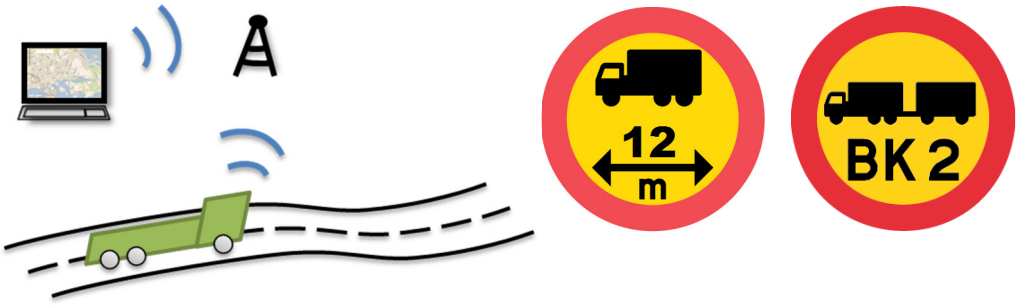
Rapport 2020:1

Demonstration av prestandabaserade trafikregelverk



Ingrid Nordmark

Joachim Andersson

Epost: info@tfk.se

Internet: www.tfk.se

ISBN 13: 978-1-85665-85-3

Foto/bildmontage: TFK

DRIVE SWEDEN

Förord

Föreliggande rapport utgör redovisning av projektet *Demonstration av prestanda-baserade trafikregelverk* vilket har genomförts av TFK – TransportForsK i samarbete med ett antal företag och organisationer.

Arbetet har finansierats av Vinnova samt av de medverkande företagen och organisationerna vilka främst bidragit med insatser i form av eget arbete. Arbetet har till vissa delar utförts inom det strategiska innovationsprogrammet Drive Sweden, vilket är en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten.

Projektledare har varit tekn. dr. Ingrid Normark, TFK, och denna rapport har författats av Ingrid Nordmark tillsammans med Joachim Andersson, TFK. Författarna svarar för rapportens innehåll, slutsatser och andra påståenden.

Projektets finansiärer och övriga intressenter har genom en projektgrupp löpande tagit del av projektets resultat samt även haft möjlighet att påverka projektets inriktning. Projektgruppen har även bistått med en kvalitetssäkring av rapportens innehåll och slutsatser inom de områden där respektive deltagare besitter sakkunskaper. I projekt-gruppen har följande personer utöver författarna ingått:

Amanda Baumgartner	Stockholms stad, Trafikkontoret
Hans-Yngve Berg	Transportstyrelsen
Arne Johansson	CE Engineering Solutions
Anders Josephsson	Transportföretagen
Per Olsson	Parator Industri
Tommy Rosgardt	Volvo Group Trucks Technology
Thomas Sjöström	Stockholms stad, Trafikkontoret
Jonas Svensson	CMT
Andreas Säfström	Stockholms stad, Trafikkontoret
Joachim Wiberg	Sveriges Åkeriföretag
Tomas Winnerholt	Trafikverket

Rapportens innehåll har granskats av projektgruppens deltagare.

TFK vill med detta rikta ett stort tack till projektets finansiärer, övriga intressenter samt personal hos intressenterna vilka medverkat i projektet, eller bidragit med viktig information, och på andra sätt aktivt medverkat till projektets genomförande.

Stockholm i mars 2020

Peter Bark

Drive Sweden är ett av regeringens strategiska innovationsprogram (SIP). Drive Sweden består av partners från akademi, näringsliv och samhällsaktörer som tillsammans tar sig an utmaningar kopplade till nästa generations transporter för människor och gods. De strategiska innovationsprogrammen finansieras genom Vinnova, Formas och Energimyndigheten. Lindholmen Science Park AB är värdorganisation.

Med stöd från
VINNOVA Sveriges innovationsmyndighet
Energimyndigheten
FORMAS
Strategiska innovations-program

Innehåll

Sammanfattning **1**

Summary **2**

1 Inledning **3**
1.1 Bakgrund 3
1.2 Syfte och mål 5
1.3 Metod och genomförande 7
1.4 Definitioner 7

2 Förutsättningar för massgodstransporter **9**
2.1 Massgodstransporter i Stockholms stad 9
2.2 Utbyggnad av Stockholms tunnelbanas blå linje 10
2.3 Lagar och regelverk 12

3 Dynamiska regelverk **16**
3.1 Prestandabaserade standarder (PBS) 16
3.2 Intelligent Tillträdes-Kontroll (ITK) 17
3.3 Intelligenta Transportsystem (ITS) 17
3.4 Geofencing 18
3.5 Utvecklingsarbete för datautbyte 19

4 Effekter av trafik med tunga lastbilar **23**
4.1 Markvibrationer 23
4.2 Buller 24
4.3 Emissioner 25
4.4 Påverkan på väginfrastruktur 26
4.5 Trafikträngsel 27
4.6 Trafiksäkerhet 28
4.7 Intervjuer 28

5 Fältprov **30**
5.1 Vibrationstester 30
5.2 Framkomlighetstest 37

6 Tillståndsprocess **40**
6.1 Nuläget hos Stockholms stad 40
6.2 Förslag på tillståndsprocess med prestandabaserade regelverk 41

7 Effekter vid förändrade tillträdesregler **45**
7.1 Produktivitet/effektivitet 45
7.2 Miljöpåverkan 47
7.3 Trängsel 48
7.4 Trafiksäkerhet 49
7.5 Transportkostnader 49
7.6 Påverkan på infrastrukturen 50
7.7 Förslag till vägledning för handläggare och beslutsfattare 50

8 Resultat och slutsatser **51**
8.1 Slutsatser 51
8.2 Fortsatta studier 52

Referenser **53**

Bilaga 1 ..... **59**

Sammanfattning

Inom flera större städer och tätorter i Sverige råder lokala restriktioner avseende fordons och fordonskombinationers vikt och längd. En vanligt förekommande restriktion är BK2 och en maximalt tillåten fordonslängd på 12 m. På grund av dessa lokala restriktioner begränsas ofta lastförmågan för de fordon som utför godstransporter. Detta innebär att en stor del av de aktuella transporterna inte kan utföras på ett ur olika aspekter effektivt sätt. En följd av detta är att energiförbrukningen per transporterad godsenhet blir högre på grund av att förhållandet mellan fordonets nyttolast och dess egenvikt förändras när andelen nyttolast minskar.

De lokala trafikföreskrifterna i Stockholms stad är från 1980-talet. Sedan dess har mycket hänt inom fordonsutvecklingen vilket innebär att dagens fordon delvis har andra egenskaper och annan prestanda än vad fordonen hade när trafikföreskrifterna togs fram. Att ändra dessa föreskrifter tar lång tid och kräver mycket resurser, bland annat i form av utredningsarbete. Samtidigt kommer fordonsutvecklingen att fortsätta, vilket innebär att de lokala trafikföreskrifterna snabbt kan bli omoderna. Det kan exempelvis gälla fordon som trots att de är längre har liknande svängprestanda som kortare fordon. Otidsenliga trafikregler kan leda till stela lagkrav som inte är anpassade efter de fordon som är i trafik vilket i sin tur ger ineffektiva transporter och ett ineffektivt utnyttjande av fordonen samt av väg- och gatuinfrastrukturen.

För att kunna använda främst befintliga fordon på ett mer energieffektivt sätt är en möjlighet att skapa och införa prestandabaserade och/eller dynamiska regelverk där de olika kraven på fordonen och fordonskombinationerna kan variera mellan olika geografiska områden. Fordon som uppfyller dessa prestandaparametrar, såsom exempelvis vändradie och siktvinklar, kan därefter erhålla tillstånd att köra inom de områden där begränsningar råder.

I detta demonstrationsprojekt har två fälttester genomförts inom Stockholms stad. Ett av dessa omfattade framkomlighet i avsikt att identifiera möjligheter att framföra längre fordon och att identifiera prestandaparametrar relevanta för framkomlighet. Det andra avsåg att skapa underlag för att utreda hur komfortvibrationerna påverkas av längre och tyngre fordon och att identifiera vilka fordonsparametrar som påverkar vibrationerna. Utifrån information och data från fälttester kompletterat med litteraturstudier och intervjuer har prestandabaserade regelverk analyserats utifrån produktivitet/effektivitet, miljö, säkerhet, trängsel och påverkan på infrastrukturen.

Vibrationstestet visade att ett längre och tyngre fordon inte behöver ge ökade komfortvibrationer gentemot omgivningen. Vidare framkom att vibrationerna avtar kraftigt vid en hastighet på 10 km/h. Resultaten visade även att vibrationerna påverkas av vilken typ av fordonskombination som används trots att de parametrar som förväntades påverka vibrationerna hölls lika.

Framkomlighetstestet visade att lastbilar längre än 12 m kunde framföras på de transportstråk, på vilka tester utfördes, och där fordonslängderna var begränsade till maximalt 12 m. Resultaten visade även att en fordonskombinations längd inte behöver korrelera mot dess framkomlighet.

Genom att införa dynamiska prestandabaserade regelverk med geofencing som styrs och/eller kontrolleras med digitala system och använder delad data kan fordon användas på ett effektivare sätt och mer energieffektiva transportlösningar skapas. Fälttester indikerar att det kan leda till en energieffektivisering/bränslebesparing på 10–25 % och att antal transporter minskar med 30–40 %. En förändring till prestandabaserade regelverk indikerar också att tunga fordons påverkan på buller, trängsel och trafikolyckor kan minskas.

Summary

Within several major cities in Sweden there are local restrictions on the weight and length of vehicles and vehicle combinations. A common restriction is BK2 and a maximum permissible vehicle length of 12 m. Due to these local restrictions, the load capacity of the vehicles used for transport of goods is often limited. This means that a large amount of the current transports cannot be performed efficiently. As a consequence, the energy consumption per transported freight unit is higher due to that the ratio between the vehicles payload and its own weight changes when the payload rate decreases.

The local traffic regulations of today in the city of Stockholm are from the 1980s. Since then, much has happened in vehicle development, which means that the vehicles of today partly have different characteristics and performance than vehicles had when the traffic regulations were made. Changing the local traffic regulations takes a long time and requires a lot of resources, for instance in form of investigative work. At the same time, vehicle development will continue, which means that local traffic regulations can quickly become outdated. This may, for example, apply to vehicles that even though they are longer, have similar turning performance as shorter vehicles. Outdated traffic regulations can lead to rigid requirements that are not adapted to the vehicles in service, which in turn results in inefficient transports and an inefficient utilization of the vehicles and of the road and street infrastructure.

To be able to use mainly existing vehicles in a more energy efficient way is an opportunity to create and to implement performance-based and/or dynamic traffic regulations where the different requirements of the vehicles and vehicle combinations can vary between different geographical areas. Vehicles that meet these performance parameters, such as turning radius and visibility angles, are then allowed to drive within the restricted areas.

In this demonstration project two field tests have been conducted in Stockholm City. One of these involved accessibility in order to identify opportunities to drive longer vehicles and to identify performance parameters relevant to accessibility. The second field test intended to create a basis for investigating how the comfort vibrations are affected by longer and heavier vehicles and to identify which vehicle parameters that affect the vibrations. Based on information and data from the field tests, supplemented with literature studies and interviews, performance-based regulations have been analyzed on the basis of productivity/efficiency, environment, safety, congestion and impact on the infrastructure.

The vibration test showed that a longer and heavier vehicle doesn’t have to provide increased comfort vibrations to the surroundings. It was also found that the vibration decreases sharply at a speed of 10 km/h. The results also showed that the vibrations are affected by the type of vehicle combination used, although the parameters expected to affect the vibrations were kept equal.

