

Brændstofforbrug og emissioner for flys hovedmotorer og brug af hjælpemotorer (APU) i Billund Lufthavn i 2019-2023

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 18. December 2024 | 74



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Brændstofforbrug og emissioner for flys hovedmotorer og brug af hjælpemotorer (APU) i Billund Lufthavn i 2019-2023

Forfatter(e): Morten Winther
Institution(er): Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

Faglig kommentering: Ole-Kenneth Nielsen, Institut for Miljøvidenskab
Kvalitetssikring, DCE: Vibeke Vestergaard Nielsen
Sproglig kvalitetssikring: Vibeke Vestergaard Nielsen

Rekvirent: Billund Lufthavn

Bedes citeret: Morten Winther. 2024. Brændstofforbrug og emissioner for flys hovedmotorer og brug af hjælpemotorer (APU) i Billund Lufthavn i 2019-2023. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 12 s. -- Fagligt notat nr. 2024|74

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Colorbox

Sideantal: 12

Indhold

1	Indledning	4
2	Inputdata til emissionsopgørelsen	5
2.1	Flystatistik	5
2.2	Brændstofforbrug og emissionsdata	5
2.3	LTO-tider og APU-intervaller	5
3	Beregningsmetode	6
4	Resultater	7
5	Referencer	12

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 2019-2023 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 1 til notatet.

2 Inputdata til emissionsopgørelsen

2.1 Flystatistik

Flystatistik for 2019-2023 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 2022). For den resterende del af flytypekoderne – fortrinsvist IATA koder – findes den tilsvarende ICAO kode ved internetopslag.

2.2 Brændstofforbrug og emissionsdata

For jetfly og turbopropelfly er brændstofforbrug og emissionsdata hentet fra Eurocontrol (EMEP/EEA, 2024). 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 (2024). Brændstofforbrugstal og emissionsindekser for APU-motorer i forskellige flystørrelsesgrupper og forskellige driftsfaser (ankomst, opstart, boarding, push back, hovedmotorstart) kommer fra ICAO (2020). Til beregning af SO₂-emissionerne antages de store fly og de små fly med stempelmotorer at benytte hhv. jetbrændstof og flybenzin med et svovlindhold på 500 ppm, som anvist af IPCC (2006). Ved beregning af CO₂-emissionerne bruges emissionsfaktorer for jet fuel og flybenzin på hhv. 72 gCO₂/MJ og 73 gCO₂/MJ hentet fra de nationale emissionsopgørelser (Winther, 2022).

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, 2008). For taxi ind og taxi ud bruges specifikke tider for Billund Lufthavn undersøgt af Eurocontrol (2019). For driftstider ved brug af jetflyenes APU bruges generelt standardtider fra ICAO (2020), dog benyttes for push back tider beregnet for Københavns Lufthavn (Ellermann et al., 2011; Winther et al., 2015).

I Bilag 1 (medsendt regneark) vises den repræsentative flytype, der er brugt i emissionsberegningerne for hver enkelt flytypekode i lufthavnens flystatistik.

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 269 s/599 s.

I de tilfælde, hvor et fly udfører en eller flere touch and go operationer, opregnes antallet af landinger og climb outs 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.

Omregningen af brændstofforbruget fra kg til GJ gøres på følgende måde:

$$FC(GJ) = FC(kg) \cdot LHV/1000 \quad (3)$$

Hvor FC (GJ) = brændstofforbrug i GJ, FC (kg) = brændstofforbrug i kg (beregnet i (1)), LHV = nedre brændværdi (43,5 MJ/kg for jetbrændstof, 43,8 for flybenzin).

4 Resultater

De beregnede totale brændstofforbrug og emissioner for Billund Lufthavn i 2019-2023 er vist i tabel 1. Totalerne er desuden underopdelt i indenrigs- og udenrigsflyvning samt LTO og APU.

Tabel 1. Totale brændstofforbrug og emissioner for Billund Lufthavn i 2019-2023 samt delbidrag for indenrigs- og udenrigsflyvninger samt LTO og APU.

