

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift
Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)
ISSN 1603-9696
www.trafikdage.dk/artikelarkiv

Effekter af køretidsforbedringer ved kørsel med elektrisk togmateriel

Mathias Henning, mhg@niras.dk
NIRAS A/S

Abstrakt

I tidligere udførte analyser af rentabiliteten ved elektrificering af yderligere strækninger på det danske jernbanenet, har der ikke været taget højde for de forbedrede køretider, der kan opnås ved kørsel med el-materiel i forhold til dieseldrift.

Det er imidlertid en kendsgerning, at tog med el-traktion har en væsentlig bedre accelerationsevne end sammenlignelige dieseltog, og at denne vil betyde, at det er muligt at præstere hurtigere kørsel, især i forbindelse med stationsstop.

I denne artikel præsenteres resultaterne af en analyse, hvis formål har været at analysere effekterne af køretidsforbedringer ved kørsel med elektrisk togmateriel. Analysen viser, at det giver positive resultater, specielt for strækninger med mange og tætliggende stop samt strækninger med mange passagerer, der oplever sparet rejsetid.

Indledning

NIRAS foretog i 2011 den såkaldte *Strategiske Analyse af Elektrificering*, hvori det blev analyseret, hvilke strækninger det med hensyn til samfundsøkonomi var fornuftigt at elektrificere i Danmark. I denne analyse blev der bevidst ikke taget højde for, at elektriske tog alt andet lige har en signifikant større trækraft – og dermed accelerationsevne – end dieselmateriel, og at der derfor kan forventes en rejsetidsbesparelse, ved et skift til disse. Trafikstyrelsen og NIRAS foretog i forbindelse med analysen en række modelkørsler med sammenligneligt togmateriel med henholdsvis diesel- og el-traktion. Disse viste entydigt at el-traktionen alene betød en reduktion i køretid på 3-10 %; størst for strækninger med mange stop.

I analysen blev elektrificering af strækningerne Esbjerg-Lunderskov, Fredericia-Århus, Køge Nord-Næstved samt Roskilde-Kalundborg vurderet som samfundsmæssigt rentable. En mindre omfattende elektrificering af Roskilde-Kalundborg kun til Holbæk, samt en forlængelse af elektrificeringen i Jylland til Aalborg var på vippen, mens eksempelvis banerne til Struer og Frederikshavn ikke havde en positiv samfundsøkonomi.

I nærværende artikel undersøges, hvilken effekt hensyntagen til hurtigere kørsel (kortere rejsetider) har. Effekterne kan både være rejsetidsbesparelser, ændrede passagemængder, sparede driftsomkostninger, mindre materielbehov og øgede takstindtægter.

Artiklen sammenfatter analysen, som er en sammenligning mellem el-drift uden og med køretidsforbedring. Der tages udgangspunkt i de samme scenarier for elektrificering (i det følgende kaldt SAE-scenarier), som i den oprindelige strategiske analyse - dog er de strækninger, som ikke blev vurderet rentable udeladt.

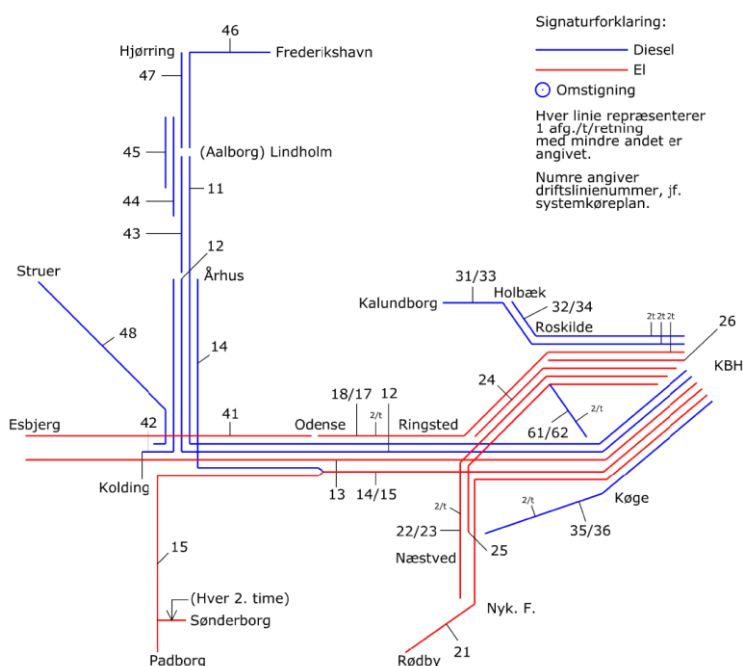
De mest rentable SAE-scenarier, som er medtaget i analysen, er altså:

