmålet.

Mål och trender på landskapsnivå kan antingen förstärka den rådande regimen eller pressa den mot omställning. Flera mål som samverkar kan gemensamt utöva press på regimen. Regimen prioriterar lättast landskapstryck som ligger i linje med dess momentum och egna verksamhetsmål (Geels, 2004). När enighet råder så förstärks regler, policyer och utveckling i linje med landskapet. Om regimen pressas i en ny riktning så ifrågasätts kanske regler, policyer istället. Nationella mål för tillgänglighet är i linje med flygets utveckling. Omställning till fossilfritt flyg får gehör så länge de inte stör tillgänglighetsmålen. Flygbuller, däremot, kan försvåra att nå tillgänglighetsmålen, vilket gör det mindre prioriterat. Det saknas ett brett samhällsstöd för buller på landskapsnivå och nischer för bullerreducerande forskning kan få mycket svårt att ta sig in i regimen utan att stöd för utveckling inom denna finns.

6.2 Nischer för forskning och utveckling

Landskapet och nationella mål samverkar också med mikronivån, med nischer av forskning och utveckling utanför regimen. Exempel på nischer kan vara ett forskningsprogram, en inkubator, ett demonstrationsprojekt eller ett statligt utvecklingsprogram, inom vilket idéer och kunskap kan utvecklas och prövas under en period utan att utsättas för de befintliga marknadskrafterna (Geels, 2004).

Inom regimen finns de aktörer som tydligt har uppdrag att uppfylla nationella mål som t.ex. Swedavia, LfV och TRV. Det finns mål på landskapsnivå som ger stöd för forskning som ligger i linje med dessa verksamheter och i linje med prioritering man gör i förhållande till tillgänglighet och hänsynsmål. Det finns också forskningsportföljer inom andra myndigheter som VINNOVA och Energimyndigheten som också är linje med verksamheter, industri och nationella mål. Forskning som ligger i linje med den rådande regimen förväntningar och problemformulering, gör denna forskning efterfrågad och i någon mån kan den vara mer användbar då den överensstämmer med hur systemet redan fungerar. Den forskning som kan jobba mot båda målen kring transport och klimat och erbjuder lösningar som t.ex. fossilfritt flyg som bidrar till bibehållen eller ökad kapacitet är förmånlig för regimen.

Poängen är att en nisch som ligger utanför regimen, utan direkt efterfrågan i regimen har svårt att ta sig in. När det gäller teknisk utveckling har exempel visat på utmaningar för flyget att utveckla och implementera nya lösningar beroende på egenskaper hos komplexa tekniska system av system. Men nischer kan också ha svårt att ta sig in om de inte ligger i linje med regimen eller får stöd på landskapsnivå.

6.3 En nisch dedikerad åt att minska flygbuller och problem med flygbuller

När det gäller forskning på flygbuller så har traditionell flygforskning haft fokus på flygteknik, inklusive militärt flyg och flygtrafikledning (TRV, 2017:081). I denna forskning finns fokus på att utveckla tystare motorer och flygtrafikledning för kurvad inflygning vars positiva effekter på problem med flygbuller har diskuterats i kapitel 3 och 4.

En satsning på forskning med fokus på flygbuller gjordes i samband med etableringen av KTH centrum för hållbar luftfart (CSA, centre for sustainable aviation) som invigdes 2015. KTH CSA regleras genom ett avtal med TRV där inriktningen på forskning anges. Forskning initieras genom öppna och nationella utlysningar, som TRV finansierar som en del av sin Luftfartsportfölj. Syftet med centrumet är att initiera och bidra till att utveckla forskning kring styrning och drift av luftfarten med hänsyn till miljön, men särskilt buller. KTH CSA har i uppdrag att främja forskning som avser tre fokusområden som påverkar flygbuller och problem med flygbuller:

1. Ljudutbredning runt flygplatser samt påverkan på människa.
2. Flygtrafikledning och flygbanor med minimala emissioner.
3. Flygtransport ur ett systemperspektiv

Detta är ett exempel på en nisch som i stort ligger utanför rådande regim. Projekten representerar alternativa förslag på bullerreducerande lösningar och koncept som kan minska problem med flygbuller genom ökad förståelse för mätning och beräkning. INFRA ingår i den tredje kategorin genom att problemformulering och systemanalys. Inom wicked problem beskrivs också metoder för hantering av komplexa samhällsproblem som ett utvecklingsområde. Här följer en kort översikt som exempel på ett antal andra projekt som genomförts.

BRANTARE (KTH CSA, 2022) handlade om de flygoperationella aspekterna och effekterna av inflygning med glidbanevinklar något större, brantare, än vad som normalt används. Att tillämpa en större glidbanevinkel minskar i teorin bullerpåverkan från ankommande flygplan genom att avståndet mellan bullerkällan och det störda området på marken ökar. BRANTARE undersökte konsekvenserna av vad ett förändrat sätt att flyga skulle kunna medföra i form av nya mönster av bullerspridning vid inflygning. Studien resulterade i att piloterna skulle komma att fälla ut både landningsställ och det sista steget klaff (vingklaff) på en högre höjd vid en brantare inflygning än vid en 3-graders glidbanevinkel. På grund av den brantare glidbanevinkeln skulle detta också ske närmare flygplatsen än för inflygningar med 3,0 graders glidbanevinkel. Detta skulle reducera bullerexponering.

Projekt ERAS (Evaluation of Realistic Approach Scenarios) (KTH CSA, 2022) studerade vidare hur nuvarande flygoperativ praxis skiljer sig från de teoretiska modeller för flygoperationellt beteende som används som grund för bullerberäkning.

Projekt SAFT (simulation of atmosphere and air traffic for a quieter environment) (KTH CSA, 2022) utvecklade ett program som simulerar bullerspridning från flygplan. SAFT simulerar buller med hänsyn tagen till både atmosfäriska data samt riktningskänslighet och olika frekvensområden. Det ger ett mer realistiskt och precist sätt än de metoderna för bullerberäkning som tillämpas idag. SAFT speglar mer av verkligheten av bullerkällan under inflygning och bullerexponering på marken. Förutom att ge en mer samstämmig bild av uppmätta och beräknade värden kan SAFT användas för simulering av buller vid framtagande av nya inflygningsprocedurer och effekterna av ny teknik.

Projekt CIDER (KTH CSA, 2022) är ett försök att förfina SAFT modellen, både genom användande av empiriska modeller för motorbuller samt att använda bullermätningar. Fokus är på motorbuller, men även i viss utsträckning buller genererat från flygplanets övriga delar.