The accessibility test showed that trucks longer than 12 m could be driven on the transport routes on which the tests were carried out and where vehicle lengths were limited to a maximum of 12 m. The results also showed that the length of a vehicle combination doesn’t need to correlate with its accessibility.

By implementing dynamic performance-based regulations with geofencing that are controlled by digital systems and using shared data, vehicles can be used more efficiently and more energy efficient transport solutions can be created. Field tests indicate that it can lead to an energy efficiency/fuel savings of 10–25 % and that the number of transports will decrease by 30–40 %. A change to performance-based regulations also indicates that the impact from heavy vehicles on noise, congestion and traffic accidents can be reduced.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Lastkapaciteten för vägfordon, såsom lastbilar, begränsas av nationella respektive lokala regler och restriktioner gällande bruttovikter och fordonslängder. Detta medför att fordons och/eller fordonskombinationers bruttovikter, eller egenvikter och nyttolaster sammantagna, främst begränsas av bruttoviktsbestämmelserna för det allmänna vägnätet. Vidare finns begränsningar av längd, bredd och höjd för enskilda fordon och fordonskombinationer.

Det allmänna gatu- och vägnätet är i Sverige indelat i fyra bärighetsklasser enligt Trafikförordningen (SFS 1998:1276). Den idag näst högsta klassen (BK1) tillåter 64 tons bruttovikt vid full fordonslängd, det vill säga 24–25,25 m totallängd och ett avstånd mellan första och sista axeln i en fordonskombination på minst 20,2 m och omfattar 95 % av det allmänna vägnätet (Trafikverket, 2020).

Enligt den senast tillkomna och högsta bärighetsklassen, BK4, tillåts bruttovikter upp till 74 ton, vid ett avstånd mellan första och sista axeln i en fordonskombination på minst 20,2 m, samt vid samma axel- och boggilaster som råder vid BK1. Ur ett tätortsperspektiv är skillnaden mellan BK1 och BK4 vanligen av liten betydelse eftersom de båda bakomliggande bruttoviktskurvorna är identiska upp till ett avstånd mellan ett fordons (eller en fordonskombinations) första och sista axel på 6,2 m (Transportstyrelsen, 2020).

Inom flera större städer och tätorter i Sverige råder lokala restriktioner avseende fordons och fordonskombinationers vikt och längd. En vanligt förekommande trafikföreskrift är BK2 och en maximalt tillåten fordonslängd på 12 m i innerstadsområden. På grund av dessa lokala restriktioner avseende tillåtna fordonslängder och bruttovikter begränsas ofta lastförmågan för de fordon som utför godstransporter och speciellt för de fordon som används för att transportera massgods. Detta innebär att en stor del av de aktuella transporterna inte kan utföras på ett ur olika aspekter effektivt sätt. Vidare medför dessa restriktioner att fler fordonsrörelser krävs för att transportera en viss godsmängd än vad som varit fallet om fordonen kunnat lastas till full lastförmåga eller om större fordon eller fordonskombinationer kunnat användas. Ett problem som följer av detta är att energiförbrukningen per transporterad godsenhet blir högre på grund av att förhållandet mellan fordonets nyttolast och egenvikt förändras när andelen nyttolast minskar. En större andel av den förbrukade energin kommer därför att användas för att förflytta fordonet istället för att förflytta dess last, vilket ökar den totala energiförbrukningen, miljöbelastningen samt bidrar till en ökad trängsel genom ett ökat antal fordonsrörelser. Med en högre energiförbrukning följer även en ökad miljöbelastning genom att utsläppen av växthusgaser ökar om bränslen med fossilt innehåll används.

Den fordonsutveckling som skett och sker får till följd att dagens fordon kan ha en annan prestanda än de fordon som fanns när föreskrifterna infördes. Det kan exempelvis handla om förbättrade svängradier. Denna utveckling kommer att fortsätta, vilket innebär att de lokala trafikföreskrifter snabbt kan bli omoderna. Inom till exempel Stockholms stad är de lokala trafikföreskrifterna om fordonslängder från 1980-talet. Otidsenliga trafikregler kan leda till stela lagkrav och bestämmelser som inte är anpassade efter de fordon som är i trafik vilket i sin tur ger ineffektiva transporter och ett ineffektivt utnyttjande av fordonen. För att komma runt detta och samtidigt skapa energieffektivare fordon är en möjlighet att införa prestandabaserade dynamiska trafikregler där de olika kraven på fordonen och fordonskombinationerna kan variera mellan olika geografiska områden. Fordon som för vissa områden uppfyller vissa prestandaparametrar, avseende exempelvis vändradie samt siktvinklar, kan därefter erhålla tillstånd att köra inom de aktuella områdena där begränsningar råder.

Samtidigt råder dock en stor komplexitet i stora städer där inte bara de tunga fordonens prestanda kan styra föreskrifterna utan även att gaturummet måste delas med oskyddade trafikanter och evenemang samt att annan infrastruktur ovan och under mark måste skyddas. Detta måste därför inkluderas när prestandabaserade trafikregelverk tas fram.

1.1.1 Prestandabaserade regelverk

Prestandabaserade regelverk används för tunga och/eller långa fordon i Australien, Nya Zeeland, Kanada och Sydafrika. Dessa regelverk specificerar kriterier för en prestandanivå som fordonen måste uppfylla istället för att gränser sätts för fordonens längder och vikter. Detta möjliggör transporter som är tyngre och/eller längre än vad som annars är tillåtet förutsatt att fordonen och fordonskombinationerna uppfyller vissa prestandaparametrar. Syftet med dessa regelverk är att möjliggöra transporter med högre produktivitet och trafiksäkerhet. Ett exempel på prestanda-baserade förordningar som tillämpas i Europa är de krav som gäller för EMS-ekipage (European Modular System). Dessa ekipage tillåts i Sverige ha en totallängd på maximalt 25,25 m, istället för 24 m, förutsatt att de även uppfyller krav gällande bland annat vändradier.

1.1.2 Digitalisering inom fordonssektorn

Digitaliseringen inom fordonssektorn går snabbt framåt och många tester och studier finns inom området autonoma fordon och digital infrastruktur. Genom intelligenta transportsystem (ITS) kan vägnätet utnyttjas bättre samtidigt som trafiksäkerheten kan förbättras. Trafikverket har tagit fram en nationell strategi och handlingsplan för användning av ITS. ITS-system samlar, hanterar och lämnar information mellan olika aktörer såsom fordon, infrastruktur och förare (Andersson *et al.,* 2014). Digitala verktyg används exempelvis i Australien där HCT-fordon måste utrustas med ett särskilt system, som innefattar positioneringsangivelser med GPS och som registrerar eventuella överträdelser av bärighetsrestriktioner.

Flera lastbilstillverkare satsar i en ökad omfattning på uppkopplade fordon. Volvo har levererat över en miljon uppkopplade lastbilar, bussar och anläggningsmaskiner (AB Volvo, 2019) och Scania har 430 000 uppkopplade fordon i världen (Janusson, 2020). Flertalet kommersiella fordon är idag uppkopplade på ett eller annat sätt vilket möjliggör för åkare och transportföretag att kontrollera var fordonen befinner sig. Vidare återkopplas värdefull information om hur fordon används till tillverkarna vilket kan utnyttjas för att utveckla och förbättra fordonen.

De data som fordonen registrerar kan också utgöra intressant information för väghållarna vilka i sin tur kan använda denna för att utveckla vägstandarden. Av intresse är därför ett samarbete mellan fordonstillverkare och väghållare för utbyte av information i avsikt att uppnå bättre ekonomi, ökad komfort för berörda personer, såsom förare, samt mindre slitage av infrastruktur, såsom vägbana och vägbyggnad.

Självkörande, autonoma, fordon har under senare tid fått stor uppmärksamhet. Kopplat till detta är även funktioner som delvis innebär att programvara tar över körningen. Hit hör platooning vilket innebär att flera fordon lägger sig tätt bakom varandra och genom att koppla upp sig mot varandra överlåta styrning och hastighetsreglering till det första fordonet i en karavan.

1.1.3 Geofencing – geostaket

Geofencing innebär digital avgränsning av geografiska zoner inom vilken exempelvis uppkopplade fordons hastighet och drivlina. Det kan även användas till att begränsa tillträde. Idag finns det ett antal leverantörer av geofencingsystem däribland ett flertal lastbilstillverkare. Digitala hjälpmedel kan även ge realtidsinformation om exempelvis bränsleförbrukning och hastighet.

Efterspelet till terrorattacken på Drottninggatan i april 2017 ledde till en handskakning mellan fordonsindustrin, kommunala företrädare och statliga myndigheter om att gemensamt kraftsamla avseende om och hur digitaliseringens möjligheter kan bidra till säkrare och attraktiva stadsmiljöer. Trafikverket erhöll därefter ett regeringsuppdrag avseende att genomföra test- och demonstrationsprojekt med geostaket (geofencing) i urbana miljöer (Olsson, 2018).

Med stöd av geofencing kan prestandabaserade lagkrav enkelt implementeras och förändringar snabbt kommuniceras. Detta möjliggör användning av mer dynamiska regelverk som kan ändras beroende på trafikläge, eller för olika datum och tid.

1.1.4 Myndigheters roll

Myndigheterna kan stödja implementeringen av prestandabaserade regelverk genom att skapa system samt arbetsrutiner respektive bakomliggande bestämmelser för detta.

I städer och i tätortsområden är det ofta kommunerna som är väghållare för gator och vägar vilket innebär att kommunerna måste vara delaktiga vid framtagning och implementering av prestandabaserade regelverk. För att upprätta en rätt säker och juridisk hållbar kommunikation mellan fordon och myndighet krävs stora resurser, eftersom detta är en komplex fråga.

1.1.5 Tidigare studier

TFK utförde under första delen av 2018 en genomförbarhetsstudie med delfinansiering från Energimyndigheten (Treiber *et al.,* 2018). I studien kartlades och analyserades hur prestanda-baserade förordningar i städer och tätorter kan utformas, vilka krav som bör ställas samt hur detta ska implementeras. Vidare analyserades hur prestandabaserade trafikförordningar kan bidra till ett energieffektivare fordonsutnyttjande vilket bidrar till att transporternas energieffektivitet ökar i städer och tätorter. I studien konstaterades att ett system med prestandabaserade lagkrav och trafikförordningar bör demonstreras, testas och följas upp för att effekterna av detta ska kunna analyseras djupare samt för att ta fram riktlinjer för hur prestandaparametrar bör utformas. Studien indikerade att ett införande av prestandabaserade regelverk och trafikförordningar som styrs och/eller kontrolleras med digitala system och verktyg även möjliggör mer energieffektiva transportlösningar. Detta beräknas medföra en energieffektivisering på minst 30 % vilket medför minskade koldioxidutsläpp med minst 30 %. Beroende på de förutsättningar som finns avseende bland annat framkomlighet, kan olika prestandaparametrar gälla för dimensioner och utrustning, vilket påverkar de möjliga effekter som kan uppnås genom införande av prestandabaserade krav.

Tidigare har transporter av massgods kartlagts, främst vid bygg- och anläggningsverksamhet. Dessa har visat att begränsningar av fordonens lastkapacitet genom restriktioner i bruttovikten, på grund av en låg bärighetsklass, såsom BK2, medför försämringar av transporteffektiviteten samt en ökad energiförbrukning per transporterad mängd gods (Treiber *et al.,* 2016).

1.2 Syfte och mål

I detta demonstrationsprojekt har prestandabaserade regelverk testats och demonstrerats i verklig stads- och tätortsmiljö. Ett syfte var att i praktiken undersöka vilka prestandaparametrar avseende fordonsdimensioner och vikter som bör gälla och hur dessa bör utformas.