- 1A Lunderskov-Esbjerg, Padborg
- 1B Fredericia-Århus
- 1D Roskilde-Holbæk
- 1E Køge Nord-Næstved
- 2B1 Århus-Ålborg
- 2D1 Holbæk-Kalundborg

Grundlag

Grundlaget for nærværende analyse har bestået af følgende:

- "Strategisk Analyse af Elektrificering" 2011 (SAE). Heri blev formuleret en række scenarier for elektrificering af banenettet, som blev analyseret i forhold til dieseldrift. De scenarier, der var rentable, er medtaget i analysen af køretidsbesparelser.
- Artiklen "Potentielle køretidsgevinster ved anvendelse af togsæt med elektrisk traktion frem for togsæt med dieseldrift", Trafikstyrelsen og NIRAS 2011. Artiklen beskriver modelkørsler med el- og dieselmateriel af samme type, og har dermed dannet grundlag for hvilke køretidsbesparelser, der forudsættes i nærværende analyse.
- Trafikstyrelsens køreplaner "k10 og k20 køreplaneksempler" for driften på det fremtidige banenet (driftslinjer vist på *Figur 1*. Driftslinjerne i Trafikstyrelsens systemkøreplan). Ud fra dette er en ny køreplan med køretidsbesparelser for el-tog tilvejebragt.
- VISUM-simuleringer af driften på relevante linjer i SAE udført af Banedanmark. Simuleringerne er benyttet til at finde maksimale og gennemsnitlige passagertal for linjerne og bestemme driftsomfanget.



Figur 1. Driftslinjerne i Trafikstyrelsens systemkøreplan

Køretidsbesparelse

Den præcise tidsbesparelse, der kan opnås på de enkelte strækninger med el-drift, er vanskelig at bestemme eksakt. Mængden af stop på en linje vil selvfølgelig have stor betydning for, at bedre acceleration kan have en effekt, men også steder med lokale hastighedsnedsættelser vil betyde en fordel for el-tog. Også afstandene mellem stoppe og hvilken tophastighed strækningen muliggør spiller ind. At regne en eksakt besparelse, der tager højde for alle parametre, er besværlig og tidskrævende, og vil også være stærkt afhængigt af materielvalg. Analysen af effekterne har derfor været udført på et mere overordnet niveau, hvor standsningsmønstret (ud fra Trafikstyrelsens Systemkøreplan 2020) har ligget til grund for at estimere en køretidsbesparelse.

Udgangspunktet for at estimere køretidsbesparelsen er taget i modelkørslerne, foretaget af Trafikstyrelsen og NIRAS¹. Da køretidsbesparelsen ved el-drift sker pga. hurtigere acceleration, ses det ikke overraskende, at besparelsen vil være klart størst for linjer med hyppige stop. I nedenstående tabel ses hvilke køretidsbesparelser, der er forudsat, afhængigt af køretiden mellem stationsstop:

Tabel 1. Køretidsbesparelse i relation til køretid mellem stop

Køretid mellem stop	<6 min	7-10 min	11-15 min	>16 min
Køretidsbesparelse	10%	8%	5%	3%

Køreplan

Som i de øvrige elektrificeringsanalyser er der taget udgangspunkt i Trafikstyrelsens K20 køreplaneksempl². I denne er indlagt en besparelse i køretiden mellem stationsstop efter princippet ovenfor.

Ud over denne besparelse i "rå køretid" har det været vurderet, om man kunne medtage afledte besparelser, der kan fremkomme gennem en optimering af køreplanen, i analysen. Det er dog valgt at bibeholde de samme togfølgetider samt holdetider på stationerne som i den oprindelige køreplan, da det er svært at bestemme, om besparelser i disse i realiteten vil kunne tilvejebringes.

Vendetiderne ved endestationer er dog, med udgangspunkt i de kortere køretider, forbedret mest muligt, ud fra forudsætningen at der skal være minimum 10 minutter.