OPNOP (Operational Noise Optimization) (KTH CSA, 2022) syftade till att öka kunskapen kring hur olika bullergenererande källor på landande flygplan påverkar buller under inflygning. I projektet analyserades data från färdskrivare ombord på flygplan jämfördes med bullermätningar på marken. OPNOP belyser att bullersimuleringarna inte alltid överensstämmer med faktiska bullermätningar.

Projekt ULLA (undersökningar medelst ljudmätningar vid landning på Arlanda) (KTH CSA, 2022) mäter flygljud i anslutning till Arlandas inflygningsrutter. Detta i syfte att undersöka om olika meteorologiska förhållanden och flygoperativa handhavande av flygplan kan minska bullerstörningar vid landning. Projektet länkar till andra OPNOP och ANT (Approach Noise Trials) (KTH CSA, 2022).

Projektet ODESTA (KTH CSA, 2022) studerar emissioner och syftar till att optimera bränsleförbrukning och buller. Projektet är orienterat mot flygtrafikledningssystem och avser ta fram matematiska simuleringsmodeller. TREVOL (KTH CSA, 2022) påminner om ODESTA genom att ta fram en modell för emissioner under flygning. Denna kan även värderas mot bullersimulering i SAFT verktyget.

Sammanfattningsvis så har projekten genom KTH CSA bidragit med att minska osäkerheten om ett antal bullerrelaterade frågor och kan fungera som beslutsunderlag för vidare utveckling och implementering av lösningsalternativ. ERAS, BRANTARE och OPNOP svarar mot vad som är flygoperativt möjligt. SAFT och CIDER kan minska osäkerhet kring vad som anges vid bullermodelleringar och vad som är en mer realistisk bullerexponering om man inkluderar en mer dynamisk kontext. Detta överlappar också undersökningar med bullermätning på marken i ULLA, ANT och OPNOP där man dels kan jämföra både modellering och simulering av buller men också få bättre förståelse för hur konfigureringsförändringar på flygplanet påverkar bullerbilden. ODESTA och TREVOL bidrar med kunskap som minskar osäkerhet kring hur buller och emissioner kan optimeras.

6.4 Ljudet av en hållbar omställning av flyget

Det finns på sikt stora vinster för miljö och hälsa om man fokuserar på klimatfrågan inom flyget, men flygbuller har inte i praktiken en garanterad positiv korrelation till klimatomställning inom flyg. Det finns dock exempel på ”win-win” utveckling som kurvade inflygningar.

6.4.1 Exempel på en ofullständig problemformulering?

Flygindustrin genomgår en hållbar omställning. Elektrifiering och nya bränslen är dominerande i denna omställning. LFV konstaterar i en studie om Luftrum 2040 (TRV, 2017) att befintliga flygplanstyper kommer ersättas av mindre hybrid- och elflygplan. Man konstaterar att dessa eventuellt kan orsaka mindre buller. En förhoppning är att kunna bibehålla eller öka tillgänglighet och kapacitet med fossilfritt flyg. Kunder kan slippa flygskam för internethandel och fritidsresor om transporten blir hållbar i klimathänseende. Detta kan få flyget att återhämta sig och öka.

Det faktum att vi kommer att flyga lika mycket eller mer gör att problem med flygbuller kommer att öka. Medan omställningen innebär att utsläpp (CO₂, NO_x...) minskar så finns det ingen garanterad positiv korrelation mellan bränsle och flygbuller. Om man tänker att elflyg är tysta flygplan så kanske man har en mental bild som kommer från att elbilar är tysta. Men även en elbil låter mer än andra bilar, av samma storlek, i högre hastigheter, då de är tyngda av batterier.

Det finns indikation på att problem med flygbuller till och med kan öka med elflygplan. En flygmotor kan drivas av el men ändå ha propeller eller turbiner för att skapa dragkraft. Detta innebär att bullret från flygplan inte nödvändigtvis reduceras med elektrifierade flygplan (CAA, 2019). Såsom redan har nämnts så kan bullerexponering vara mer framträdande under inflygning och landning. Under inflygning och landning kan flygplanskroppens ”bromsar” bidra med lika mycket ljud som motorn. Detta kommer antagligen gälla även för elflygplan. Ju tyngre flygplanet är desto mer låter det mer då mer lyftkraft behövs och det låter även mer vid bromsning vid inflygning och landning. Elflyg kan komma att vara relativt tyngre än traditionella flygplan i samma storlek, precis som bilar, men flygets vikt reduceras markant under färd då bränslet förbrukas, vilket inte sker med batterier. Dessutom kan antal flygrörelser förväntas öka eftersom bibehållen kapacitet kommer innebära att samma mängd passagerare måste fördelas på fler flygplan, då elflygplan är mindre (10-20 passagerare) (CAA, 2019). Det råder fortfarande osäkerhet om hur hela den fossilfria flygflottan kommer att se ut. Det är det osäkert hur nya modellers aerodynamik kommer att vara (vingprofiler och kropp). Problem med flygbuller kan öka då man kan behöva kompensera för minskad kapacitet då elflyg är mindre och då kan få ökad frekvens på start och landning.

Men fossilfritt flyg är långt ifrån synonymt med elflyg. Den totala elflygsflottan förväntas bli mindre än 10% av världens flyg, så det kommer fortsatt att flyga traditionella flygplan, även om de blir fossilfria med biobränsle och vätgas. ICAOs har satt ett mål att flyget ska vara ”net-zero by 2050”. Man tänker sig

en fördelning mellan elflyg och vätgas (13%), biobränslen(SAF) (65%), rakare och kortare flygvägar (3%) för att klara att ställa om flygindustrin. De 19 kvarstående procenten är tänkt att låna av andra industrier som kommer ha negativa utsläpp (offset och carbon capture).

I luftrum 2024 nämns också en förväntad ökning av obemannade farkoster, drönare, som kommer att påverka svenskt luftrum. Här preciseras dock inte om man också tar med drönare med passagerare som förväntas införas (IBG, 2022), inte heller hur deras bullerutbredning förväntas bidra till bullernivåer i tätorter. Drönare med vertikal start och landning behöver inte flyga till och från flygplatser, utan kan flyga från plats till plats. Detta kan komma att påverka boendes omgivning. I ett projekt som startade 2023 APIS (Orrenius et al., 2022) utvecklas beslutsstöd för att utvärdera bullerutbredning inför implementering av större drönare i tätorter. Projektet utvecklar SAFT-verktyget och INFRA systemanalys vidare.

Man anger inte i Riskintressepreciseringen om man tänker sig att flyget i stort kommer att öka eller om framtidens flygplan kommer att bli större och tystare, eller kanske viktigare hur nettobuller med ny flotta och trafik förväntas bli. I framtiden kan det med andra ord vara missvisande om man gör en förenklad problemformulering och räknar med att fossilfritt flyg kommer att orsaka mindre problem med flygbuller. Detta kan leda till att man lägger resurser i syfte att reducera flygbuller på något som kanske ökar det.

