

SWEDAVIA KONSULT

Riskmodellering för tredje man i närheten av flygplatser

Niklas Breisner och Fredrik Gudmundsson

8/29/2013

Handledare: Fredrik Nilsson, Swedavia Konsult

Examinator: Erik Lundström

Erkännande

För handledning och hjälp med framtagande av denna uppsats samt programvara vill vi tacka Fredrik Nilsson och Martin Wall på Swedavia konsult.

Abstract

This paper describes the development of software for calculating third party risk in the vicinity of Swedish airports. The paper describes the development and functionality of the software in text format.

Further development is discussed by the possible implementation of the lasso method for investigating aircraft specific risk factors. This paper investigates these risk factors to identify airports where third party risk should be higher than average due to plane specific factors.

The result of the program gives the user a comprehensive method for calculating risk in desired coordinates close to Swedish airports.

Innehållsförteckning

Erkännande	1
Abstract	2
1 Inledning.....	5
1.1 Ordlista.....	6
1.2 Bakgrund	7
1.3 Tidigare forskning	8
1.4 Syfte	10
1.5 Disposition	10
2 Metodik	11
2.1 Empiri.....	11
2.2 Tidsperiod	12
2.3 Flygrörelsedata.....	12
2.4 Haveridata	14
2.5 Flygvägar.....	14
2.6 Höjdberäkning.....	15
2.6.1 Landningar.....	16
2.6.2 Starter.....	16
2.7 Trafikinformation för flygvägar	20
2.8 Krascharea.....	21
2.8.1 Krascharea som funktion av höjd.....	22
2.8.2 Fasindelning	22
2.9 Lassometoden.....	23
2.10 Datainsamling till Lasso.....	27
2.11 Matlab	27
3 Utförande.....	29
3.1 Programmets Uppbyggnad.....	30
3.1.1 Variabler	30
3.1.2 Del ett - insamling av data med avseende på vikt	33
3.1.3 Del två - sortering och strukturering	33
3.1.4 Del tre - skapa griden och placera in normaliserad risk i den från flygvägarna	37
3.1.5 Del fyra - användaren får klicka på plotten och få koordinatspecifik risk	38
3.3 Exportering av konturen.....	39
3.4 Beräkning av risknivåkurvor	39

3.5 Korrelationen mellan faktorer	39
3.6 Lassometoden utförande	40
3.6.1 Cross Validation.....	40
4 Resultat.....	42
4.1 Programmet	42
4.2 Korrelationsmatrisen för flygplansspecifika faktorer.....	44
4.3 Resultat flygplansspecifika riskfaktorer.....	45
5 Slutsatser och diskussion.....	47
5.1 Cruise	48
5.2 Interpolering.....	48
5.3 Hur påverkar höjdsnittningen	49
5.4 Flygningar som ej tas upp av programmet	49
5.5 Risken för svenska flygplatser kan modelleras med hjälp utav data från USA.	50
5.6 Problematiken kring krascharean	50
5.7 Resultatets nackdelar.....	51
5.8 Informationsinsamlingen.....	51
5.9 Vår riskkalkylering jämfört med tidigare forskning.....	52
5.10 Lassoanalys samt kompatibilitet med programmet	52
6 Referenser	54
6.1 Webbssidor	55
6.2 Personlig kommunikation	56
7 Populärvetenskaplig artikel / Sammanfattning.....	57
7.1 Modellera risken kring flygplatser	57
7.1.2 Behovet	57
7.1.3 Tidigare forskning.....	57
7.1.4 Swedavia	58
7.1.5 Modellen	58
7.1.6 Resultatet	59

1 Inledning

Byggnationen kring flygplatser ökar i dag väldigt mycket, samtidigt som man strävar efter en större riskmedvetenhet. Den här uppsatsen beskriver en programutveckling för att kunna kalkylera risken för tredje man i närheten av flygplatser som ej tidigare varit möjlig. Programmet som beskrivs fungerar alltså som ett verktyg för att kunna svara på allt mer frekventa frågor om risk i närheten av flygplatser. Uppsatsen undersöker även flygplansspecifika faktorer som eventuellt kan bidra till ökad risk för tredje man. Detta för att kunna identifiera flygplatser där risken bör vara högre om flygplan med större riskfaktorer är mer frekventa.

1.1 Ordlista

Flygrörelse - Är en landning eller en start på en flygplats.

Rullbana - En start och/eller landningsbana.

Haveri - I denna rapport undersöker vi enbart haverier där det finns en risk att tredje man drabbas. När vi använder ordet haveri i uppsatsen så är det just denna typen av haveri vi menar.

ARP - Origo för en flygplats. Oftast mittpunkten på huvudrullbanan.

Schemalagd flygning - En på förhand planerad passagerar eller frakt-flygning. Ej militär eller privatflyg.

Tredje man – Personer eller infrastruktur som ej har anknytning med en flygplats eller dess verksamhet.

1.2 Bakgrund

På senare tid har det blivit populärt att bebygga områden på och kring flygplatser (Sweatt-Essick, FAA) samtidigt som ett ständigt förbättringsarbete pågår vad gäller flygsäkerhet och riskminimering. Konstant ökande flygtrafik har gjort flygplatser till centrala nav för varje regions utveckling. Företag och människor från hela världen knyts samman vilket gör flygplatser och dess närområde till attraktiva platser för nybyggnation. Detta utgör ett problem för de ansvariga för säkerheten och riskanalysen kring flygplatser som tidigare inte varit lika aktuellt. I nuläget är regelverken samt möjligheterna att modellera dessa risker begränsade. Beslut kring byggnationer i anslutning till flygplatser tas i dagsläget utifrån magkänsla, det vill säga mer eller mindre kvalitativa metoder där man endast tar hänsyn till flygningsfrekvensen över området och personen som utför själva riskanalysens egna erfarenheter och kunskap inom ämnet. Ett problem med att använda dylika metoder i fallet med flygplatsrisk är att de aktuella riskerna är så pass små att det är svårt att få en relevant uppfattning om vad som är ett bra beslut att ta och att utfallet därför blir partiskt.

Swedavia, som är en statlig koncern, äger, driver och utvecklar 10 flygplatser i hela Sverige. Som ansvariga för flygplatser är det Swedavias uppgift att ha kännedom om risker som en flygplats har på sitt närområde. Utöver skötseln av flygplatser bedriver Swedavia konsultarbete där även arbete utförs för externa kunder. Swedavia bekostar själv sin verksamhet med några få undantag för vissa samarbetsprojekt. Alla investeringar och infrastruktur bekostas, till skillnad från väg och järnväg vars infrastruktur är statligt finansierad, helt av flygtrafiken.

Hållbar utveckling måste även nämnas i bakgrunden till det här arbetet. Som en statlig verksamhet ställs framförallt höga krav på Swedavias klimatarbete och långsiktiga lönsamhet, vilket bland annat har gett resultatet att svenska flygplatser är världsledande när det kommer till klimatpåverkan.

Långsiktiga riskanalyser är ytterligare ett steg i hållbar utveckling. Risken att drabbas av ett flygplanshaveri kan tänkas vara relativt låg men för infrastrukturlösningar i ett långt perspektiv kan risker i olika områden spela en betydligt större roll.

Som ett exempel till bakgrunden av det här arbetet kan byggnationen av ESS (European Spallation Source) i utkanten av Lund nämnas. Anläggningen byggs i Malmö Airports närområde och Swedavia mottog frågor angående risker för bygget med avseende på flygtrafiken. Då det i dagsläget inte finns någon riskmodell för svenska flygplatser kunde Swedavia enbart svara med antalet flygningar per år över det aktuella området. I svaret visade det sig att en av Malmö airports utflygningsvägar går rakt över området för ESS. Vad detta innebär för risker för ESS kunde Swedavia inte svara på.

Med utgångspunkt i exemplet ovan för ESS och liknande frågor som har ställts vid andra projekt, har det blivit allt mer klart att Swedavia behöver skaffa sig en uppfattning för risker kring flygplatser. Då Swedavia driver flertalet flygplatser samt utför konsulttjänster på ännu fler så ställs även krav på att en riskmodell ska vara anpassningsbar för villkoren på olika flygplatser.

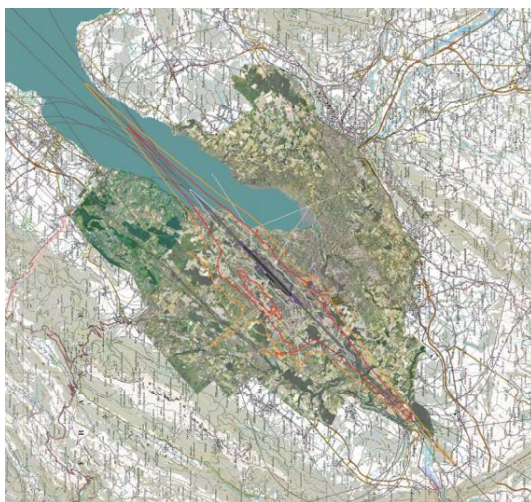
1.3 Tidigare forskning

Det har tidigare utförts riskanalyser för tredje man vid individuella flygplatser. Strukturen och omfattningen varierar en del beroende på det slutliga målet på undersökningarna. En av de mest omfattande analyserna är skriven av Evans, Foot, Mason, Parker & Slater, 1997. Deras uppsats undersöker på ett liknande sätt som oss risken för tredje man i närheten av flygplatser. Deras analys är uppbyggd av tre delar. En kraschriskdel där de beräknar risken för ett flygplanshaveri i närheten av en flygplats, en kraschplatsmodell där de försöker beräkna fördelningen för var flygplanshaveri inträffar i förhållande till rullbanan och en kraschkonsekvensmodell där de beräknar hur stort område som förstörs av ett flygplanshaveri. Arbetet kan på många sätt jämföras med denna uppsatsen. De två första modellerna kan även identifieras i vårt arbete, de är dock utformade på olika sätt. Evans, Foot, Mason, Parker & Slater försöker beräkna exakta fördelningar för var ett flygplanshaveri inträffar genom att analysera olika modeller som är använda vid tidigare undersökningar. Både deterministiska och empiriska modeller diskuteras. För de empiriska modellerna ligger svårigheten i att få tag i tillräckligt stor mängd data för att få fram en sannolikhetsfördelning för kraschplatserna. Den deterministiska modellen som diskuteras av Evans et al är skapad i en undersökning av risken vid Schipol flygplats i Amsterdam. Även här blir en liten

mängd data ett problem då undersökningen tvingas till stora antaganden för hur ett flygplan beter sig vid ett haveri. Evans et al tar sin undersökning ett steg längre och analyserar konsekvenserna av ett haveri. De undersöker hur stor area som i snitt drabbas av en flygplanskrasch med avseende på planets storlek, hastighet och sannolikhetsfördelning för avståndet som spillror kan träffa.

Många tidigare liknande analyser är huvudsakligen gjorda för att analysera risken för tredje man på specifika platser som t.ex. ett kärnkraftverk. Arbetena varierar i omfattning och har en del år på nacken, se t.ex. Kostikov et al 1993, Ortiz et al 1982, Roberts 1987 men även mer moderna undersökningar av t.ex. Berg 2011.

För de arbeten där risken inte kalkyleras för en specifik plats så är den oftast baserad på risken för tredje man i direkt anslutning till flygplatsen. Risken kalkyleras alltså inom ett betydligt mindre område än vad som är tanken med vårt program. Risken kalkyleras oftast i direkt anslutning till en rullbana där flygplanen oftast bibehåller samma riktning hela vägen. Riskkonturerna blir i denna typen av arbete väldigt konformade med rullbanan som bas. Figur 1 nedan visar den här typen av riskkalkylering för Genève's flygplats. Gesellschaft für Luftverkehrsforschung, 2008.



Figur 1 Riskkonturer i direkt anslutning till Geneve flygplats.

En liknande undersökning är gjord av Swedavia för Arlanda flygplats (se Figur 4). Modellen är dock endast relevant för Arlanda och ger endast riskberäkningar för ett område i direkt anslutning till rullbanan.

1.4 Syfte

Syftet med detta arbetet är att beskriva en programframtagning för beräkning av risken för tredje man i närheten av svenska flygplatser. I arbetet undersöks även flygplansfaktorer som kan tänkas innebära en högre risk för tredje man och vad de kan få för konsekvenser för riskkalkyleringen.

1.5 Disposition

Den första delen av den här uppsatsen beskriver empiri samt övrig insamlad data. Vi redogör för hanteringen av den informationen som vi har samlat in så att den blir utformad på ett relevant sätt för fortsättningen av uppsatsen.

I del två går vi igenom utförandet av programmet samt vår flygplansspecifika riskkalkylering. Vi beskriver programmets utformning och användbarhet genom att gå igenom funktion för funktion i den utsträckning det går. Programmet är indelat i fyra huvudsakliga delar. Vi väljer att redovisa programmet i beskrivande text istället för att utgå från programkoden vilket vi anser enklare skapar förståelse för läsaren. I texten går vi ibland djupare in på visa mer komplexa lösningar där en del redovisas matematiskt. Övrig kod kan anses vara relativt lätt och man bör få en bra bild av koden genom att enbart läsa texten.

I resultatdelen som är del tre redovisar vi enbart resultaten från en körning av programmet samt vårt resultat för undersökningen om flygplansspecifika faktorer.

I den fjärde och sista delen av uppsatsen diskuterar vi vårt resultat samt värdet av datan vi har använt oss av och vad avgränsningarna som vi har gjort har fått för konsekvenser. Som en avslutande del går vi igenom några möjligheter att fortsätta utveckla programmet och hur det kan göras bättre.

2 Metodik

I denna metodikdel vill vi dels beskriva och motivera de metoder vi har arbetat med. Vi vill även motivera våra val av data och motivera våra avgränsningar.

Rent teoretiskt finns det två huvudsakliga metoder för att beräkna risken för ett flygplanshaveri i start och landningsfaser. Risken kan modelleras genom att identifiera möjliga riskfaktorer vid en flygplats som sedan kan användas för att beräkna risken för ett haveri för varje flygning som sker. Problemet med denna metod är att det kan finnas ett oändligt antal riskfaktorer varav många kan vara svåra att kvantifiera. Det andra alternativet är att beräkna risken för ett haveri med hjälp av historiska data.

