

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



Automatisering og omkostningsudvikling inden for godstransport

Søren Saugstrup, sn@moe.dk, Moe | Tetraplan

Michael Henriques, mh@moe.dk, Moe | Tetraplan

Thomas A. Sick Nielsen, tasn@vd.dk, Vejdirektoratet

Uffe Ærboe Christiansen, uc@vd.dk, Vejdirektoratet

Abstrakt

Udviklingen inden for automatisering kan give muligheder for omkostningsreduktioner inden for godstransporten, der på sigt både kan påvirke efterspørgslen efter godstransport på vej og den hastighed, hvormed transportørerne tager de nye muligheder i brug.

Vejdirektoratet har derfor i samarbejde med Moe|Tetraplan gennemført en analyse af scenarier for platooning og automatisering og deres betydning for godstransport-omkostningerne. Interview med repræsentanter fra DTL, ITD, Volvo, Scania, Teknologisk Institut samt en række vognmænd udgør en del af grundlaget for rapporten.

Platooning-teknologien skønnes generelt, at være tæt på at kunne anvendes i praksis, og kan i første omgang reducere brændstofforbruget med mellem 5 og 10% pr. km for lastbiler der kører på motorvej. Den bedste case for reduktioner er med ens lastbiler i platoon. Ved forskellige lastbiler i samme platoon bliver reduktionen mindre. Brændstofforbruget udgør imidlertid kun ca. 24% af de samlede kørselsomkostninger. Den samlede reduktion af kørselsomkostninger pr km på motorvej er derfor kun i størrelsesordenen 2% (se figur).

Omkostnings-reduktioner ved kørsel i platoons er derfor nært knyttet til mulighederne for, at chauffører kan holde deres korte hvil i lastbilen, imens den kører i platoon (omkostningsreduktion: 7%), at chauffører kan undværes i følgelastbiler (omkostningsreduktion: 29%), eller at der kan køres uden chauffører (fuld automatisering, omkostningsreduktion: 44%).

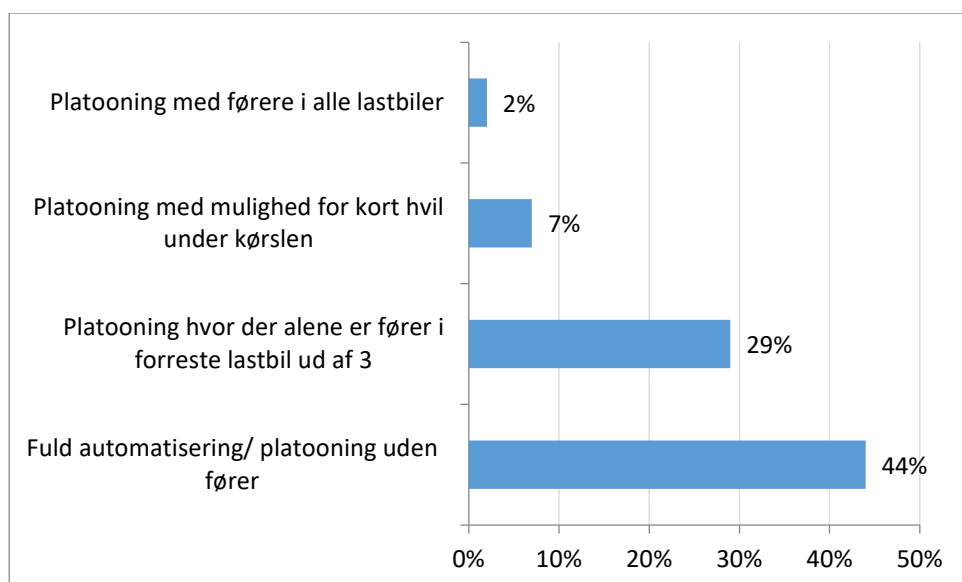
Dannelse af platoons forventes at kunne ske i flow på motorvej baseret på kommunikation mellem køretøjer. Der er således ikke et behov for egentlige opkoblingspladser. I det omfang platoons kører, delvist uden chauffører, vil der dog opstå et behov for mødesteder for platoons og chauffører, før der kan køres videre med lastbilerne på mindre veje. Tilsvarende kan kørsel delvist uden chauffører stille nye krav til rasteanlæg, der bør have plads til indkørsel og parkering af tre sammenkoblede lastbiler.

Platooning skønnes alene at være en mulighed på motorveje, hvor der er bedst plads til de store enheder, få koter og kurver hvilket gør det lettere at holde en platoon samlet, og høje hastigheder der øger

betydningen af platooning for brændstofbesparelser. Det skønnes først og fremmest at være på lange ture ved høj hastighed at der er mulighed for at opnå gevinster fra det reducerede brændstofforbrug. Det er derfor først og fremmest relevant, for lastbiler der kører i international trafik. Den internationale lastbiltrafik skønnes at køre knap 400 mio. km om året på danske veje og kan dermed stå for en større andel, af de 1,2 mia. lastbil-km der kører på motorvejene. Betydningen af platooning for trafikken vil dog afhænge af udbredeshastigheden. Her vil det formentligt spille en stor rolle at gevinsterne for vognmændene vil afhænge af kørselsbehovene og mulighederne for at kombinere dem til større platoons uden at møde nye omkostninger/ulemper i form af forsinkelser/ventetid el lign.

Begrænsede omkostningsreduktioner fra mindre brug af brændstof ved kørsel i platoons skønnes at udgøre en barriere for udbredt anvendelse af platooning på kort sigt. Omkostningerne ved teknologien er dog endnu ikke kendte, og mulighederne for besparelser vil være stærkt afhængige af den enkelte vognmands kørsels-sammensætning.

Besparelser på hviletider eller chaufførlønninger ved platooning vil gøre det mere attraktivt, men forudsætter ændringer af køre-hviletids bestemmelser eller tilladelse til kørsel uden chauffører i platoonsens følgelastbiler.



Figur 1 Reduktion af omkostninger pr. km i forskellige scenarier

Figuren viser reduktion af omkostninger pr. km i forskellige scenarier for platooning og automatisering af godskørslen. Beregningerne tager udgangspunkt i kørsel med 40 ton sættevognskombination, danske chaufførlønninger og en gennemsnitligt brændstofbesparelse på 7% ved platooning.