6.4.2 Strategier och planering för framtida flyg med fel problem?

Med rubriken ”Tystare och större flygplan minskar markanspråket för riksintresset Arlanda” meddelade TRV (2021 a) i en uppdatering av Riksintressepreciseringen. Man utgår ifrån en win-win att ge kommuner utrymme att utvecklas och en möjlig fortsatt utveckling av Arlanda flygplats.

I litteraturen finns det beskrivet hur otillräcklig problemformulering i en systemanalys, oavsiktlig eller avsedd, kan resultera i olika typ-fel. Liksom typ1- och typ2-fel från statistisk analys har en variant av typ3 och typ4 definierats. Dessa definitioner kan variera från domän och sammanhang och är inte en etablerad terminologi. Inom managementforskning är typ3-fel när man, omedvetet, löser fel problem (Mitroff & Silvers, 2010). Typ4-fel är att aktörer definierar problemet till sin fördel och till någon annans nackdel genom att rikta resurser för en lösning som stämmer med vald problemformulering (ibid.). Detta beskrivs i ett sammanhang där problemformulering beskrivs som en sociopolitisk process, tydligt påverkad av människor som är involverade och där pålitlighet, trovärdighet och engagemang spelar in. Det kan också vara en del av en politisk manövrering och positionering (Lyles, 1981; Lyles and Mitroff, 1985).

Det är svårt att veta om Sveriges strategiska planer utgör något av dessa typfel. Kanske har det saknats underlag för antagande om framtida flyg och därför har en ofullständig problemformulering. Eller så menar man inte det som rubriken antyder. En rubrik säger ju ofta inte allt. Men om det hypotetiskt är så att det menas att flygplanen blir större och motorerna tystare så finns som motargument indikationer på att elektriska flygplan kommer att introduceras, de är mindre och kommer potentiellt att producera mer buller, på grund av vikten i förhållande till planets storlek vid landning (batteriers vikt minskar inte som bränsle under färd). Det kan innebära tätare flygningar och högre frekvens om man vill uppehålla kapacitet med mindre flygplan. Är detta i själva verket ett exempel på ett typ3- eller till och med typ4-fel. Kan de flygstrategiska besluten och avsaknad av problematisering av flygbuller vara en politisk manövrering eller är det en ofullständig problemformulering som riskerar att öka problem med flygbuller? Detta är ingen svara som besvaras här, men frågan väcktes i samband av analysen av omställning av flyg och de olika flygstrategiska rapporterna och planerna.

Å andra sidan sett från ett nationellt perspektiv så har flyget oomtvistliga fördelar och stor samhällsnytta som erbjuder en central samhällsfunktion i form av transport och tillgänglighet, både nationellt och internationellt. Hela Sverige är beroende av flyg och det antas bidra till ett ökat välstånd, högre livskvalitet och ekonomisk utveckling. Flyget är dessutom en jobbskapande verksamhet och tillgänglighet underlättar bostadsförsörjning och näringsliv i Sverige (Regeringskansliet, 2022). I dessa

sammanhang kanske inte flygbuller ska ses som ett problem utan istället bör resurserna läggas på andra problem som till exempel kan visa sig ha större effekter på folkhälsan.

Ett annat tillvägagångssätt än att inte diskutera buller, skulle kunna vara att tydliggöra att man står för denna prioritering och balans mellan målkonflikter i samhället och lokalt och globalt. Genom detta också erkänna de oönskade konsekvenserna som i grunden inte kan elimineras. Man kunde vara mer transparent med att flera av de strategiska besluten faktiskt kan komma att leda till ökat buller. Vad som återstår då är att ändra delar av den rådande regimen utan att ändra flygets utveckling och trafik. Utveckla hur målkonflikter ska balanseras mellan lokalt och globalt. Ändra bullerförordningen så att den tillåter nationens behov av flygtjänster och istället hantera det komplexa och sociala problem detta medför. Detta innebär att man medger att detta är ett pris samhället måste betala i en form av kostnadsnytta analys.

Det krävs antagligen smarta och modiga politiker och tjänstemän som kan ta ansvar för hela den utveckling som man faktiskt driver. Detta inkluderar att hantera förväntade oönskade konsekvenser med ökat flygbuller och ökade problem med flygbuller. Finns ett upplevt och erkänt problem, så kommer det finnas aktörer som målmedvetet agerar för att förbättra sin situation. Det är mänskligt. Reaktionen mot flygets utveckling bör förväntas. För att åstadkomma utvecklingen kan det krävas mer entydiga riktlinjer och tillståndprocesser.

Förutsättningar för omfattande innovation inom flygverksamheten behövs. Detta bör inkludera forskning och utveckling men också utveckling som kan bidra till att utforma bullerreducerande lösningar och utveckla nya metoder och principer för att utveckla fungerande praktik för att hantera problem med flygbuller i framtiden.

6.4.3 Metoder för hantering av svårlösta lokala och regionala samhällskonflikter

Givet att flygbullerproblemet är ett *wicked* problem. Vad är en rimlig ambitionsnivå på vad man faktiskt kan lösa och vad som man endast kan försöka bli bättre på att hantera? Tidigare forskning menar att även om man inte löser problem så kan nya tillvägagångssätt ändå leda till att olika parter kan gå vidare och inte fastna i till exempel frustration eller juridiska processer.

Bara det faktum att identifiera kontexten som "wicked" kan vara ett viktigt steg för alla involverade. Vikten av att på allvar faktiskt förstå andra aktörers perspektiv nämns i litteraturen. I förlängningen så identifieras behovet att arbeta i lärande nätverk där deltagare iterativt, analytiskt och i en medveten process skapar förtroende och tillit och kommer fram till en överenskommelse. Detta syftar till att leda till andra val av beslut som åtminstone får ett bredare stöd för sina problemformuleringar.

Utifrån de boendes perspektiv så försöker de få gehör för frågor eller aspekter som på ett eller flera sätt är underordnade uppenbart mer prioriterade frågor (Balint et al., 2011). Till exempel, lokala frågor som önskas prioriteras över globala, rikets intressen som ska underordnas en kommuns eller individs intressen. Beslut som på något sätt ifrågasätter denna relativa betydelse anses som okonventionell prioritering (ibid.). På individnivå i samverkan med boende så möter beslutsfattare motstridiga upplevelser av problem och kan ha svårt att navigera (ibid.) både att det finns så olika syn på problemet och att perspektiven kan förändras över tid. Det finns flera anledningar till att beslutsfattare tycker att det är svårt att inkludera allmänhetens värderingar. Till exempel så är det svårt att samla in information om dessa värderingar. Det är också svårt att inkludera oenighet i värderingar. Det kan också ifrågasättas med vilken kunskap dessa värderingar är grundad och dess stabilitet över tid, till exempel om kunskapen ändras. Genom att ta med medborgares synpunkter så kommer antalet synpunkter öka och det kommer att försvåra beslutsprocessen. Komplexa problem är svårare att analysera, vilket kan förklara att problemformuleringar utifrån olika perspektiv uppfattas som ofullständig.