Køretidsbesparelsen er implementeret i køreplanen for alle el-togslinjer (inkl. linjer, der trafikerer de allerede vedtagne elektrificerede strækninger København-Ringsted og Ringsted-Femern), jvf. "Strategisk analyse af Elektrificering", for at have fælles forudsætninger for disse. I det videre analysearbejde er dog kun medtaget relevante linjer for de udpegede elektrificeringsscenarioer. I nedenstående ses, hvilke af linjerne i systemkøreplanen, som er relevante i denne analyse.

Tabel 2. Oversigt over påvirkede linjer fra Trafikstyrelsens systemkøreplan

Linje	Strækning	Køretid	Antal stop
11	København H – Aalborg	216	5
12	Københavns Lufthavn Kastrup – Århus H	166	7
13	Københavns Lufthavn Kastrup – Esbjerg	157	6
14	Østerport – Århus H	188	15
16	Østerport – Padborg	199	18
31/33	Østerport – Kalundborg	85	11
32/34	Østerport – Holbæk	64	11
35	Østerport – Næstved	76	12

¹ "Potentielle køretidsgevinster ved anvendelse af togsæt med elektrisk traktion frem for togsæt med dieseltraktion", Trafikstyrelsen 2011

² Køreplaneksempler k10 og k20.xls

Linje	Strækning	Køretid	Antal stop
36	København H - Næstved	62	10
43	Århus H – Aalborg	85	6
44	Hobro – Lindholm	46	8
45	Skørping - Lindholm	29	6

I tabellen herunder ses ændringen af køretiden for hver af linjerne.

Tabel 3. Køretidsændringer ved hurtigere kørsel

Linje	Køretid "uden hurtigere kørsel" (min)	Køretid "ved hurtigere kørsel" (min)	Besparelse "ved hurtigere kørsel" (%)
11 Kh-Ab	216	210	- 3
12 Cph-Ar	166	159	- 4
13 Cph-Es	157	151	- 4
14 Kk-Ar	188	179	- 5
16 Kk-Pd	199	188	- 6
31/33 Kk-Kb	85	80	- 6
32/34 Kk-Hk	64	58	- 9
35 Kk-Næ	76	70	- 8
36 Kh-Næ	62	57	- 8
43 Ar-Ab	85	81	- 5
44 Hb-Lih	46	43	- 7
45 Sø-Lih	29	27	- 7

De største besparelser i forhold til køretiden med dieseldrift ses logisk nok på regionale linjer, der har mange stop over korte afstande. Rejsende mellem Kalundborg og København kan eksempelvis opleve en tidsbesparelse på 5 minutter, mens man på en rejse med lyntog fra Aalborg til København kun vil spare et minut mere – altså kun en væsentligt mindre del i forhold til den oprindelige rejsetid.

Det hører her med til billedet, at langt de fleste passagerer vil opleve markante rejsetidsbesparelser, idet langt de fleste passagerer – f.eks. pendlere - rejser med tog, der har mange stop over korte afstande.

Effekter på drift og materiel

De kortere køretider har indflydelse på materielbehovet på to måder: Dels er der mulighed for en materielbesparelse pga. eventuelle kortere omløbstider og færre togsæt i samtidig drift. På den anden side vil tidsbesparelsen betyde en forøgelse af passagerer på linjen, hvilket kan nødvendiggøre yderligere togsæt på visse afgang.

Tabellen herunder viser analysens resultater vedrørende driftsomfang og materielbehov (ved fuld elektrificering af linjen):

Tabel 4. Driftsomfang og materielbehov i 2022

Linje	Antal togsæt "uden hurtigere kørsel"	Antal togsæt ændring "ved hurtigere kørsel"	Togsætkm/år ændring "ved hurtigere kørsel"
11 Kh-Ab	25	0	+ 190.000
12 Cph-Ar	16	- 2	-
13 Cph-Es	11	0	-
14 Kk-Ar	16	- 2	-
16 Kk-Pd	8	+ 1	+ 430.000
31-34 Kk-Kb	30	- 1	+ 140.000
35/36 Kk-Næ	17	+ 1	+ 90.000

Linje	Antal togsæt "uden hurtigere kørsel"	Antal togsæt ændring "ved hurtigere kørsel"	Togsætkm/år ændring "ved hurtigere kørsel"
43 Ar-Ab	5	0	-
44 Hb-Lih	4	0	-
45 SØ-Lih	3	0	-
I alt	135	- 3	+ 860.000

Det ses således, at køretidsforbedringen alt i alt vil betyde et mindre fald i behovet for rullende materiel, men at driftsomfanget til gengæld vil forøges en anelse. Dette skyldes, at der alt andet lige vil være det samme eller flere antal togsæt på hver afgang, selvom den optimerede køreplan betyder, at der i alt er færre togsæt i drift.