Introduktion

Automatiseringen af vejtransporten forventes at stige, fx i forbindelse med platooning, og det kan være med til at gøre godstransport på vej billigere. Ændrede omkostninger i vejgodstransporten kan påvirke udviklingen i varetransportefterspørgslen og derigennem påvirke trafikken.

I analysen undersøges det, hvordan og i hvilket omfang forbundne køretøjer og automatisering af kørslen i platooning kan reducere omkostningerne i vejgodstransporten. Udgangspunktet er en række automatiseringsgrader i platooning og de besparelser de kan give - herunder reduceret vindmodstand, chaufførpauser og eventuelle reduktioner i antallet chauffører.

Derudover opstilles der scenarier for indfasning af automatiseringen af lastbiler inklusiv barrierer, der kan forsinke eller reducere mulighederne for at køre platooning. Og det undersøges om der er relevante alternativer.

Analysen er baseret på omfattende desk research inden for områderne platooning, automatisering af vejtransport, godstransport og lastbilteknologi, koblet med data fra bl.a. Vejdirektoratet og Danmarks Statistik.

Analysen er kvalificeret gennem interview med en række interessenter, der arbejder med vejgodstransport eller automatiseringen af den. Interessenterne er:

Hayder Wokil, Autonomous & Automated Driving Director, Volvo Trucks

Tony Sandbeg, Engineering Director, Research Support Office, Scania

Ove Holm, Underdirektør i Dansk Transport og Logistik

Jørn Henrik Carstens, Politisk chefkonsulent i International Transport Danmark

Thorkil Andersen, Adm. direktør og ejer af Frode Laursen A/S

John Steimejer, Teknisk Chef, Danske Fragtmænd

Peter Therkelsen, Adm. Direktør H.P. Therkelsen

Lars Overgård, Programleder Transport og Elektriske Systemer, Teknologisk Institut

Hvad er platooning

I analysen bruger vi begrebet platooning om to eller flere lastbiler der er "sammenkoblet" elektronisk og anvender automatiserede førerstøttesystemer til at køre i platoons med kort afstand imellem hinanden.

Den elektroniske sammenkobling gør at lastbilerne kan kommunikere med hinanden og fastholde samme afstand og hastighed, samt bremse samtidigt. Det er den forreste lastbil der "fører" platoonen og de følgende lastbiler bruger kamera, radar og information fra den forankørende til at tilpasse deres kørsel. Chaufførerne der kører lastbilerne bagved den forreste behøver ikke umiddelbart at foretage sig noget, men skal være klar til at overtage kontrollen hele tiden.

I første omgang er formålet med platooning, at spare brændstof. Besparelsen opstår ved, at platoonen mindsker vindmodstanden og drag'et mellem lastbilerne i platoonen.

Platooning og autonome lastbiler

Platooning kan ses som lastbilproducenternes første skridt mod mere autonome lastbiler. Platooning kan også bruges til at indfase mere og mere autonome lastbiler.

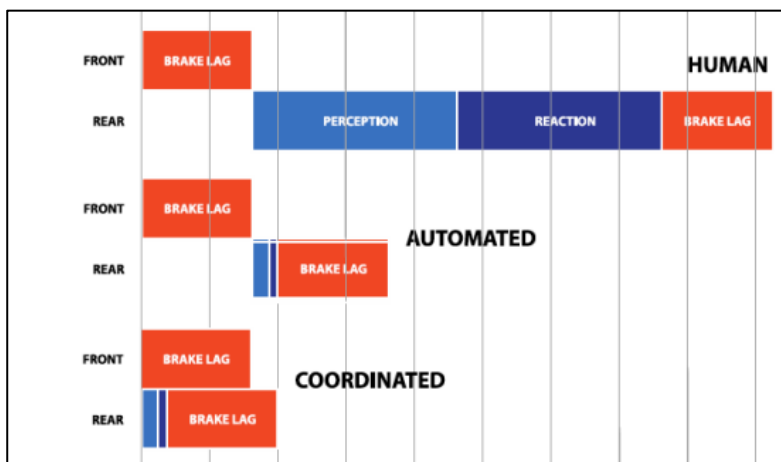
En del af de nyeste lastbiler har allerede en stor del af den teknologi, der anvendes i platooning. Det kan fx være: Active Prediction Cruise Control – der tilpasser kørslen til de sving og bakker der kommer længere fremme; Adaptive Cruise Control – der holder afstand til forankørende; Lane Departure Warning – der advarer chaufføren, hvis lastbilen er ved at forlade vognbanen; og Advanced Emergency Braking – Automatisk nødbremse function. Men i dag mangler fx V2V kommunikationsdelen, som er en forudsætning for platooning.

I forbindelse med autonome køretøjer har der været meget fokus på, at de kan give mere plads på vejene. Platoons hvor køretøjerne er direkte forbundne har de bedste muligheder for køre køretøjerne tæt ved høje hastigheder.

Figur 2 illustrerer forskellen i reaktionstider mellem hhv. køretøjer med chauffør, med automatisk bremsning og direkte forbundne køretøjer. Alle køretøjer har et teknisk/mekanisk 'brake-lag' der er den tid der går fra bremserne aktiveres til de er aktive. Hvis forankørende bremses skal den menneskelige fører

først opdage det (perception) og reagere (reaction) hvorefter 'brake-laget' på bremserne afgør hvornår nedbremsningen sker.

Ved automatiske køretøjer der i gennem kamera-sensorer el.lign. kan konstatere at forankørende bremses forventes meget kort registrerings-og reaktionstid før der bremses. Ved forbundne køretøjer (coordinated) meddeler forankørende bremsningen i det øjeblik den påbegyndes til bagvedkørende elektronisk, der derefter påbegynder den bagvedliggende bremsning automatisk. Denne høje grad af synkronisering af bremsning er en af forudsætningerne for at køre tæt sammen i platoons.



Figur 2 Illustration af forskelle i bremse-reaktionstider¹. Figuren er en illustration – dvs. det reelle tidsforbrug til brakelag, perception, reaction og brake-lag er ikke kendt.

Hvad kan platooning bidrage med?

