



Greening Corridors

Inschatten van de voordelen van Teleoperatie van Trucks door logistiek dienstverleners

74

Experts zijn van mening dat teleoperatie van trucks logistieke operaties zullen verbeteren en dat het de eerste stap kan zijn naar volledig autonoom transport.

Bahman Madadi, Thierry Verduijn

HZ University of Applied Sciences

Samenvatting

Experts zijn van mening dat teleoperatie van trucks logistieke operaties zullen verbeteren en dat het de eerste stap kan zijn naar volledig autonoom transport. De potentiële meerwaarde en impact van teleoperatie op de logistieke keten is nog nauwelijks in kaart gebracht. In dit artikel analyseren en simuleren we de transportplanning van drie transportbedrijven om in te schatten hoeveel teleoperators nodig zijn voor het uitvoeren van de ritten van de gehele vloot. Het logistieke segment, de omvang van de vloot en het service-level waarmee een operator aan een voertuig wordt toegewezen zijn belangrijk factoren voor de teleoperator-tot-voertuig ratio (T/V-ratio).

Inleiding

Connected and Automated Transport (CAT) zal naar verwachting een revolutie teweegbrengen in transport en logistiek door grote verbeteringen te bieden op het gebied van verkeersveiligheid, doorstroming van het verkeer, logistieke efficiency, comfort en vermindering van emissies. Connected and Automated Transport omvat alle technologieën en toepassingen gericht op de besturing, routing en communicatie van een voertuig met de omgeving teneinde: 1) het voertuig veilig, efficiënt en duurzaam door het verkeer te laten bewegen, 2) de infrastructuur optimaal te benutten en 3) de logistieke keten (door het digitaal delen van informatie) te stroomlijnen.

Toch wordt er nog weinig onderzoek gedaan naar de inzet van autonome trucks in logistieke ketens. De overtuiging in de sector dat het nog lang zal duren voordat ze op de openbare weg mogen zal daar debet aan zijn (Anderson et al., 2016). McKinsey (Chottani et al., 2018) verwacht dat de introductie van autonome trucks in vier stappen zal verlopen: (1) truckplatooning waarbij in zowel de eerste als de volgende truck een chauffeur aanwezig is, (2) truckplatooning waarbij alleen in de eerste truck een chauffeur aanwezig is en de tweede truck autonoom volgt, (3) autonome trucks die van hun naar hub rijden en waarbij een chauffeur opstapt voor de first en last mile en (4) autonome trucks die een traject van deur tot deur zelfstandig kunnen afleggen. McKinsey verwacht in stap vier een kostenbesparing van 45% in de total cost of ownership ten opzicht van de huidige situatie. Eerder gaf PwC (2018) een vergelijkbare inschatting van de besparing van transportkosten bij inzet van autonome trucks.

In dit artikel richten we ons op een alternatief ontwikkelingspad naar autonoom transport: de inzet van teleoperatie voor het besturen van trucks. Bij teleoperatie wordt een truck nog steeds door een chauffeur bestuurd, maar zit de chauffeur niet in de truck maar in een control center. Door middel van camera's en andere sensoren en door snelle en gegarandeerde dataverbindingen tussen het voertuig en het control center heeft de teleoperator een volledig beeld van de omgeving en de toestand van het voertuig. Dat stelt de teleoperator in staat om de truck veilig door het verkeer te loodsen. Teleoperatie biedt de mogelijkheid om de autonomie van het voertuig stap voor stap te vergroten en de inzet van de teleoperator in de besturing van het voertuig stap van stap te laten afnemen. Deze graduele toename van situaties waarin het voertuig zichzelf kan besturen wordt door Tesla succesvol toegepast.

Teleoperatie is vooral interessant voor logistiek dienstverleners omdat het de productiviteit van chauffeurs en vrachtwagens kan verhogen. Teleoperators kunnen worden toegewezen aan andere vrachtwagens als vrachtwagens tot stilstand zijn gekomen om te wachten, te laden of te lossen. Vrachtwagens kunnen effectiever en efficiënter worden geëxploiteerd omdat hun inzet niet beperkt is tot de toegestane rijtijden van chauffeurs die moeten rusten voordat ze hun reis kunnen voortzetten. De productiviteitswinst is aanzienlijk bij logistieke operaties met lange wachttijden, met lange laad- en lostijden en/of bij internationaal transport over lange afstanden en overnachtingen. Daardoor kan een groep operators een wagenpark ondersteunen dat groter is dan het aantal operators. Het aantal teleoperators dat nodig is om een wagenpark van een bepaalde omvang (d.w.z. de tele-operator-tot-voertuig-ratio) te beheren, is een bepalende factor voor de economische haalbaarheid van teleoperatie in logistieke operaties.

Er is nog maar beperkt inzicht in de factoren die bepalen hoeveel teleoperators nodig zijn om een vloot aan voertuigen te besturen of te begeleiden. In D'Orey et al. (2016) wordt de toepassing van teleoperatie in taxivervoer in stedelijk gebied onderzocht. De auteurs concluderen op basis van een empirische evaluatie in een Portugese stad dat de implementatie van teleoperatie het aantal chauffeurs tot 27% kan verminderen. D'Orey et al (2016). gaan daarbij uit van voertuigen op automatiseringsniveau 2 (SAE, 2019). De operationele prestaties van wagenparken van teleoperated voertuigen zijn onderzocht door Goodall (2020). De auteurs gingen ervan uit dat een team van teleoperators verantwoordelijk zou zijn voor het toezicht op een grote vloot van geautomatiseerde voertuigen en de teleoperator op verzoek van het geautomatiseerde rijstelsel van het voertuig de besturing overneemt. Dergelijke concepten zijn relevant wanneer de teleoperated voertuigen geautomatiseerde voertuigen van niveau 4 zijn. Hjelt (2021) onderzocht de total cost of ownership van autonoom bediende bussen op autonominiveau 4 en 5 ondersteund door een aantal remote operators. Hjelt concludeert dat een teleoperator tegelijkertijd vijf voertuigen kan monitoren omdat ze niet allemaal tegelijk ondersteuning nodig hebben.

We hebben geen literatuur kunnen vinden van logistieke concepten toepassingen waarin trucks door middel van teleoperatie worden bestuurd. In het Europese project 5G Blueprint (2020-2023) worden daarvoor de eerste stappen gezet (Marquez-Barja et al., 2020). Een van de doelen van het project is om een methode te ontwikkelen waarmee logistiek dienstverleners inzicht kunnen krijgen in het aantal teleoperators dat nodig is om een alle ritten met een gegeven wagenpark uit te voeren. In 5G Blueprint wordt teleoperatie toegepast op voertuigen met autonominiveau 2 of 3. Dat betekent dat de teleoperator nog zelf het voertuig bestuurt en elke operator maar een voertuig tegelijk kan besturen.

Het doel van de logistiek dienstverlener is om het aantal teleoperators te minimaliseren. Idealiter plant een logistiek dienstverlener de ritten die door teleoperators uitgevoerd moeten worden strak achter elkaar zodat de capaciteit van de teleoperators volledig wordt benut. Echter, dat betekent dat voertuigen die al klaar staan om te vertrekken moeten wachten op de beschikbaarheid van een teleoperator. Een lange wachttijd wordt echter niet gewenst voor distributiecentra en terminals omdat daarmee laaddocks bezet gehouden worden en de productiviteit van het dock als wel van andere voertuigen wordt geraakt. Logistiek dienstverleners zullen daarom een service-level dienen af te spreken met opdrachtgevers en ketenpartners waarin te aangeven hoe snel na gereed melding van een voertuig, de teleoperator het voertuig zal oppikken en wegrijden. Naarmate het geboden service-level toeneemt en de logistiek dienstverlener een lagere maximale wachttijd heeft, zal de logistiek dienstverlener een groter aantal teleoperators beschikbaar moeten houden.