En central grupp av intressenter är politiker och tjänstemän i kommuner och regioner samt myndigheter och tillsynsmyndigheter. Ofta är det dem som fattar beslut och kommer med "lösningar", som många gånger inte löser saker (Balint et al., 2011). Istället kvarstår problem och skaver vilket leder till

människors frustration och lidande. Oavsett medborgares deltagande och olika aktörers inflytande så återstår tjänstemannen i en unik och utsatt position. Denna person befinner sig i centrum för konflikter mellan flera aktörer, medborgare, föreningar, domstolar, media, politiker osv. Det är denna person som kanske är mest medveten om att man har att göra med ett *wicked* problem. Det är också denna position som kanske är bäst riggad att initiera en process som kan leda fram till ett ”lärande nätverk”.

Genom Committee On Aviation Environmental Protection (CAEP) CAEP/7 (sjunde möte) lade man till ett avsnitt för mänskliga intressen och frågeställningar. Detta tillägg erkänner det faktum att när det kommer till bullerproblematiken så kommer inte tekniska lösningar som minskar exponering att vara tillräcklig för att undvika konflikter, motstånd eller klagomål från medborgare. I tillägget finns ett avsnitt som inkluderar hantering av sociala problem som att använda förbättrade informations- och kommunikationsstrategier och förbättra informationen till allmänheten. I ett sista led nämns konflikthantering som en nödvändig del i arbetet, när det gått så långt. Här finns en koppling till tidigare nämnd forskning om ”rättvis” bullerfördelning med precisionsflygning.

I kapitel tre nämndes också forskning som belyser vikten av att förstå att även icke-akustiska faktorer påverkar störning av flygbuller. I det arbetet så ges förslag på hur känslor kan påverkas minska störning om principer som bygger på öppenhet, rättvisa och förutsägbarhet kan integreras i fungerande praktik. Förslag på fungerande praktik liknar metoder för hantering av svårlösliga samhällsproblem eller *wicked* problem. Medborgarforum, interaktiv och engagerad kommunikation, oberoende prövningar och konstant dialog. Balint et al. (2011) ger tjänstemän tre läxor att ta med sig hem och öva på: 1) sluta leta efter den perfekta lösningen, 2) sök efter en lagom (satisficing) lösning och 3) överväg en ny typ av hantering och styrning genom en analytisk, adaptiv och process med stort deltagande och samverkan. Generella kapaciteter som skapar förutsättningar för att bättre hantera svårlösta samhällsproblem är (Jordan, 2010):

1. God förmåga att överblicka, förstå och hantera komplexitet
2. Lärande förhållningssätt och uthållighet
3. En väl förankrad syn på vad som är en rimlig ambitionsnivå
4. Medvetenhet om perspektivskillnader, vilja att lära av meningsskiljaktigheter och goda kommunikationsfärdigheter.
5. Omsorg i utformning av åtgärder
6. Väl fungerande former för samverkan mellan olikartade aktörer.

Denna tidigare forskning inom *wicked* kontexter visar dock på ett mönster som inte är särskilt uppmuntrande. Det beskrivs fall där man utökat data och information, utökat dialoger och medborgarengagemang. Detta har resulterat i fler och mer komplexa dokument. Trots detta resulterar oundvikligen slutsatserna i dilemman. Detta outtröttliga arbete beskrivs grunda sig på ett antagande att bara man har mer fakta, mer sofistikerad analys och medborgarinflytande så kommer man att komma till en lösning på problemet. Detta mönster kanske ses som en bekräftelse till de som på förhand är kritisk till denna typ av förebyggande dialog. Men, även om man ifrågasätter att denna typ av aktivitet verkligen leder någon vart, eller får någon effekt i ett verkligt *wicked* problem, så finns det ändå ett strakt argument för detta. Om medborgarmotståndet och klagomålen blir omfattande kommer intressenterna fortfarande att behöva spendera mycket resurser med risken att besluten fortsatt motarbetas och i slutändan ändå inte fattas.

Fyra fält där metoder för komplexa frågor utvecklas (Jordan et al., 2022):

1. Organisationsutveckling/förändringsarbete
2. Problemstrukturerande metoder (Systemanalys och problemformulering, SSM)
3. Deliberativ demokrati
4. Medling i samhällskonflikter

Tabell 5. Metoder för specifika ändamål (Jordan et al., 2022):

Om behovet är....	Lämpliga metoder....
A. Att samla in synpunkter	Speak out, Opera/group expo/World café
B. Att utveckla kreativa idéer och visioner	Framtidsverkstad, Future search, Open space
C. Att grundligt tänka igenom och utveckla en strategi för en svårlöst fråga	Strategic choice approach, Soft System Methodology (SSM), Dialogue mapping
D. Att samtidigt behandla många frågor med ett stort antal deltagare	Open Space
E. Att hitta lösningar på konkreta och välavgränsade problem	WorkOut, Strategic choice approach
F. Att väcka medvetenhet och engagemang kring en fråga	Future search, Framtidsverkstad
G. Att hantera en fråga där det finns starka konflikter mellan olika parter	Deep Democracy, Transformative practice, Management of public disputes, Consensus building

6.5 Förutsättningar för åtgärder utvecklade i nisch med fokus på flygbuller

Givet att landskapet domineras av klimatomställning och det finns en "win-win" situation för regimen att utveckla fossilfritt flyg och flygtrafiklösningar som kan bidra till kortare flygvägar så är det enligt denna modell troligt att det är där resurser för utveckling och innovation läggs. En skillnad som kan vara av intresse är om lösningar tas fram inom regimen eller om det sker i en nisch som ligger utanför. Det finns en skillnad i hur man ser på flygbuller inom eller utanför regimen.

Av de exemplen på utveckling av bullerreducerande flygoperativa lösningar, eller de bidrag till utveckla kunskap om bullermätning och bullerberäkning så kommer förutsättningarna för att koncepten realiserar öka om de samtidigt bidrar till eller inte hindrar pågående utveckling för att minska flygbolags bränsleförbrukning och flygplatsens kapacitet, klimatomställning och kapacitetsökning.