Vi har valt att använda oss av det senare alternativet och samlat in data för flygrörelser och haverier.

2.1 Empiri

Denna del beskriver all data vi har samlat in och hur vi har hanterat den. Användningen av informationen kommer att beskrivas i utförandedelen.

Regelverk och metoder för att rapportera in haveri varierar från land till land. Vad som klassas som ett haveri i Sverige behöver inte nödvändigtvis klassas som ett haveri i Ryssland. Organisationer som IATA arbetar för att internationalisera flygbranschen för att öka säkerheten och minska miljöpåverkan samt göra branschen mer ekonomiskt lönsam. Västvärlden har idag liknande regelverk för haverier där allt ska rapporteras till ett internationellt organ. Europeiska byrån för luftsäkerhet (EASA) samlar idag in alla haverier som rapporteras i hela världen. Det är dock bara i västvärlden där inrapporteringen av haverier är internationellt styrd för varje land. Vi har därför valt att basera vår haveristatistik på västvärlden där inrapporteringen sker efter i stort sätt samma standard. Att ta med övriga världen hade gett en stor felmarginal i datan och långt ifrån alla haverier (enligt vår definition) som sker hade kommit med i undersökningen.

2.2 Tidsperiod

Då regelverk och procedurer kring rapportandet av säkerhetsfrågor är i ständig förändring och förfining ville vi få så mycket information som möjligt med i modellen avvägt mot att informationen även ska vara så aktuell och kvalitativ som möjligt. Ju mer aktuell informationen är desto mer relevant är den för vår modell då modellen ju ska användas som ett verktyg för Swedavia att prognostisera riskerna kring flygplatser med avseende på trafikändringar i en nära framtid. Sedan attackerna mot World Trade Center i New York i September 2001 har den amerikanska regeringen jobbat aktivt för att öka transparensen och informationsspridningen kring terrorattacker och risker som har med flyg att göra (US department of homeland security. 2011). Detta gör att det sedan början av 2000-talet har skett stora förändringar och förbättringar kring närheten av den typen av data vi är intresserade av.

2.3 Flygrörelsedata

För att få kvantifierad data att använda för statistiska ändamål fick vi gå igenom de haverirapporterna som fanns att tillgå i den internationella databasen skybrary och utifrån dessa togs den eftersökta informationen ut (plats, fas, typ av flyg etc.).

För att få fram data som beskriver antalet rörelser på de intressanta flygplatserna tog vi kontakt med respektive länders transportstyrelser och fick på så vis tillgång till data som vi kunde anpassa efter vår modell.

För att samla in flygrörelsedata har vi vänt oss till respektive lands transportdepartement. Det finns flertalet internationella organisationer som sammanställer flygdata men deras intresse ligger främst i säkerhet, ekonomi och miljöpåverkan. De har alltså inte kunnat tillhandahålla rörelsedata sorterat på flygplansvikt, flygplats och region. Målet var från början att samla in statistik från Västeuropa, USA, Kanada, Australien och nya Zeeland. Efter att ha varit i kontakt med respektive lands transportdepartement stod det klart att den tillgängliga statistiken är av väldigt varierande kvalitet beroende på land.

För USA, Kanada och Australien har vi lyckats samla in rörelsedata. Statistiken från USA får anses hålla en hög kvalitet. Deras transportdepartement har tillhandahållit

Flygrörelsedata från 1 Januari år 2000 till sista september år 2012. Statistiken innehåller alla schemalagda starter och landningar som har genomförts på amerikansk mark och på kommersiella flygplatser. För varje flygrörelse som genomförts finns även tillgänglig data för flygplanstyp och mellan vilka flygplatser flygningen är gjord. Enligt USAs transportdepartement så är det mindre än 0,005 % av alla schemalagda kommersiella flygningar som saknas i denna statistiken vilket får anses oerhört bra med tanke på att det rör sig om 100-tals miljoner flygrörelser. Efter en del handpåläggning så kan datat från USA anpassas mycket väl efter våra behov och till skillnad från övrig data så behöver användningen av den inte bidra till oönskade avgränsningar.

Insamlingen av flygrörelser för Europa är mer problematisk. Så vitt vi vet finns ingen central organisation som samlar in data för alla genomförda flygrörelser i europa utan den statistik som finns tillgänglig är uppskattningsberäkningar. Vi har därför även här blivit tvungna att kontakta individuella transportdepartement men har på grund av språkbarriärer inte lyckats få fram data för ej engelskspråkiga länder.

För att lösa våra problem med Europa så har vi kontaktat internationella statistik organisationer. Vi har bland annat kontaktat OAG som är en organisation som enbart koncentrerar sig på insamling av flyginformation och data. De sa att data på den formen som vi vill ha det inte finns tillgängligt i dagsläget. Det finns för många länder och för många flygplatser för att kontinuerligt samla in denna data. De erbjöd sig att samla in alla schemalagda flygrörelser uppdelat på flygplanstyp i Europa för en kostnad av 10 000 Pund vilket är en bra bit över vår budget.

För att sammanfatta vår flygrörelsedata så kan vi konstatera att vi har fått in stora mängder data för hela västvärlden. Tyvärr är datat för många länder väldigt bristfällig vilket gör det svårt att utläsa hur många flygrörelser som har genomförts i landet sedan år 2000. Oftast innehåller bara datat de största flygplatserna eller som i de flesta fallen så finns inte statistik tillgänglig för alla år till och med år 2000.

2.4 Haveridata

Vad som klassas som ett haveri varierar från land till land. EASA arbetar för att internationalisera rapporteringen och samlar in haveridata från hela världen efter deras avgränsningar för ett haveri. Vi har använt oss av EASA´s databas Skybrary för att samla in haverier. Skybrary sammanställer alla flygplanshaverier i en förkortad rapport där vi har kunnat hitta all information vi behöver. Vi har behandlat varje rapport manuellt för att hitta de relevanta bitarna för vår undersökning.

Många länders transportdepartement har haveridata tillgängligt på sina hemsidor. Tyvärr är strukturen på den datan ofta skild länderna emellan vilket gör den svårarbetad när man tar in den i ett program likt det vi hade i uppgift att göra. Haverierna presenteras i en lång lista där det är svårt att filtrera efter våra krav. Ofta går det enbart att sortera på år vilket innebär att alla haverier oavsett flygplanstyp är med. Haverier för småflyg, segelflyg och militärflyg är alltså inkluderat. Varje haveri i listan är en länk till den fullständiga haverirapporten som ofta är ganska omfattande. Hade vi baserat vår haveri-statistik på detta hade vi fått gå in på varje fullständig haverirapport för att se om det är inom våra avgränsningar. Här var skybrary en för oss tillräckligt tillförlitlig källa. Vi har alltså lyckats sortera ut alla haverier som har skett för den flygrörelsedatan vi har samlat in.

2.5 Flygvägar

Swedavia´s bullerberäkningsavdelning håller kontinuerligt reda på alla flygvägar till och från Swedavias flygplatser. Deras primära uppgift är att beräkna störningar från buller i närheten av flygplatser och dra slutsatser kring risk, främst hälsorisker för de boende i området som kan störas av flygtrafiken. Varje flygväg har ett ID, en landningsbana, information om typ av rörelse dvs. om det är en landning eller start och ett antal punkter som används som koordinater för att beskriva flygvägen.

Ett flygplan flyger sällan exakt på en planerad flygväg utan avviker oftast från den med ett för oss mindre väsentligt avstånd. De exakta koordinaterna för flygvägen beräknas genom att ta ett snitt för alla flygningar där varje svängpunkt beräknas och bokförs i en koordinatlista. Vi använder oss av just denna lista för att få en noggrann bild av flygvägarna. Nedan följer ett utdrag över koordinatlistan för flygvägarna på Arlanda.

Tabell 1 visar den första flygvägen, DEP19L01 under TRK_ID1, på Arlanda. Övriga 240 flygvägar på Arlanda listas sedan ner där segment number (SEG_NUM) anger slutet och början på en ny flygväg genom att börja om på ett. RWY_ID anger vilken rullbana det gäller, OP_TYPE om det är en landning eller start och PARAM1 och PARAM2 anger svängpunkter på flygvägen med origo i ARP.

RWY_ID	OP_TYPE	TRK_ID1	TRK_ID2	SEG_NUM	SEG_TYPE	PARAM1	PARAM2
19L	D	DEP19L01	0	1	P	1,2221	-0,2088
19L	D	DEP19L01	0	2	P	0,9790	-1,5365
19L	D	DEP19L01	0	3	P	0,9307	-1,8157
19L	D	DEP19L01	0	4	P	0,8860	-2,1107
19L	D	DEP19L01	0	5	P	0,8616	-2,2883
19L	D	DEP19L01	0	6	P	0,8628	-2,4557
19L	D	DEP19L01	0	7	P	0,8891	-2,6594
19L	D	DEP19L01	0	8	P	0,9533	-2,8462
19L	D	DEP19L01	0	9	P	1,0274	-3,0481
19L	D	DEP19L01	0	10	P	1,1438	-3,1807
19L	D	DEP19L01	0	11	P	1,3678	-3,3871
19L	D	DEP19L01	0	12	P	1,6361	-3,5238
19L	D	DEP19L01	0	13	P	1,9612	-3,6065

Tabell 1 Koordinater för flygvägarna på Arlanda flygplats

Koordinaterna kommer alltså i en lång följd av den anledningen att det ska vara enkelt att uppdatera när man använder listan i olika program. Då det tillkommer nya flygvägar så skrivs de in i slutet av listan.

Med hjälp av denna datat kommer vi kunna beräkna antalet flygningar i varje punkt runt en flygplats. Vi kommer även att beräkna uppskattad höjd för ett flygplan i varje punkt för att på så sätt få fram en uppskattning över vilket område som ligger inom riskzonen för flygplanet vid ett eventuellt haveri.

2.6 Höjdberäkning

Då riskkoncentrationen i modellen till stor del är baserad på vilken höjd flygplanen befinner sig på i givna tidpunkter fick vi i samråd med Swedavia kalkylera två funktioner som ger höjden som funktion av avstånd till ARP. Verkligheten är självklart mer komplex, då olika flygplanstyper stiger och sjunker olika snabbt samt att det finns

externa faktorer som också påverkar egenskaperna för flygen, till exempel väder, årstid och olika typer av sikt. Valet av två generella funktioner grundar sig på implementeringen i programmet. Att ta hänsyn till olika flygplans höjdekvationer hade genererat massvis med ytterligare uträkningar för programmet vilket hade tagit mycket lång tid.

2.6.1 Landningar

Till skillnad från starten sker landningen på ett i stort sett likartat sätt för de flesta kommersiella flygplanen och när man modellerar landningar brukar man anta att planen landar med en konstant vinkel tills de når marken. I samråd med Swedavia har vi kommit fram till att en lagom vinkel att använda oss utav för att ge en rimlig beskrivning av hur landningar går till på flygplatser under Swedavias ledning är 3° .

$$y = \tan(3^\circ) * x, \text{ där } x \text{ är avstånd från ARP mätt i meter och } y \text{ är höjden i meter}$$

Detta stämmer i stort sätt för alla landningsfaser och alla flygplanstyper förutom de absolut sista meterna, precis innan flygplanet når marken. Detta rör sig dock om en väldigt liten sträcka och får inga nämnvärda konsekvenser för våra uträkningar.

2.6.2 Starter

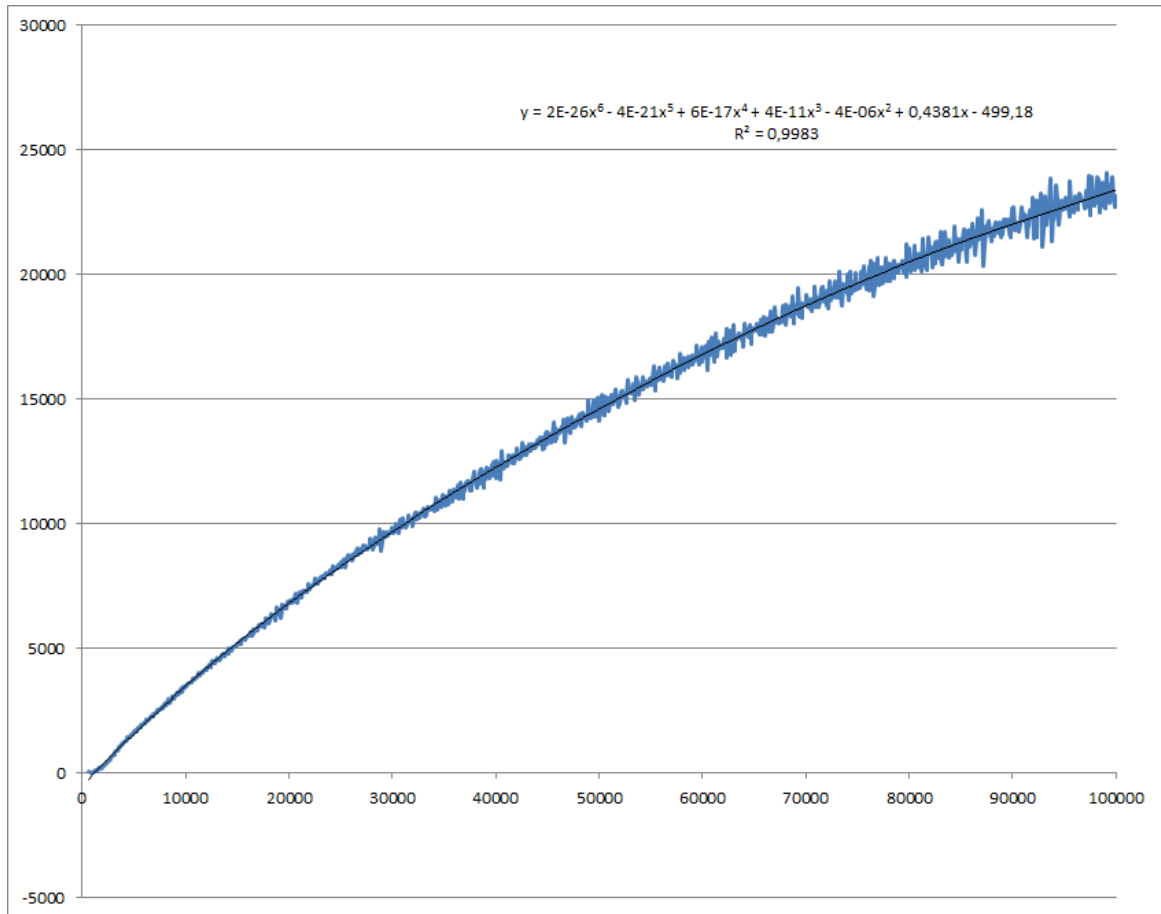
Swedavias egna bulleravdelning gör kontinuerligt försök för att hitta samband mellan flygen sträcka och planens höjd. Höjden är en viktig faktor att ta hänsyn till vid bullerberäkning. Då det blir alldeles för komplicerat att göra en höjdekvation för varje typ av flygplan så väljer vi att försöka ta fram en generell höjdekvation för alla typer av plan. Vi har fått tillgång till en stor mängd höjddata för flygplan från Swedavias bulleravdelning. Höjddata sparas automatiskt för varje flygning som görs på Arlanda. Datat innehåller alltså varje flygning som är gjord oavsett flygplanstyp och dess höjd vid olika flygna avstånd. Vi vill rita upp all data i ett diagram där höjden beror på färdat avstånd. Vi vill sedan titta på trend-linjen i diagrammet samt kalkylera ekvationen för den. Problemet ligger i att det blir alldeles för mycket data för Excel att hantera så vi blir tvungna att göra någon form av urval från höjddatat.