År	Destination	Fase	Brændstofforbrug		Emissioner				
			(tons)	(GJ)	NO _x (kg)	HC (kg)	CO (kg)	CO ₂ (tons)	SO ₂ (kg)
2019	Indenrigs	LTO total	668	29.078	7.963	1.488	55.847	2.095	668
2019	Udenrigs	LTO total	10.590	460.676	141.634	10.160	83.294	33.169	10.590
2019	Total	LTO total	11.258	489.754	149.597	11.647	139.141	35.264	11.258
2019	Indenrigs	APU total	15	672	103	29	154	48	15
2019	Udenrigs	APU total	394	17.120	2.500	860	4.180	1.233	394
2019	Total	APU total	409	17.792	2.603	890	4.335	1.281	409
2019	Indenrigs	Grand total	684	29.749	8.066	1.517	56.001	2.144	684
2019	Udenrigs	Grand total	10.984	477.796	144.135	11.020	87.475	34.401	10.984
2019	Total	Grand total	11.667	507.546	152.200	12.537	143.476	36.545	11.667
2020	Indenrigs	LTO total	383	16.679	4.804	1.268	53.819	1.203	383
2020	Udenrigs	LTO total	4.282	186.260	59.251	4.164	32.497	13.411	4.282
2020	Total	LTO total	4.665	202.939	64.056	5.431	86.316	14.613	4.665
2020	Indenrigs	APU total	9	378	62	17	88	27	9
2020	Udenrigs	APU total	149	6.493	973	309	1.531	468	149
2020	Total	APU total	158	6.871	1.035	326	1.619	495	158
2020	Indenrigs	Grand total	392	17.057	4.867	1.285	53.907	1.230	392
2020	Udenrigs	Grand total	4.431	192.753	60.224	4.472	34.028	13.878	4.431
2020	Total	Grand total	4.823	209.810	65.091	5.757	87.935	15.108	4.823
2021	Indenrigs	LTO total	298	12.985	2.954	1.233	55.047	937	298
2021	Udenrigs	LTO total	5.201	226.245	72.452	5.163	41.107	16.290	5.201
2021	Total	LTO total	5.499	239.230	75.406	6.397	96.154	17.226	5.499
2021	Indenrigs	APU total	8	338	50	17	87	24	8
2021	Udenrigs	APU total	178	7.758	1.144	372	1.821	559	178
2021	Total	APU total	186	8.095	1.194	389	1.908	583	186
2021	Indenrigs	Grand total	306	13.323	3.004	1.251	55.135	961	306
2021	Udenrigs	Grand total	5.379	234.003	73.596	5.535	42.927	16.848	5.379
2021	Total	Grand total	5.685	247.326	76.600	6.786	98.062	17.809	5.685
2022	Indenrigs	LTO total	390	16.957	4.677	1.197	46.043	1.222	390
2022	Udenrigs	LTO total	11.477	499.257	161.756	10.053	84.550	35.947	11.477
2022	Total	LTO total	11.867	516.214	166.433	11.250	130.593	37.169	11.867
2022	Indenrigs	APU total	11	486	72	25	120	35	11
2022	Udenrigs	APU total	389	16.903	2.472	808	3.888	1.217	389
2022	Total	APU total	400	17.389	2.544	832	4.008	1.252	400
2022	Indenrigs	Grand total	401	17.443	4.749	1.222	46.163	1.257	401
2022	Udenrigs	Grand total	11.866	516.160	164.228	10.861	88.438	37.164	11.866
2022	Total	Grand total	12.267	533.602	168.977	12.083	134.600	38.421	12.267
2023	Indenrigs	LTO total	396	17.244	5.076	940	42.982	1.243	396
2023	Udenrigs	LTO total	12.050	524.156	168.340	11.474	92.055	37.739	12.050

2023	Total	LTO total	12.446	541.400	173.416	12.415	135.037	38.982	12.446
2023	Indenrigs	APU total	10	426	65	20	100	31	10
2023	Udenrigs	APU total	419	18.206	2.695	864	4.169	1.311	419
2023	Total	APU total	428	18.632	2.760	884	4.269	1.341	428
2023	Indenrigs	Grand total	406	17.670	5.141	960	43.082	1.273	406
2023	Udenrigs	Grand total	12.468	542.362	171.035	12.338	96.224	39.050	12.468
2023	Total	Grand total	12.874	560.032	176.176	13.299	139.306	40.323	12.874

