

EMISSIONSFAKTORER FOR HURTIGTOG 2030 - 2080

INDHOLD

1	Indledning	1
2	Forudsætninger	1
3	Resultater	4
3.1	Emissioner per pladskilometer	4
3.2	Ændring i de samlede emissioner	7

1 Indledning

Vejdirektoratet har behov for at beregne klima- og miljøpåvirkning af en eventuel forbindelse over Kattegat. Til det formål er der brug for at beregne emissionsfaktorer for hurtigtog fra et åbningsår i 2030 og frem til år 2080.

COWI blev af Vejdirektoratet bedt om bistand til at beregne disse emissionsfaktorer. Dette notat beskriver resultatet.

2 Forudsætninger

Udgangspunktet for denne opgave var at foretage en simpel fremskrivning. Her-til blev fra start aftalt en række antagelser med Vejdirektoratet. Den vigtigste var, at det blev besluttet at regne på to typer af eldrevne hurtigtog:

- > et tog der kan køre 200 km/t og med få stop undervejs.
- > et tog der kan køre 300 km/t og med få stop undervejs.

PROJEKTNR.

A112365

DOKUMENTNR.

A112365-04

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

15. november
2018

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

jjd

KONTROLLERET

hgr

GODKENDT

hgr

Fremgangsmåde

Beregning af emissioner for tog sker ud fra togenes energiforbrug. Det var i løbet af opgaven ikke muligt at fremskaffe energiforbrug for de ønskede typer af hurtigtog fra danske kilder. I stedet er der gennemført en mindre litteratursøgning for at finde viden om energiforbrug for hurtigtog baseret på internationale kilder.

Ud fra denne søgning blev det besluttet at anvende en undersøgelse fra Sverige baseret på en fremtidig togforbindelse mellem Stockholm og Gøteborg. Undersøgelsen er gennemført af KTH (Kungliga Tekniska Högskolan) i Stockholm i 2009¹.

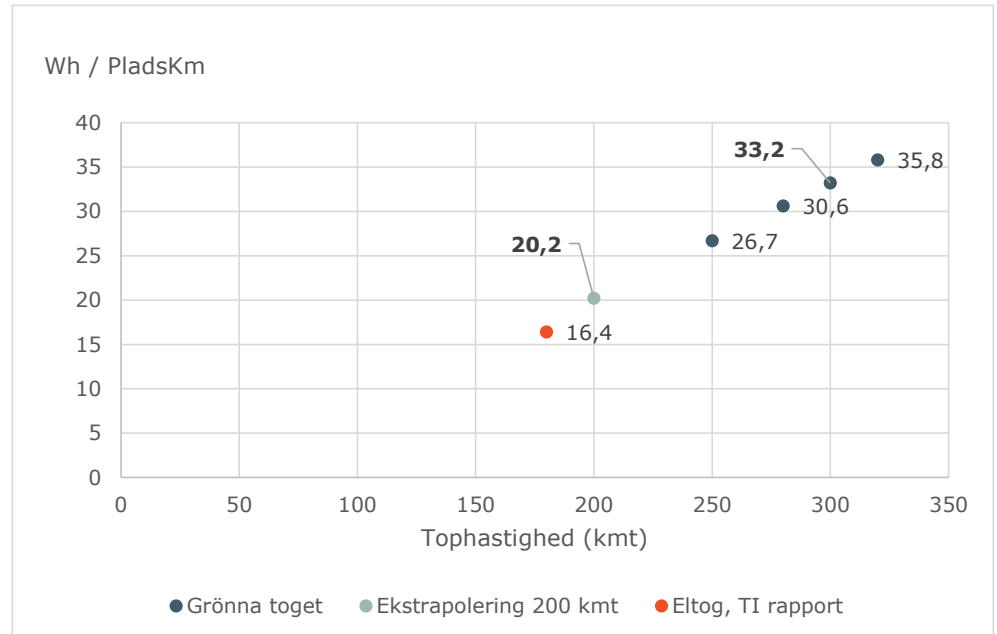
I den svenske undersøgelse er der foretaget en simulering, således at beregningen inkluderer de energitekniske forbedringer, som man kan forvente inden for en overskuelig tidshorisont, herunder en betydelig forbedring i aerodynamik. I denne opgave blev det skønnet, at de svenske resultater vil være et godt bud på de nye hurtigtog, som man kan forestille sig at indsætte på strækningen København - Århus i 2030.