- att ändra tvetydiga riktlinjer
- utveckla nya modeller för bullermätning och beräkning
- utveckla metod för att utföra mer fullständig problemformulering
- metoder för att hantera svårlösta samhällsfrågor
- rättvis flygbullerfördelning - lokal hantering av global samhällsutmaningar

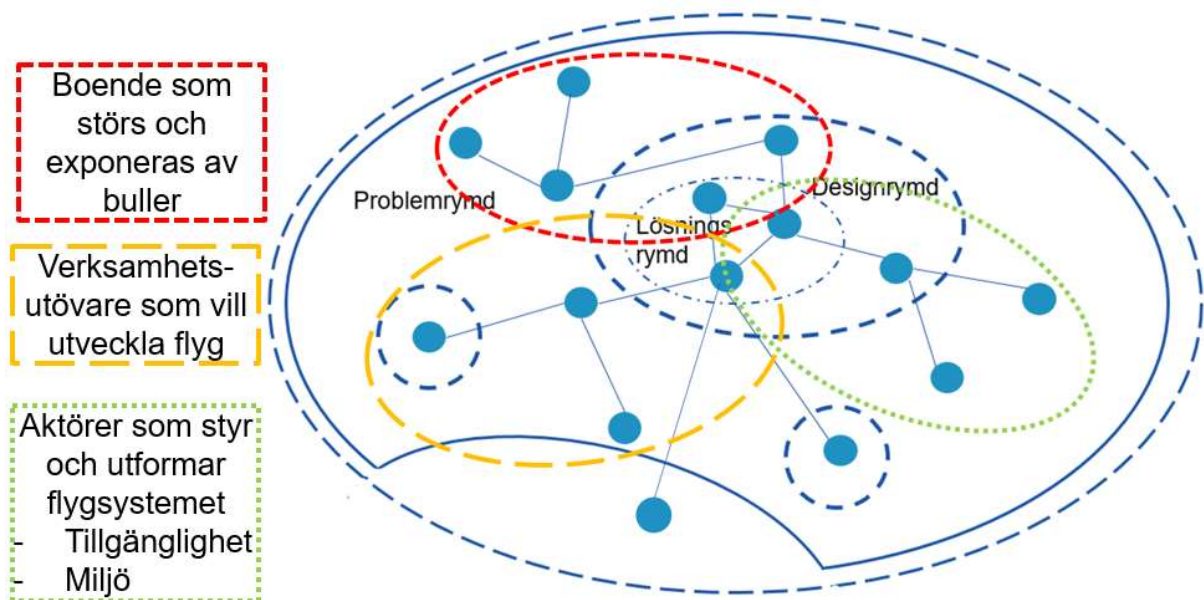
I denna problemformulering så har ett antal andra problem formulerats som argumenteras ha lösningar som kan få effekt genom att reducera bullerexponering. Men också att hantering eller lösning på problem som kan underlätta handläggning av tvister, minska missförstånd mellan det uppmätta, upplevda och beräknade buller skulle kunna reducera problem med flygbuller. Här ingår också att utveckla metoder för hantering av svårlösliga samhällsproblem vilket kan påverka icke-akustiska störningsfaktorer.

7 Avslutande kommentarer och rekommendationer

Frågan som ställdes inledningsvis var: *Vilka är förutsättningarna för att minska flygbuller och problem med flygbuller?*

- Resultaten visar att utveckling styrs av de transportpolitiska målen där tillgänglighet dominerar och klimat prioriteras framför flygbuller. Beslut och strategier bidrar till ökat flyg och en förtätning av bostäder runt flygplatsen. Denna utveckling ökar flygbuller och problem med flygbuller.
- Man kan reducera flygbuller i framtida system genom att öka avståndet mellan flygplan och boende. Förutsättning för detta finns om det samtidigt bidrar till klimatomställning.
- Förutsättningar finns också för bulleråtgärder som bidrar till minskade bränslekostnader och ökad flygplatskapacitet.
- Åtgärder som enbart syftar till hållbar omställning av flyg har inte förutsättningar att minska, utan snarare att öka, flygbuller och problem med flygbuller.
- En ökad precision ökar förutsägbarheten vilket kan minska problem med flygbuller förutsatt att det fördelas rättvist.
- Förutsättningar för att realisera åtgärder som dessa beror på förmågan att hantera utmaningar i utveckling av system av system.
- Förutsättningarna för att hantera icke-akustiska påverkansfaktorer på störning av flygbuller är minst sagt utmanande. Det rekommenderas att arbeta aktivt med detta och utveckla ett nytt sätt att hantera problem med flygbuller på.

Tre nätverk av problem associerade med flygbuller har problematiserats och analyserats med hjälp av olika modeller (figur 9). De överlappar delvis flygets rådande regim och lösningar, alternativa lösningar och design där olika problem och problemformuleringar kopplar, antingen direkt till flygbuller eller till problem med flygbuller.



Figur 9. Tre nätverk av problem associerade med flygbuller som utgår ifrån flygets nuvarande regim, lösning och delvis alternativa design (...../-----/_ _ _ _) har problematiserats och analyserats med hjälp av olika modeller.

Det första nätverket av problem fokuserade på vad flygbuller är och problem som flygbuller direkt orsakar de som störs eller utsätts för hälsorisker. Detta gav en bild av att buller är dels ett lokalt problem

för de som störs. Det är också ett potentiellt folkhälsoproblem för alla som exponeras för flygbuller, även de som inte anser sig störas av det. Buller mäts med ljudnivåer och det finns flera sätt att mäta och beräkna buller, det finns också olika sätt att värdera var gränsen för buller ska ligga.

Ett andra nätverk är fokuserat på problem med krav på att utveckla systemet och utmaningar med utveckling och innovation i stora tekniska system och system av system. För detta system är problemet med flygbuller att det uppfattas som ett problem och därmed begränsar både verksamheten och utveckling av den.

Ett tredje nätverk är fokuserat på problem som associeras till regler och strategier för utformning av systemet. Detta nätverk är tudelat vad det gäller problemformulering. En del ser flygbuller som ett miljöproblem och försöker lösa problemet genom att styra genom restriktioner för flygbuller och ser gärna i relevanta fall att tvister löses till förmån för de som utsätts för buller. Andra delar i detta nätverk ser bostadsbrist som ett tillväxtproblem och försöker lösa problemet genom att minimera restriktioner för flygbuller och byggande. En sista del i detta nätverk ser tillgänglighet och kapacitet som ett verksamhetsproblem och försöker lösa problemet genom att maximera tillstånd och skydda verksamheten.

Strategiska inriktningar beskriver inte flygbuller som ett problem. Kanske skulle det då vara bättre att tydliggöra att man står för detta, erkänner de oönskade konsekvenserna som inte i grunden kan elimineras. Man borde vara transparent med att flera av de strategiska besluten kommer att leda till ökat buller. Vad som återstår är att ändra rådande regim utan att ändra flygets utveckling och trafik. Utveckla hur målkonflikter ska balanseras mellan lokalt och globalt. Ändra bullerförordningen så att den tillåter nationens behov av flygtjänster och istället hantera det stora sociala problem detta medför. Detta innebär att man medger att detta är ett pris samhället måste betala i en form av kostnad-nytta analys. Flyget är långt ifrån ensamt om att vara ett system som idag i som både har stor påverkan globalt och lokalt. Många industrier med stor påverkan krävs på stora omställningar vilka potentiellt har ett högt pris lokalt men stor nationell samhällsnytta.