Platooningens primære bidrag, set fra transportører, logistikvirksomheder og transportkøberes side, er:

- De potentielle brændstofbesparelser, som følge af reduceret vindmodstand og drag når de kører i platoon.
- Potentialet for at chauffører kan hvile eller arbejde med andre ting når de kører i "følgelastbilerne" i en platoon.
- At reducere antallet af chauffører, i første omgang i "følgelastbilerne" i en platoon og senere køre helt autonomt uden chauffører.

Fra en samfundsvinkel er der flere potentielle gevinster:

- Et reduceret brændstofforbrug kan reducere CO2 udledningen fra vejgodstransporten.
- Automatisk bremsning og nødbremsning i platoons kan øge trafiksikkerheden.
- Tætkørende lastbiler udnytter infrastrukturen mere effektivt og kan måske reducere trængsel.
- Billigere vejgodstransport, og formentligt flere lastbiler på vejene.

For at platooning kan vinde udbredelse skal der dog være en god business case, hvor transportører, logistikvirksomheder eller transportkøbere kan se, at der er økonomiske gevinster at hente. I de følgende afsnit præsenteres en række omkostningsscenarier for platooning baseret på forskellige grader af automatisering. De fire forskellige niveauer af platooning og automatisering der er taget udgangspunkt i fremgår af Tabel 1.

¹ Kilde: [White Paper: Automated Driving and Platooning Issues and Opportunities, ATA Technology and Maintenance Council Future Truck Program, Automated Driving and Platooning Task Force, 21.09.2015, http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/ITFVHA15/ITFVHA15_USA_FutureTruck_AD_P_TF_WhitePaper_Draft_Final_TF_Approved_Sept_2015.pdf](http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/ITFVHA15/ITFVHA15_USA_FutureTruck_AD_P_TF_WhitePaper_Draft_Final_TF_Approved_Sept_2015.pdf)

Tabel 1 Scenarier for platooning og automatisering af vejgodstransport

SAE niveau
1. SAE Level 2: Platooning af lastbiler med førere Partial automation – platoonen er automatiseret langsgående (longitudinal) og bruger førerstøttesystemer, som gør at chaufførerne i følgelastbilerne kan nøjes med at holde øje med kørslen.
2. SAE Level 3: Platooning af lastbiler med førere der delvist kan udføre andre aktiviteter under kørslen Conditional automation - platoonen er automatiseret langsgående (longitudinal) og bruger førerstøttesystemer, som gør at chaufførerne i følgelastbilerne delvist kan udføre andre opgaver under kørslen.
3. SAE Level 5A: Platooning der reducerer behovet for førere i lastbilerne Full automation - platoonen er automatiseret langs- og tværgående (longitudinal and lateral) og bruger systemer, som gør at chauffører er unødvendige i følgelastbilerne.
4. SAE Level 5B: Automatisering/platooning der overflødiggør behovet for førere Full automation - platoonen er automatiseret langs- og tværgående (longitudinal and lateral) og bruger systemer, som gør at chauffører er unødvendige i alle lastbiler.

Omkostninger i vejgodstransport og platooning

For at kunne opstille omkostningsscenarier for de fire levels af automatisering er det på den ene side nødvendigt at have overblik over de generelle variable omkostninger i forbindelse med at køre godstransport med lastbil og på den anden side have et overblik over de omkostningsreduktioner som platooning kan give.

For de generelle variable vejgodstransportomkostninger er der taget udgangspunkt i de Transportøkonomiske Enhedspriser², som efterfølgende er blevet sammenholdt med omkostningsdata fra forskellige vejtest af lastbiler og omkostningsdata fra en lastbilforhandler.

Tabel 2 Omkostninger for en 40 tons sættevognskombination i international kørsel

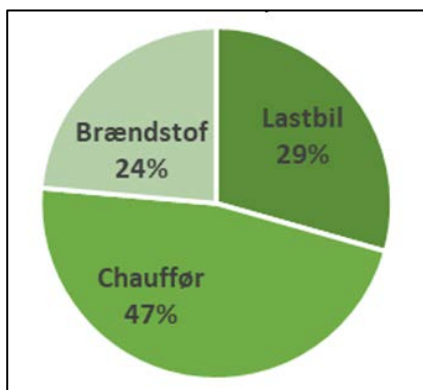
Forudsætninger	Enhed	Antal	Sum/år	Kr/km	Referencer
Lastbilen kører	t/år	2.300			150-160 timer pr md, Kilde: Stefan, Volvo Dynafleet Manager
Lastbilen kører	km/år	150.000			150.000 km, Kilde: Stefan, Volvo Dynafleet Manager
Lastbilen kører	km/t	75			
Lønomsotninger	kr/t	264	607.200	4,05	264 kr/t, Kilde: Transportøkonomiske enhedspriser 2017
Leasing / Afskrivning og service	kr/år	180.000	180.000	1,20	15.000,- /md, Kilde: Stefan, Volvo Dynafleet Manager
Forsikring	kr/år	40.000	40.000	0,27	40.000,- kr/år, Kilde: MOE Tetraplan baseret på søgning på internettet, tal for trækker i international kørsel spænder fra 35.000 til 45.000 kr/år
Vægt- og vejafgift	kr/år	88.536	88.536	0,59	Vægtafgift (3854,- kr/år) og vejafgift (Eurovignet 9318,- kr/år) Kilde: Skatteministeriet, Vejbenyttelsesafgiftsloven. Tysk MAUT (0,135 euro/km på 50% af km)
Dæk	kr/år				Indgår i leasing
Brændstofforbrug	km/l	3,5	300.000	2,00	3,5 km/l, Kilde: Lastbiltests i det tyske lastbilmagasin KFZ Anzeiger (Gennemsnit for 17 trakkere i test)
Add-blue forbrug	km/l	77	4.675	0,03	77 km/l, Kilde: Lastbiltests i det tyske lastbilmagasin KFZ Anzeiger (Gennemsnit for 17 trakkere i test)
Diesel	kr/l	7			7 kr/l, Kilde: Transportøkonomiske enhedspriser 2017 - 9 kr/l (minus moms og flåderabat 1 kr/l = 6,2 kr/l, oprundet til 7 kr/l)
Add-blue	kr/l	2,4			2,4 kr/l, Kilde: DLG prislister 2017 (1000l = 2400 excl. moms)
Trailer omkostninger	kr/år	40.150	40.150	0,27	110 kr/dag, Kilde: DSV
Vask og disponering	kr/år	30.000	30.000	0,20	2.500 pr md, Kilde: Anslået af MOE Tetraplan
I alt		Kr/år	1.290.562	8,60	Kr/km

² Transportministeriets departement har sammen med Vejdirektoratet, Trafikstyrelsen og Banedanmark udarbejdet et regneark med enhedspriser og forudsætninger til brug i samfundsøkonomiske analyser på transportområdet på henholdsvis bane- og vejområdet - Transportøkonomiske Enhedspriser.