I den svenske undersøgelse indgår en rute på ca. 460 km med 9 stop undervejs. Det svarer stort set til det antal stop, som man vil kunne forvente på en eventuel hurtig forbindelse mellem København og Århus. De svenske simuleringer svarer til ca. 1 stop for hver 50 km. Turen over Kattegat vil være ca. 170 km, svarende til ca. 3 stop. Da det i øvrigt er antaget, at toget genbruger bremseenergien, vurderes det, at de svenske simuleringer vil give en god tilnærmelse til de energiforbrug, der vil kunne forventes for hurtigtog over Kattegat.

Den svenske undersøgelse har regnet på hurtigtog med forskellige tophastigheder fra 250 til 320 km/t. Den følgende figur viser de energiforbrug, som hurtigtog vil have med realistiske køremønstre med disse tophastigheder.

¹ Green Train energy consumption, Estimations on high-speed rail operations, KTH 2009, https://www.kth.se/polopoly_fs/1.118554!/Menu/general/column-content/attachment/GT%20Energy%20consumption%20slutl.pdf

Figur 2-1 Energiforbrug for fremtidige hurtigtog



De fire punkter fra 250 til 320 km/t angiver det forventede energiforbrug for "Grønna Toget" (den omtalte svenske undersøgelse) ved forskellig tophastighed.

Det ene punkt ved 200 km/t er i denne opgave beregnet ved ekstrapolation baseret på de tre punkter fra 250 til 320 km/t.

Det sidste punkt ved 180 km/t viser det forventede energiforbrug for et eltog i 2030 baseret på en rapport fra Teknologisk Institut².

Som det fremgår, passer det beregnede energiforbrug ved 200 km/t beregnet ud fra den svenske undersøgelse godt med det energiforbrug, der er beregnet på baggrund af rapporten fra Teknologisk Institut.

På baggrund af ovenstående er i denne opgave anvendt et energiforbrug på 20,2 Wh per pladskilometer for et hurtigtog med en tophastighed på 200 kmt og 33,2 Wh per pladskilometer for hurtigtog med en tophastighed på 300 km/t.

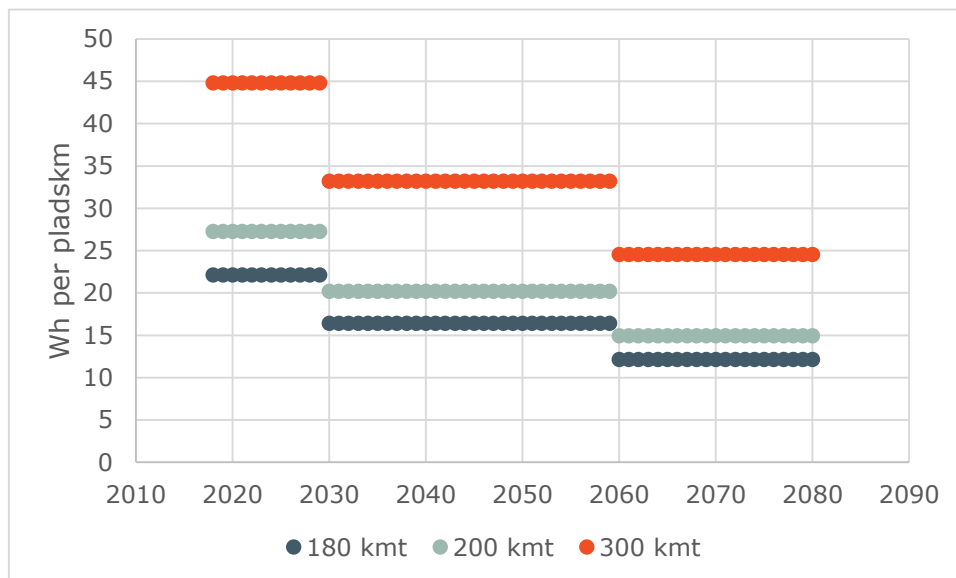
Den teknologiske udvikling medfører, at togenes energiforbrug reduceres. Ifølge Rapporten fra Teknologisk Institut forventes en reduktion i elforbruget på 1% i perioden 2015 til 2050. Udviklingen i togenes energiforbrug sker imidlertid ikke gradvist som det for eksempel er tilfældet for biler. For togene sker reduktionen på det tidspunkt, hvor de anvendte tog på strækningen udskiftes med nye tog. I beregningerne er der antaget en levetid på 30 år for togene.