77

Het doel van het artikel is om inzicht te krijgen in de teleoperator-voertuig ratio voor concrete logistieke operaties en hoe het service-level voor het oppikken van de voertuigen het aantal benodigde teleoperators beïnvloedt. Daarbij onderzoeken we wat de invloed is van de omvang van het wagenpark en het logistieke segment waarin de logistiek dienstverlener actief is. In een grotere vloot zal de wachttijd voor een volgende beschikbare teleoperator lager zijn. In het onderzoek analyseren we de ritplanning van drie transportbedrijven die actief zijn in container- en tanktransport. Op basis van deze empirische ritplanningen voeren we een simulatie uit waarbij dagplanningen voor de voertuigen worden gegenereerd. Voor de gegenereerde ritplanningen met verschillende service-levels wordt het aantal benodigde teleoperators bepaald en worden de resultaten vergeleken.

De opzet van het onderzoek wordt besproken in paragraaf 2. Paragraaf 3 bespreekt de analyse van de empirische data van de ritplanning van drie transportbedrijven. De resultaten worden gepresenteerd in paragraaf 4. In paragraaf 5 sluiten we af met conclusies en onderwerpen voor additioneel onderzoek.

Onderzoeksaanpak

Het is mogelijk om het aantal benodigde teleoperators te bepalen met een analyse van de uitgevoerde ritten van een transportbedrijf. Het aantal voertuigen dat op elk moment van de dag tegelijkertijd rijdt is een relatief gemakkelijk te bepalen inschatting voor het aantal benodigde teleoperators. Het aantal voertuigen dat tegelijkertijd rijdt in verhouding tot het totale aantal voertuigen dat wordt ingezet wordt aangeduid met de teleoperator-voertuig ratio (T/V-ratio). Het uitgangspunt bij zo'n analyse is dat voor elk voertuig dat kan vertrekken ook direct een teleoperator beschikbaar is, dus dat er geen wachttijd is voor een voertuig. Dat is niet altijd noodzakelijk en wellicht financieel en operationeel ook geen aantrekkelijk uitgangspunt. De wachttijd tot het toewijzen van een teleoperator kan ook als een service level worden gebruikt. Als een logistiek dienstverlener een voertuig enkele tot tientallen minuten kan laten wachten kunnen de teleoperators efficiënter worden ingezet en zullen het aantal teleoperators en de kosten voor de inzet van teleoperators lager zijn. Wil een verlader snel een dock weer beschikbaar hebben dan zal daarvoor ook een hoog serviceniveau voor afgesproken moeten worden.

78

Om te onderzoeken wat de invloed is van de karakteristieken van de uit te voeren ritten en het serviceniveau op het aantal benodigde teleoperators wordt in dit onderzoek de dagelijkse ritplanning van logistiek dienstverleners gesimuleerd op basis van empirische ritdata. Voor veel logistiek dienstverleners geldt dat de uit te voeren ritten dagelijks verschillen in termen van ritlengtes, starttijdstippen en de laad/losduur. Het aantal teleoperators dat een logistiek dienstverlener nodig heeft om een vloot aan voertuigen te besturen is daarmee afhankelijk van de stochastische patronen in de ritopdrachten. Naarmate de kans toeneemt dat meer voertuigen tegelijk gereed zijn om te rijden zal het aantal benodigde teleoperators hoger zijn. Met een hoge kans op relatief korte ritten komen operators weer snel beschikbaar voor een volgende rit en neemt het aantal benodigde teleoperators af. In de simulatie worden ritplanningen gegenereerd die door een vooraf vastgesteld aantal teleoperators wordt uitgevoerd. Daaruit wordt het serviceniveau bepaald dat wordt gehaald met het aantal teleoperators.

In de ritdata leggen logistiek dienstverleners vast wanneer en hoelang de voertuigen en chauffeurs rijden, rusten, laden/lossen of stilstaan voor het regelen van de documentatie. We gebruiken de meest voorkomende activiteitenreeksen uit de ritdata van een bedrijf. Bijvoorbeeld: rijden-rusten-rijden-documenten-lossen-rijden-laden-documenten-rijden. Voor alle activiteiten schatten we de kansverdelingen voor de duur van de activiteiten. Vervolgens voeren we meerdere simulaties uit met verschillende scenario's om de effecten te meten van variaties in de ratio tussen teleoperator en voertuig op het serviceniveau van elk bedrijf.

Aannames

De volgende aannames zijn gemaakt in de simulaties die in dit onderzoek zijn gerapporteerd

- De simulatie is een weergave van de dagplanningen zoals een bedrijf die nu uitvoert. Dat betekent dat alle activiteiten die een voertuig met chauffeur uitvoert opnieuw worden gegenereerd. Concreet betekent dit dat de activiteiten rijden, laden/lossen, rusten en documentatie in de simulatie worden gegenereerd, maar er wordt alleen een teleoperator toegewezen aan het voertuig voor de activiteit rijden. De ritopdrachten aan het voertuig en de logistieke activiteiten blijven hetzelfde met teleoperatie.
- In principe is het niet nodig om de activiteit rusten uit te voeren in de simulatie als er geen chauffeur meer op een truck zit. In de praktijk zal een transportbedrijf de ritten anders gaan inplannen als deze rusttijden benut kunnen worden om de truck te laten rijden. Daarmee stijgt de productiviteit van de truck en verandert ook de behoefte aan teleoperators. Omdat bij het herplannen van ritten kennis en ervaring van de business van de transportoperators nodig is en er ook allerlei operationele randvoorwaarden een rol spelen is er voor gekozen om het benutten van de rusttijden niet te modelleren.
- Alle andere bestuurdersverantwoordelijkheden (bijvoorbeeld het regelen van de documentatie of het toezicht houden tijdens het laden/lossen) worden beheerd via digitalisering en automatisering.

79

Opzet van de simulatie

- Simulatietype: discrete event simulation of monte carlo-simulatie. In een discrete event simulatie worden afzonderlijke de activiteiten gegenereerd volgens een vast schema waarbij de duur van alle activiteiten uit de vastgestelde kansverdelingen worden getrokken. Daarmee wordt een typische werkdag gesimuleerd. In een Monte carlo simulatie wordt deze werkdag een groot aantal keer gegenereerd om zicht te krijgen in de variaties van de gesimuleerde werkdag. We gebruikten 30 replicaties voor elk scenario in elke casestudy en berekenen samenvattende statistieken voor elk scenario.
- Objecten: voertuigen vertegenwoordigen objecten in de simulatie en omvang van het wagenpark (d.w.z. het aantal objecten in elk scenario) is gebaseerd op bedrijfsgegevens en het aantal beschikbare voertuigen voor elk bedrijf (zie volgende paragraaf: data).
- Middelen: teleoperators vertegenwoordigen de middelen in de simulatie. Elke keer dat een voertuig van status verandert in rijdend, wordt een teleoperator toegewezen om het voertuig (op afstand) te besturen. Wat betreft het aantal teleoperators in elk scenario, worden verschillende getallen onderzocht om in elk geval de beste teleoperator-tot-voertuigratio te vinden.
- Wachtrijen: aangezien er in elk scenario een beperkt aantal teleoperators (d.w.z. resources) beschikbaar is, kunnen er in sommige gevallen wachtrijen zijn voor de inzet van teleoperators. De wachtrijen van de inzet van teleoperator worden afgehandeld op basis van de first come, first served (FIFS)-regel.

