

# Planering av Flygtrafik

ATFM och CDM

*Tobias Andersson Granberg*



# Tobias Andersson Granberg

- Civ Ing – Industriell Ekonomi
- Doktor i Infrainformatik
- Programkoordinator för FTL
- Bitr professor i Kvantitativ Logistik
  - Flygplatslogistik och ATM
  - Blåljuslogistik

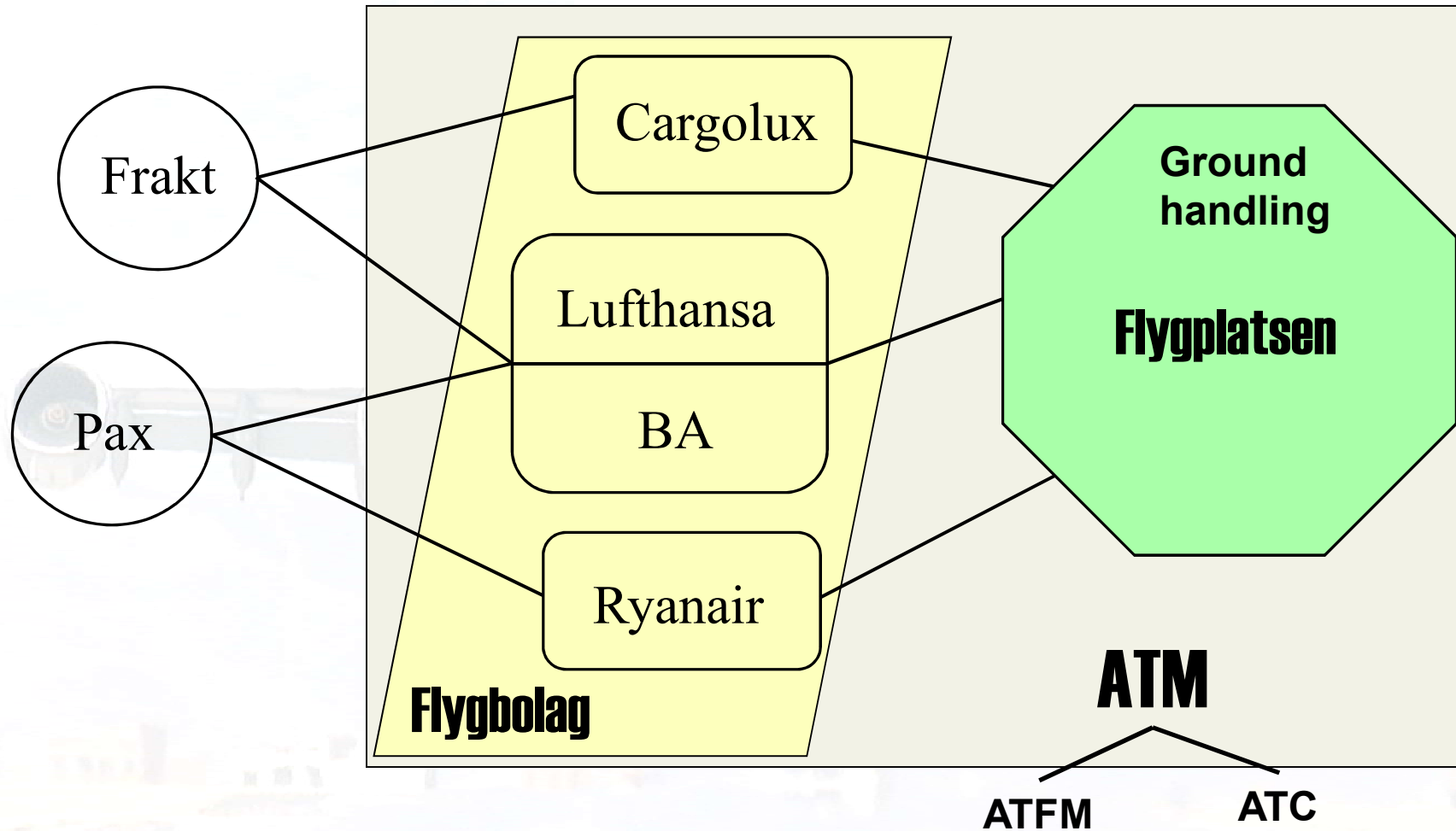


Tel: 011-363213

Email: [tobias.andersson.granberg@liu.se](mailto:tobias.andersson.granberg@liu.se)