Brændstofforbruget 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 97 % i alle årene. For NO_x og HC beregnes procentandele på hhv. 93 %-97 % og 78 %-93 % i alle årene. For CO er emissionsandelen for udenrigstrafik 39 %-69 % 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 og SO₂ er de beregnede APU-andele mellem 3 % og 4 % i alle årene, for CO ligger de beregnede APU-andele mellem 2 % og 3 % i alle årene og for NO_x er den beregnede APU-andel 2 % i alle år. For HC beregnes højere APU-emissionsandele på mellem 6 % og 7 % i alle årene pga. store emissionsrater ved APU start up.

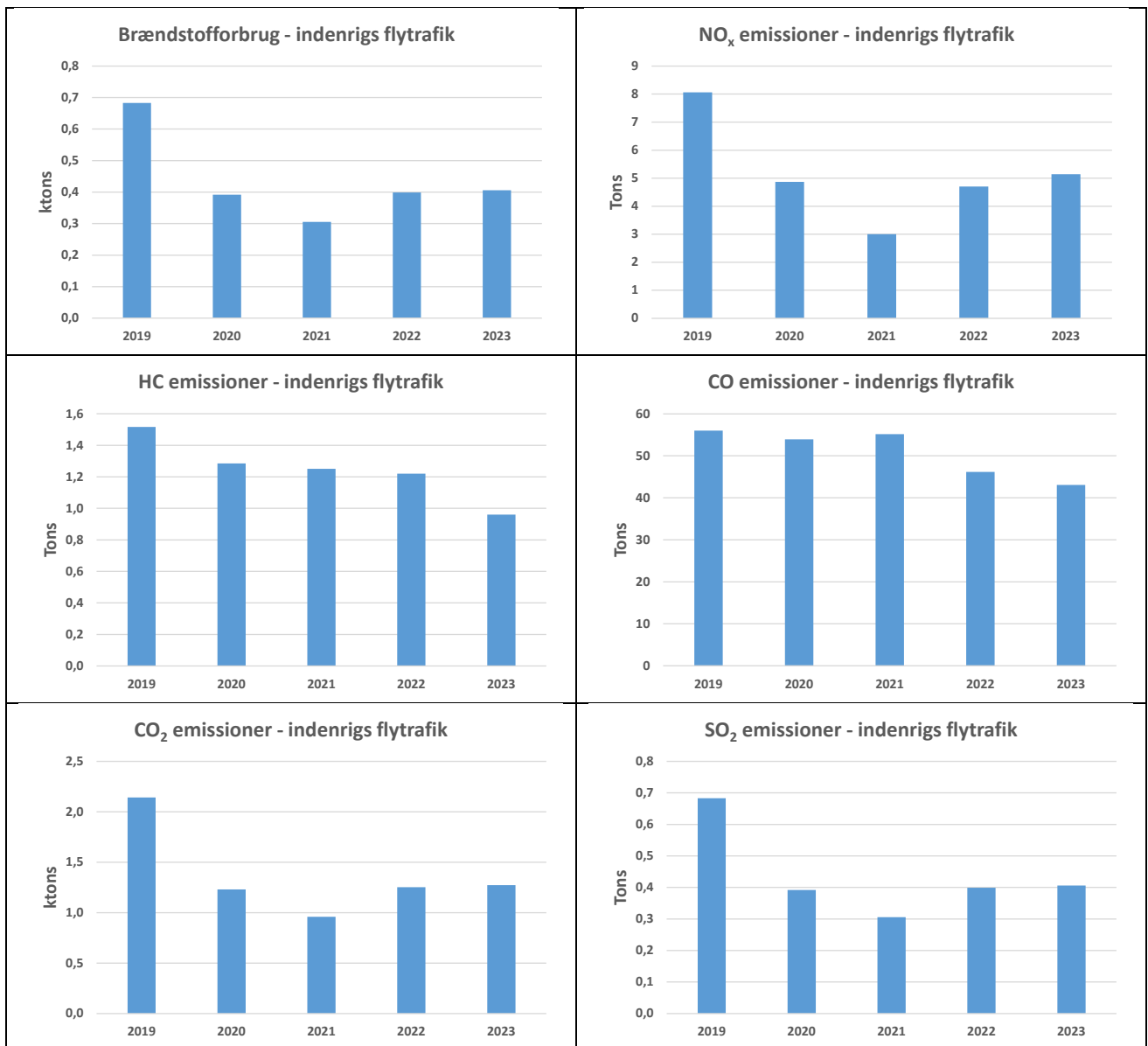
I bilag 1 (medsendt regneark) vises brændstofforbrug og emissionsresultaterne for 2019-2023 underopdelt i de enkelte LTO- og APU-faser.