- Processen: activiteiten die door het voertuig worden ondernomen (d.w.z. voertuigstatus) vertegenwoordigen de processen in de simulatie. De duur van elk proces voor elke casestudy wordt gesampled uit de theoretische kansverdeling met de beste fit op de data van het bedrijf
- Proceskaarten: een proceskaart beschrijft de opeenvolgingen van activiteiten (d.w.z. activiteitenpatronen) die een voertuig op een dag uitvoert. De proceskaart voor een voertuig wordt getrokken uit de kansverdelingen die uit de empirische data is geabstraheerd.

Key performance indicators

De volgende criteria worden gebruikt als key performance indicators (KPI) om de prestaties van een logistiek dienstverlener onder elk scenario te meten.

- Wachtijd per voertuig: tijdsduur dat elk voertuig wacht tot een teleoperator wordt toegewezen om het op afstand te besturen, inclusief de wachttijd en de insteltijd van de teleoperator die in de volgende sectie wordt uitgelegd.
- Wachtrijduur: tijdsduur voor elke wachtrij voor de inzet van een teleoperator.
- Wachtrijlengte: lengte van de wachtrij van de teleoperator op elk moment in de tijd.
- Voertuiggebruik: de tijd dat elk voertuig beweegt gedeeld door de simulatietijd.
- Teleoperator gebruik: de tijd dat elke teleoperator bezet is gedeeld door de totale simulatietijd.

80

Voor elke KPI is het gemiddelde, de standaarddeviatie, het minimum, de mediaan en het maximum van de indicator voor 30 simulatiereplicaties berekend. Omdat bedrijven elke dag lange en vaak onregelmatige uren in verschillende ploegen werken, hebben we een lange simulatietijd (16 uur) gebruikt om alle dagelijkse activiteiten af te ronden, maar tijdens de laatste uren van de simulatie (nachten), zijn er meestal slechts een handvol voertuigen actief, wat overeenkomt met de realiteit van de activiteiten in de logistieke bedrijven die we hebben bestudeerd.

Scenario's

De belangrijkste variabelen die de scenario's bepalen, zijn de verhouding tussen de teleoperator en het aantal voertuigen en de insteltijd die de teleoperator nodig heeft om de controle over het voertuig over te nemen.

Voor teleoperator-tot-voertuig-ratio kunnen lagere ratio's kosteneffectiever zijn, maar kunnen ze leiden tot een lager serviceniveau omdat voertuigen mogelijk moeten wachten op teleoperators. Om de beste afweging te maken tussen de resourcekosten van de teleoperator en het serviceniveau, hebben we daarom een raster van teleoperator-tot-voertuigratio gebruikt in het bereik van 0,5-1 (d.w.z. [0,5, 0,55, 0,6, 0,65, 0,7, 0,75, 0,8, 0,85,

0,9, 0,95, 1]) en het serviceniveau voor elke waarde in elke casestudy gemeten. Elke waarde vertegenwoordigt een afzonderlijk scenario.

Wat betreft de insteltijd voor teleoperators, gaven interviews binnen het 5G Blueprint consortium aan dat er een korte verplichte tijd nodig kan zijn voor de teleoperator voordat hij een voertuig overneemt. Dit is om veiligheidsredenen en om te garanderen dat de teleoperator voldoende tijd heeft om een bepaald niveau van situationeel bewustzijn met betrekking tot de omgeving van het voertuig te verkrijgen voordat hij met het voertuig begint te rijden. We hebben scenario's bestudeerd met waarden van twee minuten en vijf minuten voor de insteltijd, evenals scenario's zonder deze insteltijd om een referentiepunt voor vergelijkingen te hebben.

Analyse van empirische data

We analyseerden ritgegevens van drie verschillende transportbedrijven om rekening te houden met specifieke kenmerken van verschillende logistieke bedrijven en we creëerden een vierde synthetische casestudy door het combineren van de data van de drie bedrijven.

- **Casestudy 1: LSP_1**

LSP_1 is gevestigd in Terneuzen in het zuiden van Nederland. Daarmee zijn ze centraal gevestigd in de driehoek Rotterdam-Gent-Antwerpen. Het bedrijf is actief in het containervervoer door heel Europa met als belangrijkste bestemmingen Benelux, Duitsland en Frankrijk. Het bedrijf is voornamelijk gespecialiseerd in transport van en naar Frankrijk, met een focus op de regio Noordwest-Frankrijk (Le Havre, Parijs, Quimper en Brest). Het bedrijf gebruikt 37 voertuigen en containeractiviteiten vormen meer dan 90% van haar activiteiten.

- **Casestudy 2: LSP_2**

LSP_2 is gevestigd in de regio Antwerpen in België. Transportgroep LSP_2 vervoert voornamelijk zeecontainers vanuit de haven van Antwerpen naar de Benelux, Noord-Frankrijk, Duitsland en andere regio's in West-Europa. Het bedrijf gebruikt 69 voertuigen. Andere transportactiviteiten van LSP_2 zijn onder meer tanktransport, huiftransport (huiftrailers) en diepladertransport. In de analyse zijn alleen de containertransporten meegenomen.

- **Casestudy 3: LSP_3**

LSP_3 is een gespecialiseerde logistiek dienstverlener met vestigingen in Nederland en België. Op operationeel niveau wordt het bedrijf aangestuurd vanuit Sas van Gent, gelegen aan het kanaal van Gent naar Terneuzen, vlakbij de havens van Gent, Antwerpen, Zeebrugge en Vlissingen. LSP_3 heeft drie verschillende transportafdelingen: droge bulkafdeling met 29 voertuigen, die in dit rapport worden aangeduid als bulkoperatie, vloeistofafdeling met 25 voertuigen, die we tankoperatie

zullen noemen en containerafdeling met vier voertuigen, die wordt containeroperatie genoemd. Voor deze casestudy zullen we elk van deze operaties afzonderlijk simuleren.