<http://www.modelcenter.transport.dtu.dk/Noegletal/Transportoekonomiske-Enhedspriser>

Tabel 2 viser de omkostninger vi anvender i beregningen af omkostningsscenarierne for platooning. De er gældende for en dansk 40 tons sættevognskombination, med dansk chauffør, der kører i international kørsel.

Figur 3 viser hvordan omkostningerne for sættevognskombinationen fordeles sig på hhv. brændstof-, lastbil- og chaufføromkostninger. Billedet viser, at chaufføromkostningerne udgør ca. halvdelen af omkostningerne, mens den anden halvdel går til brændstof- og lastbilomkostninger. Det passer ret godt med hvordan fordelingen normalt er på danske lastbiler, med danske chauffører, der kører international transport.



Figur 3 Fordeling af omkostninger for sættevognskombinationen der anvendes i omkostningsscenarierne

Effekt af reduceret vindmodstand

Brændstofbesparelserne ved reduceret vindmodstand i platooning er undersøgt gennem omfattende desk research og interview med lastbilproducenter og interesseorganisationer i transportbranchen. Tallene varierer fra 3-16% reduktion afhængig af lastbilens placering i platoonen.

Ifølge Hayder Wokil fra Volvo er det vigtigt at huske, at de tal vi har for brændstofbesparelser er under optimale testforhold med flad vej, ingen trafik, helt nye og ens trækker/trailerkombinationer m.v. Volvos vurdering er, at brændstofreduktionerne ligger på 7-10% for platoonen som helhed under optimale forhold.

På baggrund af de meget forskellige tal for brændstofbesparelser fra reduktioner i vindmodstand og Hayder Wokil's pointe ovenover, giver det ikke mening, at prøve at fordele brændstofbesparelserne på de enkelte lastbilers placering i platoonen. I stedet arbejdes der videre med en gennemsnitlig besparelse for de alle lastbilerne i platoonen.

I omkostningsscenarierne laves der beregninger for gennemsnitsbesparelser på brændstofforbruget pr. km hhv. 5%, 7% og 10%.

Omkostningsscenarier for platooning

I det følgende er der opstillet omkostningsscenarier for et basisscenarie og fire platooning scenarier. Scenarier er baseret på en platoon med 3 sættevognstog og en dagstur på 8 timer. Omkostningerne er udregnet som gennemsnittet for de tre lastbiler i platoonen og alle besparelser fordeles ligeligt på de enkelte lastbiler i platoonen.

Scenarie 0 Basispunkt uden platooning

Omkostningerne gælder for en dansk 40 tons sættevognskombination, med dansk chauffør, der kører i international kørsel.

Scenarie	Reduceret brændstof-forbrug i gennemsnit	AddBlue besparelse i kr/km	Diesel besparelse i i kr/km	Besparelse brændstof i i kr/km	Lønbesparelse i timer	Lønbesparelse i kr/km	Omkostninger Kr/km	% besparelse pr km	Besparelse/år i kr
Scenarie 0	0%	0	0	0	0	-	8,60	0%	0

Scenarie 1 SAE Level 2 - Platooning af lastbiler med førere

- Med basis i Scenarie 0 omkostninger
- og besparelser på diesel og AddBlue fra reduceret vindmodstand på hhv. 5%, 7% og 10%

Scenarie	Reduceret brændstof-forbrug i gennemsnit	AddBlue besparelse i kr/km	Diesel besparelse i i kr/km	Besparelse brændstof i i kr/km	Lønbesparelse i timer	Lønbesparelse i kr/km	Omkostninger Kr/km	% besparelse pr km	Besparelse/år i kr
Scenarie 1	5%	0,002	0,100	0,102	0	0	8,50	1%	15.234
Scenarie 1	7%	0,002	0,140	0,142	0	0	8,46	2%	21.327
Scenarie 1	10%	0,003	0,200	0,203	0	0	8,40	2%	30.468

Scenarie 1 viser at besparelserne fra reduceret vindmodstand er relativt begrænsede, med 1-2 procents besparelse pr kilometer. Det hænger sammen med, at den reducerede vindmodstand kun reducerer brændstofforbruget og det udgør kun 24% af lastbilens samlede omkostninger.

Scenarie 2 SAE Level 3 - Platooning af lastbiler med førere der delvist kan udføre andre aktiviteter under kørslen

- Med basis i Scenarie 0 omkostninger
- og besparelser på diesel og AddBlue fra reduceret vindmodstand på hhv. 5%, 7% og 10%
- Det er vurderet, at chaufførerne i følgelastbilerne potentielt kan holde kort hvil på 45 minutter³, men at de ikke kan arbejde/få relevant arbejde der kan gennemføres under kørslen⁴. For at opnå den besparede hviletid på alle lastbiler i platoonen kræver det, at de kan rotere i platoonen under kørslen.
- Lastbilen kører samme distance men på 45 minutter kortere tid, derfor spares der 45 minutters chaufførløn.

Scenarie	Reduceret brændstof-forbrug i gennemsnit	AddBlue besparelse i kr/km	Diesel besparelse i i kr/km	Besparelse brændstof i i kr/km	Lønbesparelse i timer	Lønbesparelse i kr/km	Omkostninger Kr/km	% besparelse pr km	Besparelse/år i kr
Scenarie 2	5%	0,002	0,100	0,102	0,75	0,33	8,17	5%	64.734
Scenarie 2	7%	0,002	0,140	0,142	0,75	0,33	8,13	5%	70.827
Scenarie 2	10%	0,003	0,200	0,203	0,75	0,33	8,07	6%	79.968

Scenarie 2 viser at relativt små besparelser i chaufføromkostningerne, her som følge af kort hvil under kørsel, giver noget større omkostningsbesparelser i forhold til reduceret vindmodstand (scenarie 1).