Rum: SP7221

# Aktörer



# Planering av flygtrafik

- Passagerare/gods
  - Egen resa
  - Godsplanering
- Flygbolag
  - Tidtabell, flotta, personal, platser/biljetter
  - inriktning, ekonomi/finans
- Flygplatsen
  - Infrastruktur, gate allokering, handling (incheckning, boarding, tankning, städning, mm)
- ATM/ATC
  - Flödesplanering, AMAN/DMAN, Operativ kontroll

# Airspace demand

- Everybody wants to fly the same time in the same space
- Flow management -> evens out the flow
- Still need for control



2018-09-19

Tobias Andersson Granberg

5

# Air Traffic Management (ATM)

- Capacity distribution
  - How to distribute the (scarce) air traffic system resources
- Air Traffic Control (ATC)
  - Ensure conflict free operations
  - Contribute to an increased efficiency
- Airport/turn around optimization and CDM

# Capacity distribution

- Airport slot allocation
  - Now: IATA system based on grandfather's rights (in Europe)
  - Opt:
    - Auction mechanisms
    - Central allocation
    - Congestion pricing
- Air Traffic Flow Management (ATFM)
  - Now: NMOC (in Europe), ground holding based on first planned first served
  - Opt:
    - Minimize costs associated with ground delay
    - Optimal speed adjustments
    - Optimal reroutings

# Air Traffic Control (ATC)

- Path planning
  - Aircraft conflict detection and resolution
    - E.g. Minimize time until resolved conflict
  - Weather avoidance
    - E.g. minimize path length
- Arrival and departure management
  - Sequencing
    - different safety distances between landing/departing A/C are required depending on size
    - By clever sequencing a better flow can be reached
    - E.g. min delays or max flow
  - Optimal CDA profiles
    - Determine trajectories to minimize time and fuel
  - Airport taxi scheduling
  - Push-back rate control



## Collaborative decision making (CDM)

- Gemensamt beslutsfattande
- Aktörer i flygtrafiksystemet ska dela relevant information med varandra
- En aktör ska kunna påverka beslut som tas av annan aktör men som påverkar den egna verksamheten
- Ex: flygbolag A har två plan som väntar på att få landa. Gemensamt med ATC tas beslutet att byta plats i kön på de två planen
- CDM -> Airport CDM

## ATFM

- Luftrummet delas in i "paket" som enkelt kan övervakas av ATC -> sektorer
- Sektorer och flygplatser är ibland trånga sektorer
  - Den planerade trafiken överstiger kapaciteten
  - Detta uppkommer ofta plötsligt, tex pga väder
- För att jämna ut trafiken (och slippa luftburna förseningar) utförs flödesplanering (ATFM)
- Det finns olika möjligheter för att jämna ut trafiken

## Slot-koordinering av NMOC

- Flow management
- När prognostiserad efterfrågan överstiger kapaciteten i ett område
- NMOC skapar en reglering (regulation)
  - En flight kan passera genom flera regleringar vilka ger olika take-off tider (ctot)
  - Den reglering som kräver den senaste take-off tiden är den *mest straffande regleringen* (Most Penalising Regulation, MPR)
  - Slutlig ctot för flighten bestäms av MPR
    - $CTOT = STD + (MPR - ETO)$

## Möjliga åtgärder

- CTOT = Ground holding. Detta görs också av FAA i USA.
- Rerouting: föreslå ny flygrutt för att undvika trånga sektorer
- Speed control: sakna ner eller gasa på

# A simplified ATFM problem formulation

- Given
  - A set of scheduled flights ( $F$ )
  - A set of time periods ( $T$ )
  - A set of sectors ( $S$ ), with capacity  $C_{st}$  (max number of aircraft in sector  $s$  at time  $t$ ).
- Assign ground delays to each flight in  $F$ , so that the number of aircraft in a sector never exceeds the capacity, minimizing the cost for the delays.