En demonstration avsåg vidare att påvisa vilka fördelar prestandabaserade regelverk i städer och tätorter kan medföra i form av minskade utsläpp av bland annat koldioxid till följd av lägre energiförbrukning per transporterat ton gods. En påvisbar effekt förväntas även vara en per fordon högre lastförmåga och därmed färre fordonsrörelser vid en given mängd gods.

Det huvudsakliga målet med demonstrationsprojektet var att:

- Demonstrera prestandabaserade regelverk i verklig miljö.
- Undersöka och kvantifiera vilken potential prestandabaserade regelverk har att minska miljöpåverkan vid tunga transporter i städer och tätorter. Målet är att minska utsläppen av koldioxid per transporterat ton gods i städer och tätorter med minst 30 %.
- Beskriva vilken utrustning som kommer att krävas samt vilka krav som skall ställas på fordonens system respektive övervakande system. I detta ingår lösningar för kommunikation och kontroll, exempelvis hur kommunikation mellan tillståndsgivande myndighet och fordon kan gå till samt möjligheter för kommuner att digitalt ”öppna” och ”stänga” vissa vägsträckor under vissa perioder för fordon som uppfyller definierade prestandaparametrar.
- Undersöka uppkomsten av buller och vibrationer samt vägslitage från fordonen i syfte att skapa prestandaparametrar som premierar effektiva fordonslösningar som är skonsamma mot väginfrastrukturen samt har en låg bulleremission.

Demonstrationsprojektet avsåg vidare att kartlägga effekter av digitaliseringen samt att studera de framtida möjligheterna med dynamiska förordningar ur ett tvärvetenskapligt perspektiv genom att bland annat koppla samman samhällsbyggnad, fordonsteknik, miljö och ekonomi. En avsikt är även att insamla underlag och generera ny kunskap beträffande digitaliseringens möjligheter att bidra till utvecklingen av transporteffektiva städer. Detta genom att ge förslag till hur prestandabaserade trafikföreskrifter med hjälp av digitala hjälpmedel kan styra och reglera tunga transporter i städer och tätorter. Vidare demonstreras system för detta vilka utvärderas utifrån hur dessa kan påverka energieffektiviteten och miljöpåverkan från transporterna.

Med prestandabaserade regelverk i städer och tätorter förväntas de tunga transporternas utsläpp minska genom ett effektivare fordonsutnyttjande, ett minskat trafikarbete och en minskad energiförbrukning. Genom att använda rangerings- och omlastningsplatser där efterfordon och lastbärare kan ställas av inför transporter in i områden med begränsad framkomlighet förväntas än större miljöeffekter. Det är även av intresse att i transportupplägg med rangerings- och omlastningsplatser undersöka effekterna och möjligheterna av att mellan rangerings- och omlastningsplatser och arbetsplatser använda elektrifierade fordon. Prestandabaserade regelverk förväntas även bidra till att miljökvalitetsmålen gällande begränsad klimatpåverkan, frisk luft, bara naturlig försurning samt ingen övergödning kan nås genom att skapa förutsättningar för ett minskat antal fordonsrörelser för den tunga fordonstrafiken vilket förväntas reducera utsläppen av bland annat koldioxid, partiklar och NO_X. Prestandabaserade regelverk förväntas även leda till ett mer effektivt kapacitetsutnyttjande av fordonen vilket i sin tur förväntas minska antalet fordonsrörelser och därmed minska trängseln i tätortsområden samt även medföra reducerade transporttider. Genom detta stärker projektet möjligheterna att nå Agenda 2030-målen.

Projektet avgränsades till demonstration och test av prestandabaserade krav i Sverige, med en internationell utblick, vilken avser att åskådliggöra hur ett prestandabaserat regelsystem kan göra tunga transporter i städer och stora tätorter mer hållbara. I detta projekt har med massgods främst avsetts berg- och grustransporter samt schaktmassor. En avsikt har varit att demonstrera hur prestandabaserade regelverk samt införande av prestandaparametrar och uppkopplade system kan effektivisera transporterna. Att utveckla IT-system har däremot inte ingått i projektet.

Projektets resultat avser att utgöra ett underlag och en vägledning till handläggare och beslutsfattare, inom stat och kommuner, samt att även utgöra ett övergripande beslutsunderlag inför politiska diskussioner och ställningstaganden. Resultatet avser även utgöra ett underlag för fortsatt fordons- och teknikutveckling.

1.3 Metod och genomförande

Demonstrationsprojektet har varit indelat i följande delar:

- Planering
- Dispensansökan för demonstration
- Demonstration och test
- Intervjuer
- Analys och simulering
- Resultatsammanställning
- Avrapportering

Vid analyser av effekter vid införande av prestandabaserade regelverk har fokus varit riktat mot produktivitet/effektivitet, miljö, säkerhet, trängsel och påverkan på infrastruktur.

Underlaget för detta demonstationsprojekt bygger på resultat och slutsatser från en föregående genomförbarhetsstudie (Treiber *et al.,* 2018).

1.4 Definitioner

API	*Application Program Interface* (API) är ett strukturerat sätt för externa program (applikationer) att hämta och använda ett system och dess data.
BO	*Back-office* bakomliggande processer som inte har direkt kontakt med användaren. Används för att samla, sortera och distribuera data.
C-ITS	*Cooperative Intelligent Transport Systems*, samverkande intelligenta transport-system med fokus på kommunikation mellan uppkopplade fordon, infrastruktur och trafikanter.
EMS	*European Modular System* är ett koncept som gör det möjligt att använda kombinationer av befintliga lastenheter (moduler) i längre och tyngre fordonskombinationer.
FMS	Fleet Management System är ett administrativt hjälpmedel för företag. Information om fordonet kan sparas och/eller skickas i realtid till trafikledare. Används exempelvis för att öka effektivitet och minska kostnader.
Geofencing	Digital avgränsning av geografiska zoner inom vilken exempelvis uppkopplade fordons hastighet och användning av drivmedel kan styras. Det kan även användas till att begränsa tillträde.
ITK	*Intelligent Tillträdes-Kontroll* används för att styra fordons tillträde i tid och rum med ett digitalt verktyg. Syftet är att ge myndigheter som arbetar med regelefter-levnad för fordon på väg tillgång till data om rutt, vikt och fordonskombination.
ITS	Intelligenta transportsystem definieras enligt ITS-direktivet från 2010 som ”system i vilka informations- och kommunikationsteknik tillämpas på vägtransportområdet, inklusive infrastruktur, fordon och användare, och för trafikledning och mobilitets-hantering, samt för gränssnitt mot andra transportslag”. ITS inkluderar hela transportsystemet, både fordon, infrastruktur och föraren/ användaren. ITS-system ska samla, hantera, integrera och lämna information till och från aktörerna i systemet (Andersson *et al.*, 2014).

Massgods	Massgods avser bulkgods, det vill säga gods i lös vikt av homogen karaktär som oftast hanteras med skopa eller pump. Exempel på massgods är jord, grus, sten, sand, rivningsmassor, betong och asfalt. Massgods transporteras vanligen i specialanpassade lastbärare och/eller fordon. I detta projekt har med massgods främst avsetts berg- och grustransporter samt schaktmassor.
PBS	*Performance-Based Standards*, prestandabaserade standarder, eller prestandabaserade lagkrav, innebär att regelverken för fordonsvikter och fordonslängder baseras på prestandaparametrar, exempelvis svängradier och siktvinklar, istället för fördefinierade värden för fordonslängder och fordonsvikter.
Väghållare	Organisation ansvarig för byggande och drift av väg. Det finns tre olika vägtyper, allmän väg, kommunal gata, och enskild väg vilka regleras i olika lagstiftningar. Staten genom Trafikverket är den primära väghållaren för allmän väg. En kommun kan förordnas som väghållare för allmänna vägar i delar av eller hela kommunen om det främjar en god och rationell väghållning (Tällberg, 2018).
WHSC	*World Harmonized Stationary Cycle* är ett steady-state dynamometer schema defenierat av Global Technical Regulation vilket används för att mäta avgasemissioner från fordon.

2 Förutsättningar för massgodstransporter

Ny- och ombyggnadsverksamhet omfattar vanligen även förflyttning och transporter av massgods i form av jord, grus, sten, sand, rivningsmassor, betong och asfalt. Det logistiska flödet vid hantering av massgods delas grovt upp i lastning, transport och lossning. Vid lastning överförs materialet från lastningsplatsen till fordonet/lastbäraren vanligen med hjälp av en grävmaskin, band- eller hjullastare. I vissa fall används även schaktvagnar där fordonet själv tar upp materialet. En schaktvagn får dock inte färdas med last på allmän väg. Tiden för lastning av massgods kan delas upp i deloperationer som; framtransport av maskin, hopskrapning före lastning, lastning av fordon samt arbete eller väntan när ett lastat fordon skall skiftas med ett som kommer att lastas.

Transport av massgods från lastningsplats till lossningsplats sker ofta på allmän väg och då främst med lastbilar i vilka även lastbilsdumprar innefattas. I annat fall, och då transporter utförs utanför det allmänna vägnätet, kan tipptruckar, olika typer av främst ramstyrda terrängdumprar samt i vissa fall schaktvagnar användas. På korta avstånd förekommer även transporter med hjullastare eller bandtransportörer. Lossning av en lastbil sker vanligen genom att ett lastflak eller en lastkorg tippas. En lastbärares kapacitet beror till stor del på det transporterade materialets egenskaper avseende förmågan att ge en hög fyllnadsgrad i lastbäraren (TFK, 1979). Detta beror bland annat av schaktbarheten hos materialet där till exempel lös sand har en hög schaktbarhet och lågt motstånd mot losstagning, vilket innebär att fyllnadsgraden och kapaciteten blir hög. Blockrik fast morän har, enligt ett annat exempel, däremot en låg schaktbarhet och ger därför en låg fyllnadsgrad och kapacitet.

Svenska Bergmaterialindustrin (SBMI) delar in massgodsflöden i tre kategorier (SBMI, 2004):

- Fasta anläggningar/fabriker med kontinuerliga och täta leveranser av massgods. Detta gäller anläggningar som använder massgods i tillverkningsprocessen, främst betongfabriker och asfaltverk. Begränsade lagringsutrymmen gör att leveranserna blir täta och med små volymer. Om behovet av anläggningen är stort och rådande regelverk tillåter detta kan stora fordon användas.
- Oregelbundna leveranser till olika adresser, exempelvis till mindre byggprojekt. Ofta gäller det mindre leveranser till flera olika destinationer med mindre fordon. En fördel är om terminaler för mellanlagring av materialet kan användas där större fordon kan transportera material från täkter till terminalerna.
- Leveranser samt återvinning vid stora byggprojekt som sträcker sig över en längre tid. Oftast upprättas tillfälliga terminaler.

2.1 Massgodstransporter i Stockholms stad

Stockholm är en tillväxtregion med en befolkningsökningstakt på cirka 15 000 nya innevånare/år (Stockholms stad, 2018a). Nya bostäder och arbetsplatser byggs och stora satsningar kommer även att ske avseende infrastrukturen. Pågående och kommande projekt såsom avloppstunneln mellan Bromma och Hammarbyhöjden, Förbifart Stockholm, samt tunnelbaneutbyggnaden innefattar transporter av stora mängder massgods.

Dagens lokala trafikföreskifter i Stockholms stad är från 1980-talet. Sedan dess har mycket hänt inom fordonsutvecklingen vilket innebär att dagens fordon i vissa avseenden har andra egenskaper och annan prestanda än vad fordonen hade när föreskrifterna togs fram. Ett exempel på detta är att luftfjädring införts även på anläggningsfordon vilket minskat påkänningarna på gatu- och väginfrastrukturen.