Scenarie 2A SAE Level 3 - Platooning af lastbiler med førere der delvist kan udføre andre aktiviteter under kørslen

³ Ifølge køre-hviletidsreglerne må den samlede køretid i to på hinanden følgende uger max være 90 timer, dvs. 45 timer/uge eller 9 timer i gennemsnit pr dag. Da chaufføren i gennemsnit kun må køre 9 timer pr dag og kan gøre det med et 45 minutters hvil, giver det ikke mening at holde længere hvil.

⁴ Det er svært at finde arbejde til chauffører mens de sidder i følgelastbilerne under kørsel i platoon. Som udgangspunkt har chauffører oftest ikke ret meget uddannelse, særligt i international transport. Opgaverne relateret til godstransport er i høj grad digitaliseret i dag og udføres på kontor af uddannede medarbejdere hos transportører eller speditorer. Samtidigt er der ofte sprogbarrierer i international godstransport. Alternativt skulle der findes simpelt arbejde, der kan laves af ufaglærte, men det er ret omstændeligt at bringe materialer til/fra den enkelte trækker. Omvendt kunne man efteruddanne chaufførerne, så de kan udføre særlige opgaver, men chaufførjobbene er ikke særligt attraktive generelt og det vil nok være svært at fastholde efteruddannede chauffører.

- a) Samme scenarie som scenarie 2 ovenover, men hvor der er inkluderet 50% af besparelser på faste omkostninger. Argumentet er at lastbilen kører kun i 7 timer og 15 minutter og de resterende 45 minutter kan bruges i anden kørsel. Det giver besparelsen på de faste omkostninger, da de ikke skal afholdes på indeværende tur. Det er usikkert i hvilken grad besparelsen kan udnyttes og derfor er kun halvdelen af den potentielle besparelse medtaget i beregningen.

Scenarie	Reduceret brændstof-forbrug i gennemsnit	AddBlue besparelse i kr/km	Diesel besparelse i i kr/km	Besparelse brændstof i i kr/km	Lønbesparelse i timer	Lønbesparelse i kr/km	Besparelse faste omkostninger i kr/km	Omkostninger Kr/km	% besparelse pr km	Besparelse /år i kr
Scenarie 2A	5%	0,002	0,100	0,102	0,75	0,33	0,13	8,04	7%	84.595
Scenarie 2A	7%	0,002	0,140	0,142	0,75	0,33	0,13	8,00	7%	90.688
Scenarie 2A	10%	0,003	0,200	0,203	0,75	0,33	0,13	7,94	8%	99.829

Scenarie 2A, med yderligere besparelser fra de faste omkostninger, viser at de giver ca. 2% ekstra besparelser på de samlede omkostninger og bringer besparelserne op på et niveau der gør platooning mere interessant.

Scenarie 3 SAE Level 5A - Platooning der reducerer behovet for førere i lastbilerne

- a) Med basis i Scenarie 0 omkostninger
 b) og besparelser på diesel og AddBlue fra reduceret vindmodstand på hhv. 5%, 7% og 10%
 c) Der spares 2 ud af 3 chauffører i platoonen, svarende til 16 timer.

Scenarie	Reduceret brændstof-forbrug i gennemsnit	AddBlue besparelse i kr/km	Diesel besparelse i i kr/km	Besparelse brændstof i i kr/km	Lønbesparelse i timer	Lønbesparelse i kr/km	Omkostninger Kr/km	% besparelse pr km	Besparelse /år i kr
Scenarie 3	5%	0,002	0,100	0,102	5,33	2,35	6,16	28%	367.234
Scenarie 3	7%	0,002	0,140	0,142	5,33	2,35	6,11	29%	373.327
Scenarie 3	10%	0,003	0,200	0,203	5,33	2,35	6,05	30%	382.468

Scenarie 3 viser igen, at det er chaufføromkostningsreduktioner, der kan sænke lastbilens samlede omkostninger, med besparelser på 28-30 procent. Samtidigt er det ikke nødvendigvis kun platooning der er interessant her, det autonome element i de to selvkørende følgelastbiler spiller en væsentlig rolle for de potentielle besparelser.

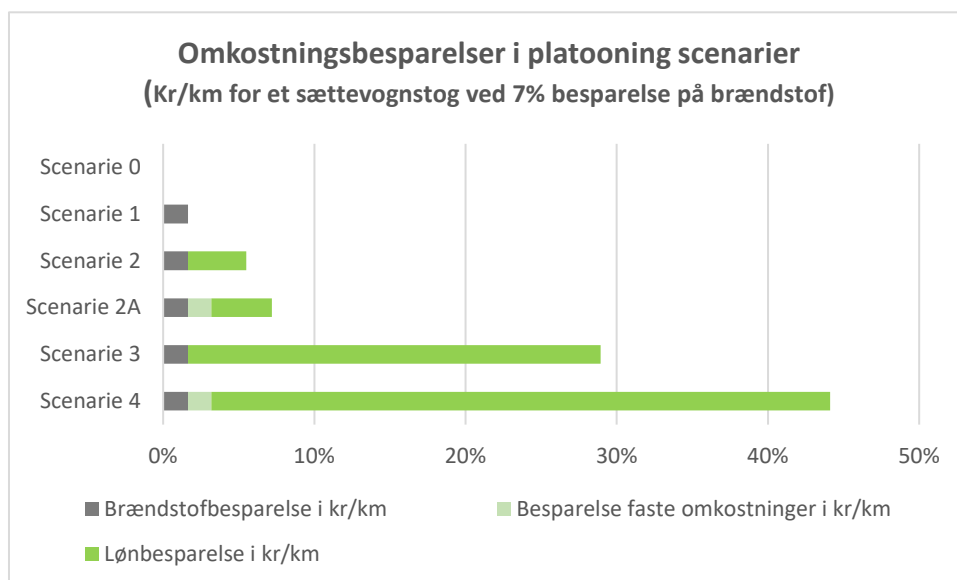
Scenarie 4 SAE Level 5B - Automatisering/platooning der overflødiggør behovet for førere

- a) Med basis i Scenarie 0 omkostninger
 b) og besparelser på diesel og AddBlue fra reduceret vindmodstand på hhv. 5%, 7% og 10%
 c) Alle 3 chauffører i platoonen spares, svarende til 24 timer ud af 24.
 d) Lastbilen kan køre 45 minutter ekstra, da der ikke skal holdes hvil, når der ikke er chauffører i lastbilerne. Det gør, at de faste omkostninger kan fordeles over alle 8 timer, dvs. 45 minutter ekstra ift. hvis der var chauffører. Det er usikkert i hvilken grad besparelsen kan udnyttes og derfor er kun halvdelen af den potentielle besparelse medtaget i beregningen.