# A simplified ATFM model

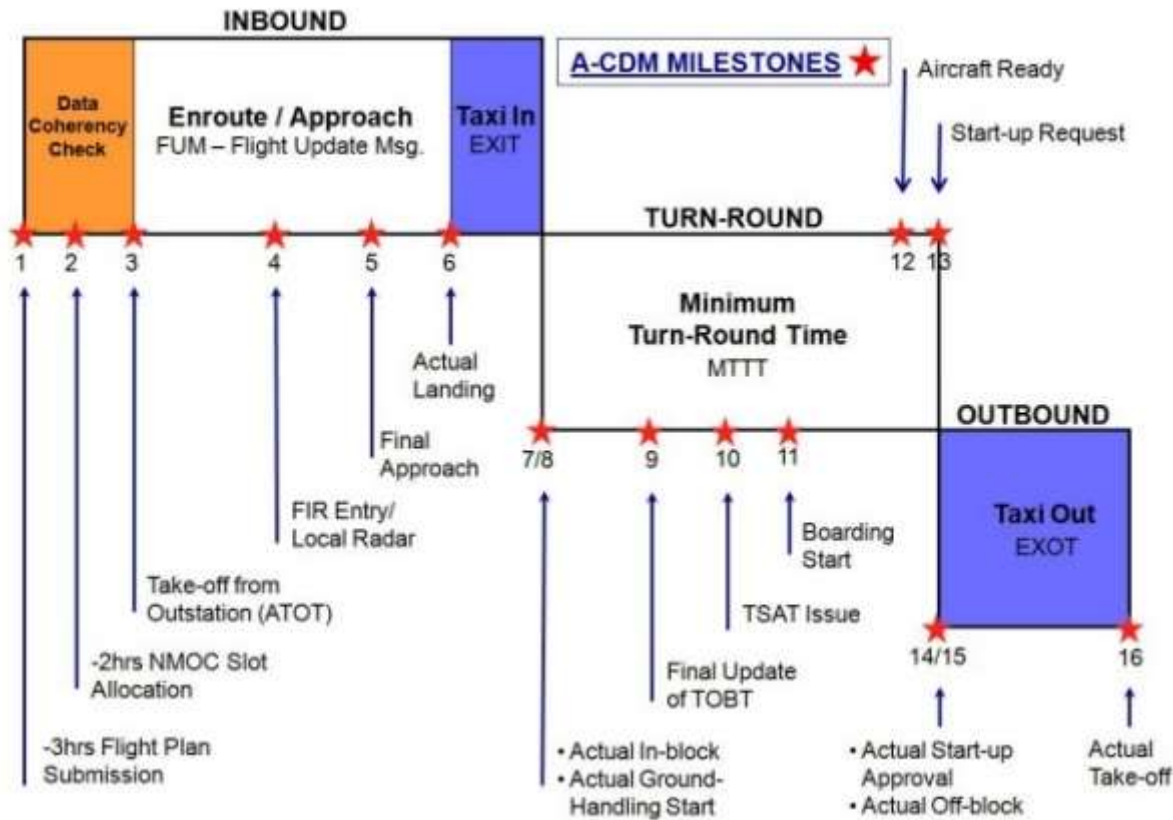
- Variable:  $w_{st}^f = 1$  if flight  $f$  has reached sector  $s$  by time  $t$ , else 0
- Parameter:  $c_t^f =$  the (delay) cost for flight  $f$  if its destination is reached at time  $t$
- Set:  $P^f =$  sequence of sectors flown by flight  $f$
- Parameter:  $A_s^f =$  sector  $s$ 's subsequent sector in the path of flight  $f$
- Parameter:  $B_s^f =$  sector  $s$ 's preceding sector in the path of flight  $f$
- Parameter:  $L_s^f =$  flight time through sector  $s$  for flight  $f$
- Set:  $T_s^f =$  set of feasible time periods for flight  $f$  to reach sector  $s$
- $Min \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} \sum_{s \in dest_f} c_t^f w_{st}^f$
- $s.t. \sum_{f \in F: \{s \in P^f, \sigma = A_s^f\}} (w_{st}^f - w_{\sigma t}^f) \leq C_{st} \quad \forall s \in S, t \in T$
- $w_{st}^f - w_{\sigma(t-L_s^f)}^f \leq 0 \quad \forall f \in F, t \in T_s^f, s \in P^f, \sigma = B_s^f$
- $w_{s(t-1)}^f - w_{st}^f \leq 0 \quad \forall f \in F, t \in T_s^f, s \in P^f$
- $w_{st}^f \in \{0,1\} \quad \forall f \in F, t \in T, s \in P^f$

Based on Bertsimas and Gupta, 2015. Note that some start and end node constraints are left out for simplicity.