Det antages i denne opgave, at togenes energiforbrug frem til 2030 kan repræsenteres af tog af generation 2000. Med en årlig reduktion på 1%, vil tog af generation 2000 have et energiforbrug, der er 35% højere end et tog af generation 2030, som i rapporten fra KTH i Sverige. Tilsvarende vil de tog, der indsættes i

² Teknologisk Institut (2016): Energiforbrug for tog og fly,

2060 have et energiforbrug, der er 26%³ lavere end et tog af generation 2030. De således beregnede energiforbrug er illustreret i figuren nedenfor.

Figur 2-2 Hurtigtogenes energiforbrug i perioden 2018 - 2080



Emissioner fra elproduktion er baseret på Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger, version 2018⁴. Der tages således udgangspunkt i de officielle fremskrivninger af de forventede emissioner fra elproduktion, som Energistyrelsen anbefaler at anvende i samfundsøkonomiske vurderinger.

3 Resultater

3.1 Emissioner per pladskilometer

I Tabel 3-1 og Tabel 3-2 vises en oversigt over emissionsfaktorerne for hurtigtog i udvalgte år 2018 – 2080. I Tabel 3-3 er vist alle beregnede emissionsfaktorer for alle årene.

Det store fald i CO₂ emissioner mellem 2020 og 2030 skyldes både reduktion i togenes energiforbrug og reduktion i CO₂ emissionen fra elproduktion. CO₂ emissionen falder fra 159 gram CO₂ per kWh i 2020 til 35 gram CO₂ per kWh i 2030.

³ Begge procenttal er baseret på 1% årlig reduktion. Når de er forskellige skyldes det, at procenttallet afhænger af om man regner frem eller tilbage i tiden ($1 - 1/(1,35) = 26\%$)

⁴ Energistyrelsen (2018): Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger. Oktober 2018.

Tabel 3-1 Emissionsfaktorer for hurtigtog med tophastighed 200 km/t, gram per pladskilometer

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO2	4,60	4,05	0,49	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15
NOx	0,006914	0,006128	0,002383	0,001271	0,001271	0,000940	0,000940	0,000940
PM	0,000042	0,000035	0,000016	0,000006	0,000006	0,000004	0,000004	0,000004

Tabel 3-2 Emissionsfaktorer for hurtigtog med tophastighed 300 km/t, gram per pladskilometer

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO2	7,57	6,65	0,80	0,33	0,33	0,24	0,24	0,24
NOx	0,011364	0,010072	0,003916	0,002089	0,002089	0,001545	0,001545	0,001545
PM	0,000069	0,000057	0,000026	0,000009	0,000009	0,000007	0,000007	0,000007

Tabel 3-3 Detaljerede resultater for emissionsfaktorer for hurtigtog, gram per pladskilometer

År	Hurtigtog, tophastighed 200 km/t			Hurtigtog, tophastighed 300 km/t		
	gram CO2 per pladskm	gram NOx per pladskm	gram PM per pladskm	gram CO2 per pladskm	gram NOx per pladskm	gram PM per pladskm
2018	4,60	0,0069141	0,0000419	7,57	0,0113637	0,0000688
2019	4,31	0,0065854	0,0000389	7,09	0,0108235	0,0000640
2020	4,05	0,0061282	0,0000347	6,65	0,0100721	0,0000570
2021	3,72	0,0056142	0,0000317	6,12	0,0092272	0,0000522
2022	3,54	0,0054977	0,0000310	5,83	0,0090359	0,0000509
2023	3,07	0,0053956	0,0000307	5,04	0,0088681	0,0000505
2024	2,97	0,0053081	0,0000306	4,89	0,0087242	0,0000504
2025	2,73	0,0050211	0,0000295	4,49	0,0082526	0,0000484
2026	2,57	0,0046451	0,0000278	4,22	0,0076345	0,0000457
2027	2,36	0,0043451	0,0000263	3,88	0,0071415	0,0000432
2028	2,19	0,0040751	0,0000249	3,60	0,0066976	0,0000409
2029	1,98	0,0037622	0,0000232	3,25	0,0061834	0,0000382
2030	0,49	0,0023827	0,0000157	0,80	0,0039162	0,0000258
2031	0,44	0,0022342	0,0000150	0,73	0,0036721	0,0000247
2032	0,42	0,0021300	0,0000144	0,69	0,0035007	0,0000236
2033	0,39	0,0020492	0,0000138	0,65	0,0033680	0,0000228
2034	0,37	0,0019274	0,0000131	0,60	0,0031677	0,0000215
2035	0,34	0,0019000	0,0000132	0,56	0,0031228	0,0000217
2036	0,29	0,0016306	0,0000079	0,47	0,0026800	0,0000129
2037	0,23	0,0013971	0,0000065	0,37	0,0022963	0,0000107
2038	0,21	0,0013244	0,0000061	0,34	0,0021768	0,0000101
2039	0,20	0,0012987	0,0000060	0,33	0,0021345	0,0000099
2040	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2041	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2042	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2043	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095