Generelt må der siges, kun at være en lille effekt af de kortere køretider på drift og materiel-siden.

Passagereffekter

De kortere køretider vil betyde, at flere passagerer vil benytte togene. Der er i denne analyse regnet med en rejsetidselasticitet på 0,4, betydende at en 10% kortere rejsetid vil medføre 4% flere passagerer. Som nævnt ovenfor vil passagerstigningen betyde, at enkelte afgang kræver flere togsæt, og derfor medføre en mindre stigning i driftsomfanget.

En anden væsentlig effekt på passagersiden vil være den sparede rejsetid som i større eller mindre grad vil opleves, og som skaber en gevinst i den økonomiske beregning.

Det ses i tabellen herunder, hvor mange nye passagerer, der kan forventes pr. dag. Det ses ikke overraskende, at regionallinjerne på Sjælland, der både har den største køretidsbesparelse og mange eksisterende passagerer, vil opleve den største stigning.

Tabel 5. Passagerstigning som følge af kortere køretider

Linje	Passagerer "uden hurtigere kørsel"	Stigning i passagerer "ved hurtigere kørsel"	%-vis stigning "ved hurtigere kørsel"
11 Kh-Ab	18.000	+ 200	+ 1,1
12 Cph-Ar	14.800	+ 250	+ 1,7
13 Cph-Es	8.800	+ 140	+ 1,5
14 Kk-Ar	12.200	+ 230	+ 1,9
16 Kk-Pd	7.300	+ 160	+ 2,2
31-34 Kk-Kb	37.700	+ 1190	+ 3,2
35/36 Kk-Næ	12.000	+ 380	+ 3,2
43 Ar-Ab	3.200	+ 60	+ 1,9
44 Hb-Lih	1.300	+ 40	+ 2,6
45 SØ-Lih	600	+ 20	+ 2,8
I alt	116.000	+ 2700	+ 2,3

Økonomi

De økonomiske effekter ved kortere køretider vil primært komme til udslag på tre punkter:

1. Sparede rejsetidsrelaterede omkostninger for passagerer
2. Øgede takstindtægter fra nye passagerer
3. Ændrede materielomkostninger

Herudover vil der ske en mindre ændring i køretidsrelaterede omkostninger til togpersonale. Der er dog ikke i den økonomiske beregning taget højde for denne effekt, da den er særdeles svær at beregne

fornuftigt ud fra denne analyses forudsætninger, og desuden kun vurderes at have en lille betydning i forhold til de tre ovennævnte punkter.

Ad 1) Rejsetidsrelaterede omkostninger

Besparelsen, der vil ske som følge af den sparede rejsetid, er udregnet på baggrund af tidsværdier fra "Transportøkonomiske enhedspriser 2010" - inklusiv afgifter, fremskrevet til 2012³:

Tabel 6. Tidsværdi

Tidsværdi (kr./time)	
Vægtet snit	111,3

For de scenarier, som blev vurderet rentable i den oprindelige "Strategisk analyse af elektrificering" kan den økonomiske besparelse ses herunder:

Tabel 7. Rejsetidsrelateret besparelse i 2022 (2012-prisniveau)

SAE-scenarie	Rejsetidsrelateret besparelse "ved hurtigere kørsel" (kr./år)
1A Lunderskov-Esbjerg, Padborg	28 mio.
1B Fredericia-Århus	82 mio.
1D Roskilde-Holbæk	47 mio.
1E Køge Nord-Næstved	17 mio.
2B1 Århus-Ålborg	95 mio.
2D1 Holbæk-Kalundborg	51 mio.