Scenarie	Reduceret brændstof-forbrug i gennemsnit	AddBlue besparelse i kr/km	Diesel besparelse i i kr/km	Besparelse brændstof i i kr/km	Lønbesparelse i timer	Lønbesparelse i kr/km	Ekstra køretid i timer	Besparelse faste omkostninger i kr/km	Omkostninger Kr/km	% besparelse pr km	Besparelse /år i kr
Scenarie 4	5%	0,002	0,100	0,102	8,00	3,52	0,75	0,13	4,85	44%	563.095
Scenarie 4	7%	0,002	0,140	0,142	8,00	3,52	0,75	0,13	4,81	44%	569.188
Scenarie 4	10%	0,003	0,200	0,203	8,00	3,52	0,75	0,13	4,75	45%	578.329

Scenarie 4 viser tydeligt at autonome lastbiler i sig selv kan skabe virkelig store besparelser i lastbilernes samlede besparelser. Når besparelserne ligger på 42-43 procent, bliver besparelserne på 1-2 procent fra reduceret vindmodstand i platooning, forsvindende små.

Samlet set viser oversigten over scenarierne i Figur 4, at brændstofbesparelserne fra reduceret vindmodstand udgør en relativ lille besparelse i forhold til lastbilens samlede omkostninger. Samtidigt mindskes den andel af besparelserne, med stigende automatisering i platooning.

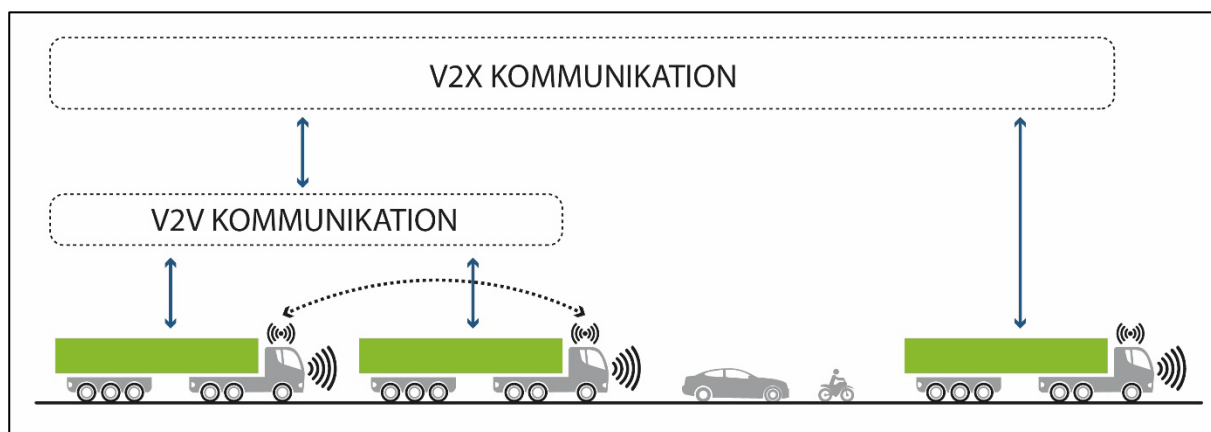


Figur 4 Oversigt over omkostningsbesparelser i scenarierne

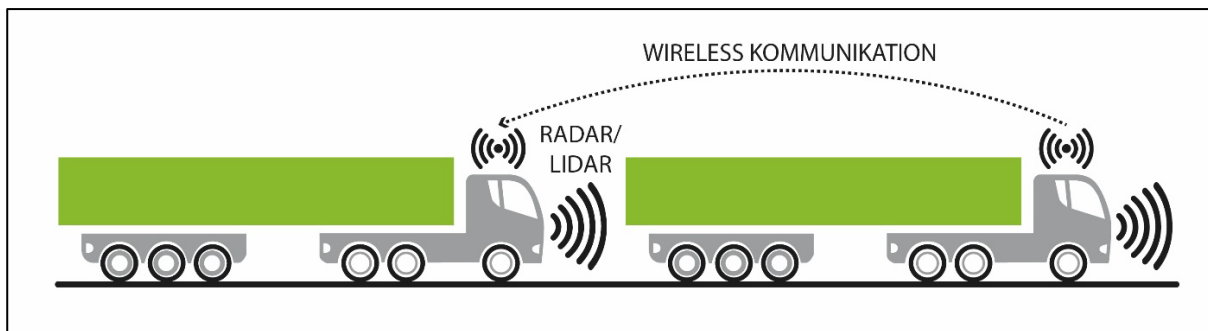
Barrierer for platooning

En del af teknologien bag platooning er relativt ny og der er få praktiske erfaringer inden for kørsel med platoons. Det betyder at der er en række spørgsmål knyttet til mulighederne og hvad der evt. skulle til for at få lov til at køre med platoons.

Figur 5 illustrerer hvordan platoonen på det operationelle niveau benytter vejnettet sammen med andre køretøjer, hvor den benytter sig af forskellige førerstøttesystemer for at "navigere" på vejen mellem de andre køretøjer. Internt i platoonen kommunikerer med Vehicle-2-Vehicle (V2V) kommunikation, der styrer fx bremsning og acceleration i platoonen. Platoonen kommunikerer eksternt igennem Vehicle-2-Everything (V2X) med fx platooning platform, trafikinformation eller andre services.