År	Hurtigtog, top hastighed 200 kmt			Hurtigtog, top hastighed 300 kmt		
	gram CO2 per pladskm	gram NOx per pladskm	gram PM per pladskm	gram CO2 per pladskm	gram NOx per pladskm	gram PM per pladskm
2044	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2045	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2046	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2047	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2048	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2049	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2050	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2051	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2052	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2053	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2054	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2055	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2056	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2057	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2058	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2059	0,20	0,0012709	0,0000058	0,33	0,0020889	0,0000095
2060	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2061	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2062	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2063	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2064	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2065	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2066	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2067	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2068	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2069	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2070	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2071	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2072	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2073	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2074	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2075	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2076	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2077	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2078	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2079	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070
2080	0,15	0,0009401	0,0000043	0,24	0,0015451	0,0000070

3.2 Ændring i de samlede emissioner

Resultaterne i forrige afsnit er benyttet som udgangspunkt for at beregne ændring i de samlede emissioner for persontransport med tog mellem København og Århus, hvis der etableres en fast forbindelse over Kattegat.

Ud over emissionsfaktorer er det nødvendigt at vurdere, hvordan den nye forbindelse vil påvirke antallet af tog. Alt andet lige må det forudsættes, at antal lyntog via Odense reduceres og erstattes af et antal hurtigtog over Kattegat.

Trafikstyrelsen har bidraget til input om dette og har vurderet, at der vil bortfalde 30 togture dagligt på hverdage via Odense. Samtidig har Trafikstyrelsen skønnet, at der vil blive brug for 68 togture dagligt på hverdage over den nye togforbindelse over Kattegat.

Togene har forskellig størrelse. Tabel 3-4 viser Trafikstyrelsens vurdering om antal tog fordelt på togstørrelsen.

Tabel 3-4 Togture via Odense der bortfalder, ture per dag på hverdage

Antal togture der bortfalder	
Antal tog med 1 togsæt, hverdage	12
Antal tog med 2 togsæt, hverdage	16
Antal tog med 3 togsæt, hverdage	2

Note: En tur til Århus og tilbage til København tæller 2 ture.

Med 250 pladser per togsæt giver denne fordeling (i alt 50 togsæt) i alt 12.500 pladser per dag. Afstanden på 300 km mellem København og Århus svarer dermed til i alt ca. 3,75 mio. pladskilometer per hverdagsdøgn. Ved opregning fra hverdagsdøgn til årstrafik anvender Trafikstyrelsen en opregningsfaktor på 300. Dermed svarer de 3,75 mio. pladskilometer per hverdagsdøgn til 1.125 mio. pladskilometer per år.

Samtidig skønner Trafikstyrelsen, at der vil blive udført 68 nye togture dagligt på hverdage over den nye togforbindelse over Kattegat. Disse ture fordeler sig på togstørrelse som vist i Tabel 3-5.

Tabel 3-5 Nye togture via ny forbindelse over Kattegat, ture per dag på hverdage

Antal nye togture	
Antal tog med 1 togsæt, hverdage	6
Antal tog med 2 togsæt, hverdage	46
Antal tog med 3 togsæt, hverdage	16

Note: En tur til Århus og tilbage til København tæller 2 ture.

Med 250 pladser per togsæt giver denne fordeling (i alt 146 togsæt) i alt 36.500 pladser per dag. Afstanden på 171 km mellem København og Århus via den nye Kattegatforbindelse svarer dermed til i alt 6,24 mio. pladskilometer per hverdagsdøgn. Ved opregning fra hverdagsdøgn til årstrafik anvender Trafikstyrelsen som nævnt en opregningsfaktor på 300. Dermed svarer de 6,24 mio. pladskilometer per hverdagsdøgn til 1.872 mio. pladskilometer per år.