Ad 2) Takstindtægter

Stigningen i passagerer vil selvsagt betyde øgede billetindtægter. Der er regnet med 0,75 kr. pr. passagerkm⁴. Dette giver nedenstående indtægtsforøgelse:

Tabel 8. Øgede takstindtægter

SAE-scenarie	Øget takstindtjening "ved hurtigere kørsel" (kr./år)
1A Lunderskov-Esbjerg, Padborg	11 mio.
1B Fredericia-Århus	32 mio.
1D Roskilde-Holbæk	11 mio.
1E Køge Nord-Næstved	4 mio.
2B1 Århus-Ålborg	37 mio.
2D1 Holbæk-Kalundborg	12 mio.

Ad 3) Materielomkostninger

Ændrede materielomkostninger vil gøre sig gældende på forskellige punkter: Der vil være en besparelse i materielindkøb og forsikring pga. et fald i antallet af togsæt. Omvendt vil nødvendigheden af ekstra togsæt på enkelte afgang betyde en lille stigning i kørte kilometer, og dermed øgede vedligeholdelsesomkostninger.

Herunder ses ændrede omkostninger på materielsiden.

³ Afgifter 35%, Fremskrivning 2% pr. år.

⁴ Transportøkonomiske enhedspriser - Billetindtægter kollektiv trafik

Tabel 9. Ændrede omkostninger til materielanskaffelse og forsikring

SAE-scenarie	Anskaffelse NPV "ved hurtigere kørsel" (mio. kr.)	Forsikring "ved hurtigere kørsel" (mio. kr./år)
1A Lunderskov-Esbjerg, Padborg	+ 42	+ 0,6
1B Fredericia-Århus	- 160	- 2,5
1D Roskilde-Holbæk	+ 43	+ 0,6
1E Køge Nord-Næstved	+ 16	+ 0,6
2B1 Århus-Ålborg	- 139	- 2,5
2D1 Holbæk-Kalundborg	- 34	- 0,6

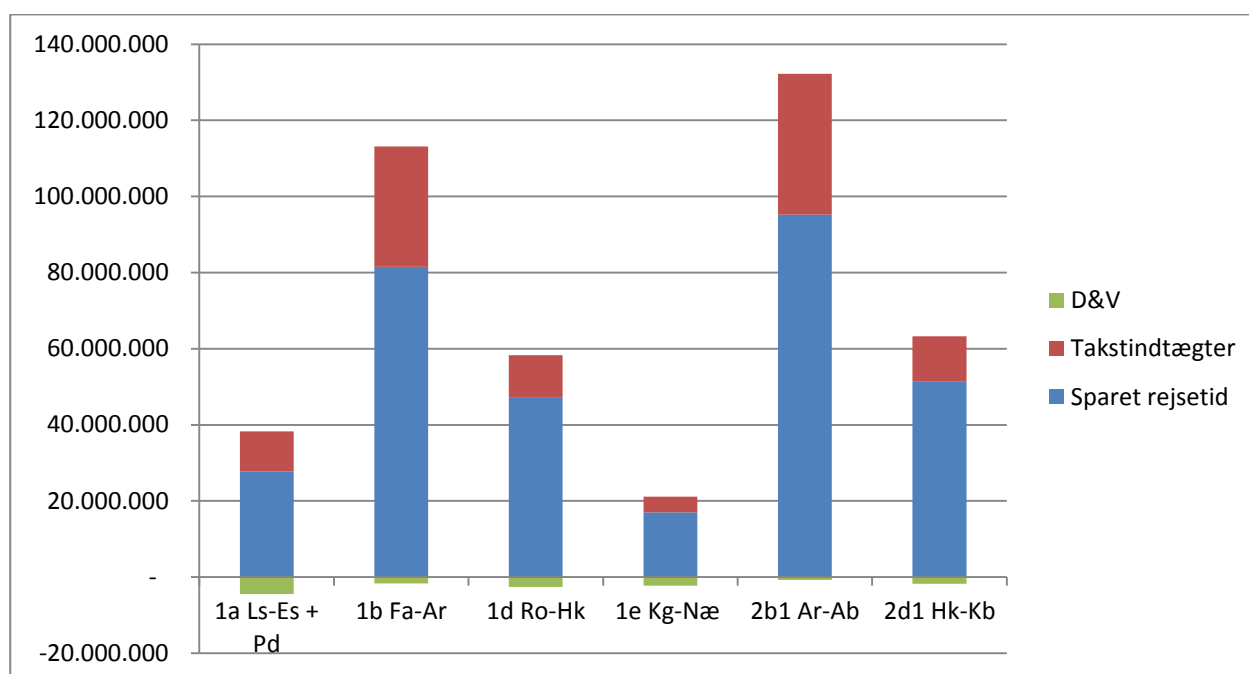
*I flere SAE-scenarier, bl.a. 1A og 1E, er der en stigning i togsætantal.