Data

Alle voertuigen van de beschouwde bedrijven zijn uitgerust met on-board units, waarmee de voertuigstatus en activiteiten van de chauffeur, zoals laden en lossen, rijden en rusten worden geregistreerd. In elk voertuig wordt de volgorde en aard van de activiteiten en de duur van elke activiteit vastgelegd. We hebben een maand aan gegevens van alle voertuigen van elk bedrijf verzameld. De registratie van activiteiten is echter niet feilloos. Daarom zijn de data eerst opgeschoond:

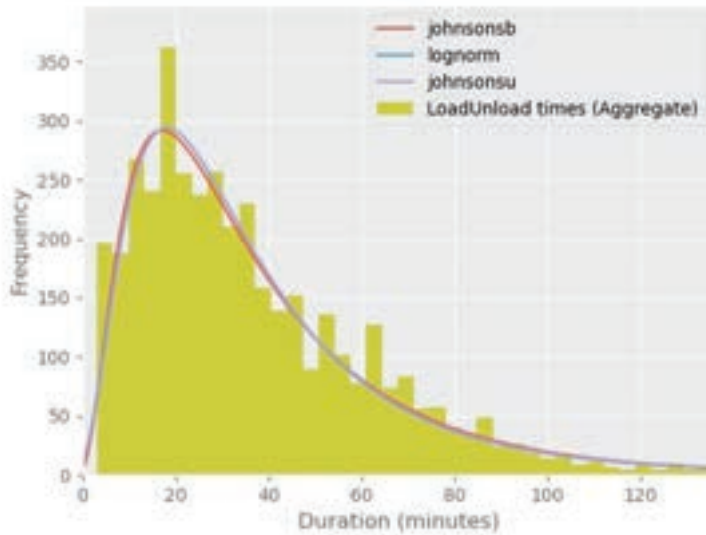
1. Het elimineren van irrelevante records: veel activiteiten zonder duur (bijvoorbeeld het aan- en uitzetten van het voertuig) werden vastgelegd in de datasets, maar zijn niet nuttig voor simulatie. Deze activiteiten zijn uit de datasets verwijderd.
2. Omgaan met ontbrekende waarden: de meeste ontbrekende waarden hadden betrekking op locaties en afstanden, die niet relevant waren voor de simulatie. In sommige gevallen ontbrak echter het type activiteit (voertuigstatus). In deze gevallen, wanneer er een afstand of een verandering in locatie was in verband met de activiteit, gingen we ervan uit dat de activiteit in beweging was. Anders gingen we ervan uit dat de laatst bekende status van het voertuig de status voor de activiteit is.
3. Verwijderen of corrigeren van problematische records: er waren records met duidelijke fouten (bijvoorbeeld bewegende activiteiten zonder afstand en rusten met een duur van enkele seconden). Deze records werden verwijderd of gecorrigeerd in gevallen waarin de juiste informatie met vertrouwen kon worden afgeleid.
3. Combineren van opeenvolgende activiteiten: na het verwijderen van onjuiste of irrelevante records waren er in sommige gevallen opeenvolgende identieke activiteiten (bijvoorbeeld twee rijactiviteiten met een pauze van 20 seconden ertussen). Deze activiteiten werden gecombineerd, waarbij de duur de sommatie was van de individuele duur van de activiteiten.

Extractie van activiteitenpatronen en kansverdelingen

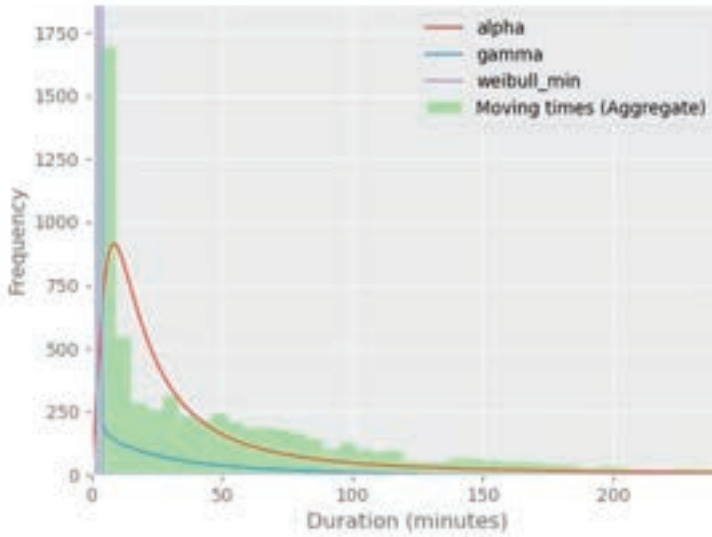
Na de eerste voorbewerking van de gegevens, extraheren we de gemiddelde frequentie van elke activiteit per voertuig per dag voor elke casestudy. Vervolgens vinden we de meest terugkerende patronen van activiteiten (d.w.z. gemeenschappelijke volgorde van activiteiten die door de bestuurders worden ondernomen) voor de gegevens van elke casestudy. Vervolgens extraheren we de verdeling van de duur voor elke activiteit in elke casestudy. Tenslotte passen we een verscheidenheid aan kansverdelingen aan op de reeks duur die voor elke activiteit is geëxtraheerd en vinden we de verdeling met de beste pasvorm voor elke activiteit in elke casestudy. Statistische samenvattingen van de duur van de activiteit worden vergeleken met die verkregen uit de simulatie om de

simulatieresultaten te valideren.

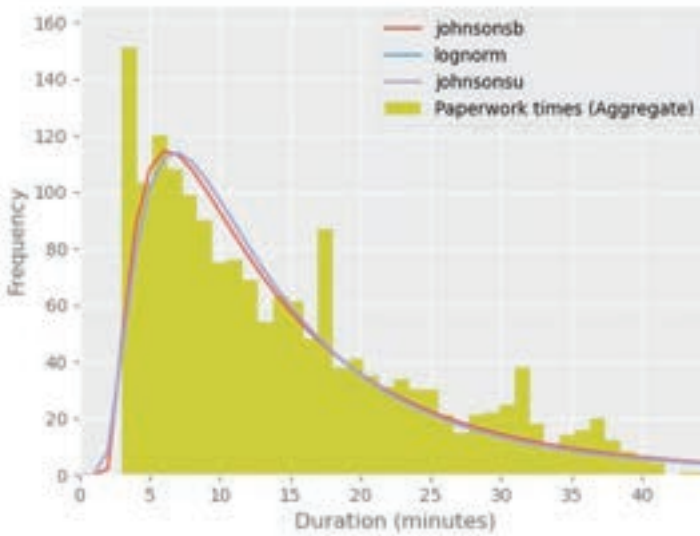
De empirische data en de best passende kansverdelingen voor het geval van LSP_1 worden getoond in de figuren 1, 2 en 3. De histogrammen geven de empirische data, de lijnen geven de kansverdelingen weer.



Figuur 1 Verdeling van duur van het laden/lossen voor LSP_1



84 **Figuur 2** Verdeling van duur van het rijden voor LSP_1



Figuur 3 Verdeling van duur van documentatie voor LSP_1

In tabel 1 en tabel 2 worden de empirische data en het activiteitenpatroon dat is gebruikt in de simulatie voor LSP_1 vergeleken om te bepalen of het simulatiemodel een goede weergave is van de werkelijkheid. Dat doen we door het aantal activiteiten dat een truck op een dag uitvoert en de duur van activiteiten van de simulatie te vergelijken met de empirische data. De frequenties van de activiteiten per dag per voertuigen wijken nauwelijks af bij de activiteiten rijden, rusten en documentatie. Alleen bij laden/lossen is er een duidelijk verschil waarbij het aantal ladingen/lossingen in de simulatie lager ligt dat in de empirische data. Bij de duur van de activiteiten zijn de verschillen bij rusten het grootst, zowel in het gemiddelde als in de standaarddeviatie. De standaarddeviatie is meer dan twee keer zo groot in de gesimuleerde data.

