

# Brændstofforbrug og emissioner for flys hovedmotorer og brug af hjælpemotorer (APU) i Billund Lufthavn i 2014-2016

---

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 9. februar 2017

Seniorrådgiver Morten Winther

Institut for Miljøvidenskab

Rekvirent:  
Billund Lufthavn  
Antal sider: 8

Faglig kommentering:  
Pia Frederiksen  
Kvalitetssikring, centret:  
Vibeke Vestergaard Nielsen



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tlf.: 8715 0000  
E-mail: [dce@au.dk](mailto:dce@au.dk)  
<http://dce.au.dk>

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Inputdata til emissionsopgørelsen</b>	<b>4</b>
2.1	Flystatistik	4
2.2	Fuel og emissionsdata	4
2.3	LTO tider og APU intervaller	4
<b>3</b>	<b>Beregningsmetode</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Referencer</b>	<b>8</b>

# 1 Indledning

For Billund Lufthavn beregnes brændstofforbrug og emissioner for flyenes hovedmotorer ved flyvning under 3000 fod (LTO: Landing and Take Off) samt for flyenes hjælpemotorer (Auxiliary Power Unit: APU) ved standplads i 2014-2016 på basis af flystatistik oplyst af Billund Lufthavn.

Emissionsopgørelsen beregnes detaljeret for operationer med jet- og turbo-propelfly og helikopter. For små fly med stempelmotor laves beregninger for en enkelt gennemsnitlig flytype. Brændstofforbruget samt emissionstyperne CO (kulmonoxid), HC (kulbrinter), NO<sub>x</sub> (kvælstofoxider) og SO<sub>2</sub> (svovldioxid) er medtaget i beregningerne og er dokumenteret i dette notat.

## 2 Inputdata til emissionsopgørelsen

### 2.1 Flystatistik

Flystatistik for 2014-2016 er oplyst af Billund Lufthavn for hver enkelt flyoperation med angivelse af bl.a. start/landing, flytypekode (ICAO eller IATA), dato/tid, maksimal startvægt (MTOM) og destination.

For hovedparten af flytypekoderne i lufthavnens flystatistik findes repræsentative flytyper i flyemissionsmodellen, der benyttes til de nationale emissionsberegninger for Danmark (f.eks. Winther 2015). For den resterende del af flytypekoderne – fortrinsvist IATA koder – findes den tilsvarende ICAO kode ved internetopslag ([https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_ICAO\\_aircraft\\_type\\_designators](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ICAO_aircraft_type_designators)).

### 2.2 Brændstofforbrug og emissionsdata

For jetfly og turbopropelfly er brændstofforbrug og emissionsdata hentet fra Eurocontrol (EMEP/EEA, 2013). For hver repræsentativ flytype findes data for brændstofforbrugstal (kg/s) og emissionsindekser for NO<sub>x</sub>, CO og HC (g/kg brændstof) for hver enkelt fase af flyenes LTO-cyklus (approach/landing, taxi in, taxi out, take off, climb out). For stempelmotorfly er modificerede brændstofforbrugstal hentet fra en amerikansk lufthavnsundersøgelse kombineret med brændstofforbrug- og emissionsdata fra EMEP/EEA (2013). Brændstofforbrugstal og emissionsindekser for APU motorer i forskellige flystørrelsesgrupper og forskellige driftsfaser (ankomst, opstart, boarding, push back, hovedmotorstart) kommer fra ICAO (2011).

### 2.3 LTO tider og APU intervaller

Som inputdata for tidsrum i de forskellige LTO-faser benyttes ICAO's (International Civil Aviation Organization) standardtider for landing, take off og climb out (ICAO, 1995). For taxi ind og taxi ud bruges specifikke tider for Billund Lufthavn undersøgt af Eurocontrol (2016). For driftstider ved brug af jetflyenes APU bruges generelt standardtider fra ICAO (2011), dog benyttes for push back tider beregnet for Københavns Lufthavn (Ellermann et al., 2011; Winther et al., 2015).