Vi väljer att titta på ett år, nämligen 2012. För att försöka få bort vind och väder ur ekvationen så tittar vi på dag 1 och dag 20 i årets tolv månader. Ett flygplan stiger lite snabbare vid vinterväder eller allmänt dåligt väder än vad det gör vid bra väder. Att enbart titta på sommar eller vinter hade då gett ett felaktigt medelresultat. För att ytterligare hålla ner antalet träffar så tittar vi endast på en femminutersperiod varje timme för de utvalda dagarna. Genom detta urvalet har vi fått 797 rörelser utsorterat.

För de 797 flygningarna ritas höjden upp i ett diagram som funktion av färdad sträcka. Se figuren nedan. Vi ritar upp trend-linjen och gör antagandet att den bäst beskrivs av ett polynom. Genom minsta kvadratmetoden kan då Excel bestämma ekvationen för linjen. Vi får följande svar:

$$y = \max(2 * 10^{-26} * x^6 - 4 * 10^{-21} * x^5 + 6 * 10^{-17} * x^4 + 4 * 10^{-11} * x^3 - 4 * 10^{-6} * x^2 + 0.4381 * x - 499.18, 0)$$

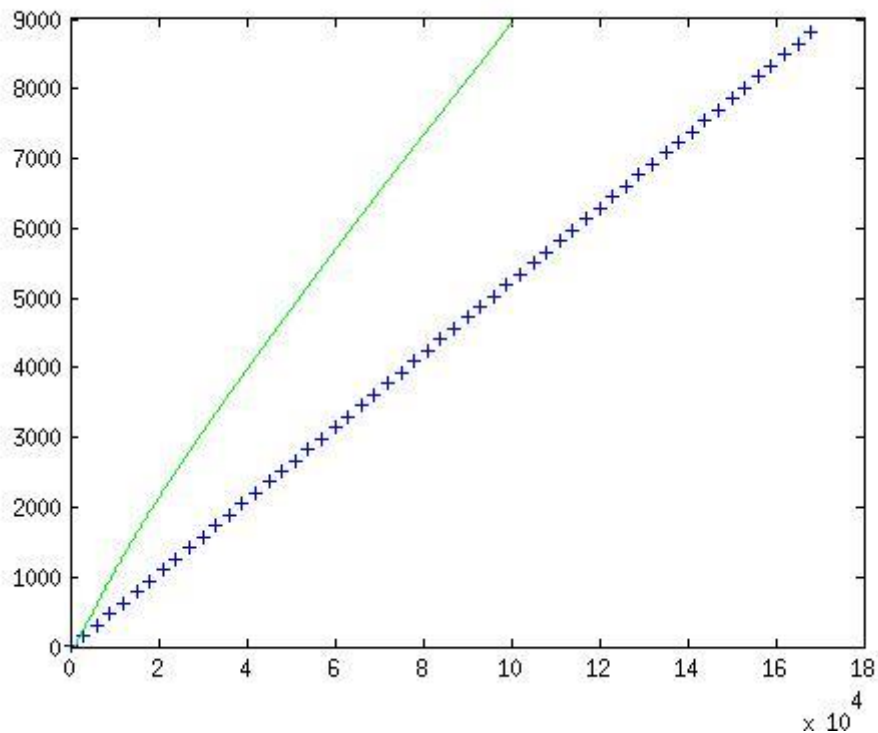
där y är höjden över marken och x är avståndet till ARP i meter. Som kan ses i figuren så följer den svarta trendlinjen våra höjdmätningar. Ekvationen används sedan i programmet för att beräkna höjden i alla interpolerade koordinater samt att beräkna flugen sträcka vid de specifika höjder då ett flygplan går in i en ny flygfas.



Figur 2 Höjden (feet) ritat som funktion av färdat avstånd (meter).

Samma undersökning är gjord för urval av samma storlek men för olika tidsperioder. Resultatet har visat väldigt snarlika funktioner som den i Figur 2. Att göra ett större urval d.v.s. fler än 797 flygningar skapar problem för uträkningen i Excel. Kalkyleringen blir extremt långsam och vid för stora urval så hängde sig hela processen.

Figur 3 visar skillnaden för höjdberäkningen för starter och landningar.



Figur 3 Skillnad i höjd i meter för starter(-) och landningar(+)

Som man kan se i Figur 3 är starterna signifikant högre vid samma avstånd från ARP. Detta medför dels att det krävs två olika funktioner för höjdberäkning (som vi kalkylerat ovan) samt att en landning kräver betydligt längre sträcka för att gå igenom sina faser jämfört med en start. Vad det får för konsekvenser för programmet visas senare men kort sagt så kommer risken för landningsfaserna bli utspridda på ett betydligt mer koncentrerat område än startfaserna.

2.7 Trafikinformation för flygvägar

Tabell 2 visar ett utdrag ur Swedavia´s excel-mall för snittrörelser per flygplanstyp, flygväg och dag för Umeå flygplats.

ACFT_ID	OP_TYPE	PROF_ID1	PROF_ID2	RWY_ID	TRK_ID1	OPS_DAY	OPS_EVE	OPS_NIGHT
737300	A	STANDARD	1	14	A14VAS1J	0,002490	0,001660	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	A14VAS1K	0,001826	0,001218	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	A14VAS1L	0,001826	0,001218	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	A14VAS1M	0,000830	0,000553	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	A14VAS1N	0,000830	0,000553	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	A14VAS1O	0,000249	0,000166	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	A14VAS1P	0,000249	0,000166	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	KETEL 2C	0,000000	0,002767	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	LENZO125	0,030438	0,027671	0,013836
737300	A	STANDARD	1	14	TINDO12D	0,005534	0,000000	0,000000
737300	A	STANDARD	1	14	UMSOM427	0,002158	0,004317	0,001079
737300	A	STANDARD	1	14	UMSOM428	0,001328	0,002656	0,000664

Tabell 2 Flygningar per flygväg och flygtyp för Umeå Flygplats

Tabellen är en del av Swedavias standardformat för bokföring av flygvägsanvändning. Samma information finns tillgängligt för alla Swedavias flygplatser. I tabellen kan man alltså utläsa hur många av varje flygplanstyp som flyger på varje flygväg per dygn. Första kolumnen visar flygplansmodell, i detta fallet en boeing 737-300, kolumn två visar vilken typ av rörelse det gäller (Arrival/departure), kolumn sex visar vilken flygväg rörelsen gäller och de tre sista kolumnerna visar snittrörelserna per dag, kväll och natt för ett specifikt flygplan.

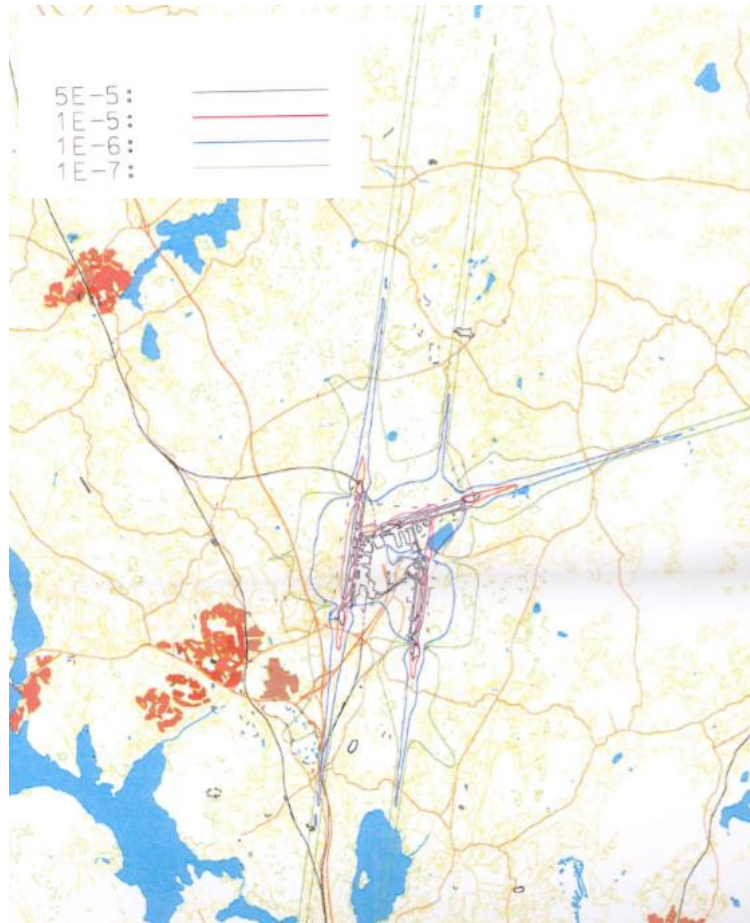
Trafikinformation finns tillgänglig för alla Swedavias flygplatser och används av vårt program för att veta antalet rörelser på en flygväg.

2.8 Krascharea

Till skillnad från tidigare forskning så väljer vi att använda oss av en mer generell kraschplatskalkylering. I tidigare forskning så har platsen där ett haveri kan påverka tredje man kalkylerats genom historiska data. Det som gör att vi väljer en annan mer generell väg ligger i att piloten i många fall har kontroll, eller viss kontroll, över flygplanet även efter ett haveri har inträffat. Att då basera en kraschplatsmodell på ganska få händelser (i vårt fall 29 stycken) hade skapat en osäker modell. Då piloten ofta har någon form av kontroll på planet kan han antas styra det mot platser där tredje man har minst risk att påverkas.

För att göra en ordentlig kraschplatsanalys anser vi att det inte räcker med en deterministisk eller empirisk modell baserat på ett fåtal historiska händelser utan man måste även ta hänsyn till topografi. Då vårt program ska vara applicerbart på flertalet flygplatser och enkelt kunna uppdateras med ännu fler blir topografi inget som programmet tar hänsyn till.

Tidigare forskning är även baserat på ett mindre område i närheten av flygplatsen. Det blir då mer relevant att använda olika kraschområdesmodeller eftersom flygplanen befinner sig på lägre höjd och piloten har mindre tid på sig att påverka nedslagsplatsen. Vårt program är utformat för riskkalkylering kring ett större område runt en flygplats. Vi tar hänsyn till alla flygfaser upp till ”cruise”. Detta gör att planets riktning då haveriet inträffar spelar mindre roll än om det befann sig på låg höjd. Vårt program är alltså mindre exakt i direkt anslutning till en flygplats. Figur 4 visar en riskkalkylering som är gjord för Arlanda i direkt anslutning till flygplatsen. Som tydligt framgår av bilden så har man här tagit hänsyn till planens färdriktning, därav de smala och långa riskkonturerna. På en liten skala ger det en bättre riskkalkylering än vårt program men det säger ingenting om risken utanför de smala konturerna. Som vi kommer att visa i resultatdelen så är i själva verket riskkonturerna betydligt mer utspridda.



Figur 4 Riskkonturer för Arlanda flygplats i direkt anslutning till flygplatsen. (Swedavia konsult).

2.8.1 Krascharea som funktion av höjd

När vi modellerar den möjliga krascharean för varje enskilt flygplan tar vi endast hänsyn till höjden det aktuella planet i stunden befinner sig på. I samråd med Swedavia kom vi fram till att vi skulle använda ett glide/height-ratio på 10 för att få radien på krascharean. Denna siffra kommer från instruktioner till blivande piloter och är en grov generalisering av olika plantypers glideegenskaper (Wall, Martin. Swedavia konsult).

2.8.2 Fasindelning

Eftersom programmet har till uppgift att modellera risken vid området i direkt anslutning till flygplatser är det främst flygfaserna som berör det området som är av vikt för vår analys. I avfärdsfasen innebär det att de faserna av intresse är startfasen (takeoff) samt lyftfasen (climb).

Vid landningar är de intressanta faserna nedstigningsfasen (descend) samt landningsfasen (landing) då planet slår i backen.

Då riskerna mellan de olika faserna skiljer sig åt bestämde vi i samråd med Swedavia att vi skulle samla in haveridatat för de olika faserna var för sig och sen modellera utifrån det. I Skybrarys databas finns informationen listad efter faser så fasindelning utgjorde inget extra manuellt arbete för vår del.

I enlighet med Skybrarys egna definitioner av faserna och vid de tillfällen då dessa var alltför otydligt definierade med Swedavias hjälp kom vi fram till följande indelning för faserna:

takeoff	$0\text{m} \leq h < 245\text{m}$
climb	$245\text{m} \leq h < 9000\text{m}$
descend	$9000\text{m} \geq h > 765\text{m}$
landing	$765\text{m} \geq h \geq 0\text{m}$

Vid 9000 meters höjd går ett flygplan in i, eller lämnar, *cruise-fasen*.