Vidare har avgasreningssystemen blivit bättre vilket medfört att emissionerna minskat. Trafikkontoret i Stockholms stad framlade under hösten 2017 ett förslag om att tillåta längre och tyngre fordon i Stockholms stad. Förslaget innebar generellt en höjning av den tillåtna fordonslängden inom Stockholms stad, från dagens 12 m till 15 m, samtidigt som bärighetsklass BK2 skulle bibehållas. Genom att tillåta längre fordon medges en högre bruttovikt enligt bruttoviktskurvan för BK2 där tillåten bruttovikt bestäms utifrån avståndet mellan fordonets eller fordonskombinationens första och sista axel (Österlund, 2017).

Ett konsultföretag fick i uppdrag att utreda möjligheterna till höjda bruttovikter. Ett framlagt förslag skulle innebära att bruttovikten ökar från 24 ton till 38 ton, med fortsatt bibehållen BK2 samt bibehållna axel- och boggivikter enligt BK2 (Goodall *et al.,* 2017). Frågan togs dock inte upp till nämndbeslut under 2018. Exempel på andra lösningar som kan vara effektivare, är rangerplatser (se nedan). Trafikkontoret välkomnar ytterligare fakta, om bland annat effekter på trafiksäkerhet och framkomlighet, vid användning av längre och tyngre fordon.

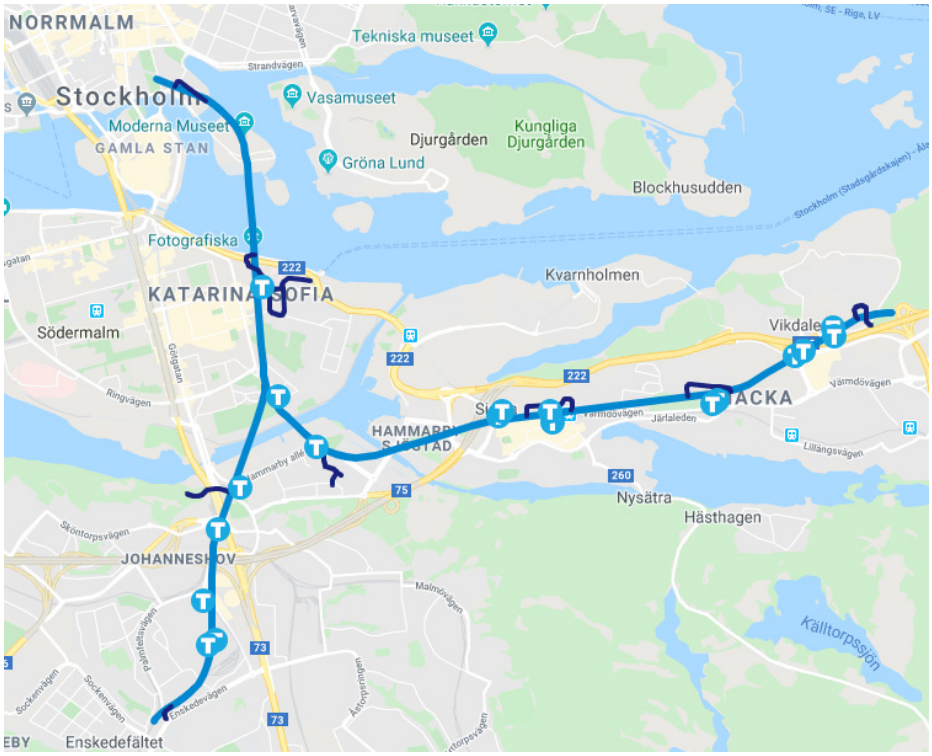
Godstrafikplanen för Stockholms stad tar upp exempelvis ökad samordning och fler lätta elfordon för de sista kilometrarnas transport i kombination med tyngre transporter nattetid. Angående digitaliseringens fördelar genom säkrare och mer kostnadseffektiva transporter nämns användbara funktioner med geofencing som styrning av hastighet, drivlina eller tillåten rutt utifrån ett fordons placering (Stockholm stad, 2018b).

En planering av massgodstransporterna redan innan ett projekt startar kan bidra till en betydande minskning av antalet transporter. Det visar den nya satsningen på digitalisering av lastning och transport som pågår vid bygget av Västlänken deletapp Centralen. Störst effekt för att uppnå effektiva transporter var att se till att nå fullt lastutnyttjande varje gång man lastar en lastbil. Detta görs nu med hjälp av den digitala tjänsten ”Effektiv utlastning” som såväl lastbilsförare som grävmaskinister har tillgång till (Mildén, 2019a).

Även andra transportslag än lastbilstransporter på väg kan nyttjas för massgodstransporter. I Stockholm används fartyg för massgodstransporter i samband med utbyggnation av Förbifart Stockholm under Lovön. Det handlar om två tillfälliga hamnar som byggts på Lovön varifrån ungefär 8 miljoner ton berg ska fraktas bort under de närmaste 4 åren. Det beräknas motsvara omkring 250 000 massgodstransporter med lastbilar (SVT, 2018). Transport med fartyg har även testats i begränsad omfattning inför den kommande tunnelbaneutbyggnaden mot Nacka och Södermalm. Det är 500 000 ton schaktmassor som ska fraktas bort från Blasieholmen motsvarande 45 massgodstransporter om dagen i två till tre år (Anrell, 2019).

2.2 Utbyggnad av Stockholms tunnelbanas blå linje

Ett förslag till utbyggnad av tunnelbanan i Stockholm är att förlänga den blå linjen från den befintliga tunnelbanestationen vid Kungsträdgården till Nacka Forum via Sofia på Södermalm. Vidare planeras en gren från Sofia till Sockenplan via Gullmarsplan se figur 2.1. Största delen av sträckan ska gå under jord. För anläggning av spårtunnlar och stationer byggs arbetstunnlar.



Figur 2.1 Utbyggnad av Stockholms tunnelbanas blå linje

Uppskattningsvis kommer 2 400 000 teoretiskt fast berg (tfm^3) behöva transporteras under bygget. Detta motsvarar ca 7,4 miljoner ton bergmassor och ca 0,5 miljoner ton jordmassor vilka avses att transporteras via arbetstunnlar till materialanläggningar eller andra byggen (Brunsell, 2018). Antalet transporter per dygn bestäms av hur mycket som kan lastas på respektive fordon. Lastkapaciteten bestäms av fordonstyp och bärighetsklass på vägarna. Valet av fordon görs utifrån de bärighetsklasser som råder samt entreprenörernas tillgång till olika typer av fordon. Uppskattade mängder bergmassa som behöver transporteras bort samt hur många uttransporter det innebär per vecka har sammanställts i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Exempel på beräkning av mängd bergmassa att transportera bort samt antalet uttransporter per dygn (alla veckans dagar) vid full drift det genererar, i samband med utbyggnad av stationer längs tunnelbanans blå linje (Brunsell, 2018)

Station	**Ton per vecka** (ton)	**Lastbilskapacitet** (ton)	**Uttransporter per dygn**
Kungsträdgården (Blasieholmen)	4 000	12	45
Sofia	10 000	30	50
Gullmarsplan	7 000	30	35
Hammarby Kanal	7 500	30	35

Huvuddelen av det bergmaterial som erhålls vid arbetet avses att transporteras genom arbetstunnlar vilkas mynningar placeras så att transporter genom bebyggelse begränsas i så stor utsträckning som möjligt (SLL, 2015). Vid planering av placeringen av tunnelmynningarna har även närheten till väg med hög bärighet prioriterats. Vid tunnelmynningarna ska det finnas plats för uppställning av maskiner, massor och material med mera. Det beräknade behovet av massgodstransporter från arbetsplatsen vid Kungsträdgården ger upphov till ca 4 000 ton bergmassa i veckan och totalt 500 000 ton. Mynningen för arbetstunneln vid Kungsträdgårdens tunnelbanestation kommer att anläggas vid Museikajen.

Borrning och sprängning av tunnelbanan vidare från Kungsträdgården beräknas starta i slutet av 2020. En avsikt är att transportera iväg bergmassor under en tidsperiod av två till tre år. Det finns ännu inga beslut om var bergmassorna ska transporteras (Ljung, 2019).

2.3 Lagar och regelverk

Lagar beslutas av riksdagen. Förordningar meddelas av regeringen för att komplettera och precisera det som regleras via lagar. Lagar är därmed överordnande förordningar. Regler utfärdade av myndigheter och kommuner benämns föreskrifter, och får utfärdas efter bemyndigande från riksdag eller regering. Nedan följer en beskrivning av regelverk som berör trafik kompletterat med lokala föreskrifter från de tre största städerna i Sverige.

2.3.1 Fordons- och trafikregler samt miljözoner

Regler om hur ett fordon ser ut och villkor för att få köra dessa, regleras av fordonslagen (2002:574), fordonsförordningen (2009:211), trafikförordningen (1998:1276), körkortslagen (1998:488), körkortsförordningen (1998:980) och lagen om vägtrafikdefinitioner (2001:559) (Transportstyrelsen 2019a).

Trafikregler gäller för alla som vistas på väg och i terräng, med vilket avses allt som inte är väg (Transportstyrelsen, 2019b). I lagen (SFS 1951:649) om straff för vissa trafikbrott finns ramarna för trafikreglerna medan de generalla trafikreglerna finns i trafikförordningen, TRF, (SFS 1998:1276). Vägmärkesförordning (SFS 2007:90) reglerar anvisningar för trafik och utmärkning på väg och i terräng.

Miljözoner är reglerade enligt trafikförordningen (SFS 1998:1276) 4 kap 22-24 §. I Sverige finns miljözoner i åtta städer: Göteborg, Helsingborg, Lund, Malmö, Mölndal, Stockholm, Umeå och Uppsala. Det finns sedan 2020 möjlighet för kommuner att införa tre klasser av miljözoner. Miljözon klass 1 gäller för tunga fordon (bussar och lastbilar över 3,5 ton) medan klass 2 och 3 är nya och gäller för andra typer av fordon, som personbilar, lätta bussar och lätta lastbilar. Än så länge finns det en miljözon klass 2 i Stockholm. Det är längs Hornsgatan där begränsningar råder för personbilar, lätta lastbilar och lätta bussar.

Miljözoner, *Low Emission Zones* (LEZs), finns i flera europeiska städer, däribland i Tyskland, Nederländerna, Frankrike, Belgien, Danmark, Norge, Italien (urbanaccessregulations.eu, 2020). Vanligen innebär det restriktioner för fordon som inte uppfyller vissa Euro-nivåer, annars kan böter utfärdas. I London, finns även *Zero Emission Zones* (ZEZ) och *Ultra Low Emissions Zone* (ULEZ) med ytterligare restriktioner. Även städer som Hong Kong (the Government of the Hong Kong, 2015), Seoul (TheKoreanTimes, 2019) och Beijing (World Resources Institute, 2020) använder sig av miljözoner.

Dessutom finns det i flera städer i Europa, till exempel Paris, Bryssel, Madrid, Stuttgart, Budapest, Oslo, Bergen och flertalet städer i Italien, möjlighet för staden/kommunen att vid tider med höga föroreningar att införa tillfälliga restriktioner. Det kan innebära rekommendationer att lämna bilen hemma, hastighetssänkningar lättnader i kollektivtrafikavgifter och körförbud, (Paris, Bryssel), körförbud för fordon som inte uppfyller vissa Euro-nivåer (Oslo, Budapest, Bologna m.fl.), höjda vägavgifter eller schema för udda och jämna registreringsnummer (Bergen) (urbanaccessregulations.eu, 2020). Information om tillfälligt körförbud meddelas av Oslo kommun via dess hemsida, sociala medier, vägskyltar och direktmeddelanden i appen *Bil i Oslo* (Oslo kommun, 2020).