### 3 Beregningsmetode

Emissionerne beregnes som produktet af brændstofflow (kg brændstof/s), tidsrum pr. LTO/APU fase (s) og emissionsindeks (g/kg brændstof) for de enkelte emissionstyper.

Brændstofforbruget for en enkelt LTO cyklus beregnes som:

$$FC_{LTO}^a = \sum_{m=1}^5 t_m \cdot ff_{a,m} \quad (1)$$

FC = brændstofforbrug (kg),

m = LTO-fase (landing, taxi in, taxi out, take off, climb out),

t = tidsinterval i hver enkelt fase (s),

ff = brændstofflow (kg pr. s),

a = repræsentativ flytype.

Emissionerne for en enkelt LTO-cyklus beregnes som:

$$E_{LTO}^a = \sum_{m=1}^5 FC_{a,m} \cdot EI_{a,m} \quad (2)$$

EI = emissionsindex (g pr. kg fuel).

Ved emissionsberegningerne bruges LTO-tider for landing, take off og climb out på hhv. 4, 0,7 og 2,2 minutter i Billund Lufthavn. For taxi in/taxi out bruges 264 s/516 s i 2014 samt 264 s/537 s både i 2015 og 2016.

I de tilfælde, hvor et fly udfører en eller flere touch and go operationer, opregnes antallet af landinger og climb out's i emissionsberegningerne, hvorimod emissioner kun beregnes for en enkelt sekvens af taxi out, take off og taxi in.

Brændstofforbrug og emissioner for APU drift beregnes på samme måde som for LTO. For ankomst, opstart, boarding, hovedmotorstart og push back bruges APU-tidsrum på hhv. 300 s, 180 s, 216 s, 35 s og 54 s for 2-motorers jettfly. For 4-motorers jettfly bruges APU-driftstider på 318 s og 140 s ved boarding og hovedmotorstart.

Til beregning af SO<sub>2</sub> emissionerne antages flyene at benytte jetbrændstof med et svovlindhold på 500 ppm, som anvist af IPCC (2006).

## 4 Resultater

De beregnede totale brændstofforbrug og emissioner for Billund Lufthavn i 2014-2016 er vist i tabel 1. Totalerne er endvidere underopdelt i indenrigs og udenrigs samt LTO og APU.

**Tabel 1.** Totale brændstofforbrug og emissioner for Billund Lufthavn i 2014-2016 samt delbidrag for indenrigs og udenrigs samt LTO og APU.