Tabel 1 LSP_1 frequenties van activiteiten per dag per voertuig

Type data	Rijden	Laden/Lossen	Rusten	Documentatie
Empirische data	7	4,6	3,1	1,9
Gesimuleerde data	7	4	3	2

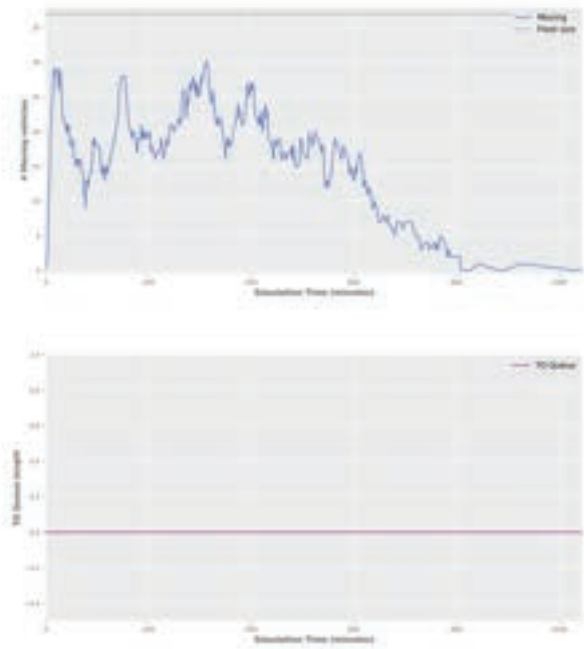
85

Tabel 2 LSP_1 duur van activiteiten

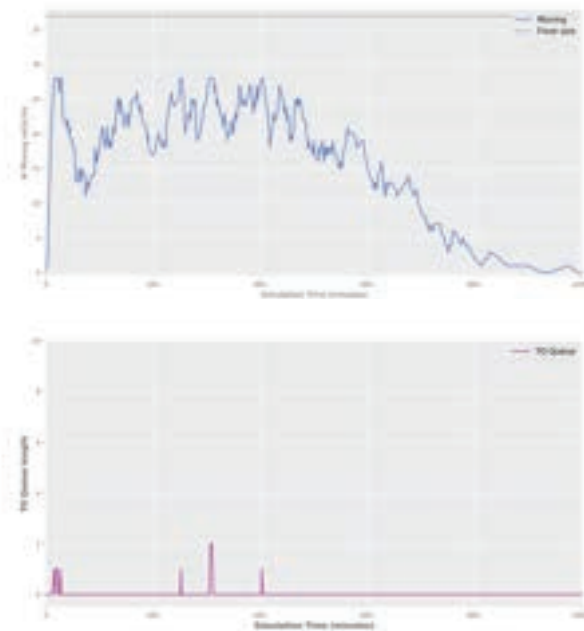
Activiteit	Type data	gemiddelde	st. afwijking	mediaan
Rijden	emprische	55,2	57,9	34
	gesimuleerde	52,2	48,6	34
Laden/lossen	emprische	37,9	29,2	31
	gesimuleerde	37,5	28,9	30
Rusten	emprische	25,9	12,5	32
	gesimuleerde	31,1	38	17
Documentatie	emprische	15,1	10,9	12
	gesimuleerde	14,6	11,3	11

Resultaten van de simulatie

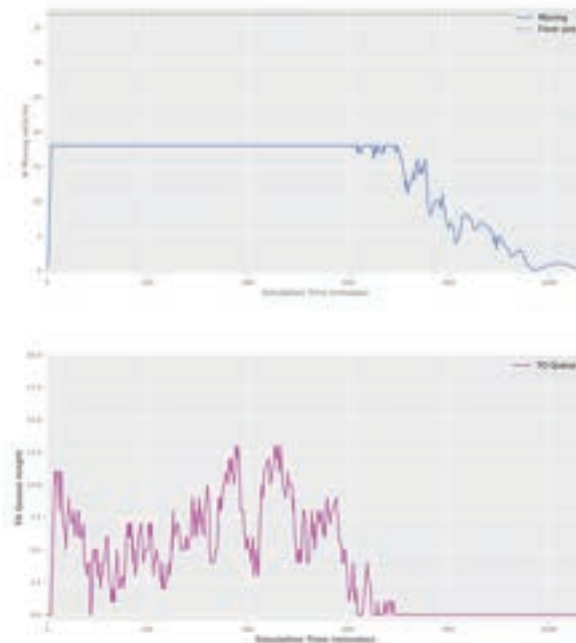
Figuur 4, 5 en 6 geven een overzicht van alle gebeurtenissen tijdens een simulatie. Ze tonen het aantal voertuigen dat bezig is met elke activiteit op elk punt tijdens de simulatietijd, de vlootomvang, het aantal bezette en inactieve teleoperators op elk tijdstip, het aantal beschikbare teleoperators en de wachtrijgrootte van de teleoperator op elk tijdstip. De KPI's zijn eerder beschreven en worden hier gerapporteerd in de tabellen.



86 **Figuur 4** Overzicht van simulatie-output van LSP_1 met een T/V ratio van 1



Figuur 5 Overzicht van simulatie-output van LSP_1 met een T/V ratio van 0.75



Figuur 6 Overzicht van simulatie-output voor LSP_1 met een T/V ratio van 0.5

We hebben scenario's geselecteerd met ratio tussen teleoperator en voertuig van 1, 0,75 en 0,5 (allemaal met een instelling van de teleoperator van 0) om inzicht te krijgen in de impact van deze variabele op de systeemprestaties (zie Tabel 3 voor de resultaten van LSP_1). Voor het geval met een ratio teleoperator tot voertuig van 1 zijn de bezettingsgraad van de teleoperator en de voertuigbezetting gemiddeld 34% en is er geen wachtrij voor teleoperators. Deze zaak heeft het hoogste serviceniveau omdat er een teleoperator aan elk voertuig is toegewezen en er geen wachttijd is voor teleoperators. Dit gaat echter ten koste van de bezettingsgraad van teleoperators, waardoor er op elk moment veel teleoperators inactief zijn, wat hogere arbeidskosten betekent. Bovendien komt het aantal bezette teleoperators in dit geval nooit in de buurt van het aantal beschikbare teleoperators. Bij een teleoperator-voertuigratio van 0,5 wordt het tegenovergestelde fenomeen waargenomen (Figuur 6). De bezettingsgraad van teleoperators is gemiddeld 70%, wat wenselijker is, maar de gemiddelde wachtrijduur is ongeveer 19 minuten en elk voertuig staat gemiddeld ongeveer 100 minuten in de wachtrij. Dit betekent lagere arbeidskosten, maar ook een lager serviceniveau.