Tabel 10. Ændrede omkostninger til vedligehold og energiforbrug

SAE-scenarie	Vedligehold "ved hurtigere kørsel" (mio. kr./år)	Omkostning til energiforbrug "ved hurtigere kørsel" (mio. kr./år)
1A Lunderskov-Esbjerg, Padborg	+ 2,7	+ 1,1
1B Fredericia-Århus	+ 3,0	+ 1,2
1D Roskilde-Holbæk	+ 1,4	+ 0,6
1E Køge Nord-Næstved	+ 1,1	+ 0,5
2B1 Århus-Ålborg	+ 2,4	+ 0,9
2D1 Holbæk-Kalundborg	+ 1,7	+ 0,7

Samlede årlige omkostninger

Nedenfor ses ændringer i samlede årlige indtægter og omkostninger på diagramform.



Figur 2. Samlet økonomisk gevinst, årlige omkostninger/indtægter i 2022. D&V indeholder vedligehold, energiforbrug og forsikring. NB: I forhold til "elektrificering uden hensyntagen til hurtigere kørsel med el-tog"

Det ses klart, at størstedelen af besparelserne kommer som følge af sparet rejsetid for de eksisterende passagerer, mens øgede takstindtægter for nytilkomne også spiller en stor rolle.

Rentabilitet

I nedenstående tabel ses forskellen i intern rente i de forskellige SAE-scenarier. Det ses, at denne stiger markant ift. basis (elektrificering uden hensyntagen til hurtigere kørsel med el-tog):

Tabel 11. Intern rente uden og med hurtigere kørsel

Scenarie	Intern rente "uden hurtigere kørsel" (%)	Intern rente "ved hurtigere kørsel" (%)
1A Lunderskov-Esbjerg, Padborg	10,4	12,9
1B Fredericia-Århus	10,3	15,7
1D Roskilde-Holbæk	2,5	10,5
1E Køge Nord-Næstved	7,3	10,3
2B1 Århus-Ålborg	2,9	9,7
2D1 Holbæk-Kalundborg	11,7	13,2

Det mindst rentable scenarie i den tidligere analyse, 1D Roskilde-Holbæk, er nu væsentlig mere rentabelt. Dette skyldes i høj grad, at et tvunget passagerskift mellem el- og dieseltog i Holbæk, som skabte det ringere resultat, nu er mere end opvejet af den store samlede tidsgevinst. 2B1 Århus-Ålborg, der ligeledes var på vippen tidligere, har nu den laveste interne rente, der dog også ser særdeles fornuftig ud.

Konklusion

I nærværende notat er beskrevet effekterne af kortere køretider for el-tog, der ikke har været inkluderet i tidligere analyser af elektrificering af det danske jernbanenet. Effekterne er beregnet ud fra en køretidsbesparelse på 3-10%, afhængig af køretid mellem stationer.

Der ses to store effekter af kortere køretider, både på den passagermæssige og den økonomiske side:

- De eksisterende passagerer får kortere rejsetid, der kommer størst til udtryk på linjer med hyppige stop.
- De kortere køretider betyder en stigning i passagerer, og derved i takstindtægter
- Udgifterne til togmateriel falder i nogle SAE-scenarier og stiger i andre, mens der generelt sker en stigning i de årlige drifts og vedligeholdelses-omkostninger som følge af flere kørte togsætkilometer.

Alt i alt må det konkluderes, at det giver en særdeles positiv effekt på rentabiliteten af elektrificering af banenettet, hvis der medtages køretidsforbedringer i analysen. Medtages tidsgevinster i rentabilitetsberegningerne bidrager det med omtrent 50% ekstra gevinst, i forhold til den ændrede driftsøkonomi relateret til elektrificeringen. Dette gør sig gældende for samtlige SAE-scenarier.