År	Destination	Fase	Brændstofforbrug		Emissioner				
			(tons)	(GJ)	NO <sub>x</sub> (kg)	HC (kg)	CO (kg)	CO <sub>2</sub> (tons)	SO <sub>2</sub> (kg)
2014	Indenrigs	LTO total	665	28.947	7.581	1.338	25.897	2.085	665
2014	Udenrigs	LTO total	9.266	403.081	128.738	13.998	78.698	29.022	9.266
2014	Total	LTO total	9.931	432.028	136.319	15.336	104.595	31.107	9.931
2014	Indenrigs	APU total	14	630	92	54	161	45	14
2014	Udenrigs	APU total	278	12.082	1.978	1.472	3.164	870	278
2014	Total	APU total	292	12.712	2.070	1.526	3.325	915	292
2014	Indenrigs	Grand total	680	29.577	7.673	1.392	26.058	2.131	680
2014	Udenrigs	Grand total	9.544	415.163	130.716	15.470	81.862	29.892	9.544
2014	Total	Grand total	10.224	444.741	138.389	16.862	107.920	32.023	10.224
2015	Indenrigs	LTO total	715	31.111	8226	1.335	29.650	2.241	715
2015	Udenrigs	LTO total	9.518	414.026	130.948	15.393	83.273	29.810	9.518
2015	Total	LTO total	10.233	445.137	139.174	16.728	112.923	32.051	10.233
2015	Indenrigs	APU total	15	665	99	61	171	48	15
2015	Udenrigs	APU total	272	11.835	1.895	1.429	3.145	852	272
2015	Total	APU total	287	12.499	1.994	1.489	3.315	900	287
2015	Indenrigs	Grand total	730	31.776	8.325	1.396	29.821	2.289	730
2015	Udenrigs	Grand total	9.790	425.860	132.843	16.822	86.418	30.662	9.790
2015	Total	Grand total	10.520	457.636	141.168	18.217	116.239	32.951	10.520
2016	Indenrigs	LTO total	718	31.253	8.550	1.374	30.075	2.252	718
2016	Udenrigs	LTO total	10.116	440.039	138.865	17.385	87.579	31.683	10.116
2016	Total	LTO total	10.834	471.292	147.415	18.759	117.655	33.934	10.834
2016	Indenrigs	APU total	15	658	99	67	172	47	15
2016	Udenrigs	APU total	295	12.842	2.047	1.495	3.382	925	295
2016	Total	APU total	310	13.499	2.147	1.562	3.554	972	310
2016	Indenrigs	Grand total	733	31.911	8.649	1.441	30.248	2.299	733
2016	Udenrigs	Grand total	10.411	452.880	140.912	18.880	90.961	32.607	10.411
2016	Total	Grand total	11.144	484.791	149.561	20.321	121.209	34.906	11.144

Brændstofforbrug og emissionerne er store for udenrigstrafikken i Billund Lufthavn set i forhold til indenrigstrafikken. For brændstofforbrug, CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> beregnes udenrigsandele på 93 %. For NO<sub>x</sub> og HC er procentandelene på hhv. 94 % og 92 %, hvorimod CO-emissionsandelen for udenrigstrafik er omtrent 75 % i alle tre år. De markant højere CO-emissioner for indenrigstrafik i Billund Lufthavn skyldes i særlig grad brugen af stempelmotorfly, der har meget høje CO-emissionsfaktorer.

Brændstofforbrug og emissionsbidraget for APU udgør kun en lille del af lufthavnens samlede totaler. For brændstofforbrug, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og CO er den beregnede APU andel 3 % i alle tre år, og for NO<sub>x</sub> ligger andelen på 1 %. For HC beregnes højere APU-emissionsandele på næsten 10 % pga. store emissionsrater ved APU start up.

## 5 Referencer

Ellermann, T., Massling, A., Løfstrøm, P., Winther, M., Nøjgaard, J.K., Ketzel, M., 2011, Investigation of Air Pollution at the Apron at Copenhagen Airport in Relation to Working Environment (Danish with English summary). DCE e Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus University, p. 148. DCE report no. 5. Available at: <http://www.dmu.dk/Pub/TR5.pdf>.

EMEP/EEA, 2013: Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, prepared by the UNECE/EMEP Task Force on Emissions Inventories and Projections (TFEIP). Available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (12-01-2016).

Eurocontrol, 2016: Datamateriale tilsendt af Mark Whiteley, Eurocontrol.

ICAO, 2008: ICAO Annex 16 "International standards and recommended practices, Environmental protection", Volume II "Aircraft engine emissions", 3rd ed. (2008) plus amendments, 108 pp., ISBN 978-92-9231-123-0.

ICAO, 2011: Airport Air Quality Manual (doc. 9889), first ed. International Civil Aviation Organization. ISBN 978-92-9231-862-8.

IPCC, 2000: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, May 2000. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/> (06-07-2004).

Winther, M. 2015: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2013. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 120 pp. – DCE Scientific Report No. 148. <http://dce2.au.dk/pub/SR148.pdf>.

Winther, M., Kousgaard, U., Ellermann, T., Massling, A., Nøjgaard, J. K., Ketzel, M. 2015: Emissions of NO<sub>x</sub>, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport, Atmospheric Environment 100 (2015) 218-229.