En utökad problemrymd ökar också komplexiteten för beslutsfattare. En effekt av att vidga systemgränser och beakta problemrymden, skapar mer problem för beslutsfattare än vad de önskar. När ansvaret fördelas på fler aktörer, blir det fler kockar. Det ligger i allas intresse att detta tas på stort allvar. När problem är mycket komplexa kan det leda till att man förenklar eller väljer ut ett avgränsat problem.

En ofullständig systemanalys eller problemformulering kan leda till att man löser fel problem. Det vill säga, den avgränsade lösningens effekt på det faktiska problemet blir liten eller uteblir. Å andra sidan kan en omfattande problemformulering göra det svårt att komma vidare då man kan hamna in i en till synes oändlig analys. Detta kan dock vara en indikation på att det faktiska problemet är mycket svårlöst eller till och med saknar en lösning. I dessa fall kan detta konstaterande, i sig, ändå vara en del av en lösning genom att det kan leda till att man ändrar problemformulering och hanterar problemet annorlunda.

Vid framgångsrik problemformulering ges flera synvinklar på ett problem och skapar en rik bild. En sådan rik bild är tänkt att avslöja nya perspektiv, beroenden och relationer. En rik bild kan stödja alla som berörs av problemet genom att bidra med förståelse av systemet. Den används som stöd för generering av idéer eller nya angreppssätt för hur problemet kan hanteras, vilket är både användbart och behövligt. En omfattande problemformulering kan öka chanserna till att realisera åtgärder i framtiden som minskar flygbuller och problem med flygbuller.

7.1 Diskussion

Det går inte, och är inte syftet, att beskriva allt med allt. Syftet är snarare att beskriva tillräckligt för att påvisa komplexitet och komplettera flygforskning med ett annat systemperspektiv än det rent flygtekniska. Forskning med andra infallsvinklar inkluderar att studera oönskade konsekvenser av flyg som är så nära förknippade med flyg att de är oundvikliga.

Projektet har bedrivits som tillämpad forskning och använder tidigare kunskap och existerande teoretiska ramverk och modeller från infrsystem för att erhålla information om det undersökta problemet. Varje nätverk har varit olika perspektiv som utgår från lösningar i rådande infrsystem. Tillämpad forskning får här betraktas som att bidra till praktiska och tillämpbara problemformuleringar och som inte bistår någon specifik grupp, utan hela det sammansatta infrsystemet som står inför problem och utmaningar med flygbuller.

Resultaten lägger ingen värdering i hur mycket flyg vi ska ha, eller hur mycket buller vi ska ha. Men givet hur problem med buller hanteras i systemet så har ändå en krass syn presenterats att flygbuller är ett svårösligt och med dagens utveckling i viss mån olösligt i den bemärkelsen att flygbuller inte kommer försvinna så länge vi flyger. Resultaten lägger ingen värdering i hur mycket flyg vi ska ha, eller hur mycket buller vi ska ha.

En svårighet har varit att ta med tillräckligt för att få underlag till argument från flera perspektiv. För varje enskild aktör och ibland individer så finns olika världsbilder och rapporten kan inte helt göra någon av dessa rättvisa. Så i den mån denna omfattande problemformulering kan bidra med en delvis ny bild i något hänseende och en rik bild av flygbuller och flygets som ett infrsystem så har projektet uppnått sitt syfte. Givet hur problem med buller hanteras i systemet så har ändå en krass syn presenterats att flygbuller är ett svårösligt och med dagens utveckling i viss mån olösligt i den bemärkelsen att flygbuller inte kommer försvinna så länge vi flyger.

Givet de problemformuleringar som projektet tagit del av, är detta att betrakta som ett avslöjande, och en möjlig ny utgångspunkt utifrån vilken flygbuller och associerade problem med flygbuller kan hanteras. Målet är fortsatt att fler ska fylla på med andra synvinklar, förklaringsmodeller och kanske utgår från andra system och problem.

Flyget är långt ifrån ensamt om att vara ett system som idag har både stor påverkan globalt och lokalt. Många industrier med stor påverkan krävs på stora omställningar vilka potentiellt har ett högt pris lokalt men stor nationell samhällsnytta.

7.1.1 Kommande forskning baserat på INFRA

Innehållet till denna rapporten är underlag för kommande publikationer och forskning. Artiklar kopplade till olika delar är under arbete men arbetstitlarna är:

- "Aviation noise as a wicked problem"
- "Noise from sustainable transformation of aviation"
- "Wicked problem-formulation – (system analysis method development)"
- "Methods and practice to reduce annoyance from aviation noise"

KTH antog en av projektdeltagarna som forskarstuderande sommaren 2020. Detta innebära att materialet som ligger till grund för innehållet i forskningsrapporten också är underlag för andra forskarfrågor för tidskriftsartiklar och en licentiatavhandling.

REFERENSER

Arlandaregionen (2017) Utvecklingskraft för innovation och tillväxt mitt i storstadsregionen

Alter, Steven (2018) "In Pursuit of Systems Theories for Describing and Analyzing Systems in Organizations" (2018). Research Papers. 25. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/25

Amalberti, R (2001) The paradoxes of almost totally safe transportation systems, Safety Science 37(2):109-126

ANIMA, 2021. <https://anima-project.eu/>

Balint, P.J., Stewart, R.E., Desai, A. and Walters, L.C (2011) Wicked environmental problems – managing uncertainty and conflict. 2011 Island Press, USA.

CAA (2019) CAP 1766 - Emerging Aircraft Technologies and their potential noise impacts.

Checkland, P. (1981), Systems Thinking, Systems Practice, Chichester, UK: Wiley.

Churchman, C. West (1971). The Design of Inquiring Systems Basic Concepts of Systems and Organization. Basic Books.

EC (2002) Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. 2002, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg.

EU:s green deal: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sv

Geels F.W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Research Policy 33 (2004) 897–920.

Hansman et al. (2021) Block 2 Procedure Recommendations for Boston Logan Airport Community Noise Reduction, Report No. ICAT-2021-01 June 2021, Copyright © 2021 Massachusetts Institute of Technology. All rights reserved

Heyes, Raje, Hooper, Hudson and Dimitriu (2019) Critical Assessment of Aviation Noise Communication Strategies in the European Union. In proceedings from InterNoise19, Madrid, Spain.