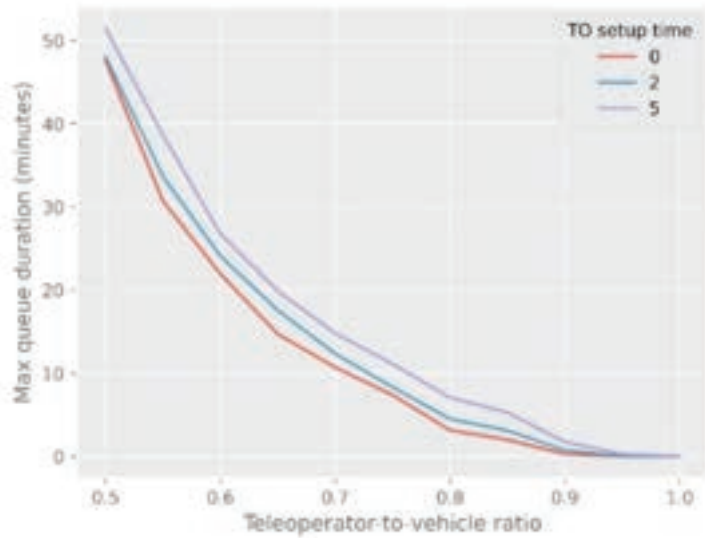
Tabel 3 Overzicht van scenario's voor LSP_1 met verschillende T/V ratio's

	T/V ratio = 1	T/V ratio = 0,75	T/V ratio = 0,5
GEM bezetting voertuig (%)	0.34	0.34	0.34
GEM bezetting teleoperator (%)	0.34	0.45	0.70
GEM wachttijd per voertuig (min)	0.00	0.96	99.31
GEM duur wachtrij (min)	0.00	4.51	18.84
MAX duur van wachtrij (min)	0.00	7.37	47.60
GEM lengte wachttijd (# voertuigen)	0.00	0.03	3.40
MAX lengte wachtrij (# voertuigen)	0.00	3.43	14.33

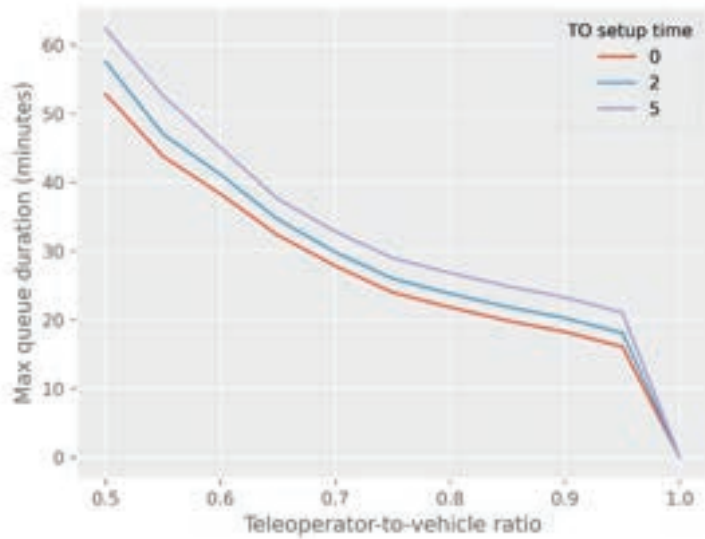
De teleoperator-voertuigratio van 0,75 komt overeen met een situatie tussen de twee besproken scenario's. In dit geval is er een lager aantal teleoperators nodig met een gemiddelde bezettingsgraad van 45%, de maximale wachtrijduur is ongeveer 7 minuten en elk voertuig wacht gemiddeld minder dan een minuut op teleoperators per dag. Dit houdt in dat er een afweging is tussen de arbeidskosten van teleoperators en het serviceniveau, en misschien is er een optimale ratio tussen teleoperator en voertuig die de beste balans oplevert voor deze afweging.

Teleoperator tot voertuig ratio

In deze sectie analyseren we de tijd die in de wachtrij wordt doorgebracht, evenals de wachttijden voor verschillende ratoratio van teleoperator tot voertuig. De maximale wachtrijduur voor elke keer dat een voertuig in de wachtrij moet wachten op een teleoperator, wordt beschouwd als een proxy voor het serviceniveau. Figuren 7, 8, 9 en 10 laten zien dat voor LSP_1 en LSP_3 Tank operation, gegeven een minimaal serviceniveau van 10 minuten (maximaal 10 minuten wachttijd voor teleoperator), een teleoperator-ratiovoertuigratio van 0,75 voldoende is om dit serviceniveau te garanderen.



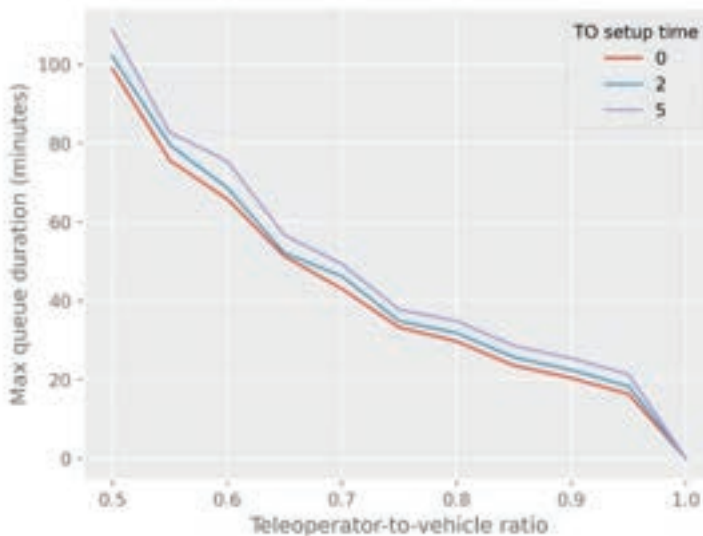
Figuur 7 Maximum duur van de wachtrij voor LSP_1 met variërende insteltijden



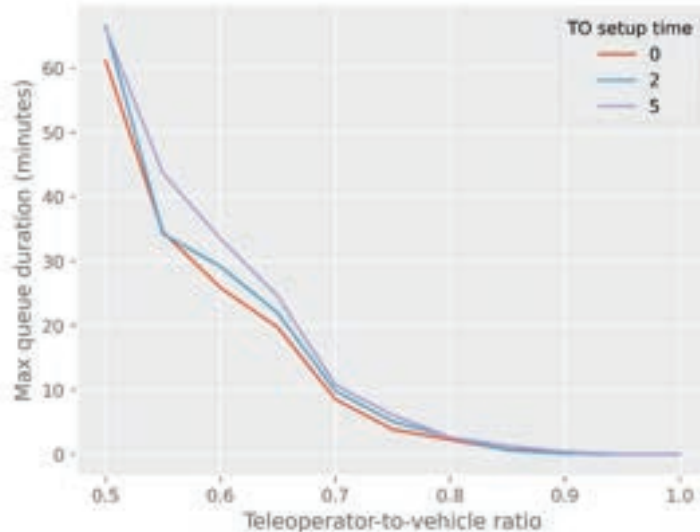
Figuur 8 Maximumduur van de wachtrij voor LSP_2 met variërende insteltijden

In geval van LSP_2 (Figuur 8) is de vereiste ratio tussen teleoperator en voertuig om een serviceniveau van 10 minuten te garanderen 0,95. Dit komt doordat in dit geval alle voertuigen aan het begin van de dag tegelijkertijd in beweging komen en dit zorgt voor een piekvrage naar teleoperators, wat leidt tot langere wachttijden in de wachtrijen. Na deze aanvankelijke piekperiode worden er echter geen grote wachtrijen waargenomen in het scenario met een teleoperator-to-vehicle-ratio van 0,75 voor deze casestudy en is de gemiddelde teleoperatorbezetting in dit geval 52%. Dit geeft aan dat een kleine herschikking van de operaties in dit geval (bijvoorbeeld als de helft van de voertuigen later start) kan leiden tot een significant betere benutting van de teleoperator en een hoger serviceniveau.