Figur 5 Platoons samspil internt og eksternt og med vej og andre køretøjer



Figur 6 Platoons interne samspil via V2V kommunikation

At køre i platoons kræver en række køretøjs- og kommunikationsteknologier og hvis det skal udbredes, så kræver det fælles standarder og platforme, så de enkelte producenters lastbiler kan køre sammen i multi-brand platoons.

Derudover er der få erfaringer med platooning i trafik på offentlige veje, så der mangler reguleringsmæssige rammer på området. Både i forhold til kørsel med forbundne køretøjer og trafikikkerhed, men også i forhold til sociale forhold, som køre-hviletid. Billedet kompliceres af, at regler og love kan være forankret forskellige steder, fx i EU eller nationalt.

Teknologiske barrierer

Standardiserede kommunikationsprotokoller - Helt overordnet mangler der standardiserede kommunikationsprotokoller for V2V og V2X kommunikationen, der skal anvendes i platooning. Det arbejdes der f.eks. med i Concorda Projektet⁵.

"Real life" tests - Derudover skal der laves mange "real life" tests for at sikre, at de forskellige teknologier spiller sammen. Det er alt fra kommunikation til radarbaserede automatiske styre- og bremsesystemer.

Lovmæssige barrierer

Kørsel med semiautonome og autonome lastbiler⁶ - Tilladelser til tests og senere kørsel med semiautonome og autonome lastbiler. Der er dog allerede forsøgsordninger i DK og andre EU lande, hvor man kører eller kan søge om at køre med autonome køretøjer.

Trafikregler - Harmonisering af relevante nationale trafikregler, fx sikkerhedsafstande mellem køretøjer. I Frankrig er skal lastbilerne køre med en sikkerhedsafstand på 50 meter, mens sikkerhedsafstanden i Tyskland er 2 sekunder⁷.

Chaufføruddannelse - Der kan være forskellige nationale regler i forhold til chaufføruddannelse.

Syn og typegodkendelse - I nogen lande skal hele lastvognstoget godkendes samlet, mens enkelt enheder godkendes til opkobling i en række vogntogskombinationer i andre lande.

Køre- og hviletidsregler

Køre-hviletidsregler – De er centrale for businesscasen for platooning, brændstofbesparelserne er relativt små set i forhold til de samlede kørselsomkostninger. Hvis der kan spares løn eller tjenes arbejdstid ved, at chauffører i følgelastbilerne hviler under kørslen, er besparelserne langt større. Køre-hviletidsregler er dog et meget komplekst område med mange interesser. Det handler bl.a. om trafikikkerhed og chaufførers

⁵ <http://erticonetwork.com/new-project-driving-automation-kick-off-brussels/>

⁶ Kilde: <https://autonomous-commercial-vehicles.iqpc.de/the-future-of-autonomous-trucks>

⁷ Kilde: <http://www.acea.be/news/article/message-from-the-secretary-general-november-2015>

rettigheder. Samtidig reguleres området i EU regi og sammenholdt med mange forskellige interesser på området, har ændringer på området normalt en lang tidshorisont.

Trafikrelaterede barrierer

De vigtigste trafikale udfordringer, der nævnes, er ved ind- og udfletninger, fx ved motorvejstilkørsler og –frakørsler og motorvejsammenfletninger. Problemet er, at platoonens længde er en barriere for andre trafikanter ind- og udfletninger.

Platoons' har dog teknologi der øger afstanden mellem lastbiler hvis andre trafikanter klemmer sig ind i mellem lastbilerne i en platoon. Der er også stor forskel på barriereeffekten afhængig af antallet af lastbiler i platoonen. Tabel 3 viser eksempler på platoonlængder.

Tabel 3 Platoonlængde baseret på antal lastbiler

Platoon længde	Meter
Sættevognstog i international transport maksimal længde	16,5
Platooning minimumsafstand mellem lastbilerne	11,0
Platoon med 2 sættevognstog	44,0
Platoon med 3 sættevognstog	71,5
Platoon med 4 sættevognstog	99,0
Platoon med 5 sættevognstog	126,5
2 sættevognstog med 2 sekunders mellemrum (44 meter)	77

Til sammenligning fylder to sættevognstog, der kører med en afstand på 44 meter (2 sekunder ved 80 km/t) 77 meter.

Business case barrierer

Lave brændstofbesparelser – og lastbiller på de europæiske motorveje kører i dag i ”ulovlige platoons” med for kort afstand (tailgater), så det er ikke sikkert at brændstofbesparelserne er store nok til, at det er interessant for transportører.

Transportørerne er tilbageholdende ift ny teknologi – de skal se effekten i virkeligheden!

Ekstraomkostningerne for ”platooning option” - er ikke fastlagt.

Deling af besparelserne i platoonen – der kan være udfordringer med at fordele besparelserne mellem lastbilerne

Miljømæssige barrierer

Der kan være politikere og interesseorganisationer, der af miljømæssige hensyn vil begrænse lastbiltransporten, og derigennem platooning?

Alternativer til platooning

Modulvogntog (EMS) og Autonome lastbiler kan være konkurrenter til platooning, da de begge umiddelbart kan give større omkostningsbesparelser end platooningens brændstof besparelser.

Tabel 4 Alternativer til platooning

Koncept	Fordele	Ulemper
Platooning	<ul style="list-style-type: none">Er baseret på almindelige lastbiler og trailere	<ul style="list-style-type: none">Lav omkostningsbesparelse, 1-3% samletEr ikke godkendt til kørsel endnu

		<ul style="list-style-type: none"> • Der er ikke kørt mange forsøg • Vejnettet vil være begrænset til motorveje et stykke tid ud i fremtiden • Businesscasen er i høj grad bygget på ændringer i køre-hviletidsregler
Modulvogntog	<ul style="list-style-type: none"> • Store omkostningsbesparelser, op til 30% samlet • Har kørt i de nordiske lande i mange år 	<ul style="list-style-type: none"> • Der er kraftig modstand mod dem i en del lande og særligt Tyskland • Kræver ombygninger af vejnettet nogen steder • Er i nogen grad baseret på materiel der ikke normalt kører i international transport • Er ikke godkendt til grænseoverskridende transport i EU
Autonome lastbiler	<ul style="list-style-type: none"> • Store omkostningsbesparelser, op til omkring 40% samlet 	<ul style="list-style-type: none"> • Er ikke godkendt til kørsel endnu • Der er ikke kørt mange forsøg • Vejnettet vil være begrænset til motorveje et stykke tid ud i fremtiden

Hvornår fylder platooning i trafikken?