Tabel 3-6 viser effekten af de togture via Odense der bortfalder. Tabel 3-7 viser effekten af de nye togture via Kattegatforbindelsen. Tabellerne er beregnet ved at kombinere emissioner per pladskilometer beskrevet i afsnit 3.1 med ændringen i antal pladskilometer via Odense hhv. Kattegatforbindelsen. Det er antaget, at de togture via Odense der bortfalder betjenes af tog med tophastighed på 200 km/t, mens de nye togture via Kattegatforbindelsen betjenes af hurtigtog med en tophastighed på 300 km/t.

Tabel 3-6 Reduktion i emissioner som følge af bortfald af ture via Odense, tons emissioner per år for udvalgte år

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO ₂	5.179	4.554	550	224	224	166	166	166
NO _x	7,78	6,89	2,68	1,43	1,43	1,06	1,06	1,06
PM	0,047	0,039	0,018	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005

Tabel 3-7 Forøgelse af emissioner som følge af nye ture over Kattegat., tons emissioner per år for udvalgte år

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO ₂	14.165	12.454	1.504	613	613	453	453	453
NO _x	21,27	18,85	7,33	3,91	3,91	2,89	2,89	2,89
PM	0,129	0,107	0,048	0,018	0,018	0,013	0,013	0,013

Tabel 3-8 viser den samlede effekt af de togture via Odense der bortfalder og de nye ture der kommer til.

Tabel 3-8 Samlet effekt for persontogtrafikken København – Århus efter anlæg af ny Kattegatforbindelse, tons emissioner per år for udvalgte år

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO ₂	8.986	7.900	954	389	389	288	288	288
NO _x	13,49	11,96	4,65	2,48	2,48	1,83	1,83	1,83
PM	0,082	0,068	0,031	0,011	0,011	0,008	0,008	0,008

Tabel 3-9 Ændring i emissioner fra persontogtrafikken København – Århus efter anlæg af ny Kattegat forbindelse, tons emissioner per år

År	Ton CO2 per år	Ton NOx per år	Ton PM per år
2018	8986	13,49	0,082
2019	8420	12,85	0,076
2020	7900	11,96	0,068
2021	7265	10,96	0,062
2022	6918	10,73	0,060
2023	5985	10,53	0,060
2024	5804	10,36	0,060
2025	5326	9,80	0,058
2026	5010	9,07	0,054
2027	4609	8,48	0,051
2028	4275	7,95	0,049
2029	3858	7,34	0,045
2030	954	4,65	0,031
2031	864	4,36	0,029
2032	816	4,16	0,028
2033	768	4,00	0,027
2034	713	3,76	0,026
2035	662	3,71	0,026
2036	562	3,18	0,015
2037	443	2,73	0,013
2038	408	2,58	0,012
2039	396	2,53	0,012
2040	389	2,48	0,011
2041	389	2,48	0,011
2042	389	2,48	0,011
2043	389	2,48	0,011
2044	389	2,48	0,011
2045	389	2,48	0,011
2046	389	2,48	0,011
2047	389	2,48	0,011
2048	389	2,48	0,011
2049	389	2,48	0,011
2050	389	2,48	0,011
2051	389	2,48	0,011
2052	389	2,48	0,011
2053	389	2,48	0,011
2054	389	2,48	0,011
2055	389	2,48	0,011
2056	389	2,48	0,011
2057	389	2,48	0,011
2058	389	2,48	0,011

År	Ton CO2 per år	Ton NOx per år	Ton PM per år
2059	389	2,48	0,011
2060	288	1,83	0,008
2061	288	1,83	0,008
2062	288	1,83	0,008
2063	288	1,83	0,008
2064	288	1,83	0,008
2065	288	1,83	0,008
2066	288	1,83	0,008
2067	288	1,83	0,008
2068	288	1,83	0,008
2069	288	1,83	0,008
2070	288	1,83	0,008
2071	288	1,83	0,008
2072	288	1,83	0,008
2073	288	1,83	0,008
2074	288	1,83	0,008
2075	288	1,83	0,008
2076	288	1,83	0,008
2077	288	1,83	0,008
2078	288	1,83	0,008
2079	288	1,83	0,008
2080	288	1,83	0,008