De totale beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissioner for indenrigs flytrafik i Billund Lufthavn er vist i Figur 1 for årene 2019-2023.

Fra 2019 til 2023 er det beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissionerne faldet med hhv. 41 %, 36 %, 37 %, 23 %, 41 % og 41 %.

Fra 2019 til 2021 beregnes et markant fald i brændstofforbruget og NO_x-, CO₂- og SO₂-emissionerne på 55 %, 63 %, 55 % og 55 % for indenrigstrafikken i Billund Lufthavn pga. COVID-19 påvirkning af flytrafikken, hvorefter brændstofforbruget og emissioner stiger lidt igen. For HC og CO beregnes der markante emissionsreduktioner fra hhv. 2019 til 2020 på 15 % og fra 2021 til 2022 på 16 %.

Udover COVID-19 effekten på flyaktiviteterne i lufthavnen skyldes udsvingene i niveauerne for brændstofforbrug og emissioner også variationer i aktiviteterne med forskellige flytyper, der har forskellige emissionsfaktorer.



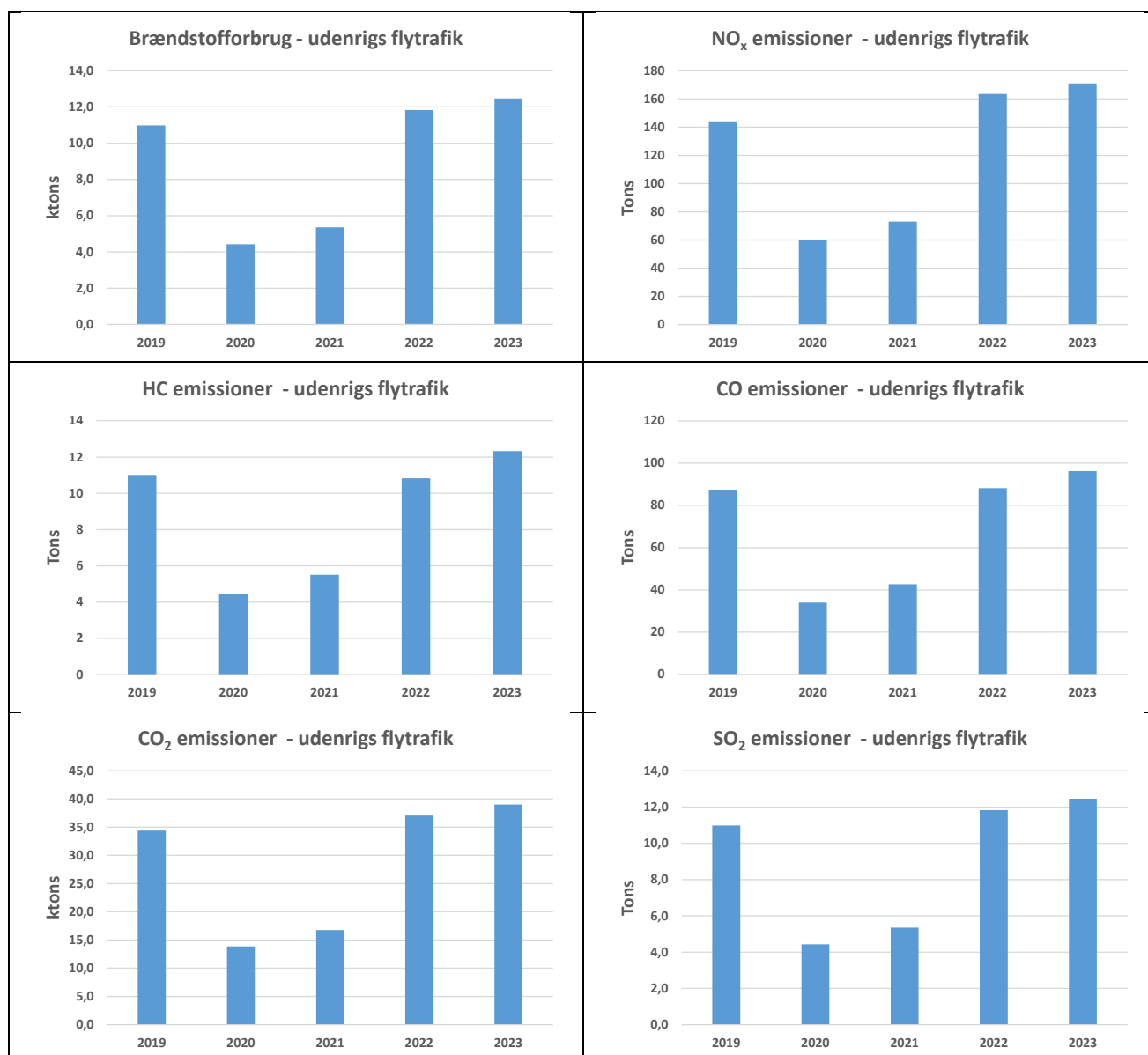
Figur 1 Totale beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissioner for indenrigs flytrafik i Billund Lufthavn for årene 2019-2023.