Hughes T.P. (1983). Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930. JHU Press, Baltimore.

Hughes T.P. (1987). The evolution of large technological systems. In The social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology, edited by W. E. Bijker, T. P. Hughes and T. Pinch. Cambridge, Massachusetts & London, England: MIT Press, 51-82.

IBG (2022) Morgondagens flyg, rapport gjord på uppdrag av Transportföretagen.

ICAO, 2004 Balanced approach (Doc 9829 AN/451) Regulation (EU) No 598/2014

Jordan, T and Andersson, P. (2010). Att hantera de svårlösta samhällsfrågorna. Thomas Jordan & Pia Andersson. Print Elanders 2010.

Jordan, T., Andersson, D., and LeRoux, B. (2022) Metoder för att hantera svårlösta lokala och regionala samhällskonflikter – En kunskapsöversikt, Perspectus skriftserie 2022:1, Perspectus kommunikation AB.

Kaijser A. (2004). The dynamics of infrasystems. Lessons from history. Proceedings of the 6th International Summer Academy on Technology Studies –Urban Infrastructure in Transition.

KTH CSA (2022) <https://www.kth.se/csa>

Leylekian, Covrig, Maximova (eds.) (2020) Aviation Noise Impact Management Technologies, Regulations, and Societal Well-being in Europe. European Union's Horizon 2020, Springer, ISBN 978-3-030-91193-5

Lyles, M. A. (1981). 'Formulating strategic problems: empirical analysis and model

Lyles, M.A. and Mitroff, I. I. (1980). 'Organizational problem formulation: an empirical study'. Administrative Science Quarterly, 25, 102- 19.

Maier M.W. (1998). Architecting principles for systems- of- systems. Systems Engineering, 1998, vol. 1, issue 4, 267-284.

Mitroff, I. I., & Silvers, A. (2010). Dirty rotten strategies: How we trick ourselves and others into solving the wrong problems precisely. Stanford, CA: Stanford Business Books.

Moberg, B., Rignér, J., och Ulfvengren, P (2014) Förstudie för metodutveckling för inflygningsprocedurer för minskat buller, RPT-2014-103.

Naturvårdsverket (2023) <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/buller/buller-fran-flygtrafik-och-flygplatser/>

Orrenius, Ulfvengren, Tengzelius, Ekh and Åbom (2022) APIS: Acoustics and annoyance of future aviation – simulation Platform and Implementation System. Ansökan till KTH CSA/TRV.

Porter and Monaghan (2021) Aviation Noise Management & Research: Reflections and Challenges in Light of the Pandemic. Anderson Acoustics Limited: <https://andersonacoustics.co.uk/news/aviation-noise-management-research-post-covid-part-3-non-acoustic-factors/>

Rasmussen J. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem, Safety Science, Volume 27, Issues 2–3,1997, pp 183-213.

Regeringen (2011) Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar

Regeringen (2017) En svensk flygstrategi – flygets roll i framtidens transportsystem, N2017.2

Regeringen (2022) Arlanda flygplats – en plan för framtiden, Ds 2022:11. (Arlandautredningen)

Rittel, H. & Webber, M. (1973). 'Dilemmas in a general theory of planning', Policy Sciences vol 4, 155–169.

SLL (2018) RUF5 2050. Regional Utvecklingsplan För Stockholmsregionen- Europas mest attraktiva storstadsregion, rapport 2018:10

STATISTA (2022) <https://www.statista.com/statistics/262971/aircraft-fleets-by-region-worldwide/>

Swedavia (2018 a) Optimering av icke raka flygprocedurer i TMA för att minska buller och emissioner, förstudie – TRV- projekt

Swedavia (2018 b) årsrapport IRIS – Icke-Raka inflygningar till Stockholm Arlanda airport

Swedavia (2021) DYKA-Dynamisk allokering av inflygningsprocedurer - en förstudie inom iris-programmet

Swedavia (2022) Redovisning av villkor 17 – löpande Swedavia

Tenzelius et al., (2019) SAFT Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omvärld. Slutrapport projekt TRV 2016/92229

TRV (2015) Transportpolitisk måluppfyllelse – Nuläge och förväntad utveckling

TRV (2017) Luftrum 2040 - en förstudie om kapacitetsbehovet i svenskt luftrum, TRV 2017:081, ISBN 978-91-7725-077-7

TRV (2020) Transportsystemet i samhällsplaneringen – Trafikverkets underlag

TRV (2021 a) <https://bransch.trafikverket.se/om-oss/aktuellt-for-dig-i-branschen3/aktuellt-for-dig-i-branschen/2021-03/tystare-och-storre-flygplan-minskar-markanspraket-for-riksintresset-arlanda/> Uppdaterat 210331

TRV (2021) Riksintresseprecisering för Stockholm Arlanda Airport

Ulfvengren, P., Hall Kihl, S., Engwall, M, och Garme, K (2020) FLYT 365 – Dags att sjösätta förutsättningar för en innovativ kollektivtrafik? TRITA-SCI-RAP 2020:008 ISBN: 978-91-7873-753-6

Ulfvengren, Runebjörk, Rignér and Blomkvist (2019) Split system dilemma – growth and noise in aviation. FTF, Stockholm, oktober, 2019.

Utterback J.M. (1994). Mastering the Dynamics of Innovation: How companies can Seize Opportunities in the Face of Technological Change. Boston Harvard Business School Press

Walker, Stanton, Salmon and Jenkins (2008) A review of sociotechnical systems theory: a classic concept for new command and control paradigms, Theoretical Issues in Ergonomics Science, 9:6, 479-499, DOI: 10.1080/14639220701635470

de Weck, Olivier L., Roos, Daniel and Magee Christopher L. (2011) Engineering Systems – Meeting human needs in a complex technological world. MIT Press edition 2016.

WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018)

Åbom, M., Bolin, K., Ulfvengren, P (2018) Air traffic management and noise. Proceedings Internoise, 2018, August, Illinois, US.

Bilaga 1

3. Regulation - authorities requirements/guidelines, definition and meaning of different noise metrics



Guidelines (Riktvärden) in residential areas – Note: NOT strict limit values!