Insteltijden van teleoperators hebben ook invloed op het serviceniveau, aangezien het voertuig gedurende deze tijd moet wachten en het dus bijdraagt aan langere wachtrijen. We hebben verschillende scenario's bestudeerd met een insteltijd met waarde 0, twee minuten en vijf minuten om de impact op het serviceniveau te meten. Zoals blijkt uit figuren 6-0, heeft deze insteltijd geen grote invloed op de wachttijden en veroorzaakt het geen toename in de vraag naar teleoperators. Deze factor heeft zoals aangegeven wel invloed op de gemiddelde wachttijd per voertuig omdat de tijd die het voertuig moet wachten tot de teleoperator het voertuig overneemt onderdeel wordt van de wachttijd. In de praktijk kunnen controles worden uitgevoerd door andere actoren of systemen in de toeleveringsketen, maar zal de teleoperator deze controles toch moeten verifiëren. Dus een insteltijd van enkele minuten is altijd nodig.



Figuur 9 Maximum duur van de wachtrij voor LSP_3 (Bulk operation)



Figuur 10 Maximumduur van de wachtrij voor LSP_3 (tank operation)

Impact van een gedeeld teleoperationcenter

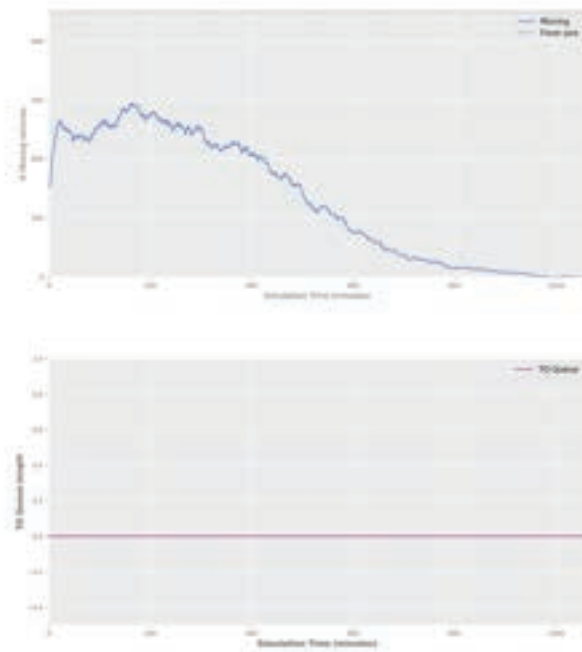
In deze casestudy beschouwen we het geval van een teleoperationcenter. Een teleoperatiecentrum kan gezien worden als een dienstverlener die voor meerdere logistiek dienstverleners teleoperation-diensten uitvoert. De vraag is een toename in het aantal voertuigen dat wordt bestuurd vanuit een teleoperationcenter voordelen biedt ten opzichte van logistiek dienstverleners die hun overtuigen besturen met eigen teleoperators. We hebben een synthetische casestudy samengesteld met 150 voertuigen voor containervervoer, 150 voertuigen voor bulkoperaties en 150 voertuigen voor tankoperaties. Voor elk type operatie hebben we activiteitenreeksen en de verdelingen van activiteitenduur gebruikt uit een van de eerdere casestudies met bijbehorende operatie.

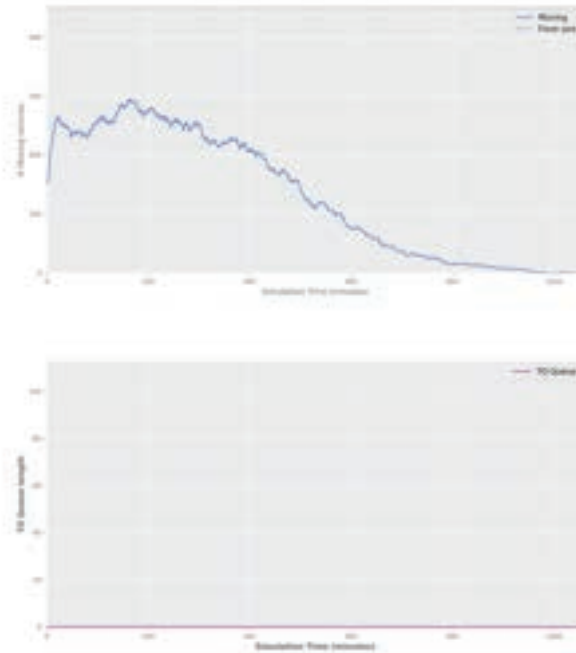
Tabel 4 Overzicht van scenario's met verschillende T/V ratio's

	T/V ratio = 1	T/V ratio = 0,75	T/V ratio = 0,5
GEM bezetting voertuig (%)	0.27	0.27	0.27
GEM bezetting teleoperator (%)	0.27	0.36	0.55
GEM wachttijd per voertuig (min)	0.00	0.00	39.24
GEM duur wachtrij (min)	0.00	0.00	13.77
MAX duur van wachtrij (min)	0.00	0.00	26.57
GEM lengte wachttijd (# voertuigen)	0.00	0.00	16.35
MAX lengte wachtrij (# voertuigen)	0.00	0.00	89.30

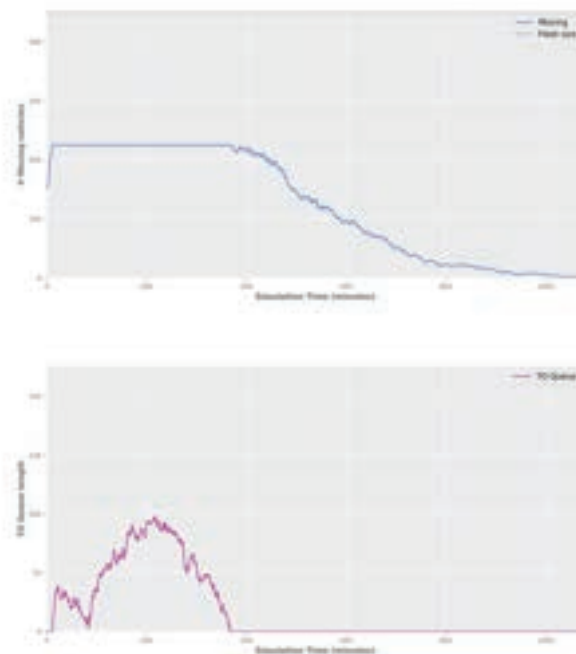
KPI's voor scenario's met ratiotussen teleoperator en voertuig van 1, 0,75 en 0,5, en de insteltijd van teleoperator van 0 worden gerapporteerd in Tabel 4. Uit de resultaten blijkt dat de verplaatsingsactiviteiten in deze casestudy (d.w.z. oproepen voor teleoperators) meer verspreid zijn over de dag vanwege een groter aantal voertuigen en verschillende soorten operaties. In tegenstelling tot eerdere casestudies, is er in deze casestudy geen wachtrij voor teleoperators wanneer de ratio teleoperator tot voertuig 0,75 is. Als deze ratio 0,5 is, is de gemiddelde wachtrijduur ongeveer 14 minuten en de maximale wachtrijduur 26 minuten, wat aanzienlijk lager is dan het overeenkomstige scenario in de eerste drie casestudies.