De totale beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissioner for udenrigsflytrafik i Billund Lufthavn er vist i Figur 2 for årene 2019-2023.

Fra 2019 til 2023 er det beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissionerne steget med hhv. 13 %, 19 %, 12 %, 10 %, 13 % og 13 %.

Fra 2019 til 2020 beregnes markante fald i brændstofforbruget og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissionerne på hhv. 60 %, 38 %, 39 %, 41 %, 60 % og 60 % for udenrigsflytrafikken i Billund Lufthavn pga. COVID-19's påvirkning af flytrafikken. Fra 2021 til 2022 stiger brændstofforbruget og emissionerne markant igen, og stiger yderligere en smule fra 2022 til 2023, efterhånden som flytrafikken nærmer sig niveauet før COVID-19.

Udover COVID-19 effekten på flyaktiviteterne i lufthavnen skyldes udsvingene i niveauerne for brændstofforbrug og emissioner også variationer i aktiviteterne med forskellige flytyper der har forskellige emissionsfaktorer.



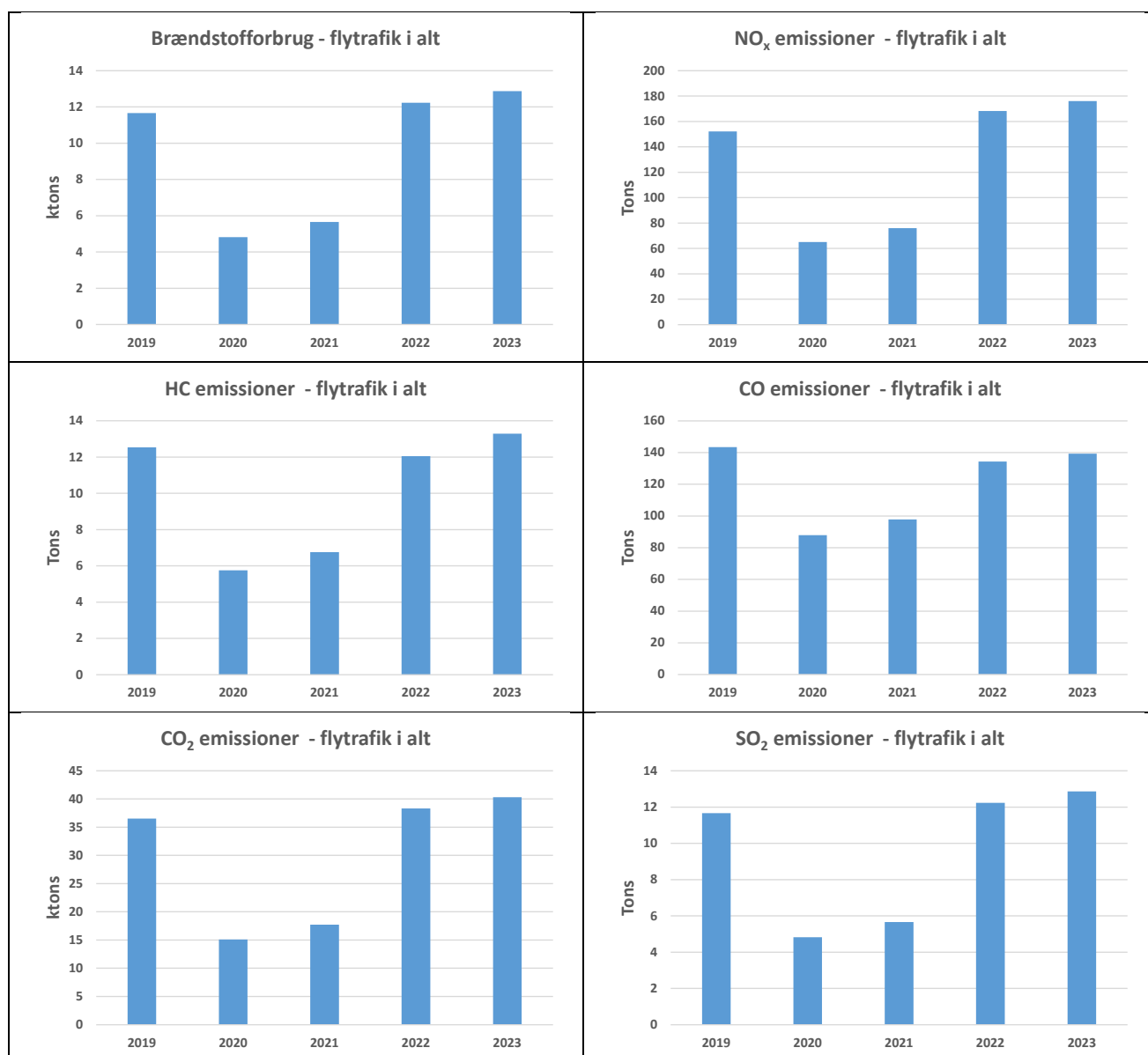
Figur 2 Totale beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissioner for udenrigs flytrafik i Billund Lufthavn for årene 2019-2023.

De totale beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissioner for den samlede flytrafik i Billund Lufthavn er vist i Figur 3 for årene 2019-2023. De totale brændstofforbrug og emissioner i lufthavnen domineres især af bidragene fra den internationale flytrafik.

Fra 2019 til 2023 er det samlede beregnede brændstofforbrug og de samlede NO_x-, HC-, CO₂- og SO₂-emissioner steget med hhv. 10 %, 16 %, 6 %, 10 % og 10 %, hvorimod CO-emissionen falder med 3 %.