Med hjälp av våra höjdekvationer kommer vi att kunna beräkna flugen sträcka då ett flygplan går från en fas till en annan och därmed kan vi även beräkna korrekta risknivåer på rätt avstånd från flygplatsen av intresse.

2.9 Lassometoden

Risken att drabbas av ett flygplanshaveri kan möjligtvis vara beroende av olika flygplansspecifika faktorer. Om en viss typ av flygplan innebär en större risk för tredje man bör risken runt en flygplats vara större om ett jämförelsevis större antal flygplan av denna typ är aktiva där. Om man genom att använda en statistisk metod kan sortera ut de planspecifika faktorer som påverkar kraschbenägenheten mest skulle man kunna använda det resultatet för att minska risken för tredje man genom att till exempel planera flygningar med avseende på de faktorerna. Man kan argumentera för att

skillnaden blir minimal men vid planering av flygplatser med mycket trafik i anslutning till storstäder kan man tänka sig att det kan bli ett krav från till exempel försäkringsbolag att man tar hänsyn till sådant.

Problemet kan ses som en linjär regression där de okända vikterna för faktorerna behöver uppskattas. En vanlig uppskattningsmetod för den här typen av problem är *Ordinary Least Squares* metoden eller OLS. Denna metod är dock inte felfri och kan i vårt fall ge upphov till en märkbar nackdel; OLS kan medföra tolkningssvårigheter då den inte sätter några av vikterna till noll. När man arbetar med ett större antal variabler så är det bra om det går att sortera bort de mindre viktiga och enbart få kvar ett urval av variabler där effekten är som störst.

För att förbättra OLS-uppskattningen finns det en del olika förbättringsmetoder som man kan använda. Den första är *Subset Selection* som både förminskar variabler samt sätter variabler till värdet noll. Nackdelen är att modellen är diskret och väldigt små förändringar i data kan ge helt olika modeller. Graden av säkerhet i förutsägelseorna blir alltså försämrade med denna förbättringsmetoden. Den andra modellen kallas för *Ridge regression* och är en kontinuerlig process där variablerna förminskas på ett mer stabilt sätt. Metoden kan ej sätta variabler till noll och alltså inte ge ett ordentligt svar på vilka variabler som inte har någon signifikans för resultatet.

Båda förbättringsmetoderna vi har beskrivit ovan har sina märkbara nackdelar för den undersökningen vi vill göra. Vi har istället valt att använda oss av ett tredje alternativ som kallas för *Lassometoden* för att förbättra vår OLS-skattning. Lassometoden krymper och sätter variabler till noll på ett sätt så att de bra egenskaperna från *Subset selection* och *Ridge regression* bevaras. Detta gäller dock bara då korrelationen mellan variablerna inte är för hög. (Hui Zou, Trevor Hastie, Regularization and Variable Selection via the Elastic Net, Dep of Statistics, Stanford University). Metoden kommer alltså i vårt fall att sortera ut de flygplansfaktorer som har störst påverkan på risken för tredje man. När det är gjort så kommer vi genom att jämföra mängden av flygplan med högre riskfaktorer i vår totala data med en viss flygplats mängd av flygplan med högre riskfaktorer, kunna se om risken för tredje man runt flygplatsen bör vara högre eller

lägre. Det vill säga om en flygplats har en större mängd aktiva flygplan med av vår lassometod identifierade riskfaktorer jämfört med totala antalet rörelser av flygningar så bör risken runt flygplatsen vara högre. Tibshirani, 1996

Definitionen av lasso:

Antag att vi har data (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, N$

där $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})^T$ är variabler och y_i är svaren.

Vi antar att observationerna är oberoende eller att svaren är "vilkorligt oberoende". Vi

antar även att x_{ij} är standardiserad så att $\sum_i \frac{x_{ij}}{N} = 0$ och $\sum_i \frac{x_{ij}^2}{N} = 1$.

Genom att sätta $(\hat{\beta}) = (\hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_p)^T$, så är lassoskattningen $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ definierad av:

$$(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \arg \min \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - \alpha - \sum_j \beta_j * x_{ij})^2 \right\}$$

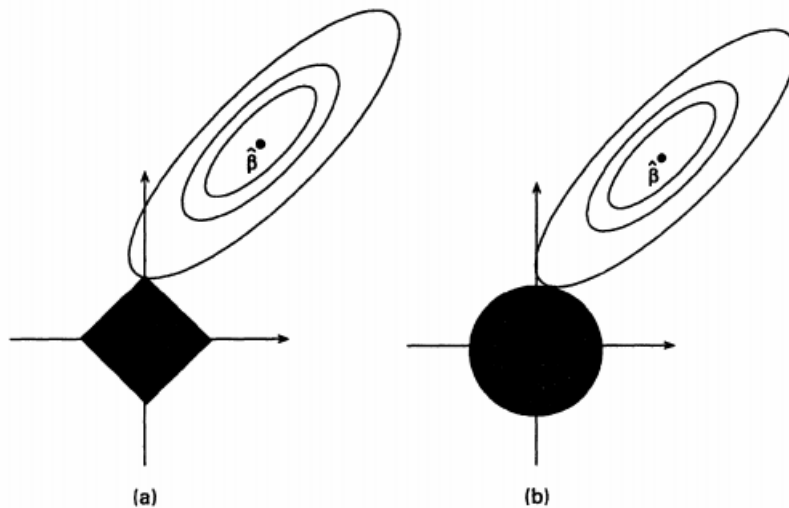
med avseende på $\sum_j |\beta_j| \leq t$

där $t \geq 0$ är en inställningsbar parameter som kontrollerar storleken av krympningen.

Nu blir, för alla t , lösningen för α : $\hat{\alpha} = \bar{y}$

Vi kan anta att $\bar{y} = 0$ och därmed försumma α .

(Tibshirani, 1996)



Figur 5 Geometrisk jämförelse av (a) Lasso metoden och (b) Ridge regression. Tibshirani 1996

Figur fem ger en geometrisk förklaring till varför vissa variabler blir noll med lasso metoden till skillnad från t.ex. ridge regression, i fallet med två faktorer ($j=2$). De mörklagda regionerna är geometriska gestaltningar av restriktionerna för varje metod. För Lasso gäller restriktionen $\sum_j |\beta_j| \leq t$ vilket förklarar varför det mörklagda området i (a) blir kvadratisk. Ridge regression gäller under $\sum_j \beta_j^2 \leq t$ vilket ger ett cirkulärt mörklagt område. $\hat{\beta}$ är vektorn av de OLS skattade $\beta_{1\dots j}$. Konturerna ges av en omskrivning av kriteriet $\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j * x_{ij})^2$. Varje kontur är alltså en mängd av vikter för olika β med samma kvadratiske fel, d.v.s. en typ av indifferenskurvor.

Lösningen för både lassometoden och ridge regression är den punkt där konturen först nuddar det mörklagda området. Då Lassometoden arbetar under $\sum_j |\beta_j| \leq t$ så är det stor sannolikhet att konturen träffar en hörna som första punkt och därmed göra att vissa vikter blir noll. För ridge regression finns det inga hörnor att träffa vilket medför att en variabel nästan aldrig kan bli noll. (Tibshirani, 1996)

Fördelen med lassometoden ligger alltså i att vissa variabler kan bli exakt noll och därmed skapa en mer lättolkad lösning. (Tibshirani, 1996)

2.10 Datasetsamling till Lasso

Från flygrörelsestatistiken från USA framgår även vilket typ av flygplan rörelsen beträffar. Datan visar att det, sen år 2000, har den schemalagda flygtrafiken i USA utförts av cirka 300 olika typer av flygplan. Varje typ kan innefatta olika modeller med ett mindre antal skillnader. Då planen oftast inte skilljer sig nämnvärt i storlek beroende på vilket modell av en flygplanstyp det rör sig om så tar vi inte hänsyn till olika modeller. För att kunna använda oss av lassometoden för att urskilja riskfaktorer med flygplan så behöver vi först samla in information om relevanta flygplansfaktorer. Antalet faktorer kan i själva verket vara obegränsat men då det rör sig om över 300 olika flygplanstyper så måste vi på grund av det här arbetets omfattning begränsa antalet faktorer. Vi har valt att fokusera på de faktorer som är av standardmått för alla flygplan av en viss modellen. Därför blir flygplansmodellen av mindre betydelse. Följande faktorer har vi samlat in information om för alla 300 flygplanstyper: vingspann, maximal startvikt, längd, höjd och antalet motorer. Datat är hämtad från Airlines, Aircraft Technical Data and Specifications, som samlar in och presenterar flygplansspecifik information.

2.11 Matlab

Utvecklingen av programmet har vi i samråd med Swedavia valt att göra i Matlab. Valet är baserat på vår tidigare kunskap om programmet samt möjligheterna att hantera stora mängder data på ett enkelt sätt. Matlab är uppbyggt genom hantering av matriser och vektorer vilket passar det här arbetet. De stora mängderna data som är insamlat är utformat på samma sätt vilket gör det enkelt att hantera i matrisform.

Matlab är ett program som använder ett språk för numerisk beräkning, visualisering och applikationsutveckling. Språket är uppbyggt av vektorer och matriser vilket gör det väldigt passande för vår uppgift (Mathworks, Matlab).

En av fördelarna med att ta fram en programvara är att det kan vara enkelt att uppdatera statistiken. All data vi har tillgång till har skapats i excelformat. I Matlab är det enkelt att läsa in informationen från ett Excel-blad som sedan kan lagras som matriser och vektorer. Det ställer dock krav på informationen skrivs rätt in i Excel. För flygvägar

finns redan en färdig mall från Swedavia hur informationen ska skrivas in i Excel. För flyg- och haveridata har vi själva skapat en mall som sedan måste följas vid uppdateringar för att informationen skall läsas korrekt i Matlab.

3 Utförande

Syftet med ett program är att på ett enkelt sätt kunna hantera den stora mängden information vi har samlat in, kunna visa den på ett enkelt och strukturerat sätt samt att enkelt kunna uppdatera informationen. Den sista punkten är det tyngsta argumentet för utvecklingen av ett program. Flygvägar till och från flygplatser ändras, ytterligare flygrörelsestatistik och haveristatistik kan läggas till för att göra beräkningarna ännu mer trovärdiga. Även flygplan och regelverk ändras vilket kan innebära att beräkningarna måste ändras vilket då enklast görs i ett program.

Swedavia önskade programmet skrivet i antingen Java eller Matlab. Då informationen vi har samlat in är både väldigt stor och enklast att hantera i matrisform så kändes valet av Matlab ganska givet.

Det färdiga programmet ska från en stor mängd data kunna beräkna risken för ett flygplanshaveri i en given punkt i närheten av en flygplats. För att göra det så måste programmet kunna hantera flygvägar, antal flygningar per flygväg, det ska kunna beräkna riskzonen för ett flygplan med avseende på höjden och på ett användarvänligt sätt visa riskzonerna för en flygplats i en graf.

Den färdiga grafen ska sedan kunna exporteras som dxf-fil till Autocad där en karta över aktuell flygplats läggs som bakgrund. Detta ställer krav på att avstånd och koordinater är rätt.

Vårt slutliga program genomför beräkningar på information som är i ständig förändring. Det ställer krav på att programmet ska vara lätt att uppdatera för att kunna göra olika framtidsscenario och prognosser. Vad gäller riskberäkningarna så skall nya årliga flygrörelser och eventuella haverier enkelt kunna läggas in i programmet. Vi har därför tagit fram en Excel-mall där det är enkelt att se vilka uppgifter som behövs för att uppdatera haverier och flygrörelser. När nya haverier och flygrörelser läggs till så är det bara att fortsätta skriva in data i slutet på exceldokumentet.

Specifika flygplatsfaktorer kan också ändras, framförallt flygvägar. Swedavia har tillhandahållit excelfiler för alla in och utflygningssvågar för sina flygplatser.

Dokumentet från Swedavia innehåller flygvägsnamn, landningsbana, typ av rörelse (landning/start) koordinater för varje svängpunkt för flygvägen samt en indexering av koordinaterna. För varje rubrik står allting listat i en lång rad där indexeringen av koordinater visar när en flygväg börjar och slutar. Fördelen med detta är att när en ny flygväg ska läggas till så är det bara att skriva in den längst ner i dokumentet eller när en flygväg ändras så är det bara att söka upp flygvägsnamnet och sen uppdatera koordinaterna. Swedavia arbetar sedan tidigare med denna lista och vill att programmet ska kunna läsa av all information det behöver från denna lista utan att ändra formatet på den. Det har ställt en del krav på programmet vad gäller sortering och informationshantering. De specifika funktionerna för detta redogörs nedan.

3.1 Programmets Uppbyggnad

Programmet är i princip uppbyggt av fyra olika delar. Tanken att dela upp det på detta sättet är att det ska bli mer överskådligt, för någon som inte själv har varit med och skrivit programmet, att få en överblick över vad som händer i programmet och själv kunna ändra i det för att få fram det önskvärda resultatet. Vi börjar med att beskriva vilka variabler som kan ändras av användaren. Variablerna kan sedan kännas igen av läsaren i programbeskrivningen vilket ökar förståelsen.

3.1.1 Variabler

Den delen där användaren ska kunna ändra variabler utan att ändra något i själva koden för programmet är ett skript som är separerat från den övriga programkoden. Här är det tänkt att användaren anger sådant som är relevant för den aktuella undersökningen. Det som är justerbart är följande:

3.1.1.1 Koordinatinformation

Koordinaterna för flygvägarna är angivna med ARP som utgångspunkt, det vill säga att ARP är origo för varje undersökning. Detta medför ett problem när resultatplotten sedan ska exporteras via Autocad och läggas ovanpå en bild på en karta över området. Vid exporteringen läggs plotten automatiskt med origo där koordinaterna är (0,0), alltså någonstans längs ekvatorn. Det är möjligt för användaren att manuellt förflytta resultatet till den önskvärda platsen, men detta innebär mycket skrollande och tidskrävande justeringar för att få den precis där den hör hemma. För att slippa merarbete anger användaren här vad ARP för aktuell flygplats har för koordinater enligt sweref99-systemet (Lantmäteriet, SWEREF99) och plotten lägger sig då automatiskt på rätt position vid exporteringen med Autocad.