# Utvidgningar av ATFM modeller

- Ytterligare åtgärder
  - Rerouting
  - Speed control
  - Ställa in flighter (dock i praktiken inte helt realistiskt)
  - CDM (slot trading, etc)
  - En-route flighter
- Modelltyper
  - Deterministiska eller stokastiska
  - Statiska eller dynamiska
- Konsekvenshantering och värdering
  - Rättviseaspekter: fördelning av de negativa konsekvenserna, tex genom superlinjära målfunktioner
  - Slingade flighter: hänsyn tas till om ett flygplan ska flyga fler flighter under tidsperioden
  - Flight reversals: om ankomstordningen för flighter ändras
  - Overtaking: tiden mellan ankomster i en reversal



# Planering av Flygtrafik





Milestones approach at Frankfurt


## Airport CDM Concept Elements

2018-09-19


(Airport CDM) Information Sharing is essential in that it forms the foundation for all the other elements and must be implemented first.  

**5** Collaborative Management of Flight Updates enhances the quality of arrival and departure information exchanges between the CFMU and the CDM airports. 

**4** (CDM in) Adverse Conditions achieves collaborative management of a CDM airport during periods of predicted or unpredicted reductions of capacity. 

**3** (Collaborative) Pre-departure Sequence establishes an off-block sequence taking into account operators preferences and operational constraints. 

**2** Variable Taxi Time is the key to predictability of accurate take-off in block times especially at complex airports. 

**1** The Milestones Approach (Turn-Round Process) aims to achieve common situational awareness by tracking the progress of a flight from the initial planning to the take off. 



# Airport CDM Scenarios

## Flow management

- Re-routing
- Slot swapping
- Slot shifting

## At the airport

- Stand and gate management
- Departures sequencing

## In flight

- In-Flight traffic management
- Optimisation of arrivals

## Information Management

- Traffic prediction
- Updated ETAs

## Disruption Condition

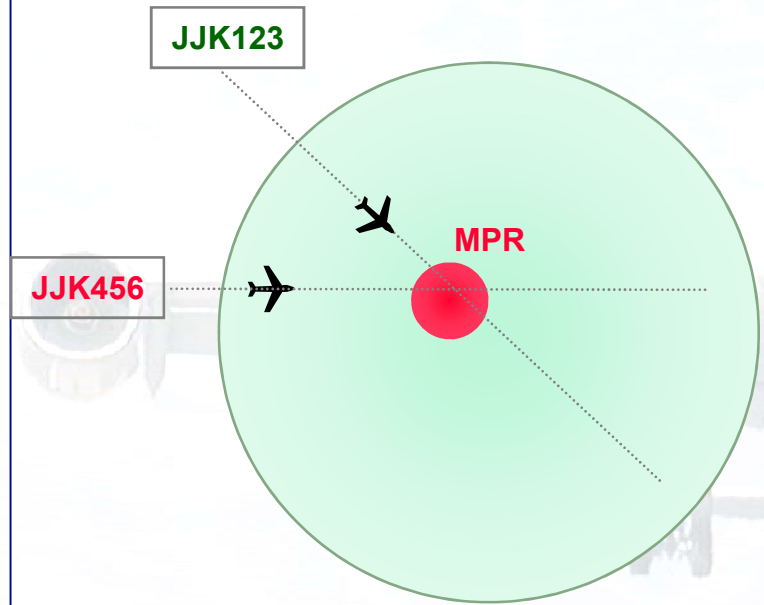
- Substitution on cancellation
- Common awareness

## CDM: Slot swapping

- Slot swapping ger flygbolagen möjlighet att prioritera sina viktigaste flighter
  - Genom att swappa (byta) NMOC slottar på två flighter
- De två flighter som ska byta slot måste ha samma MPR
  - De behöver inte avgå från (eller ankomma till) samma flygplats
- AOC är ansvariga för att välja vilka slottar som ska bytas
- NMOC är ansvariga för att kontrollera att det är ett giltigt byte

# CDM: Slot swapping

JJK456 är en tidskritisk flight.  
 JJK456 och JJK123 har enbart en reglering (MPR).  
 AOC vill göra en slot swap



Flight ID	ETO	Slot Time
ABC334	09:32	09:50
LMN945	09:36	09:55
<b>JJK456</b>	<b>09:50</b>	<b>10:00</b>
PPL078	09:42	10:05
KDF223	09:43	10:10
RWA298	09:45	10:15
ABC556	09:47	10:20
KDF890	09:48	10:25
<b>JJK123</b>	<b>09:40</b>	<b>10:30</b>
HHJ648	09:51	10:35
YYK359	09:55	10:40
BAH222	10:00	10:45