Med udgangspunkt i introduktionsscenariet for platooning fra European Truck Platooning Challenge⁸ (ETPC) kan der laves der en vurdering af den trafikale betydning af automatisering i de kommende år. I introduktionsscenariet forventes SAE Level 2: Platooning af lastbiler med førere at være i kommerciel international kørsel i 2022-23 med en markedsandel på maksimalt 1%; og SAE Level 3: Platooning af lastbiler med førere der delvist kan udføre andre aktiviteter under kørslen forventes på samme måde at kunne nå en markedsandel på op til 10% i 2026-27. Det antages at platooning i Danmark primært vil relatere sig til international transport. Derfor tages der udgangspunkt i det internationale trafikarbejde i Danmark.

Opgørelsen af det internationale trafikarbejde i Danmark er baseret på data for danske lastbilers internationale vejtransport fra Danmarks Statistik (Tabel IVG 11) og data for udenlandske lastbilers trafikarbejde på danske veje fra Vejdirektoratets Statistikkatalog (Tabel TA5). Tabel 5 viser et bud på det samlede antal internationale ture og det trafikarbejde lastbilerne har udført i DK i 2014. Tallene er beregnet ud fra en antagelse om at hver international transport, der passerer den danske grænse, kører 100 kilometer i DK. 2014 er valgt, da det er det seneste år hvor der er tal fra manuelle tællinger af udenlandske lastbilers trafikarbejde på danske veje i Vejdirektoratets Statistikkatalog.

Tabel 5 Internationalt trafikarbejde i Danmark i 2014

International trafik	Ture 2014	Trafikarbejde (mio. km)
DK Lastbiler (IVG11 Kørsel til/fra DK og tredjelandskørsel)	396.000	39,6
Int. lastbiler (TA5 Kørsel på DK motorvej)	3.510.000	351
I alt	3.906.000	390,6

Platoonings andel af trafikarbejdet med lastbiler i DK

Baseret på platoonings markedsandel og det internationale trafikarbejde i DK i 2014, beregnes hvor stor platoonings andel af trafikarbejdet med lastbiler i DK, udgør i de forskellige automatiseringslevels for platooning.

⁸ http://erticonetwork.com/wp-content/uploads/2017/03/2017-0321-Platooning_Flanders.pdf

Table 6 Platooning trafikarbejde med lastbiler i DK i indfasningsscenarioet

Automatiseringslevel	År	Markedsandel	Trafikarbejde (mio. km)
1. SAE Level 2: Platooning af lastbiler med førere	2022-23	1%	3,9
2. SAE Level 3: Platooning af lastbiler med førere der delvist kan udføre andre aktiviteter under kørslen	2026-27	10%	39,6
3. SAE Level 5A: Platooning der reducerer behovet for førere i lastbilerne	2027-30	-	
4. SAE Level 5B: Automatisering/platooning der overflødiggør behovet for førere	2027-30	-	

Til sammenligning viser Vejdirektoratets Statistikkatalog (Tabel 3A), at lastbilerne sammenlagt kørte 1,21 mia. km på de danske motorveje i 2015.

Effekt af tættere kørsel i platooning

Det er muligt at komme med et bud på effekten af den tættere kørsel, hvis der tages udgangspunkt i tallene fra Tabel 3 der viser at:

- En platoon med 3 sættevognstog fylder 71,5 meter, når der køres med 0,5 sekunders mellemrum
- 2 sættevognstog, der kører med 2 sekunders mellemrum, som er tommelfingerreglen i dansk trafik, fylder 77 meter

I runde tal betyder det, at en platoon med tre sættevognstog sparer plads svarende til et sættevognstog på vejene. Betydningen af den mulige pladsbesparelse for trafikken vil dog afhænge af i hvilken grad platoons kan spare plads i perioder med trængsel samt om kørsel med platoons har andre negative effekter på trafikafviklingen.

Konklusion

Platooning i sig selv har en relativt dårlig business case, da omkostningsreduktionerne ligger på 1-3% af de samlede transportomkostninger pr. km. Kommentarer fra både transportører og organisationer viser også, at interessen for platooning er meget lille.

Der skal laves ændringer i køre-hviletider før business casen begynder at blive interessant for transportørerne. Dette er en kompliceret proces og det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at sige noget om udsigterne hertil.

Platooning i sig selv giver ret små besparelser på de samlede omkostninger, derfor vil platooning næppe øge godstransporten på det danske vejnet væsentligt på baggrund af lavere transportomkostninger. Koblet med besparelser fra køre-hviletid er de samlede besparelser på et niveau, hvor det potentielt kan give mere godstransport på vejene. Vejgodstransporten har dog i forvejen en stor konkurrencefordel i forhold til banegods og fordelingen mellem de to transportmidler vil derfor næppe blive væsentligt påvirket.

Platooning vil primært foregå i de centrale europæiske transportkorridorer for vejgods. Umiddelbart betyder det i de i Danmark primært vil benytte "Det store H".

Samtidig er der en række producenter, der arbejder med udvikling af autonome lastbiler og i det omfang de kan reducere behovet for chauffører i lastbilen, er business casen langt bedre med omkostningsbesparelser på op til 40%. Udviklingen går relativt hurtigt, så spørgsmålet er om autonome lastbiler overhaler platooning inden for mod 2030.

Modulvognstog er et andet alternativ, der allerede kører i kommerciel kørsel og giver omkostningsbesparelser på op til 30%. Der er dog meget modstand mod dem, særligt i Tyskland

Fremadrettet er det særligt udviklingen i autonome lastbiler og godstransport med autonome lastbiler der bør fokuseres på. Da teknologien stadig er meget ny og det er svært at spå om hvordan det vil udvikle sig.

Særligt i forhold til den konkurrenceprægede vejgodstransportbranche, hvor man er hurtige til at tage nye teknologier i brug, hvis de giver større besparelser.

Der bør også holdes øje med udviklingen i køre-hviletidsregler, da de potentielt kan give store besparelser og introduktionen af nye teknologier i vejgodstransporten kan måske skabe behov for ændringer.