2.3.2 Allmänna och lokala föreskrifter

Föreskrifter gällande bland annat hastigheter och bärighetsklass meddelas av Trafikverket och kommunerna. En sammanställning av trafikföreskrifter i Sverige finns i form av Svensk trafikföreskriftssamling (STFS) hos Transportstyrelsen (2019c).

Kommunerna och länsstyrelserna kan även besluta om ytterligare lokala trafikföreskrifter (Transportstyrelsen, 2019b). I följande stycken presenteras exempel på lokala trafikföreskrifter för Sveriges tre största städer.

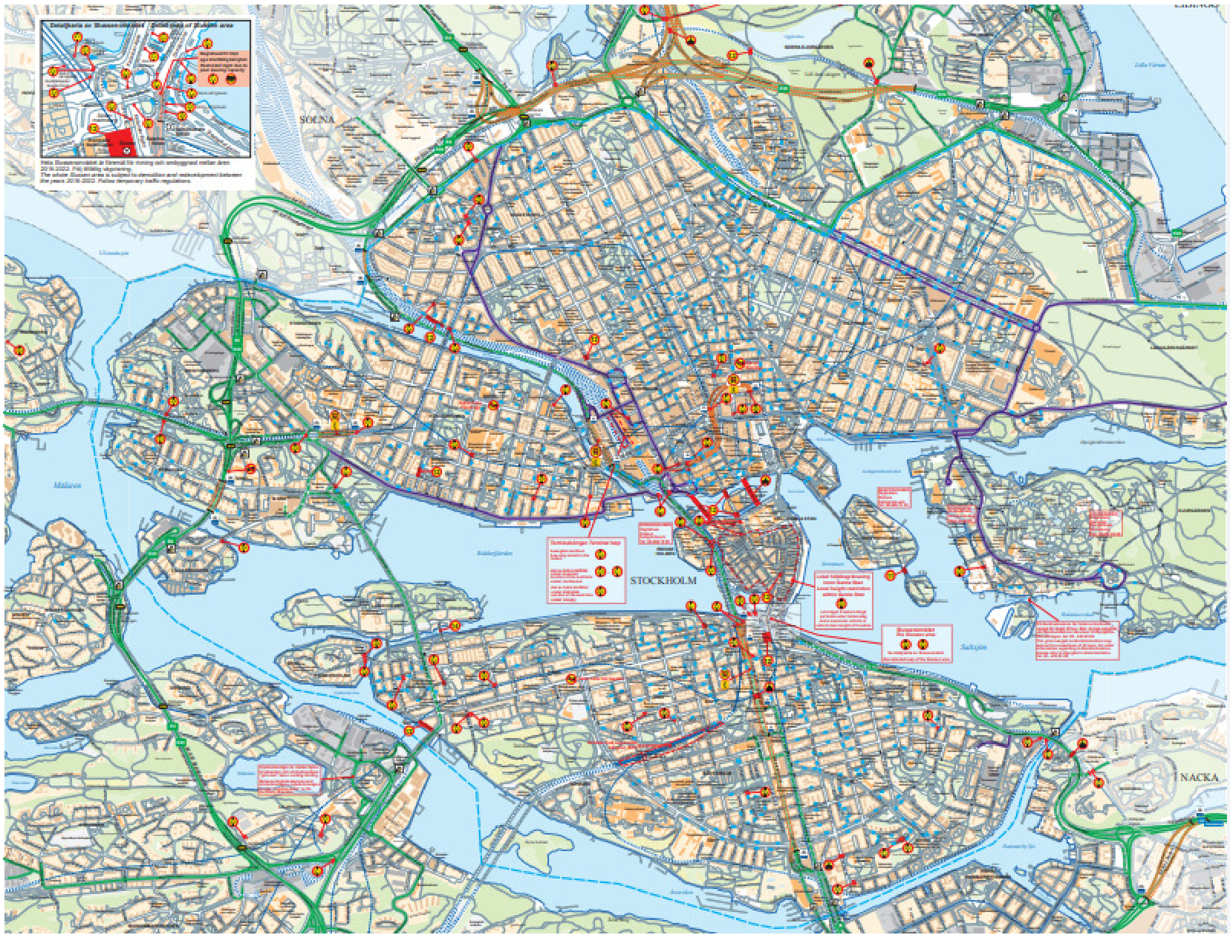
2.3.3 Stockholm

I Stockholms kommun (Stockholms stad) finns en lokal föreskrift (0180 2012-03066) om en begränsad fordonslängd på 12 m på väg inom Stockholms kommun (Stockholms stad, 2021a). Vidare råder förbud att framföra tung lastbil mellan klockan 22 och 06 på gatumark i Stockholms stad (Stockholms stad, 2019a). Begränsningarna gäller väg som inte är förtecknad i 16 § Färdvägsförteckning A (Stockholms stad, 2016a).

Undantag gäller för bärgningsfordon som används i bärgningsarbete där det är tillåtet att använda kortast möjliga väg till allmänt tillåten väg. Brandförsvaret får köra fordonståg bestående av lastbil med tillkopplad släpvagn med en sammanlagd längd av högst 15 m. Undantag gäller även för tanktransporter av petroleumprodukter, fordonståg bestående av lastbil med en tillkopplad 1-axlad släpvagn, dock ej påhängsvagn, med en sammanlagd längd av högst 15 m som får köras utom det inre trafikområdet (Stockholms stad, 2012a).

Det ”inre trafikområdet innefattar nedanstående vägar och området som ligger innanför den gräns som bildas av Kaknäsvägens förlängning vid Lilla Värtan – Kaknäsvägen – Lindarängsvägen – Tegeluddsvägen – Lidingövägen – Valhallavägen – Cedersdalsgatan – Sveavägen – Norra Stationsgatan – kommungränsen till Karlbergssjön – en linje i vattnet norr och väster om Kungsholmen, väster om Lilla Essingen, söder om Södermalm, söder och öster om Djurgården samt öster om Ladugårdsgärde till utgångspunkten” (Stockholms stad, 2012b).

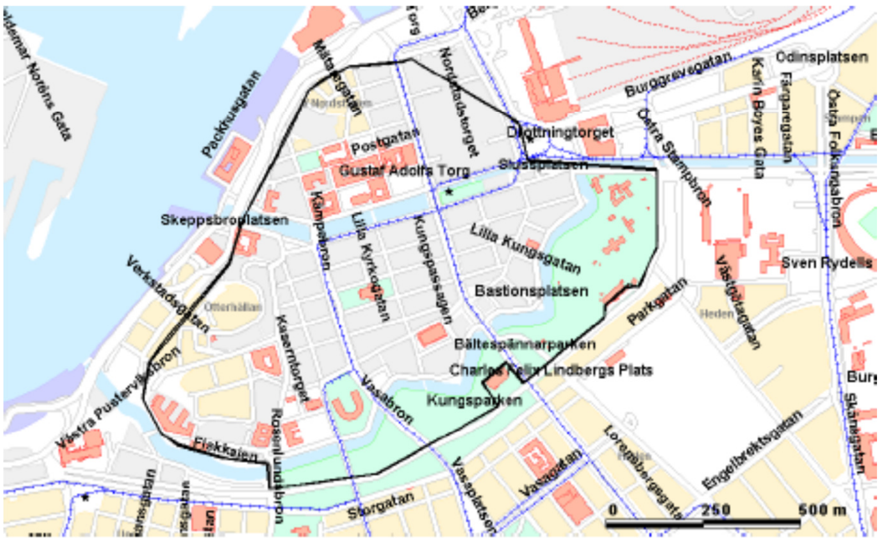
Information om regler för tung trafik finns bland annat tillgänglig på stadens tung trafikkarta (Stockholms stad, 2019a), se figur 2.2. Ett arbete pågår med att digitalisera denna karta (Säfström, 2019).



Figur 2.2 *Karta för tung trafik, Stockholms innerstad, beskuren (Stockholms stad, 2016b)*

2.3.4 Göteborg

Inom en del av Göteborg, främst området innanför vallgraven och del av Nordstan, se figur 2.3, är fordonslängden begränsad till 10 m enligt en lokal trafikföreskrift LTF 1480 2009:00939 (LTF, 2009).



Figur 2.3 *Karta över område i Göteborgs centrum med begränsad tillåten längd för fordon eller fordonståg av 10 m (Göteborgs Stad, 2017)*

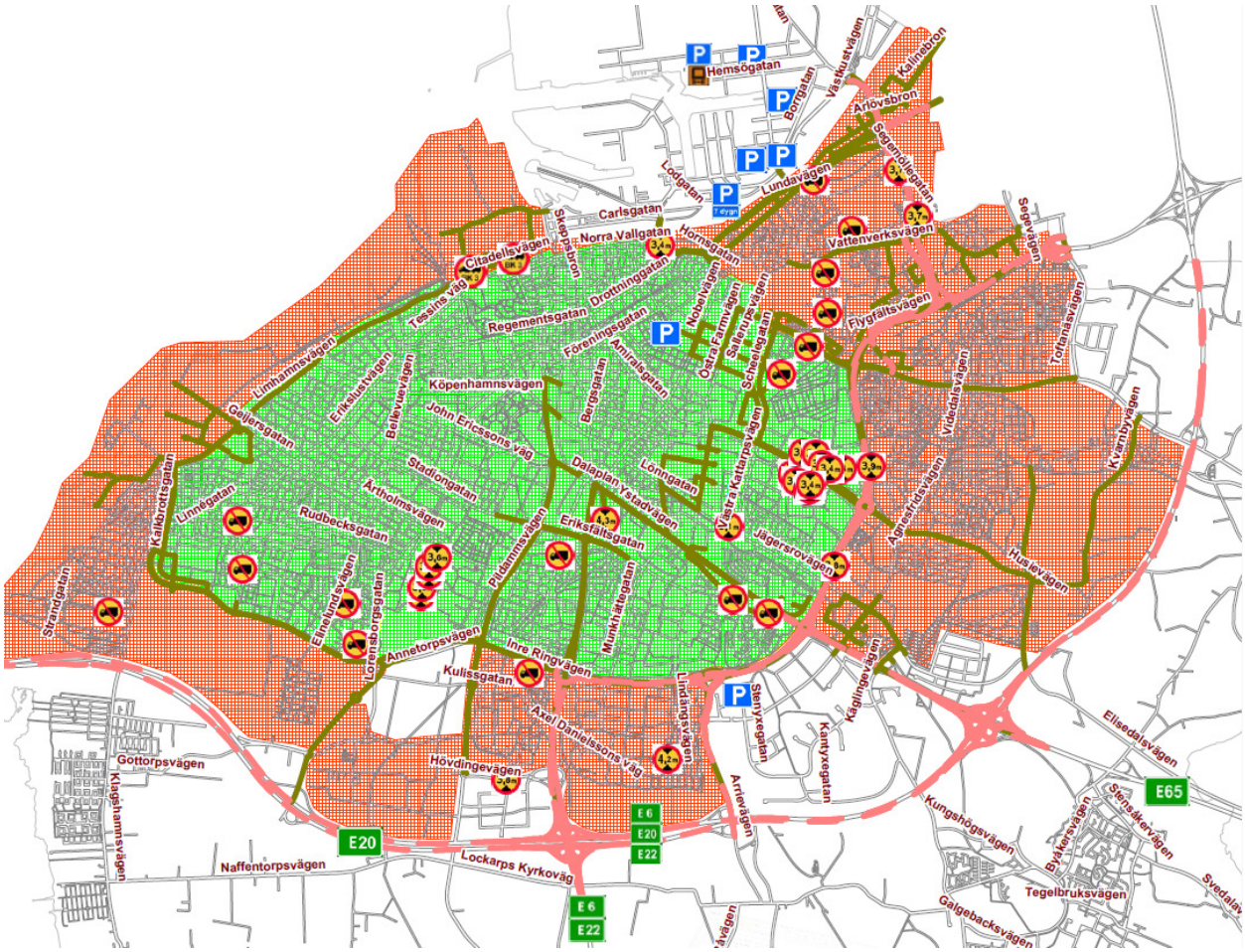
Föreskriften gäller på vägar som är allmän plats. Motordrivet fordon eller därtill kopplat fordon får inte framföras om fordonets eller fordonstågets längd, lasten inräknad, överstiger 10 m. Förbudet gäller klockan 00.00 - 06.00 och 08.00 - 24.00. Förbudet gäller inte buss (Göteborgs Stad, 2017).