Flight	STD	ETD	Delay
JJK123	06:50	07:10	20
JJK456	08:00	08:40	40

## CDM: Slot swapping

- Risken vid ett slot swap är att andra delar av luftrummet blir överbelastat vid ett byte
  - Detta måste kontrolleras av NMOC innan bytet accepteras
- Observera att slot swapping ännu inte är implementerat som en del av europeisk flow management

## CDM: Substitution on cancellation

- Substitution on cancellation ~ slot-byte vid inställning
- Kan användas tex vid kraftig nedgång i kapacitet på flygplatsen (pga dimma, incident, ...)
- Antag att flygplastens kapacitet minskar med 50%
- CFMU kommer då att skapa en reglering, som troligen blir MPR för många (alla) ankommande flighter
- Flygbolagen kan då ställa in flighter för att reducera förseningar som fortplantar sig till andra flighter
- Idag: när en flight blir inställd så ges sloten till nästa flight i slot-kön
  - Ev till en konkurrent

# CDM: Substitution on cancellation

Flight	Origin	STA	CFMU Arrival Slot Time	New Slot Time
AB123	CDG	09:00	10:55	
<del>XX001</del>	<del>LHR</del>	<del>09:00</del>	<del>11:00</del>	<del>cancelled</del>
CD234	FRA	09:03	11:05	11:00
YY001	LHR	09:05	11:10	11:05
EF345	CDG	09:05	11:15	11:10
GH456	BHX	10:55	13:55	13:50
XX002	LHR	11:00	14:00	13:55
YY002	LHR	11:00	14:05	14:00
IJ567	BRU	10:55	14:10	14:05
KL678	AMS	12:00	15:25	15:20
XX231	CDG	12:00	15:30	15:25
MN789	ZRH	12:04	15:35	15:30
OP890	BRU	16:00	19:25	19:20
XX003	LHR	16:00	19:30	19:25
QR901	DUB	16:02	19:35	19:30

2018-09-19

- XX första flight fr LHR kommer nu 13:55
- XX kan då förlora pax till YY (som kommer in 11:05 från LHR)
- Både XX och YY väntar med att ställa in till sista minuten för att inte gynna varandra

# CDM: Substitution on cancellation

- Med Substitution on cancellation får flygbolaget behålla den slot som frigörs vid en inställd flight
  - Givet att de tänker använda den
- De kan då ge den slotten till en av sina andra flighter
- Systemet används idag i USA
- Nästa steg blir att möjliggöra byten mellan flygbolag

Flight	Origin	STA	CFMU Arrival Slot Time	New Slot Time
AB123	CDG	09:00	10:55	
<del>XX001</del>	<del>LHR</del>	<del>09:00</del>	<del>11:00</del>	cancelled
CD234	FRA	09:03	11:05	
YY001	LHR	09:05	11:10	
EF345	CDG	09:05	11:15	
GH456	BHX	10:55	13:55	
XX002	LHR	11:00	<del>14:00</del>	11:00
YY002	LHR	11:00	14:05	
IJ567	BRU	10:55	14:10	
KL678	AMS	12:00	15:25	
XX231	CDG	12:00	<del>15:30</del>	14:00
MN789	ZRH	12:04	<del>15:35</del>	15:30
OP890	BRU	16:00	<del>19:25</del>	19:20
XX003	LHR	16:00	<del>19:30</del>	19:25
QR901	DUB	16:02	<del>19:35</del>	19:30

# Airport CDM Scenarios

## Flow management

- **Re-routing:** Ny rutt avtalas mellan AOC och CFMU för att slippa en dålig ctot
- **Slot swapping**
- **Slot shifting:** Om flygbolaget tidigt meddelar att de riskerar att missa en slot, så kan de få en ny så nära ny ETD som möjligt

## At the airport

- **Stand and gate management:** Kan nyttjas mer effektivt med bättre info
- **Departures sequencing**

## In flight

- **In-Flight traffic management:** Ändring av flight plan en-route genom samverkan mellan AOC, ATC och CFMU

## Information Management

- **Traffic prediction:** Alla får tillgång till den bästa informationen och kan basera sina estimeringar på denna
- **Updated ETAs:** Alla aktörer publicerar sin bästa ETA till ett gemensamt nätverk. Förutsättning för Optimisation of arrivals och Stand and gate management

## Disruption Condition

- **Substitution on cancellation**
- **Common awareness:** Alla aktörer publicerar sin bästa info gällande aktuell störning till ett gemensamt nätverk
- **Optimisation of arrivals:** Gemensam arrival sequencing mellan AOC och ATC





2018-09-19

Tobias Andersson Granberg

25