Area type	Aircraft noise level (FBN)	Max sound level (L_{Amax})
Outdoors in residential areas (permanent and holiday homes)	55 dB(A) FBN	70 dB(A) L_{Amax}

<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/buller/buller-fran-flygtrafik-och-flygplatser/#E-1849672356>

”Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader”

<https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2015216-om-trafikbuller-vid-sfs-2015-216>

... cont 3. Regulation - authorities requirements/guidelines **definition and meaning of different noise metrics**

Definition and meaning of different noise metrics



L_{Amax}

L = Noise level = $20 \cdot \log(p/p_{ref})$

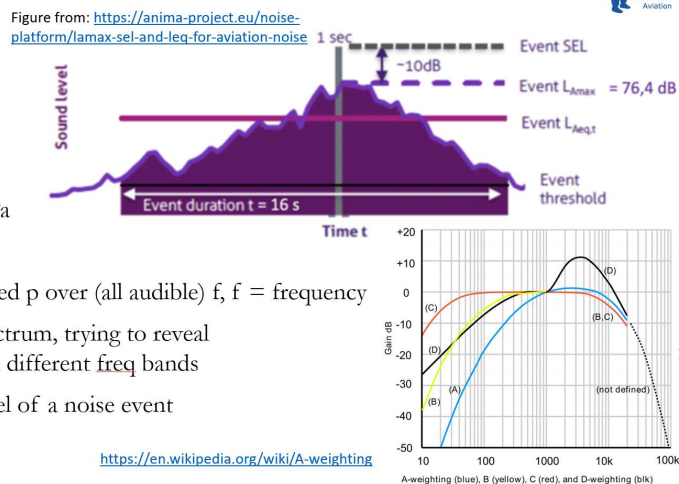
p_{ref} = reference pressure $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

p = sound pressure in Pa

could be $p(f)$ or integrated p over (all audible) f , f = frequency

A in L_A denotes A-weighted spectrum, trying to reveal human sensitivity within different freq bands

max denotes perceived peak level of a noise event



<https://en.wikipedia.org/wiki/A-weighting>

... cont 3. Regulation - authorities requirements/guidelines **definition and meaning of different noise metrics**

FBN – Flyg Buller Nivå (Flight Noise Level)

is a Swedish metric corresponding to L_{den}

L_{den} “den” denotes **day, evening, night** indicating that we deal with some kind of noise level representing a complete 24 hour period – how?

To understand “how” we need to understand the metrics **L_{eq} , SEL** (also named **L_E**) and accept an introduction of “penalty”, added ΔdB , empirically defined to represent “added annoyance” during evening (“e”) and night (“n”) in relation to day-time events (“d”)





L_{eq} proportional to average sound power

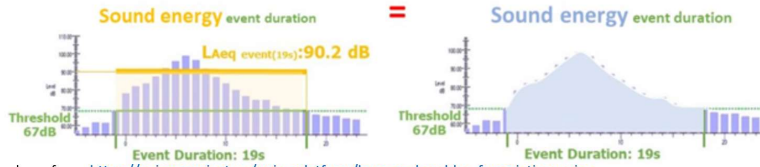


Figure above from: <https://anima-project.eu/noise-platform/lamax-sel-and-leq-for-aviation-noise>

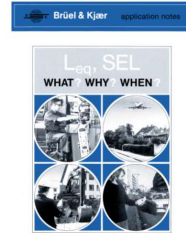
$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

T = measurement duration

p(t) = sound pressure

p₀ = reference sound pressure of 20 μPa

<https://www.bksv.com/doc/bo0051.pdf>



SEL, L_E Sound Exposure Level, “total sound energy”

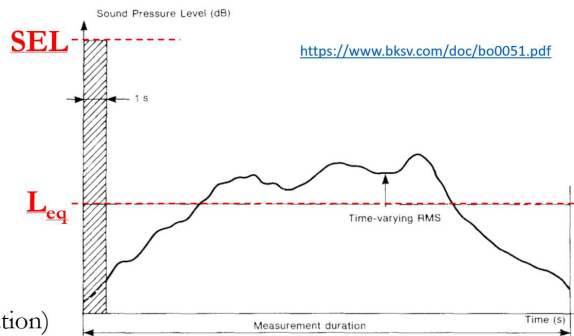
$$SEL = 10 \log \left(\frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

T₀ = reference duration of 1 s

p(t) = sound pressure

p₀ = reference sound pressure of 20 μPa

SEL only differ to L_{eq} by the integration time, taken as 1 sec (instead of actual noise event duration)



<https://www.bksv.com/doc/bo0051.pdf>



SEL used to calculate the corresponding L_{eq} for a given period by adding individual SEL values for events within period of time

$$L_{eq} = SEL - 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ with } T_0 = 1 \text{ s}$$

Back to original question, what is L_{den}

$$L_{den} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right)$$

L_{day} L_{eq} for T = the 12 hours 07:00 - 19:00

$L_{evening}$ L_{eq} for T = the 12 hours 19:00 - 23:00*

L_{night} L_{eq} for T = the 12 hours 23:00* - 07:00

*) different time period limits, like 6:00, 18:00, 22:00, are around in different contexts within Sweden and abroad

Part of day	Hours*	Penalty (dB) L_{den}	Penalty (dB) FBN
day	07:00 - 19:00	0 dB	0
evening	19:00 - 23:00	5 dB	$10 \log_{10}(3) \approx 4.8 \text{ dB}$
night	23:00 - 07:00	10 dB	$10 \log_{10}(10) = 10 \text{ dB}$

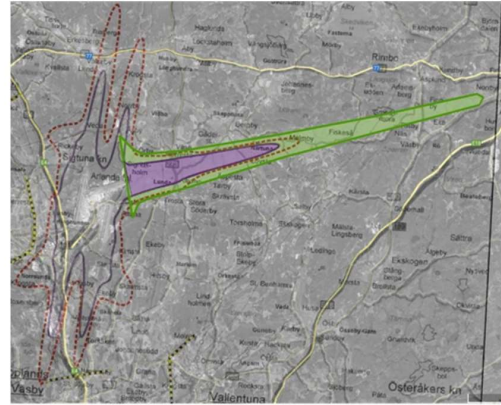
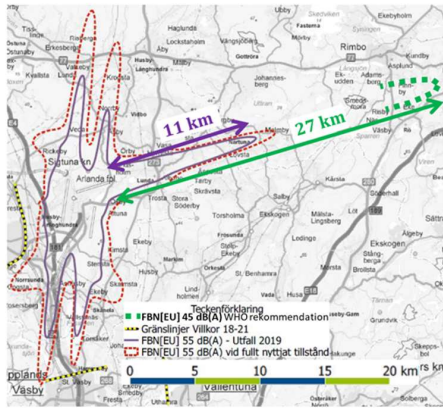
... cont 3. **Regulation - authorities requirements/guidelines** definition and meaning of different noise metrics



Example Arlanda permit and WHO limits with regard to noise:



- Permission: yearly mean should not exceed 55 dB(A) FBN (as a daily value)
- Outcome computed by Swedavia (ECAC Doc29 method)
- Proposed WHO recommendation $L_{den} < 45$ dB(A) (very approximative!)



Figures from Swedavia Miljörapport 2020 och KTH CSA projekt TREVOL to be presented under <https://www.kth.se/csa/projekt/pagaende-projekt/trevol-1.975050>