2.3.5 Malmö

I Malmö stad finns ett par lokala föreskrifter gällande långa och tunga transporter.

- Förbjudet att framföra motordrivet fordon eller fordonståg om fordonets eller fordonstågets längd, lasten inräknad, överstiger 12 m inom markerat område, se figur 2.4. Lokal trafikföreskrift, 1280 2013:00065 (LTF, 2013a)

- Förbjudet att framföra tung lastbil mellan klockan 22 och 06 inom markerat område (se figur 2.4). Lokal trafikföreskrift 1280 2013:00064 (LTF, 2013b)



Figur 2.4 Karta över område, markerat rött, i Malmö med begränsad längd på fordon eller fordonståg om 12 m samt nattetid förbud mot tunga lastbilar. Grönt markerat område (inre) visar miljözon (Malmö stad, 2013)

3 Dynamiska regelverk

3.1 Prestandabaserade standarder (PBS)

Performance-Based Standards, PBS, används ibland annat i Australien och styrs där av *National Heavy Vehicle Regulator*, NVHR (NHVR, 2008). De har ett underlag där det framgår hur en lastbil ska testas och vilka gränsvärden som ger en viss typ av klassning. Dessa metoder kan vara lämpliga att utgå ifrån om det ska implementeras i Sverige. I den australiensiska standarden ingår:

- ***Säkerhetsstandard***
  - Startförmåga
  - Backtagningsförmåga
  - Accelerationskapacitet
  - Frontal utsvepning
  - Utsvepning av bakdelen
  - Svepande bana vid låg hastighet
  - Drivhjulens friktionsbehov
  - Statiskt tipptröskelvärde
  - Riktningsstabilitet under bromsning
  - Spårdifferens mellan första och sista axeln vid hög hastighet
  - Bakåtförstärkning
  - Spårningsförmåga på en rak väg
  - Girningsdämpningskoefficient

- ***Infrastrukturstandard***
  - Vertikal belastning på körbanan
  - Horisontell belastning på körbanan
  - Brobelastning
  - Däckkontaktsyta

Satsningar på att utveckla PBS i Sverige pågår sedan ett antal år. Kharrazi *et al.* (2017) har inom projektet "Performance Based Standards for High Capacity Transports in Sweden" tagit fram förslag på hur PBS skulle kunna se ut i Sverige, med fokus på förhållanden vid vinterväglag. I projektet undersöktes applicering av PBS inom områdena säkerhet, infrastruktur och miljö, men säkerhet var huvudfokus vid de tester, simuleringar och analyser som genomfördes. Kharrazi *et al.* presenterar förslag för PBS i Sverige uppdelat i *Traction measures, Low speed tracking measures, High speed tracking measures, Low speed stability measures, High speed stability measures* och *Braking measures*.

Ett påföljande projekt, "Performance Based Standards II" (pågår 2018-2020), syftar till att vidareutveckla det föreslagna PBS-systemet och att stödja genomförandet av det. Viktiga delar i projektet är utveckling av standarddäck för bedömning av HCT-fordon samt demonstratorer för bedömning av HCT-fordon (Chalmers, 2019).

I samband med det första projektet (Kharrazi *et al.*, 2017) har en första version av ett öppet verktyg för bedömning av PBS utvecklats, OpenPBS (Jacobson *et al.*, 2017). Genom modeller och beräkningar beräknas PBS-värden för olika kombinationer av fordon och förebygger därigenom att olika aktörer beräknar på olika sätt utifrån standarden. OpenPBS är främst inriktat på långa fordonskombinationer (*Long Combination Vehicles*, LCV, vanligtvis 25-35 m) men kan även användas för kortare kombinationer eller enstaka fordon.

3.2 Intelligent Tillträdes-Kontroll (ITK)

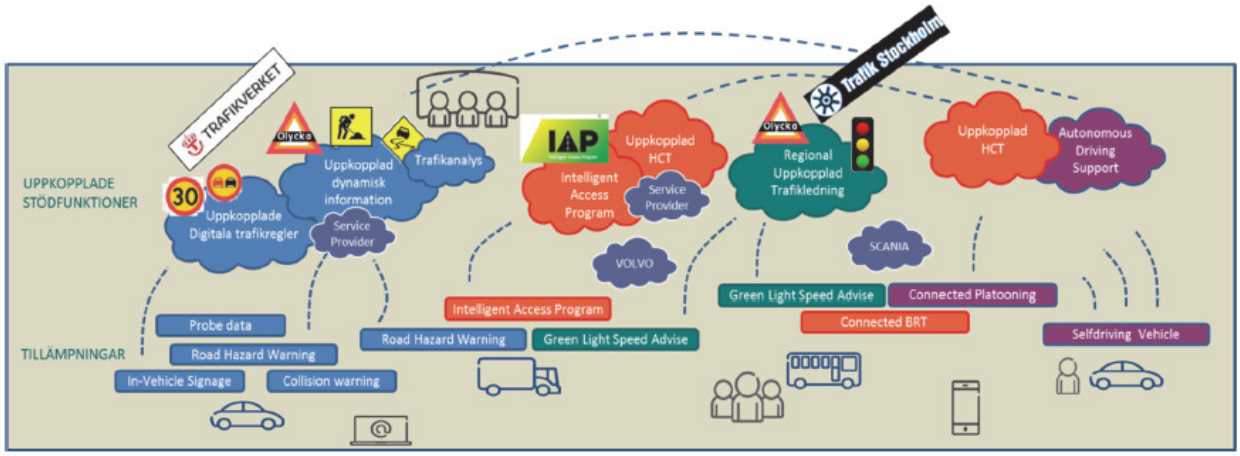
För att kunna kontrollera vikt för speciellt BK4-fordon, har en kravspecifikation utformats (Asp *et al.*, 2016) och demonstationer av ITK, Intelligent Tillträdes-Kontroll, genomförts (Asp *et al.*, 2018). ITK ska underlätta för både kontrollerande myndighet och åkerier att kontrollera att fordon inte är överbelastade eller har felaktig fördelning av last. Demonstationerna av ITK utfördes med FMS (Fleet Management Systems) från de tre största leverantörerna av FMS i Sverige, nämligen Scania, Volvo och Vehco. Projektet visade att det är möjligt med ITK-system som bygger på prestandabaserade standarder (PBS) utan att själva tekniken preciseras.

Genom införande av ITK-system förväntas en minskning av körningar med övervikt (bruttovikt över 64 ton) och utanför BK4 vägnätet. ITK kan även ha fördelar vad gäller ökad trafiksäkerhet, gynna konkurrens på lika villkor och försvåra fusk och minska stress hos förarna kopplat till fusk. Dessutom bidrar det med effektivare kontroll av lagefterlevnad och statistik för mer precis planering av underhåll av vägar och broar. Asp et al (2018) presenterar ITK som ett första steg mot ett nationellt ramverk och IT-plattform som kommer att kunna användas till en mängd tjänster och applikationer vad gäller att styra tillträden för fordon. Det handlar bland annat om geofencing för miljö- och gåzoner, farligt godstransporter, dispenstransporter och cabotage.

Ett genomförande av ITK, med beslut på regeringsnivå och med efterföljande lagändringar, bedöms tidigast kunna vara klart den 1 januari 2020.

3.3 Intelligenta Transportsystem (ITS)

Intelligenta transportsystem (ITS) definieras enligt EUs ITS-direktiv från 2010 som ”system i vilka informations- och kommunikationsteknik tillämpas på vägtransportområdet, inklusive infrastruktur, fordon och användare, och för trafikledning och mobilitetshantering, samt för gränssnitt mot andra transportslag”, se figur 3.1 (Andersson *et al.*, 2014).



Figur 3.1 Uppkopplade stödfunktioner och tillämpningar (Forum för Innovation i Transportsektorn, 2014)

ITS inkluderar hela transportsystemet, både fordon, infrastruktur och föraren/användaren. ITS-system ska samla, hantera, integrera och lämna information till och från aktörerna i systemet (Andersson *et al.*, 2014). Genom att införa ITS i Europa är syftet att skapa fler och bättre informationstjänster för resenärer och trafikanter (Trafikverket, 2019). En del i ITS är reglering av tillträde till väginfrastruktur genom prestandabaserade lagkrav. Genom ITS kan vägnätet utnyttjas bättre samtidigt som trafiksäkerheten kan förbättras. ITS kan även användas för trafikinformation och trafikledning (Andersson *et al.*, 2014).

I ITS-direktivet 2010/40/EU finns fyra prioriterade områden (EU, 2010):

1. Optimal användning av väg-, trafik- och resedata
2. Kontinuitet i ITS-tjänster för trafikledning och hantering av godstransporter
3. ITS-tillämpningar till stöd för trafiksäkerhet och transportskydd
4. Koppling av fordonet till transportinfrastrukturen

Enligt EU-lag som tagits fram som en följd av ITS-direktivet är länderna skyldiga att bidra till information om (Trafikverket, 2019): realtidsdata för trafikinformation, vägsäkerhetsrelaterad trafikdata, säkra och skyddade lastbilsparkeringar samt multimodalt resande.

I juli 2013 blev EUs ITS-direktiv införlivat i svensk rätt genom lagen (2013:315) om intelligenta transportsystem vid vägtransporter (Andersson *et al.,* 2014). I ITS-lagen (2013:315) regleras att ITS-tillämpningar och ITS-tjänster ska uppfylla de krav om kompatibilitet och interoperabilitet som behövs för ITS. ITS-lagen gäller för ITS-tillämpningar och ITS-tjänster som ska kunna fungera gränsöverskridande inom Europeiska unionen (Regeringskansliet, 2013).

Övriga lagar som berörs i ITS-lagen 2013:315 (Regeringskansliet, 2013):

- Lag med kompletterande bestämmelser till EUs dataskyddsförordning (2018:218)
- Lagen om elektronisk kommunikation (2003:389)
- Lagen om vägtrafikregister (2001:558)
- Lagen om vidareutnyttjande av handlingar från offentliga förvaltningen (2010:566): bestämmelser om vidareutnyttjande av handlingar vid statliga och kommunala myndigheter
- Produktansvarslagen (1992:18): skadeståndsansvar för produkter med säkerhetsbrister

Ansvaret för att tillhandahålla en nationell åtkomstpunkt (NAP) för trafiksäkerhet och realtidsinformation har i Sverige tilldelats Trafikverket. Åtkomstpunkten är till för den som vill hämta eller leverera data och nås via Trafficdata.se (Trafikverket, 2019).

3.4 Geofencing

Geofencing är en benämning på en digital avgränsad geografisk zon inom vilken exempelvis uppkopplade fordons hastighet och användning av drivmedel kan styras. Det kan även användas till att begränsa tillgång till zoner. 2017 fick Trafikverket i uppdrag av regeringen att genomföra test- och demonstrationsprojekt med geofencing i urbana miljöer (Regeringskansliet, 2019a).