92

**Figuur 11** Overzicht van simulatie-output voor het teleoperation center met een T/V ratio van 0.1

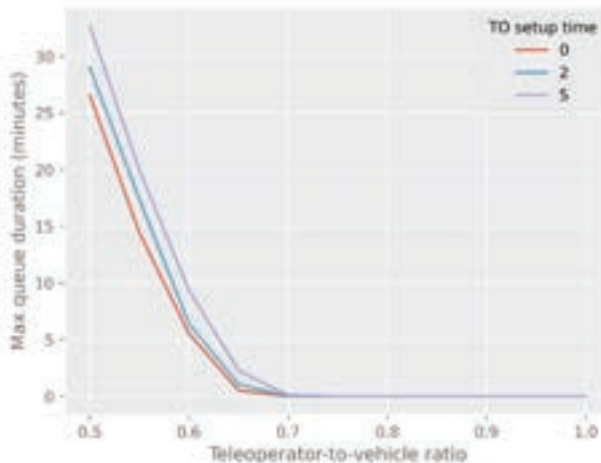


Figuur 12 Overzicht van simulatie-output voor het teleoperation center met een T/V ratio van 0.75



Figuur 13 Overzicht van simulatie-output voor het teleoperation center met een T/V ratio van 0.5

Bovendien zijn in deze casestudy lagere ratiotussen teleoperator en voertuig vereist om elk serviceniveau te garanderen in vergelijking met de vorige casestudies. Zo is er volgens Figuur 14 geen wachtrij voor teleoperators voor teleoperator-voertuigratio's boven 0,7 en leidt de ratio van 0,6 tot een maximale wachtrijduur van 5 minuten. Bovendien hebben de insteltijden van de teleoperator in dit geval geen significante invloed op de wachtrijduur en wachttijden. In Figuur 14 wordt de invloed van de insteltijd voor een teleoperator op de maximale duur van de wachttijd weergegeven. De wachttijd neemt toe met de duur van de insteltijd, maar zorgt niet het verder oplopen van de wachttijden bij een bepaalde voertuig-operator ratio. Als uitgegaan wordt aan een maximale wachttijd zal bij een hogere insteltijd een groter aantal operators ingezet moeten worden. Met een insteltijd van 5 minuten neemt de benodigde voertuig-operator ratio toe met 0,3 tot 0,4.



94

Figuur 14 Maximumduur van de wachtrij voor het teleoperationcenter)

Deze resultaten bevestigen dat het aantal voertuigen en de diversiteit aan soorten operaties een doorslaggevende rol spelen bij het bepalen van de business case voor de inzet van teleoperators. Bij een grotere vloot en een mix van logistieke operators kan met een lagere teleoperatie-voertuigratio worden volstaan.

Conclusies

De T/V-ratio en serviceniveau zijn belangrijk voor de business case

Het belangrijkste voordeel van teleoperatie is de mogelijkheid om een bestuurder op een ander voertuig in te zetten zodra een voertuig tot stilstand komt. Een groep operators kan een wagenpark ondersteunen dat groter is dan het aantal operators. De teleoperator/

voertuig-ratio (T/V-ratio) geeft inzicht in welk percentage van de benodigde traditionele chauffeurs voldoende zou zijn om het wagenpark met teleoperators te besturen. De T/V-ratio is sterk afhankelijk van de kenmerken van de logistieke operatie (percentage van de tijd dat voertuigen tot stilstand komen) en het serviceniveau dat is overeengekomen met ketenpartners. Het serviceniveau kan worden gedefinieerd als de maximale wachttijd voor een tele-operated voertuig dat wacht op de toewijzing van een teleoperator. In dit artikel is een simulatiemodel gepresenteerd om de T/V-ratio te analyseren en de relatie tussen de T/V-ratio en de serviceniveaus te onderzoeken. De casestudy's gaven aan dat een verbetering van de responstijd van 10 minuten 10% meer teleoperators zou kunnen vereisen om een vloot te besturen, wat leidt tot een lagere bezettingsgraad van de operator en hogere kosten. Boven een ratio van 0,7 T/V is de impact van het serviceniveau verwaarloosbaar omdat de vrachtwagens geen wachttijd ervaren en het serviceniveau praktisch 100% is.

Grootte van de vloot is van belang bij het creëren van voordelen

Verder bleek uit de simulatie van een fictieve operatie met 450 voertuigen dat de T/V-ratio afneemt als het aantal voertuigen toeneemt. Bedrijven die een grotere wagenpark bedienen met teleoperatie zullen kosteneffectiever zijn dan bedrijven met een kleinere wagenpark. Dit houdt in dat de traditionele eigenaar-exploitant of andere MKB-bedrijven die een klein aantal vrachtwagens exploiteren of die worden gecontracteerd door grotere logistieke dienstverleners kwetsbaar kunnen zijn als grote bedrijven deze schaalvoordelen gaan exploiteren met nieuwe bedrijfsmodellen die gericht zijn op tele-operated rijden.

95

Aanvullend onderzoek

In dit onderzoek is het service-level als een nieuwe factor voor het business model van tele-operated transport geïntroduceerd. Een service-level is noodzakelijk om een warehouse of andere vervoerders niet te lang te laten wachten op een teleoperator. In de simulatiestudie is aangenomen dat een teleoperator het voertuig oppakt en vervolgens de rit gaat uitvoeren. Het is echter ook mogelijk om een of meerdere teleoperators in te zetten die voertuigen op een logistiek centrum aan het dock zetten of juist weggehalen om ruimte te maken. Als er voldoende parkeerruimte op een logistiek centrum is kan later de chauffeur die de lange(re) rit gaat maken het voertuig oppakken. Om het effect van de inzet van deze moderne rangeerders te berekenen is aan aanpassing van het model nodig.

Erkenning

Dit werk werd uitgevoerd met de steun van het 5G-Blueprint-project, gefinancierd door de Europese Commissie via het Horizon2020-programma onder overeenkomst nr. 952189. De geuite meningen zijn die van de auteurs en vertegenwoordigen niet noodzakelijk de mening en visie van het project. De Commissie is niet aansprakelijk voor enig gebruik dat kan worden gemaakt van de in dit artikel opgenomen informatie.

Referenties

- Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2014). *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation.
- Chottani, A., Hastings, G., Murnane, J., & Neuhaus, F. (2018). *Distraction or disruption? Autonomous trucks ground in US logistics*. McKinsey & Company.
- D'Orey, P.M., Hosseini, A., Azevedo, J., Diermeyer, F., Ferreira, M., Lienkamp, M., 2016. *Hail-a-Drone: Enabling teleoperated taxi fleets*, in: *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. pp. 774–781. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535475>.
- Goodall, N., 2020. *Non-technological challenges for the remote operation of automated vehicles*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 142, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.024>
- Hjelt, T. (2021), *Cost-Effectiveness of 5G Teleoperated Automated Buses*, Master's Thesis in Governance of Digitalization, Faculty of Social Sciences, Business and Economics, Åbo Akademi University
- Marquez-Barja, J.M., Hadiwardoyo, S., Vandenberghe, W., Kenis, E., Campodonico, M.C., dos Santos, C., Kusumakar, R., Klepper, M., Kakes, G., & Vandenbossche, J. (2020), *5G-Blueprint: Next Generation Connectivity for Enhanced, Safe, Efficient Transport & Logistics*, IMEC: Ghent.
- 96 PwC (2018), *Trucking 4.0: An autonomous vehicle ecosystem*, PwC <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/about/media/videos/2018/trucking-4-0.html> geraadpleegd op 8 mei 2022.
- SAE International (2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*.
- Verduijn, T.M. (eds) (2021), *D3.1 Business cases and initial value network, 5G Blueprint project*: Vlissingen.

