

Brændstofforbrug og emissioner for flys hovedmotorer og brug af hjælpemotorer (APU) i Billund Lufthavn i 2014-2018

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 17. januar 2019

Seniorrådgiver Morten Winther

Institut for Miljøvidenskab

Rekvirent:
Billund Lufthavn
Antal sider: 8

Faglig kommentering:
Ole-Kenneth Nielsen
Kvalitetssikring, centret:
Susanne Boutrup



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tlf.: 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

1. Indledning	3
2. Inputdata til emissionsopgørelsen	4
2.1 Flystatistik	4
2.2 Brændstofforbrug og emissionsdata	4
2.3 LTO tider og APU intervaller	4
3. Beregningsmetode	5
4. Resultater	6
5. Referencer	8

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 2014-2018 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 CO₂ (kuldioxid), CO (kulmonoxid), HC (kulbrinter), NO_x (kvælstofoxider) og SO₂ (svovldioxid) er medtaget i beregningerne og er dokumenteret i dette notat. Mere detaljerede resultater vedlægges i et regneark som bilag til notatet.

For årene 2014-2016 er der visse ændringer i emissionsresultaterne sammenlignet med den tidligere beregnede emissionsopgørelse for Billund Lufthavn (Winther, 2017). Emissionsforskellene skyldes at de nye beregninger bruger en udvidet liste af repræsentative flytyper og opdaterede data for flytypernes brændstofforbrug og emissioner.

2. Inputdata til emissionsopgørelsen

2.1 Flystatistik

Flystatistik for 2014-2018 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 2018). 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).

2.2 Brændstofforbrug og emissionsdata

For jetfly og turbopropelfly er brændstofforbrug og emissionsdata hentet fra Eurocontrol (EMEP/EEA, 2016). For hver repræsentativ flytype findes data for brændstofforbrugstal (kg/s) og emissionsindekser for NO_x, 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 (2016). Brændstofforbrugstal og emissionsindekser for APU motorer i forskellige flystørrelsesgrupper og forskellige driftsfaser (ankomst, opstart, boarding, push back, hovedmotorstart) kommer fra ICAO (2011). Til beregning af SO₂ emissionerne antages flyene at benytte jetbrændstof med et svovlindhold på 500 ppm, som anvist af IPCC (2006).

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, 1998). 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 i 2015-2018.

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.

4. Resultater

De beregnede totale brændstofforbrug og emissioner for Billund Lufthavn i 2014-2018 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 2014-2018 samt delbidrag for indenrigs og udenrigs samt LTO og APU.