Enligt den övergripande handlingsplan (CLOSER, 2018) som har följt regeringsuppdraget, presenterat av Trafikverket med samarbetspartners den 6 december 2018, är det idag två viktiga områden som saknas för att det ska vara möjligt att använda geofencing storskaligt. Det ena området avser en fungerande digital infrastruktur och det andra ett tillämpbart regelverk.

Handlingsplanen innehåller 7 punkter för digitalisering för säkra och smarta stadsmiljöer:

1. Etablera ett FoI-program med riktade forsknings- och innovationsprojekt för att ta fram nödvändigt underlag för arbetet med handlingsplanens samtliga punkter
2. Verka för lagstiftning och regelverk som stöttar implementering av geofencing
3. Utveckla organisatoriska och digitala processer samt data för geofencing-zoner
4. Utveckla system, rutiner och processer för självreglerande system och styrning i smarta zoner
5. Utreda den samhällsekonomiska och affärsmässiga potentialen
6. Verka för en nationell och internationell harmonisering
7. Främja och driva demonstrations- och pilotprojekt

För att fortsätta arbetet med handlingsplanens 7-punktslista har ett forsknings- och innovationsprogram för geofencing startats. Detta skall pågå 2019–2022 med finansiering från Trafikverket. Programmet koordineras av CLOSER och deltagare initialt är Trafikverket, Transportstyrelsen, Stockholms stad, Göteborgs Stad, Scania, Veoneer, Volvo Cars och Volvo Group (CLOSER, 2020a).

I Sverige har geofencing testats i projektet ElectriCity i Göteborg där busslinje 55 sedan 2015 har körts med uppkopplade el- och hybridbussar. Geofencing används där för begränsad hastighet och minskade utsläpp (Göteborgs Stad, 2019). Testet utökades i juni 2018 med två eldrivna ledbussar på en del av linje 16 (ElectriCity, 2019). Keolis som kör linje 55 har tidigare kört en linje i Stockholm på samma sätt (Sydsvenskan, 2018). Sedan den 1 december 2018 kör Keolis även med geofencing på 14 skolbussar i Falun och Borlänge där bland annat hastighetszoner lagts kring skolor (Orton, 2018).

Geofencing har också demonstrerats vid en demodag i Stockholm 29 maj 2018. Vid demonstrationen styrdes hastighet och drivlina samt tillgång till ett definierat område hos uppkopplade fordon. Buss, lastbil och bil ingick i demonstrationen som var lokaliserad till KTHs område (Trafikverket, 2018c).

Leveranser nattetid har testats i Stockholm i projektet Off Peak City Distribution 2014-2016. I projektet ingick två lastbilar. En elhybridlastbil som körde från Rosersberg, norr om Stockholm, till tre butiker i Stockholm city och en gasdriven lastbil som körde konsoliderade, mindre, leveranser från ett lager i södra Stockholm till olika hotell, restauranger etc. Elhybridbilen hade ett zon management system som automatiskt ändrade till eldrift för tre i förväg definierade ”tysta zoner”. De nattliga leveranserna hade i regel bättre prestanda med avseende på köreffektivitet, energieffektivitet och leveranssäkerhet (Pernestål Brenden *et al.,* 2017).

I ett fortsättningsprojekt, med start i januari 2019, används en Piek-certiferiad laddhybrid-lastbil från Scania av Havi vid leveranser för McDonalds (Mildén, 2019b). Piek är en certifiering för tysta transporter där ljudnivån från fordon och utrustning som används hålls under 60 dB(A) (Piek, 2019), vilket ställer krav på såväl fordonet som truckar, vagnar/rullburar och avlastningsplatser.

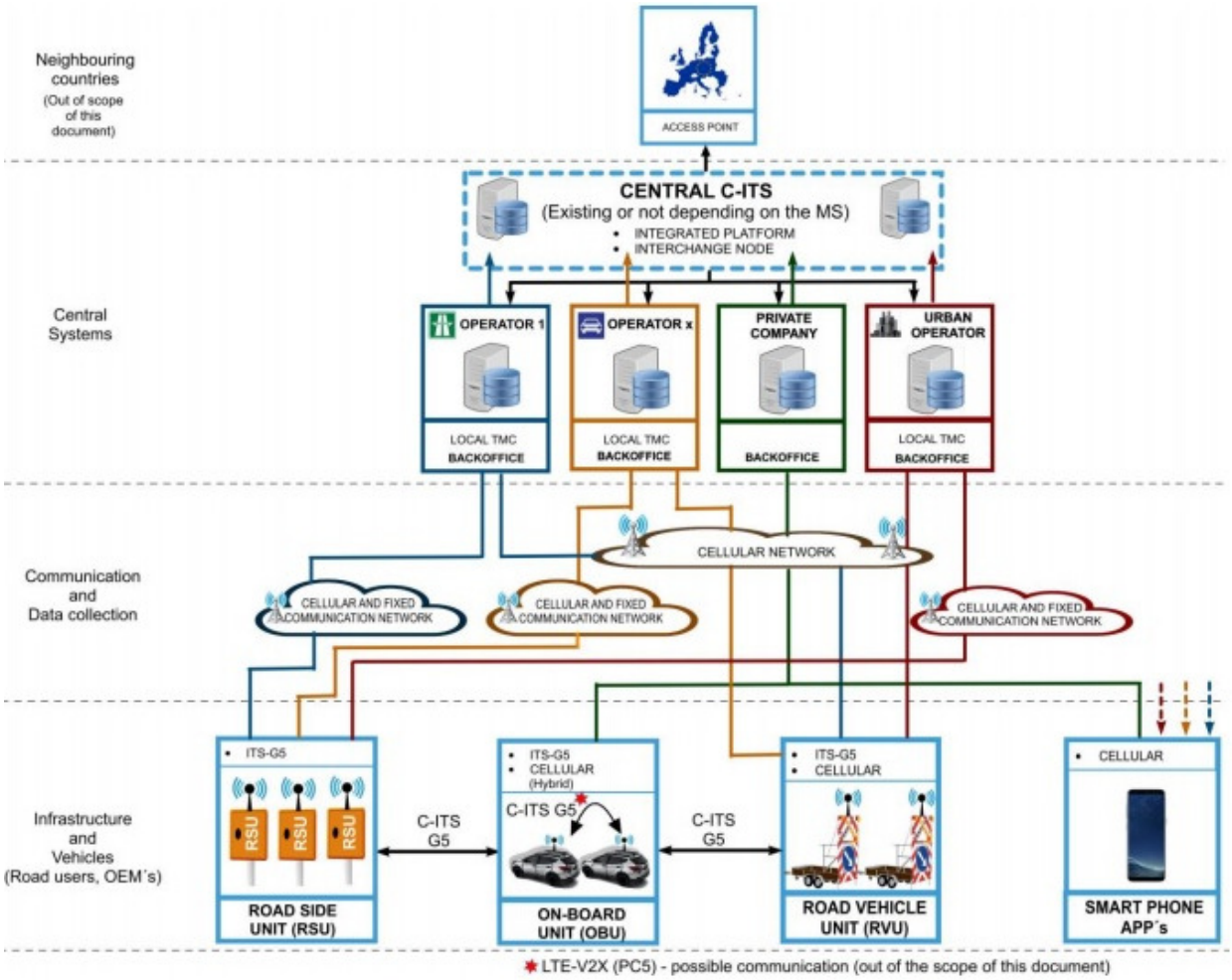
3.5 Utvecklingsarbete för datautbyte

På europanivå pågår projektet C-Roads för att utveckla datautbyte i Europa. NordicWay, NordicWay 2 och 3 är nordiska projekt där flera delprojekt genomförts i Sverige. Inledningsvis har företag, myndighet och frivilliga förare i Sverige, Norge, Danmark och Finland varit uppkopplade och utbytt information med varandra. Genom uppkoppling har förarna fått tillgång till information om väderförhållanden, väghinder, vägarbeten och halka (Trafikverket, 2018a).

3.5.1 C-Roads

C-Roads är en europeisk plattform för Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) som arbetar med att ta fram tekniskt underlag till C-ITS vad gäller: säkerhet, tjänster, korta avstånd, hybrid (långa avstånd) och gränsöverskridande tester.

Genom C-Roads och dess flertal pilotprojekt i olika europeiska länder har en generell arkitektur föreslagits, se figur 3.2. Olika förutsättningar i medlemsländerna i C-Roads vad gäller t ex organisationsstruktur och utgångspunkt, målsättningar och politiska beslut, geografi och antal transportoperatörer motiverar att det är ett förslag på möjlig, inte tvingande, layout för C-ITS system.



Figur 3.2 Förenklat organisationsschema utvecklat inom C-Roads (C-Roads, 2019)

I skiktet med centrala system finns det två viktiga delar:

- C-ITS back-Office
- Centralt C-ITS

Back-office (BO) är den centrala delen i C-ITS systemet. BO koncentrerar den mesta viktiga data och distribuerar vidare till delar lägre ner i systemstrukturen: *road side units* (RSU), *road vehicle units* (RVU), *on-board units* (OBU) och appar för mobiler, och möjligtvis även till *traffic controll centres* (TMC). Kommunikation mellan BO och resten av C-ITS systemet är dubbelriktad. BO kan drivas av vägoperatörer eller tjänsteleverantörer. Beaktande av säkerhets- och integrationskrav för BO är viktigt.

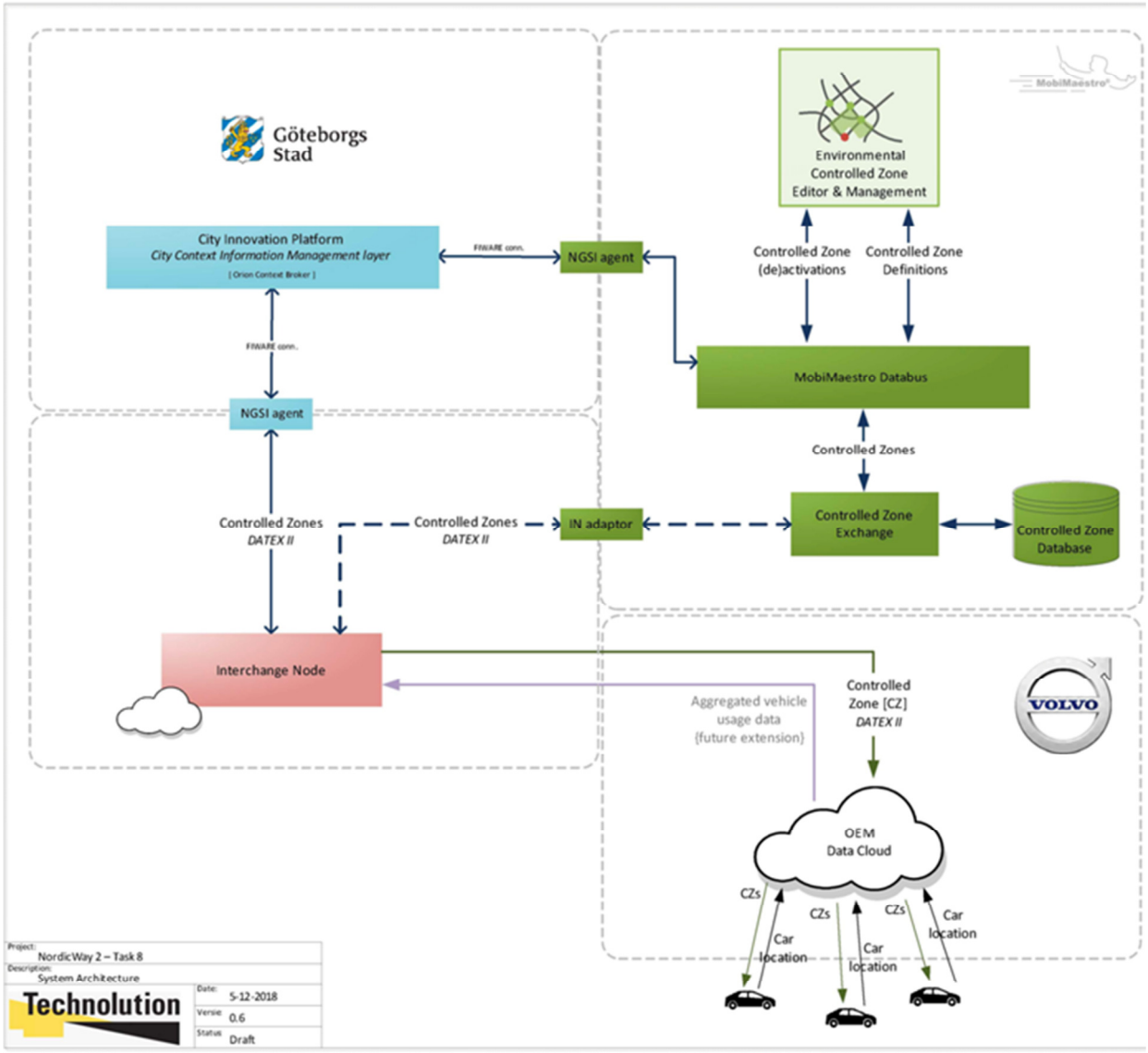
Genom att införa centrala C-ITS kan anslutningar skapas mellan BO och TMC (*Traffic Message Channel*) för snabb och tillförlitlig dataöverföring. I vissa länder, exempelvis Tyskland och Frankrike, ansluter BO direkt till den nationella accesspunkten utan C-ITS emellan. Konceptet cental ITS är under utredning (C-Roads, 2019).