3.1.1.2 Viktklassinformation

Ibland är det av vikt för prognos och projekterings-arbetena att kunna dela in riskanalyserna i olika viktklasser. Eftersom datat som används som underlag till haverimodelleringen i programmet har all statistik uppdelat på vikt så är det möjligt för användaren att själv bestämma vilka vikter han/hon är intresserad att modellera med avseende på. Detta görs genom att skriva in viktintervallerna man är intresserad av i en vektor och sedan ange om man vill ha ett stängt eller öppet intervall. Om intervallet är stängt är den största viktklassen den mellan den näst sista och den sista vikten, det vill säga $m_{N-1} = [v_{N-1}, v_N)$, är intervallet däremot öppet är den största viktklassen alla vikter över den sista angivna vikten, det vill säga $m_N = [v_N, +\infty)$ där m är viktspann, v är användarens angivna vikt samt N är antalet vikter definierade av användaren.

3.1.1.3 Flygplatsval

För att minska tiden för varje körning av programmet samt att öka användarvänligheten så är det väsentligt att användaren enkelt kan välja vilken flygplats som är av intresse. Genom en enkel variabeländring känner programmet av vilken som är flygplatsen av intresse. Programmet läser då enbart in data för just den flygplatsen. Detta sparar stora mängder tid till skillnad om programmet hela tiden läste in all data för alla flygplatser.

All flygplatsinformation kräver sortering och strukturering, som kan ses i del två av programmet och är ganska tidskrävande.

3.1.1.4 Flygvägsinformation

Då flygvägarna importeras till programmet från excelfilerna som Swedavia tillhandahar skiljer de sig mycket åt. Koordinater är bara utsatta i svängpunkter vilket gör att flygvägar som går relativt rakt har relativt få punkter i sin koordinatlista jämfört med en krokig flygväg. I den här delen anger användaren med vilket avstånd flygvägarna ska interpoleras så att koordinaterna blir utsatta med jämna mellanrum i koordinatlistan. Ju kortare avståndet är mellan koordinaterna, desto noggrannare blir resultatet, men det krävs också mer datorkraft.

Användaren anger även här på vilken höjd fasbrytningarna ska ske i start respektive landningsskedet.

3.1.1.5 Modellerings och resultatpresentations-info

Här bestämmer användaren dels hur stor arean för området som ska plottas ska vara. Man bestämmer även hur stor en ruta på griden ska vara, och ju större antal gridrutor som finns, det vill säga ju mindre storlek per gridruta, desto mer noggrant blir resultatet, men mer datorkraft behövs.

Man bestämmer även gränser för nivåkurvorna som ska visas i plotten.

Figur 6 visar användarfönstret i Matlab för vårt program. Alla variabler som bestäms av användaren kan ändras i detta fönstret.

```
%% Koordinatinfo
X0 = 0;%664465;
Y0 = 0;%616266;
%% Viktklassinfo
Weights = [7.5]; %rekomenderas att man gör körningen på en weightclass i taget
Boundry = 0; % 0=öppen 1=stängd
%% Flygplatsval
Airport = 'arlanda'; % arlanda, umea, test
%% Flygvägsinfo
d = 200; % Avstånd mellan varje koordinat i en flygväg
%Fasbrytningar
HeightSwitchStart = 245;
HeightSwitchLand = 765;
%% Grid och modelleringsinfo
Aneadius = 30000;
Gridsquaresize = 200; %Hur stor sidan på en gridkvadrat är
%Riskkurvorna som ska plottas
Riskcurves = [10^7,10^8,5*10^10];
```

Figur 6 Användarfönster för ändring av variabler.

3.1.2 Del ett - insamling av data med avseende på vikt

I den här delen bestämmer användaren vilken viktklass den är intresserad av att se risken för. Det är möjligt att både bestämma en stängd viktklass, det vill säga att vikterna inom klassen är inom ett intervall, men det går även att titta på en öppen viktklass, det vill säga att man tittar på alla plan över en viss vikt.

Efter att alla landningar och starter är ihopsamlade går programmet igenom dokumentet med de krascher vi har lyckats samla in från skybrary.com och även här samlas den viktrelevanta informationen in så att den kan användas i del tre sedan.

3.1.3 Del två - sortering och strukturering

För att kunna hantera informationen om flygvägarna måste de först struktureras och filtreras.

Nedanstående del av Matlab funktioner har just detta som syfte. Funktionerna är skapta dels för att kunna hantera informationen på ett enkelt sätt i fortsättningen av programmet men också för att bibehålla Swedavias standard-format på flygvägarna. Detta för att det ska vara så enkelt som möjligt för Swedavia att hantera och uppdatera.

Flygvägar och rörelser per flygväg dokumenteras av Swedavia i förutbestämda Excel mallar. Vårt program ska kunna läsa nödvändig information direkt från de här mallarna utan att någon förändring ska behöva göras i Excel. Vårt program kräver en viss struktur och form på datat, vilket skapar ett behov för funktioner som kan strukturera om informationen från Excel-mallarna. Detta avsnittet innehåller även funktioner som strukturerar om informationen från Excel.

3.1.3.1 Sortering av flygvägar

För att kunna hantera flygvägarna i matlab så måste de först sorteras ut från den långa sammanställda listan. Då allt kommer på en lång rad måste programmet kunna känna av var en flygväg slutar samt var nästa börjar. Funktionen går igenom alla koordinater för en given flygplats och sparar flygvägarna i en cellvektor. Varje gång en etta träffas på i *Segment number* (SEG_NUM) sparas föregående koordinater som en egen flygväg i

cellvektorn med ett eget index. Cellvektorn innehåller alltså koordinaterna för en flygväg på varje index. Denna vektorn kommer sedan att byggas på med ytterligare information om varje flygväg vilket är anledningen till att celler används.

3.1.3.2 Flygvägsförlängning

Som kan ses i Tabell 1 så är flygvägarna dokumenterade med svängpunkter.

Flygvägsdokumenten innehåller alltså bara koordinater för de punkter där ett flygplans riktning ändras. Från och med sista punkten i en flygväg så färdas planet rakt fram.

Detta innebär att flygvägarna i koordinatlistan kan sluta på väldigt olika flygna distanser. För programmets funktion måste vi kalkylera en sista koordinat för alla flygvägar på ett givet avstånd från ARP så att alla relevanta faser kan inkluderas.

Flygvägarna kommer senare att skalas ner så att ingen flygväg når längre än till cruise-fasen. Vi vill alltså komplettera listan med koordinater med en sista koordinat så att alla flygvägar slutar på samma avstånd från ARP. För att göra detta så beräknar funktionen linjens ekvation mellan de två sista koordinaterna och förlänger i båda riktningar tills den skär en cirkel med en given radie (avstånd) från ARP.

Vår funktion använder sig av Matlab funktionen *solve* under följande villkor:

$$\text{Radien}(\text{avstånd från ARP}) = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad b = a * z + m$$

Där ARP är origo, z och m beskriver linjen och a,b är variabler för de koordinater som ska kalkyleras.

Funktionen har nu räknat fram två möjliga lösningar för förlängningen av en flygväg. För att avgöra vilken av dessa två koordinater som är den rätta så jämförs en godtycklig av dem med de två sista koordinaterna i flygvägen. Eftersom det är en rak linje mellan de två sista koordinaterna så är den "riktiga" förlängningen alltid närmre den sista koordinaten än vad den felaktiga förlängningskoordinaten är. Om resultatet av jämförelsen visar att den godtyckligt valda koordinaten är närmre den sista i listan än den som inte blev vald, så läggs den godtyckliga koordinaten in sist i listan. Då den valda inte är närmst så läggs den andra in.

Funktionen går igenom alla flygvägar för en given flygplats, förlänger dem en åt gången och lägger in en ny koordinat sist i koordinatlistan på flygvägen.

3.1.3.3 Interpolering

För programmets funktion så måste varje flygväg bestå av jämnt fördelade koordinater. Då riskzoner identifieras med hjälp av ett rutnät (som vi kommer till senare) så måste flygvägarna på något sätt kunna markera vilka rutor som påverkas av just den flygvägen. Det finns med stor sannolikhet flera sätt att lösa detta på. Vi har valt att interpolera flygvägarna så att de består av koordinater med ett av användaren givet avstånd mellan sig. Avståndet mellan varje koordinat kan användaren ändra på ett smidigt sätt i programmet. Detta för att själv kunna styra hur exakt kalkyleringen av risken ska vara. Även storleken på rutorna i rutnätet kan varieras.

Interpoleringsfunktionen gör alltså om koordinaterna för flygvägarna. Istället för att enbart bestå av svängpunkter så blir det en lista av koordinater med exakt samma avstånd mellan varje. För att klargöra så är det inte avståndet mellan alla koordinater som blir exakt samma utan avståndet längs med flygvägen mellan varje koordinat.

Denna funktionen tar även hand om eventuella fel i flygvägsdokumenten. I koordinatlistorna som Swedavia har gett oss så kan det förekomma dubbelkoordinater och även trippelkoordinater. Samma koordinat kan alltså vara inskriven två eller tre gånger i rad i koordinatlistan. Innan interpoleringen sker med matlabs inbyggda interpoleringsfunktion så sorteras eventuella dubletter och trippletter bort. Funktionen är konstruerad så att en oändlig rad av samma koordinater kan sorteras bort.

3.1.3.4 Avståndsberäkning

I cellvektorn med flygvägarna läggs i denna funktionen in fluget avstånd för varje koordinat och flygväg. Avståndet behövs senare i programmet för höjdberäkning och skalning av flygvägarna. Fluget avstånd vid varje interpolerad koordinat sparas i en ny kolumn i cellvektorn för varje flygväg. Vid avslutning av denna funktionen så är hanteringen av flygvägarna klar och de är utformade på ett lämpligt sätt för fortsättningen av programmet.

3.1.3.5 Rörelsehantering

Funktionen för rörelsehantering hämtar information om det totala antalet flygningar som görs på varje flygväg per år. Informationen hämtas från Swedavias dokument om trafikinformation. se Tabell 2. För att göra detta så skapas först en ny vektor där varje unikt namn i kolumnen med flygvägsnamn (TRK_ID1) sparas. Vektorn innehåller alltså namnen på alla flygvägar. Rörelsehanteringsfunktionen kallar sedan på en annan funktion som kan jämföras med Excels *vlookup*. Vektorn med flygvägsnamn går igenom ett element i taget och letar upp samma element i rörelsedokumentet från Swedavia, samt summerar alla rörelser per dygn för just den flygvägen. Antalet rörelser multipliceras med 365 dygn och sparas i en ny kolumn bredvid vektorn med flygvägsnamnen. Funktionen känner även av vad för typ av rörelse det rör sig om. En tredje kolumn skapas som anger om det är en landning eller start.

3.1.3.6 Flygvägsskalning

Programmet är konstruerat för att kalkylera riskzoner i närheten av en flygplats. Vi är alltså bara intresserade av risken i flygfaserna närmast flygplatsen. Vi är inte intresserade av *cruise-fasen* då den påbörjas och avslutas på ett avstånd som är för långt ifrån en landningsbana för att vara relevant för oss. Däremot så är faserna innan och efter *cruise-fasen* av intresse för kalkyleringen. Flygvägarna ska därför skalas om så att de innehåller alla faser innan och efter *cruise*. Övergången till och från *cruise* sker på cirka 9000 meters höjd i snitt för trafikflygplan. Höjden varierar givetvis för alla flygningar men 9000 meter är den höjd Swedavia arbetar med som mått. Risken är kalkylerad på hela faser. Det är därför viktigt att vi får med hela faser i flygvägarna. Den här funktionen använder sig av ekvationerna för höjd beräkning beroende av flugets avstånd som vi har nämnt tidigare, där det exakta avståndet ett flygplan har flugit när det når 9000 meter, samt hur långt avstånd från flygplatsen ett flygplan måste börja sjunka, kalkyleras.

Funktionen för flygvägsförlängning har tidigare förlängt alla flygvägar till ett avstånd som gör att alla flygvägar når en bra bit in i *cruise-fasen*. Den här funktionen skalar ner de flygvägarna så att de slutar när flygplan når, eller börjar sjunka från, 9000 meters höjd. Mer konkret innebär detta att alla interpolerade koordinater för flygvägarna som

ligger i cruise-fasen sorteras bort från koordinat-matriserna. Vad detta får för konsekvenser för resultatet analyseras i diskussionen.

3.1.4 Del tre - skapa griden och placera in normaliserad risk i den från flygvägarna

I den här delen utgår från programmet från användarens specificerade origokoordinat samt radien på området som ska undersökas.

Användaren har sedan tidigare angivit vad ARP har för koordinat enligt SWEREF99 samt hur stort området som ska plottas är. I den här delen skapas alltså griden så att $x = (x_0 - r, x_0 + r)$, samt $y = (y_0 - r, y_0 + r)$, där (x_0, y_0) anger origo och r anger radien på området som ska undersökas.

Det som även sker är att flygvägarna förskjuts så att de utgår från det angivna origo. $x_{\text{förskjuten},1,2,\dots,N} = x_{1,2,\dots,N} + x_0$, $y_{\text{förskjuten},1,2,\dots,N} = y_{1,2,\dots,N} + y_0$ där $x_{1,2,\dots,N}$ och $y_{1,2,\dots,N}$ anger x respektive y-vektorerna för en flygväg.

När programmet sedan har körts måste alla enskilda sannolikheter från griden inom en flygfas tillsammans bli den totala summan för sannolikheten för hela fasen. Detta innebär att risken måste normaliseras när den placeras ut i griden:

$$Pr_{norm} = \frac{Pr_{tot}}{N * m}$$

Där Pr_{tot} är totala risken inom den aktuella fasen där planet befinner sig i den aktuella punkten,

N är antalet koordinatpunkter inom den aktuella fasen som flygplanet befinner sig i och m är antalet punkter som skulle ha träffats av flygplanet på griden om griden varit oändlig som nås från flygplanets aktuella position.