År	Destination	Fase	Brændstofforbrug		Emissioner				
			(tons)	(GJ)	NO _x (kg)	HC (kg)	CO (kg)	CO ₂ (tons)	SO ₂ (kg)
2014	Indenrigs	LTO total	684	29.751	7.743	1.087	25.064	2.143	684
2014	Udenrigs	LTO total	8.164	355.119	112.195	7.252	63.321	25.569	8.164
2014	Total	LTO total	8.847	384.870	119.938	8.339	88.385	27.712	8.847
2014	Indenrigs	APU total	15	642	93	55	164	46	15
2014	Udenrigs	APU total	291	12.652	2.043	1.481	3.303	911	291
2014	Total	APU total	306	13.294	2.136	1.536	3.467	957	306
2014	Indenrigs	Grand total	699	30.393	7.837	1.142	25.228	2.189	699
2014	Udenrigs	Grand total	8.454	367.771	114.238	8.733	66.624	26.480	8.454
2014	Total	Grand total	9.153	398.164	122.074	9.875	91.852	28.669	9.153
2015	Indenrigs	LTO total	712	30.964	8.235	1.169	29.001	2.231	712
2015	Udenrigs	LTO total	8.174	355.574	109.975	7.024	63.787	25.601	8.174
2015	Total	LTO total	8.886	386.538	118.211	8.193	92.788	27.832	8.886
2015	Indenrigs	APU total	16	677	100	61	174	49	16
2015	Udenrigs	APU total	284	12.352	1.955	1.437	3.270	889	284
2015	Total	APU total	300	13.029	2.055	1.498	3.444	938	300
2015	Indenrigs	Grand total	727	31.641	8.336	1.230	29.174	2.279	727
2015	Udenrigs	Grand total	8.458	367.926	111.930	8.461	67.057	26.491	8.458
2015	Total	Grand total	9.185	399.567	120.266	9.691	96.232	28.770	9.185
2016	Indenrigs	LTO total	715	31.108	8.539	1.241	29.492	2.241	715
2016	Udenrigs	LTO total	8.730	379.768	118.781	7.731	64.718	27.343	8.730
2016	Total	LTO total	9.445	410.876	127.320	8.972	94.210	29.585	9.445
2016	Indenrigs	APU total	15	671	101	67	176	48	15
2016	Udenrigs	APU total	301	13.092	2.076	1.499	3.442	943	301
2016	Total	APU total	316	13.763	2.177	1.566	3.618	991	316
2016	Indenrigs	Grand total	730	31.779	8.640	1.308	29.668	2.289	730
2016	Udenrigs	Grand total	9.031	392.861	120.857	9.230	68.160	28.286	9.031
2016	Total	Grand total	9.762	424.639	129.498	10.538	97.828	30.575	9.762
2017	Indenrigs	LTO total	650	28.278	7.672	1.181	33.290	2.038	650
2017	Udenrigs	LTO total	9.390	408.462	131.874	8.367	65.928	29.409	9.390
2017	Total	LTO total	10.040	436.740	139.545	9.548	99.219	31.447	10.040
2017	Indenrigs	APU total	15	668	96	54	171	48	15
2017	Udenrigs	APU total	322	14.012	2.230	1.630	3.691	1.009	322
2017	Total	APU total	337	14.680	2.326	1.684	3.861	1.057	337
2017	Indenrigs	Grand total	665	28.946	7.767	1.235	33.461	2.086	665
2017	Udenrigs	Grand total	9.712	422.474	134.104	9.997	69.619	30.418	9.712
2017	Total	Grand total	10.377	451.420	141.871	11.232	103.080	32.504	10.377
2018	Indenrigs	LTO total	649	28.225	7.806	1.161	28.213	2.033	649
2018	Udenrigs	LTO total	9.948	432.735	139.825	8.710	68.395	31.157	9.948

2018	Total	LTO total	10.597	460.960	147.632	9.871	96.608	33.190	10.597
2018	Indenrigs	APU total	15	635	94	57	162	46	15
2018	Udenrigs	APU total	346	15.044	2.370	1.731	3.980	1.083	346
2018	Total	APU total	360	15.679	2.464	1.788	4.142	1.129	360
2018	Indenrigs	Grand total	663	28.860	7.901	1.218	28.375	2.079	663
2018	Udenrigs	Grand total	10.294	447.779	142.195	10.441	72.374	32.240	10.294
2018	Total	Grand total	10.957	476.639	150.096	11.659	100.750	34.319	10.957

Brændstofforbrug og emissionerne er store for udenrigstrafikken i Billund Lufthavn set i forhold til indenrigstrafikken. For brændstofforbrug, CO₂ og SO₂ beregnes udenrigsandele på mellem 92 % og 94 % i alle årene. For NO_x og HC beregnes procentandele på hhv. 93 %-95 % og 87 %-90 %. For CO er emissionsandelen for udenrigstrafik 68 %-73 % i perioden. 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, CO₂, SO₂ og CO er den beregnede APU andel 3 % i alle seks år, og for NO_x og CO ligger andelen på hhv. 2 % og 4 %. For HC beregnes højere APU-emissionsandele på 15 % 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, 2016: 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-2016> (17-01-2019).

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, 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. & Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Available at:

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (21-02-2014)

Winther, M. 2018: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2016. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 127pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 277.

<http://dce2.au.dk/pub/SR277.pdf>

Winther, M. 2017. Brændstofforbrug og emissioner for flys hovedmotorer og brug af hjælpemotorer (APU) i Billund Lufthavn i 2014-2016, 4 s.

Winther, M., Kousgaard, U., Ellermann, T., Massling, A., Nøjgaard, J. K., Ketzel, M. 2015: Emissions of NO_x, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport, Atmospheric Environment 100 (2015) 218-229.