Fra 2019 til 2020 beregnes markante fald i det totale brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissionerne på hhv. 59 %, 57 %, 54 %, 39 %, 59 % og 59 % for udenrigsrafikken i Billund Lufthavn pga. COVID-19's påvirkning af

flytrafikken. Fra 2021 til 2022 stiger brændstofforbruget og emissionerne markant igen, og stiger yderligere en smule fra 2022 til 2023, efterhånden som flytrafikken nærmer sig niveauet før COVID-19.



Figur 3 Totale beregnede brændstofforbrug og NO_x-, HC-, CO-, CO₂- og SO₂-emissioner for flytrafikken i alt i Billund Lufthavn for årene 2019-2023.

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, 2024: Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, prepared by the UNECE/EMEP Task Force on Emissions Inventories and Projections (TFEIP). Available at: [EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/publications/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook-2023) (10-10-2024).

Eurocontrol, 2019: 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 (2020): Airport Air Quality Manual (doc. 9889), second edition 2020, ISBN 978-92-9258-963-9 International Civil Aviation Organization.

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. 2022: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until 2020. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 138pp. Scientific Report No. 504. Available at: <http://dce2.au.dk/pub/SR504.pdf>.

Winther, M. 2019: Brændstofforbrug og emissioner for flys hovedmotorer og brug af hjælpemotorer (APU) i Billund Lufthavn i 2014-2018, Fagligt notat fra DCE, 8 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.