Det är viktigt att tänka att griden är "oändlig" i det här steget eftersom om en viss krascharea hamnar delvis utanför griden och man bara räknar antalet träffar på griden blir resultatet i de träffade rutorna viktat alltför högt och därmed missvisande.

$$m = r * s$$

där r är kraschareans radie och s är längden på sidan av en kvadrat på griden.

$$Pr_{grid} = Pr_{norm} * v$$

Där Pr_{grid} är den normaliserade totala sannolikheten i den specifika rutan på griden, och v är totala antalet flygvägar på den aktuella flygvägen. Riskgriden som är kopplad till matriserna för x och y -koordinater är från början en nollmatrix. Allteftersom programmet körs adderas sedan riskerna i riskmatrisen.

Genom att modellera krascharenan som en cirkel med tio gånger så stor radie som höjden planet för tillfället befinner sig på kunde vi placera ut de normaliserade sannolikheterna på griden för att till slut få fram de totala riskkurvorna för området kring flygplatsen.

Det gick till genom att för varje punkt längs alla flygvägar hitta samtliga gridkoordinater som uppfyllde villkoret

$$(x_{flygväg} - x_{grid})^2 + (y_{flygväg} - y_{grid})^2 \leq kraschradie$$

3.1.5 Del fyra - användaren får klicka på plotten och få koordinatspecifik risk

Då programmet ska användas till att projektera nybyggnationer av diverse fastigheter kan det vara av intresse för användaren att få reda på den modellerade risken i specifika punkter på kartan. När användaren har gjort en körning i programmet visas resultatet som en nivåkurvsplot, det vill säga man ser i plotten nivåkurvor och man kan bara veta att alla punkter inom en viss kurva minst har den angivna risken.

För att få specifik risk behöver användaren bara klicka i plotten vid de koordinaterna han/hon är intresserad av så kommer resultatet upp i kommandofönstret i form av en lista med x -värde, y -värde samt risk.

Det som även blir tillgängligt är en matris som Matlab gör med koordinater för de olika risknivåkurvorna, och det är denna matris som sedan exporteras som dxf-fil till Autocad via Swedavias egna program.

3.3 Exportering av konturen

Swedavia använder sig idag av Autocad för att hantera kartor, därför blir det onödigt för oss att lägga till kartor på konturerna i Matlab då det hade krävts en hel del arbete samt anpassningar till standarder som Swedavia inte nödvändigtvis är vana att arbeta med. Vi har istället valt att exportera vår riskkontur till Autocad, där Swedavias programvara automatiskt kan lägga på den på en karta. Det som är viktigt att tänka på vid exporteringen är att origo i vår kontur (d.v.s. ARP) ligger på de verkliga koordinaterna för ARP och inte i punkten (0,0). Autocad klarar då av att lägga in vår riskkontur på exakt rätt ställe i jämförelse med relevant kartbild.

3.4 Beräkning av risknivåkurvor

Programmet kan nu skapa en riskkontur runt en given flygplats. Konturen sparas i en matris som exporteras till Autocad. Innan detta sker så behöver programmet information om vilka risknivåkurvor som är av intresse. Helt enkelt var ska avgränsningarna för en ny riskzon gå?

För att skapa en kontur som är så enkel att avläsa som möjligt har vi valt att skapa risknivåerna efter jämna årtal. Programmet beräknar risken att tredje man drabbas av ett flygplanshaveri under ett års tid. Risknivåerna är skapade så att man kan avläsa konturlinjerna som: hur länge måste jag stå på denna punkten för att ett flygplanshaveri ska drabba mig?. De går alltså att tolka som: Innanför den avgränsningen drabbas jag i snitt av mer än ett flygplanshaveri varje 10 000 år, 50 000 år, 100 000 år o.s.v.

3.5 Korrelationen mellan faktorer

Då vi vill finna samband mellan flygplansspecifika faktorer och riskerna för tredje man måste vi först titta på problemet ur ett stort sammanhang. För det första ville vi veta om det fanns några samband dels mellan variablerna i sig och dels mellan de enskilda variablerna och risken. För att få fram korrelationsmatrisen använde vi oss utav den vanliga formeln för korrelation:

$$\text{corr}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Vi använder oss av denna formeln för att beräkna korrelationen mellan flygplansfaktorerna. Resultatet kan ses i Tabell 3.

3.6 Lassometoden utförande

För att identifiera eventuella riskfaktorer från den flygplansspecifika informationen vi har samlat in så genomför vi en Lassoundersökning. Då det även här rör sig om en stor mängd data som ska behandlas så används Matlab för att kalkylera Lasso.

För vår uträkning använder vi oss av de tidigare insamlade variablerna max startvikt, vingspann, höjd, längd och antal motorer. I Matlab finns en inbyggd funktion som enkelt hanterar datat enligt definitionen av lasso som vi nämnt tidigare. Resultatet redogörs i en plot men kräver ytterligare påläggning för att kunna tolkas på ett korrekt sätt. För att kunna tyda plotten så behövs ett test göras för att hitta var gränsen i plotten går för vilka variabler som är väsentliga och vilka som inte är det.

3.6.1 Cross Validation

Ett problem som kan uppstå när man utför undersökningar av den här typen där man försöker bestämma prediktorer från statistiska modeller, och speciellt då mängden data man har att tillgå är knapp och att man anpassar regressionen alltför mycket till det datat som är tillgängligt, alltså att man får så kallad over fitting. Kort beskrivet kan man säga att over fitting innebär att ens prediktor blir bra på att visa samband i datat som använts, men dålig på att prediktera framtida utfall. Ett sätt att minska over fitting är att använda sig utav exempelvis cross validation (Arlot och Celisse. 2010).

Vi använde oss utav 10-fold cross validation för att tyda resultatet av lassometoden. Det innebär i korthet att vi till att börja med slumpmässigt delade in datat i tio lika stora datamängder. Därefter görs regressionen på en av dessa datamängder och resultatet testas gentemot de andra nio för att se hur pass bra regressionen passar in på dem. Processen upprepas för varje delmängd oh sedan tas ett snitt på resultatet för att se inom vilket spann prediktorn bör ligga.

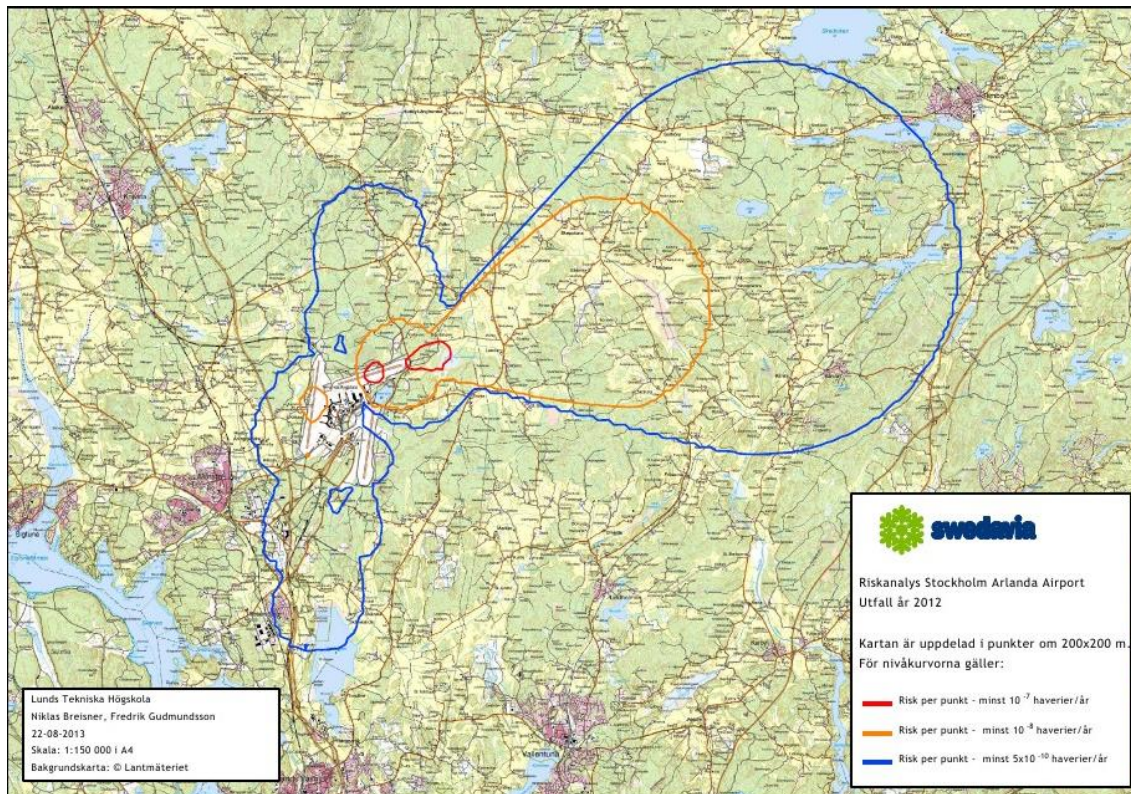
4 Resultat

I denna delen redogörs resultatet från programmet samt resultatet från undersökningen av flygplansspecifika riskfaktorer.

4.1 Programmet

Swedavia har aldrig tidigare haft tillgång till den typen av information som vårt program kan producera. Det har fram tills nu inte varit möjligt att kalkylera en uppskattning av risken för tredje man i närheten av flygplatser. Det faktum att det inte finns tillgång till liknande program eller färdigställda arbeten innehållande relevant och nödvändig information för att göra denna typen av beräkning, innebär att vi inte har haft någon form av referenspunkt eller jämförelseobjekt för varje beslut och avgränsning vi har gjort. Vi har fått göra en hel del avgränsningar med tanke på arbetets omfattning. Programmets har en väldig utvecklingspotential där man för varje steg man utvecklar programmet stöter på flertalet möjliga vägar att utforska. Trots nödvändiga avgränsningar så producerar vårt program en relevant uppskattning av risken för tredje man i närheten av önskad flygplats.

Figuren 7 visar resultatet för riskskattningen för tredje man i närheten av arlanda flygplats.



Figur 7 Riskzonerna för Arlanda flygplats

I mitten av bilden så kan man urskilja Arlandas tre rullbanor. Med varje riskkonturkurva menas att risken innanför denna kurvan är för varje ruta i rutnätet över en viss nivå. Vid framtagandet av denna bilden är varje sida i de kvadratiska rutorna 200 meter. Vid mer noggranna körningar av programmet så minskas storleken på rutorna i rutnätet vilket gör det enklare för användaren att kalkylera risken för området som är av intresse. Körningarna av programmet kan alltså anpassas för den area som användaren är intresserad att veta sin risk för. Om det skall konstrueras en ny byggnad som täcker en area av 1000 m^2 så är det alltså lämpligt att skapa ett rutnät av samma storlek, d.v.s. en sidolängd på ca 30 meter.

Programmet ger alltså ett snabbt svar om vilken riskzon intresseområdet befinner sig i. Riskzonerna är enkla att definiera för användaren och i det här fallet ligger de på 10^{-7} (röd), 10^{-8} (orange) och $5 * 10^{-10}$ (blå). Om användaren kräver ett mer exakt svar angående sin riskzon så är det bara att prova sig fram. Det är även väldigt enkelt att

lägga in fler riskkurvor på önskade risknivåer. Från bilden ovan vet du inom vilka gränser ditt område befinner sig. Resultatet ger alltså en bra uppskattning för vilka riskzoner en eventuell byggnad ligger inom. Det går även snabbt att urskilja vart en eventuell byggnad kan flyttas för att minska risken att drabbas av ett flygplanshaveri.

4.2 Korrelationsmatrisen för flygplansspecifika faktorer

Tabell 3 visar resultatet av beräkningen för korrelationen mellan flygplansfaktorerna.

1	0,94643	0,96398	0,98153	0,52785	-0,41121
0,94643	1	0,97179	0,96291	0,62155	-0,39163
0,96398	0,97179	1	0,95579	0,47991	-0,43795
0,98153	0,96291	0,95579	1	0,53247	-0,45189
0,52785	0,62155	0,47991	0,53247	1	0,0932
-0,41121	-0,39163	-0,43795	-0,45189	0,0932	1

Tabell 3 Korrelationsmatris för flygplansfaktorer

där kolonn ett är korrelering för planens vikt, kolonn två för planens vingspann, kolonn tre för planens höjd, kolonn fyra för planens längd, kolonn fem för antalet motorer planen har och slutligen kolonn sex för risken at planet råkar ut för ett haveri.

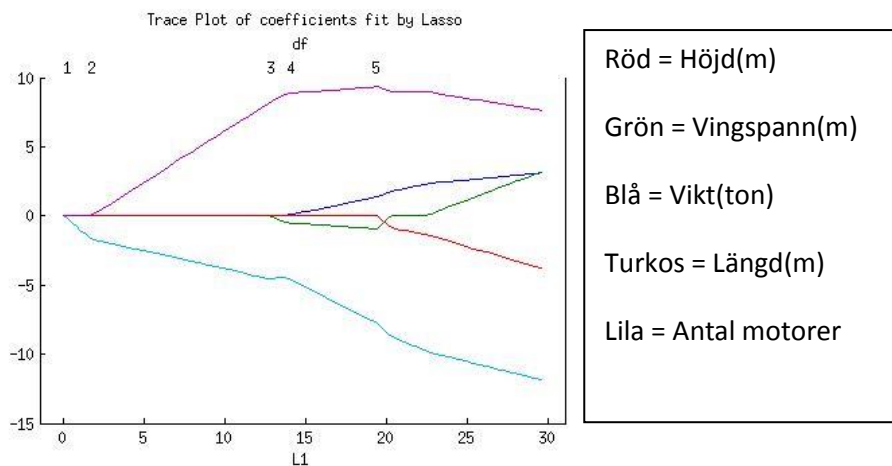
Som man kan se i matrisen är alla flygplansfaktorer högt korrelerade vilket överensstämmer med våra tankegångar innan vi gjorde undersökningen, det vill säga att ett plan som är långt borde ha en högre vikt etcetera. Det man också lägger märke till är att korrelationen mellan antalet motorer ett plan har och de andra faktorerna är an aning svagare än de andra faktorerna mellan varandra.

En annan viktig iakttagelse man gör är att korrelationssambandet mellan de fem olika faktorerna och risken är väldigt nära noll. Detta ligger också i linje med hur vi tänkte innan vi gjorde undersökningen. Vi tänkte oss att säkerheten för trafikflyg är så pass viktig och välutvecklad vid det här laget att olyckor och haverier som sker inte borde ha någon korrelation med någon specifik flygplansfaktor.

För att gå vidare i vår analys för att urskilja någon faktor som är mer betydelsefull än de andra valde vi dock att gå vidare med lassometoden.

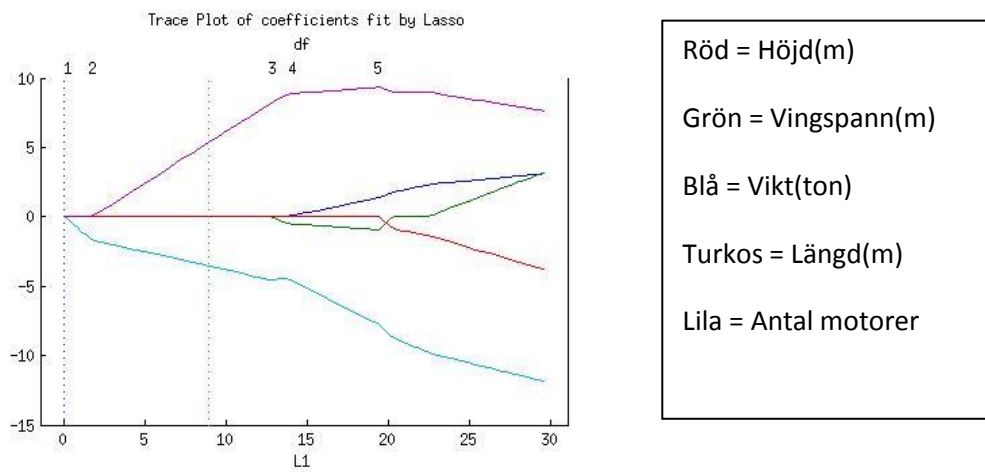
4.3 Resultat flygplansspecifika riskfaktorer

Figur 8 visar resultatet från vår lassokalkylering. Som kan ses i figuren så närmar sig alla faktorer noll ju högre strafftermen blir (till vänster i figuren). Till höger i figuren kan figuren liknas vid en vanlig OLS undersökning och ju längre åt vänster man går ju högre straffterm läggs på faktorerna.



Figur 8 Grafisk gestaltning av resultatet från lassundersökningen

Då alla faktorer tillslut blir noll i vår lassundersökning så måste vi bestämma inom vilket intervall den optimala strafftermen ligger. Detta gör vi genom att använda oss av cross validation. Figur 9 visar vår lassundersökning med cross validation. De prickade vertikala linjerna anger inom vilket område som är den optimala strafftermen. De riskfaktorer som blir noll inom detta intervallet kan anses ha störst påverkan på risken för tredje man.



Figur 9 Cross validerat resultat av lassundersökningen

De faktorer som är av betydelse för risken för tredje man på flygplan är alltså de som blir noll innanför cross validation intervallet. Från Figur 8 framgår tydligt att alla faktorer blir noll utanför intervallet förutom längden och antalet motorer.

5 Slutsatser och diskussion

Som framgår av resultatet så uppfyller programmet sitt syfte att kunna kalkylera risken för tredje man i närheten av flygplatser. Även om vi fått göra en del avgränsningar både i programmet och i datat så har vi lyckats bibehålla de väsentliga delarna samt hantera dem på ett sätt som ger en trovärdig riskkalkylering.

Som går att se av riskkonturen för Arlanda flygplats så har våra konturer blivit mer runda än från tidigare forskning där konturerna är konformade. Vårt program kan dock kalkylera risken på ett betydligt större avstånd runt flygplatsen. Det exakta avståndet varierar från flygplats till flygplats då flygvägarna ser olika ut men kan i de flesta fallen sträcka sig till ca 3 mil i radie från ARP. Nackdelen är att våra riskkonturer blir runda även i direkt anslutning till en rullbana vilket kan anses vara lite missvisande. Här ger den tidigare forskningen en mer exakt riskkalkylering. Risknivåerna för närområdet till en rullbana är samma i vårt program som tidigare forskning. Skillnaden är enbart att då man tar hänsyn till riktning och hastighet på låg höjd så blir konturerna mer avlånga.

Genom att följa vår utförandedel är målet att läsaren ska få en bild av hur programmet är uppbyggt samt upptäcka och förstå hur vi har löst de lite svårare delarna av programmeringen. Vårt program är inte utformat enbart för att kalkylera risken för en flygplats i dagsläget utan datan kan enkelt ändras och på så sätt användas för att testa framtida scenarion för risker. Finns det t.ex. ett intresse att se hur risken påverkas om trafiken till en flygplats dubblas så är det bara att ändra datat i Swedavias standardformat för antal flygningar per flygväg.

Det finns givetvis stora utvecklingsmöjligheter för programmet. Vilka typer av flygplan som landar på en flygplats varierar beroende på storlek, geografisk läge, befolkningens mängd och många andra faktorer. Vår Lassundersökning syftar till att skapa ett underlag för att kalkylera risker för olika typer av flygplan. Undersökningen är baserad på ca 300 olika flygplanstyper där de lassometoden identifierar de faktorer som har störst påverkan på risken för tredje man. Genom att identifiera flygplatser där ett större antal flygplan, med de av lassometoden identifierade riskfaktorerna, är

verksamma så kan risken för tredje man antas vara större än vad vårt program i dagsläget kalkylerar.

5.1 Cruise

Av de faktorer som programmet inte tar hänsyn till så kan avsaknaden av risken från “cruise fasen” anses vara en av de mest betydande. Programmet tar enbart hänsyn till risken för tredje man i faserna närmast flygplatsen. Vår höjdberäkningsekvation säger ifrån när ett flygplan går in i eller lämnar cruise d.v.s. från vilken punkt riskkalkyleringen ska börja. Ett flygplan i cruise fasen kan fortfarande anses ha riskpåverkan på områden nära den aktuella flygplatsen. Vi har valt att försumma denna risken då insamlingen av data för detta hade varit extremt omfattande och tidskrävande. För att vårt program ska kunna hantera cruise fasen så måste man även lägga till information om hur lång cruise fasen är. Samtidigt så är cruise fasen, i jämförelse med de andra faserna, en extremt lång fas och sker på hög höjd. Riskfaktorn som cruise fasen hade bidragit med hade blivit väldigt utspridd på ett stort område d.v.s. varje riskruta i programmet hade fått en marginellt ökad riskfaktor.

En annan sak som gör cruisefasen problematisk att ta hänsyn till i vår modell är att ju längre ifrån flygplatsen man kommer så blir störningar från andra flygplatser mer och mer betydande. För att beräkna det så måste man alltså ta hänsyn till alla flygplatser och flygsträckor som kan tänkas ha verksamhet vid aktuell flygplats och som vid ett eventuellt haveri använder den aktuella flygplatsen för nödlandning. Det handlar om en stor mängd information i ständig förändring med avseende på flygvägar och antal flygningar.

5.2 Interpolering

Vad gäller interpoleringen av flygvägarna så kan även det bidra till lite felaktiga risker. Avståndet mellan varje punkt kan ställas in av användaren. Ett för kort avstånd mellan koordinaterna gör programmet oerhört tidskrävande. Avståndet mellan punkterna kan ibland göra att det endast blir enkelträffar i vissa rutor där det borde ha varit en dubbelträff. För att minimera detta problemet så har vi genom “trial and error” provat oss fram till lagom värden på avstånd mellan koordinaterna. Avståndet är givetvis också

beroende på hur stor rutstorlek som används. Vid ett stort interpoleringsavstånd så bildas det risköar i konturkartan när man använder sig av många riskkurvor med liten skillnad. Bildningen av risköar i konturkartan bör vara begränsad då flygplans rörelse är kontinuerlig. Öar kan dock bildas av b.la. korsande flygvägar men då interpoleringsavståndet minskas så minskas även öbildningen upp till en viss punkt. Från vår undersökning så blir konturkartan snarlik med ett interpoleringsavstånd mindre än 400 meter. Detta är givetvis med avseende på relevanta riskkurvor. Ytan mellan två riskkurvor, som t.ex. $5 * 10^{-6}$ och 10^{-6} , säger enbart att för varje ruta däremellan så är risken mellan just $5 * 10^{-6}$ och 10^{-6} . En träff av en flygväg på en ruta bidrar bara med en väldigt liten ökning av risken i den rutan då risken fördelas på en stor mängd rutor. Således så påverkar inte det programmets resultat nämnvärt om en ruta träffas en gång för mycket eller för lite. Att få svar på om tredje man kommer att drabbas av ett flygplanshaveri en gång på 10 000 år eller en gång på 10 050 år kan tyckas verka ganska irrelevant.

5.3 Hur påverkar höjdsfattningen

Vår höjdsfattning är generaliserad. I verkligheten har olika typer av plan olika stigningsvinkel vid en start, som kan ses i Figur 2. Att kalkylera en höjdsfattning för varje plan eller en viktgrupp av plan var det vi tänkte från början. Efter att ha testat att räkna fram höjdekvationer för olika typer av plan så märkte vi snart att skillnaden inte var så stor. Fördelarna med att använda en generell höjdekvation vägde då över i jämförelse med att skapa en grupp eller en för varje flygplan, då vi i programmet hade fått ta hänsyn till varje typ av plan som flyger på varje flygväg. Genom att använda den generella höjdekvationen så undviker vi det och skapar ett snabbare program samtidigt som vi minskat precisionen av programmet marginellt.

5.4 Flygningar som ej tas upp av programmet

Programmet tar endast hänsyn till schemalagda flygningar vilket medför att ingen hänsyn tas till privatflyg och militärflyg vilket självklart kan ses som synd, men i och med att vårt program ska fungera som ett verktyg och hjälpmedel vid planering av kommersiella flygplatser av den typ som Swedavia ansvarar för tyckte vi inte det var

vårt det extra arbetet det hade inneburit att få med dessa flygningar för en marginell förbättring i statistiken. Detta är gjort av anledningen att det är omöjligt att förutspå hur många flygningar av denna typen som kommer att göras samt att det är ännu mer omöjligt att förutspå var de kommer att flyga. Hur detta påverkar vårt resultat är med vår data ganska osäkert. Ett antagande som minskar påverkan av privat och militärflyg är att de sällan är verksamma i närheten av en stor kommersiell flygplats. Både privat och militärplan startar och landar oftast på mindre flygplatser och de planerar sällan sin rutt över ett flygplanstätt område som i närheten av en flygplats. Påverkan av privat- och militärflygningar kan även antas vara väldigt liten i jämförelse med kommersiell luftfart då antalet flygningar är betydligt mindre.

5.5 Risken för svenska flygplatser kan modelleras med hjälp utav data från USA.

Då riskerna att tredje man ska drabbas av ett flygplanshaveri är i storleksordningen 10^{-8} krävs ett stort dataunderlag för att få någon som helst relevans och en inte allt för stor osäkerhet i resultaten av modellen. Detta är problematiskt, då datat för Sveriges flygplatser är begränsad jämfört med länder med mycket flygtrafik som till exempel USA. En annan nackdel med att använda Sverigedata är att vi inte kunde hitta något relevant haveri för tidsperioden vi hade bestämt oss för att hålla oss inom. För att minska vår arbetsbörda var det dessutom lämpligt att bara använda oss utav data från ett land för att få den uppställd på ett sätt och inte behöva anpassa oss efter flera olika format som datat kan tänkas vara uppställd på.

5.6 Problematiken kring krascharean

Antagandena kring att krascharean kan modelleras endast beroende på planets höjd är självklart en grov förenkling av verkligheten. I verkligheten beror kraschareans storlek och form på ett oräkneligt antal faktorer som till exempel väder och vind, pilotens förmåga att undvika viss terräng, sikt samt flygplanets aktuella hastighet.

I tidigare forskning så har försök gjorts att beräkna sannolikheten var ett plan slår i marken beroende på riktning och hastighet. Undersökningen är som vi tidigare nämnt baserad på riskkalkylering i direkt anslutning till rullbanan. Försök har gjorts genom att

titta på koordinaterna och riktning vid haveriets inträffande samt för nedslagplatsen. Genom att titta på en spridningsgraf kan sedan sannolikheterna för var ett plan kommer slå i marken, beroende på riktning och hastighet vid haveriets inträffande, beräknas. Problemet ligger i att det rör sig om ett väldigt litet antal haverier. Detta försöket i tidigare forskning är baserat på under 20 haverier och kan därför antas ge en missvisande bild av sannolikheterna för nedslagsplatser. Undersökningen är också baserad på flygplan på väldigt låg höjd där riktning och hastighet har större inverkan. För vårt program hade det varit mer relevant att ta hänsyn till topografi då piloten ofta behåller viss kontroll av flygplanet även efter ett haveri.

Vidare problem med att ta fram en spridningsgraf för flygplanshaverier ligger i den tillgängliga informationen. För de 20-tal haverier som ingår i vår undersökningen så gjorde vi ett stickprov för att se om det går att få fram relevanta koordinater för haveri- och kraschplats. I endast två av tio haverirapporter gick det att utläsa dessa två koordinater genom bildbevis. Vi hade alltså, likt tidigare forskning, endast fått med ett väldigt litet antal haverier i en spridningsgraf. Vi har därför valt bort detta alternativet.

5.7 Resultatets nackdelar

Programmet som det är utformat idag ger endast en mycket grov uppskattning av risken i närheten av flygplatser. Resultaten vi får ut är dock rimliga och i rätt storleksordning enligt de experter vi pratat med och i jämförelse med tidigare forskning.

För att få ett mer exakt resultat med mindre felmarginal behöver man ta hänsyn till ett antal faktorer vi inte har beaktat i den här modellen, som till exempel att piloter har en viss styrförmåga i de flesta fall även om ett haveri inträffar i luften så att de kan styra mot öppna ytor där risken för tredje man är minimal.

5.8 Informationsinsamlingen

Målet från starten av det här projektet var att samla in flygrörelse och haveridata från alla länder med snarlika flygvilkor som på svenska flygplatser. I stora drag innebär det flygdata från Västeuropa, USA, Kanada, Australien och nya Zeeland. Denna avgränsning var gjord tillsammans med Swedavia och deras expertis på området. Från

början var det tänkt att svenska transportstyrelsen skulle tillhandahålla mycket av datat, men efter kontakt och diskussion med dem så visade det sig att de inte hade tillgång till datat på den formen och med den information som vi var beroende av. Vi blev alltså tvungna att samla in informationen själva vilket var ett extremt tidskrävande arbete. Efter noggranna undersökningar så lyckades vi samla in data för alla schemalagda flygningar som har gjorts i USA från och med år 2000.

5.9 Vår riskkalkylering jämfört med tidigare forskning.

Tidigare forskning är baserad på riskkalkylering i direkt anslutning till en rullbana eller rullbanorna på en flygplats, eller för en specifik plats som ett kärnkraftverk.. Alltså på ett betydligt mindre område än vad som är syftet med detta arbetet. I direkt anslutning till en rullbana får den tidigare forskningen anses vara betydligt mer noggrann. Faktorer som riktning hastighet och höjd har där betydligt större påverkan på var ett flygplan kraschar. Längre ifrån rullbanan, då planet har nått en högre höjd och kan göra kursändringar har faktorer som riktning vid inträffandet av haveriet samt hastighet betydligt mindre påverkan. Vi använder oss därför av en eventuell krascharea som är baserat enbart på höjden, eftersom piloten ofta bibehåller en viss typ av kontroll även efter ett haveri. Att kombinera tidigare forskning för risken i närheten av en flygplats med vår undersökning kan anses ge den mest kompletta bilden för risken för tredje man i närheten av flygplatser.

5.10 Lassoanalys samt kompatibilitet med programmet

Vår lassoundersökning är genomförd på fem flygplansspecifika faktorer, med mer informationsinsamling av flygplansfaktorer så hade betydligt fler faktorer kunnat inkluderas. Vi har använt oss av de faktorer som vi har lyckats hitta information om för alla flygplan. Tyvärr är det svårt att få ordentlig information om flera faktorer för ett så stort antal flygplan. Av den informationen vi har samlat in så visar vår lassoundersökning att antalet motorer och längden på planet har störst inverkan på risken för tredje man. Vår korrelationsmatris (se Tabell 3) visar dock att faktorerna är väldigt korrelerade. När variablerna är korrelerade så finns det en risk att lassometoden endast väljer en prediktor helt slumpmässigt vilket kan innebära att resultatet blir

missvisande (Zou and Hastie, 2005). För att komma runt detta problemet så kan en teknik som kallas för elastic net användas. Istället för att välja en slumpmässig faktor i en grupp av korrelerade variabler så kan elastic net välja att inkludera eller förkasta en hel grupp av faktorer. Elastic net är alltså en vidareutveckling av lassometoden som kan hantera starkt korrelerade faktorer (Zou and Hastie, 2005).

Vårt resultat från Lassoundersökningen går i dagsläget inte att integrera med programmet. Tack vare den höga korrelationen mellan faktorerna så kan vi inte lita på resultatet. Vid en vidareutveckling av undersökningen så hade den kunnat bidra med förbättrade risknivåer för flygvägar beroende på vilka typer av flygplan som är verksamma där.

Sammanfattning. Se populärvetenskaplig artikel på sida 57.

6 Referenser

Arlot, S. Celisse, A. A Survey of cross-validation procedures for model selection. Statistics surveys. 2010. Sida 42.

Berg H P. Risk assessment of aircraft crash onto a nuclear power plant. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Germany. 2011

Evans, A W. Foot, P B. Mason, S M. Parker, I G & Slater, K. 1997. Third party risk near airports and public safety zone policy. R&D Report 9636. London: National Air Traffic Services.

Gesellschaft für Luftverkehrsforschung: Third Party Risks posed by Aircraft Accidents in the Vicinity of Geneva Airport. – Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH Berlin, 2008.

Kostikov V A, Smol'nikov V L, Baranaev Yu D, Viktorov A N, Vladykov G M, Dolgov V V, Shvedenko I M: Determination of the Probability of an Aircraft Falling on a Nuclear Power Plant: Translated from Atomnaya Energiya 74 (1): January 1993: 53-58: Plenum Publishing.

Ortiz A, De Vincente Y: Probability of an Aeroplane Crashing into a Nuclear Installation: Energia Nuclear 26 (135): Jan/Feb 1982: 19-47.

Research and Innovative Technology Administration (RITA). Air Carrier statistics, T-100 International segment (All carriers). Bureau of transportation statistics. US Transport department. 2000-2012.

Roberts T M: A Method for the Site Specific Assessment of Aircraft Crash Hazards: SRD R338: July 1987.

Smith E J: Extension to Risk Analysis of Aircraft Impacts at Schiphol Airport:
Technica Consulting Scientists and Engineers: Draft Final Report C2475:
December 1990.

Sweatt-Essick, J. Alberts, R. Bowdy, W. Gusky, D. Huber, D. Kleymeyer, S. Lewis, D.
Perryman, M. White, R. Land use compatibility and airports. FAA (Federal aviation
administration).

Tibshirani, Robert. Journal of the Royal Statistical Society. Series B. uppl. 1. Royal
Statistical Society. 1996.

US department of homeland security. Implementing 9/11 Commission
Recommendations, Progress Report 2011, sida 11-12.

Zou, H. and T. Hastie. Regularization and variable selection via the elastic net. Journal
of the Royal Statistical Society, Series B, Vol. 67, No. 2, 2005.

6.1 Webbsidor

Swedavia. Detta är Swedavia.

<http://www.swedavia.se/om-swedavia/detta-ar-swedavia/>

(Hämtad 2013-06-06)

Lantmäteriet. SWEREF99.

[http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-
matning/Referenssystem/Tredimensionella-system/SWEREF-99/](http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Referenssystem/Tredimensionella-system/SWEREF-99/)

(Hämtad 2013-07-20)

SKYbrary. Accidents and Incidents.

http://www.skybrary.aero/index.php/Category:Accidents_and_Incidents

(Hämtad 2013-03-10)

SKYbrary, Content Management.

http://www.skybrary.aero/index.php/Skybrary_Content_Management

(Hämtad 2013-03-26)

EASA, Europeiska byrån för luftsäkerhet.

<http://easa.europa.eu/language/sv/home.php>

(Hämtad 2013-03-10)

Airliners, Aircraft Technical Data and Specifications.

<http://www.airliners.net/aircraft-data/>

(Hämtad 2013-05-01 – 2013-05-15)

Mathworks, Matlab

<http://www.mathworks.se/products/matlab/description1.html>

(Hämtad 2013-03-26)

6.2 Personlig kommunikation

Wall, Martin: Swedavia konsult, akustikavdelningen

Nilsson, Fredrik: Swedavia konsult

7 Populärvetenskaplig artikel / Sammanfattning

7.1 Modellera risken kring flygplatser

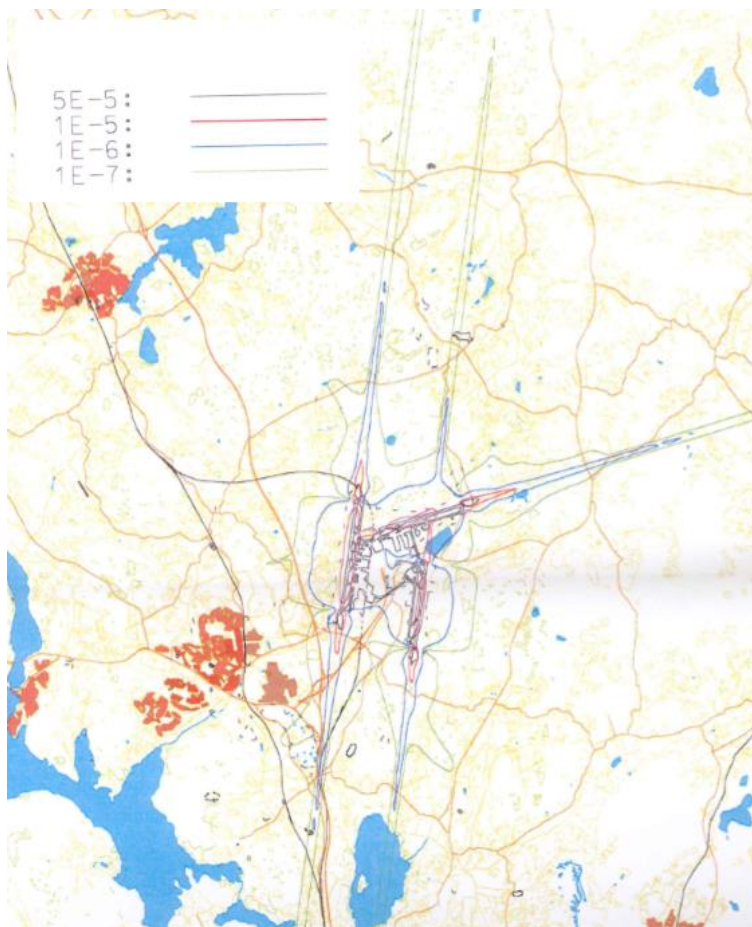
7.1.2 Behovet

På senare år har det blivit allt mer populärt att bebygga områdena kring flygplatser. Flygplatsers naturliga förmåga att agera nav för människor runt hela jorden i vår allt mer globaliserade värld gör att marken är attraktiv både för näringsidkare och affärsmänniskor.

Behovet har såklart gett upphov till en ökad efterfrågan från de som ansvarar för säkerheten runt om flygplatser att hålla sig uppdaterade om vart det är lämpligt att bebygga samt vilka strategier man kan lägga upp för att lyckas upprthålla en hållbar utveckling även vid fortsatta utbyggnader och ökad personnärvaro kring flygplatserna.

7.1.3 Tidigare forskning

Det finns tidigare forskning i ämnet risk att tredje man blir drabbad av ett flygplanshaveri. En utav de mer detaljerade och omfattande är Evans, Foot, Mason, Parker & Slater, 1997. En likhet mellan deras undersökning och våran är att de utarbetar en modell för att hur krascharean ser ut vid flygplanshaverier. En skillnad mellan deras avhandling och våran är att de går in mycket noggrannare hur planens kraschfördelning ser ut. Vi har dock ansett att osäkerheten är så pass stor då dataunderlaget är så pass litet av vi valt att arbeta med en mer generell kraschfördelning i samråd med Swedavia. Ett annat arbete som kan ses som relevant i sammanhanget är en rapport som är beställd av Swedavia själva. Resultatet från den rapporten och våran är dock att den rapporten koncentrerade sig på risken i direkt anslutning till arlandas rullbanor och kan alltså inte appliceras på alla swedavias flygplatser och över ett stort område.



7.1.4 Swedavia

Den enskilt största aktören för projektering kring flygplatserna i Sverige är Swedavia AB. De är ett statligt ägt bolag som ansvarar för de största flygplatserna i Sverige och ser till att all utveckling av flygplatserna sker på ett hållbart sätt. Tidigare har det mest inneburit att man har tagit hänsyn till miljöaspekter vilket i princip kan delas upp i två delar. Den ena delen är att se till att flygplatsen uppfyller de miljömässiga krav och mål som finns specificerade. Den andra aspekten är att se till att bullret från flygplanen inte stör de boende i för stor utsträckning längs med flygvägarna.

Fram tills nu har riskerna för tredje part varit en lågt prioriterad fråga som i stort sett utretts med kvalitativa bedömningar från de personer som utrett saken i fråga.

Vid byggandet av ESS-anläggningen i närheten av Lund fick man dock den konkreta frågan av de som projekterade byggandet vad risken i området var. Då togs beslutet att ett verktyg för att visualisera risken på en karta över området kunde vara användbart även i framtiden och ett projekt i form av ett examensarbete utannonserades.

7.1.5 Modellen

Vår uppgift blev att utarbeta en modell för att modellera risken för tredje man runt Swedavias flygplatser. Till vår hjälp tillhandahöll Swedavia information och data om hur flygvägarna gick runt flygplatserna samt hur vi lämpligast modellerade planens krascharea. Flygrörelsestatistik fick vi från den amerikanska motsvarigheten till

luftfartsverket. Haveridata fick vi från skybrary.com som är en databas dit flygorganisationer från hela världen rapporterar in när något gått fel. Vi valde att använda oss av data från USA för att riskerna i sammanhanget är så pass små att vi inte hade fått med ett enda relevant haveri under tidsperioden vi hade bestämt oss för att använda (2000-nu). Då USA står för i princip hälften av världens alla flygrörelser och flygplatsförhållandena är liknande de som råder i Sverige blev det en bra kompromiss för oss att använda deras data.

Valet av programspråk att använda för modellen stod mellan Java och Matlab. Eftersom de mesta informationen fanns tillgänglig i matrisform från Excel-filer kändes Matlab som det mest lämpliga valet och vi valde således det.

Eftersom det inte finns något liknande program sedan innan fick vi till stor del skriva våra egna funktioner och sedan sätta ihop dem i ett main script för att få ut våra resultat. Eftersom varje flygplats är unik i princip alla tänkbara sätt, storlek, antal flygningar med mera så lir varje körning i programmet också unik. Detta innebär att användaren får anpassa varje körning efter sina behov. Användaren anger vilka viktklasser på flygplan som ska ingå, hur pass noggrann modellen ska vara samt vilka risknivåkurvor som ska ritas ut.

7.1.6 Resultatet

Nedan kan man skåda resultatet av en körning i vår modell med Arlanda som exempel. Tanken är att resultatet av körningarna ska visas på ett liknande sätt för att visualisera risken på ett så intuitivt sätt som möjligt och kunna användas vid projektering av flygplatser i landet.

Som man kan se är riskerna ganska små och man bör kanske inte lägga alltför mycket vikt vid resultatet vid byggnationer etcetera. Det vi dock tror är att resultaten kan komma att bli användbara vid försäkringsfrågor och dylikt för påkostade och dyra fastigheter.