3.5.2 NordicWay

NordicWay 2 ska bidra till utveckling och harmonisering av C-ITS tjänster med moln-till-moln kommunikation. Genom uppkopplade fordon och infrastruktur ska förare kunna få realtidsuppdaterad trafikinformation. Inom NordicWay 2 ska utveckling ske av en digital infrastruktur som stödjer hybrid kommunikation av trafikrelaterad data. Det är förberedande steg inför implementering av C-ITS tjänster (CLOSER, 2020b).

Det angreppssätt som används i NordicWay 2 består av två delar: långhållskommunikation (cellulära nätverk), OEM kanal till fordonet och informationsutbyte i molnmiljö samt korthålls-kommunikation i undantagsfall när det finns särskilda skäl.

En pilotstudie med miljözoner har genomförts inom projektet i Göteborg där hybridfordon vid passage till miljözon automatiskt ska övergå till eldrift. Gränserna bestäms av väghållaren. Projektet har presenterat en systemarkitektur för geofencing i Göteborg som bygger på datautbyte via interchange nod för att koppla samman den kommunala väghållaren och fordon, se figur 3.3 (CLOSER, 2020c).



Figur 3.3 Förslag på systemarkitektur för geofencing zoner i Göteborg, framtagen inom projektet NordicWay 2 i samarbete mellan Göteborgs Stad, Technolution, Volvo Cars och CLOSER (CLOSER, 2020c)

Inom kommande projekt, NordicWay 3, kommer infrastruktur för dynamisk geofencing adresseras såväl som statisk infrastruktur (befintliga lagar och regler) och dimensionerade infrastruktursparametrar (bärighet, brohöjder etc.). Utgångspunkten är att använda befintliga produktionskanaler som nationell vägdatabas (Berg, 2020).

3.5.3 High Level Data Task Force

Trots ITS-direktivet (2010/40/EU) från 2010 och EU kommissionens delegerade akt om tillgång till data för trafiksäkerhetsrelaterade tjänster (EU886/2013) från 2013 har utvecklingen av datautbyte gått långsamt. För att driva på utvecklingen etablerades ”High Level Data Task Force” vid ett ministermöte i Amsterdam 2017.

Konceptet är baserat på kommunikation via mobilnät och ”Extended Vehicle konceptet”, dvs tillhandahållande från fordonsleverantörs back-end system. Åtkomstpunkterna för data är decentraliserade med minst en åtkomstpunkt per aktör. Detaljerad teknisk specifikation finns inte utan istället gäller att tillhandahåll data på det sätt som är möjligt. Varje deltagare väljer själv var data hämtas ifrån och hur bearbetning, aggregering etc. ska hanteras. Det finns ett fokus på villkoren för datautbyte för att skilja på kommersiell och icke-kommersiell användning av data. Vidare tydliggörs rollen för nationell åtkomstpunkt, *National Access Points* (*NAP*) (Svensk, 2020).

High Level Data Task Force är ett ettårigt proof of concept-projekt som startade sommaren 2019, i vilket 8 medlemsländer ingår tillsammans med 5 fordonsleverantörer, tre tjänsteleverantörer och ytterligare aktörer medverkar i en dialog. Sverige är inte med i projektet då offentlighetsprincipen och villkoren om restriktioner för användning av tredje part inte uppges går ihop. Trafikverket kommer att ta frågan om offentlighetsprincipen i relation till data-utbyte hos offentliga aktörer i Sverige vidare.

En överenskommen licens om datautbyte planeras av Data Task Force att vara på plats från och med juni 2020 (Svensk, 2020).

3.5.4 Öppen data – Sverige

I Sveriges nationella vägdatabas, NVDB, finns information om alla statliga, kommunala och enskilda vägar i Sverige. Öppen data för dessa vägar samt järnvägsdata finns tillgängliga via Trafikverkets fillager, och tjänsten Lastkajen. Här finns till exempel data om *broar och tunnlar* gällande genomfart, konstruktion, sidopassage, underfart och överfart. För *tillfälliga framkomlighetsrestriktioner* finns i dagsläget *Företeelsetillkomst* och *tjälrestriktioner* (Trafikverket, 2018b).

I Stockholm publiceras öppen data från kommunen (staden) genom dess dataportal, dataportalen.stockholm.se. Exempel på datauppgifter är trafikflöden (från 2014–2015), gatuarbete, parkeringsdata – specialparkering för lastbil, parkeringsdata – ändamålsplats, TA-plan med större trafikpåverkan och trafikolycka (senaste 10 åren). Även uppgifter från NVDB såsom bärighet, vägbredd, begränsningar av fordonslängder och begränsningar av bruttovikter kan laddas ner (Stockholms stad, 2019b).

Baserat på ett regeringsuppdrag om att öka den offentliga förvaltningens förmåga att tillgängliggöra öppna data, bedriva öppen och datadriven innovation samt använda artificiell intelligens (Regeringskansliet, 2019b) pågår utveckling av *Sveriges dataportal,* dataportal.se (tidigare *öppnadata.se*) som en samlingsplats för myndigheternas öppna data. Myndigheten för digital förvaltning (DIGG) leder uppdraget med dataportalen som även kommer att innehålla data som inte nödvändigtvis kategoriseras som just öppna data. I dagsläget innehåller portalen ungefär 2 200 datamängder från ungefär 150 organisation, bland annat Trafikverket och kommuner (DIGG, 2020).

4 Effekter av trafik med tunga lastbilar

4.1 Markvibrationer

Vibrationer i gatu- och vägstrukturen kan ge upphov till utmattning. Vid belastningar från fordon utsätts gator och vägbanor för statiska laster i form av horisontella och vertikala töjningar vilket kan resultera i sprickor och andra skador. Tunga fordon ger även upphov till dynamiska laster på gator eller vägbanor från exempelvis hjulskakningar vid däckens egenfrekvens. Ökningen av den dynamiska lasten i förhållande till den statiska lasten blir mindre för fordon med fler axlar, än för fordon med färre antal axlar. Även ojämnheter i gator eller vägbanor, exempelvis kullersten, brunnar och farthinder, ger upphov till dynamiska laster (Carlén, 2013).

Bland annat tung trafik ger upphov till rörelser i marken vilka orsakar spänningar i jorden. Spänningsvågorna sprids till omgivningen vilket ger markvibrationer. Spridningen av vågorna påverkas bland annat av materialens styvhet och de geometrier som vågorna passerar. Utbredningen av vågor kan dämpas av materialet. Materialdämpningen är störst i lösa jordar. Resonans kan uppstå i jordlager om källan ger upphov till vibrationer med samma frekvens som jordlagrets egenfrekvens. Vid resonans kan stora skador eller störningar uppstå (SGF, 2013).

Vibrationer från fordon beror till stor del på fordonets hastighet och vikt, men uppkomsten av markvibrationer är komplex. Vibrationer och stomljud överförs till omkringliggande byggnader. Stomljud har vanligtvis en frekvens på 20–300 Hz (människans hörselområde är 20–20 000 Hz). Markvibrationer (komfortvibrationer) är däremot lågfrekventa med en frekvens på 1–80 Hz. Markvibrationerna kan kännas fysiskt i mark och byggnader. Eftersom stomljud har höga frekvenser uppstår stomljud vanligen vid spårtrafik på hård mark eller bergunderlag. Stomljud är däremot ovanligt i samband med vägtrafik och komfortstörande vibrationer (Lindmark, 2016).

Storleken på markvibrationerna påverkas av hur jämn vägbanan är, fordonets typ, vikt och hastighet samt markslag som vägen är byggd på. Hur mycket byggnaderna påverkas beror på avståndet mellan väg och byggnad samt grundläggning och byggnadskonstruktion. Vibrationer kan ge upphov till hör- och kännbara vibrationer samt leda till skador på omgivande byggnader. Byggnader som står på lösa jordarter, såsom leror med hög vattenhalt, påverkas mer av vibrationer (Möller *et al*., 2000). Vägverket har fastställt riskavstånd mellan väg och byggnad för olika underbyggnader och trafikhastigheter (se tabell 4.1).

Tabell 4.1 Vägverkets riskavstånd mellan väg och byggnad vid olika underbyggnader och trafikhastigheter (Lindmark, 2016)

Grund	50 km/h	70 km/h	90 km/h
Lös lera	< 80 m	< 100 m	< 110 m
Sand	< 8 m	< 10 m	< 10 m
Morän	< 5 m	< 5 m	< 6 m

Komfortvibrationer från fordon påverkas bland annat av jordart, geoteknik under väg, byggnad och mellanliggande jord, vägkroppens byggnad, om ett eller två hjul passerar samtidigt, ojämnhetens storlek, fordonets vikt/ofjädrade massa, antal hjulaxlar, byggnadens grundläggning samt bjälklagskonstruktion. Genom att sänka hastigheten kan vibrationsstörningarna reduceras (Lindmark, 2016). Markvibrationer påverkas av fordonets axelvikt, avståndet mellan hjulaxlarna samt hastigheten. Hastighetens inverkan på vibrationerna beror på hur ojämn vägen är. Ju mer ojämn vägen är desto mer påverkar hastigheten vibrationsamplituden. Trafikvibrationer är vanligen störst när underlaget består av mjuk lera som är mellan 7 och 15 m djupt. Vintertid då marken är frusen kan vibrationsnivåerna mer än halveras (Hunaidi, 2000).

Risk för sättningar i mark och byggnader finns då marken består av lösa jordarter eller en kombination av lösa jordarter och berg. Lösa jordarter dämpar högfrekventa vibrationer bra, men inte lågfrekventa vibrationer. Vid förekomst av lösa jordarter som ligger i ett ytligt lager över berggrunden kan resonans i jordlagret uppstå (Lundberg *et al.,* 2011). I bland annat Danderyds kommun i Storstockholm har trafikförvaltningen (SL) fått klagomål över att bussarna orsakar vibrationer som ger skador på fastigheter. För att minska dessa problem sänktes hastigheten till 40 km/h och kullersten undveks (Danderyds kommun, 2012). Störst problem med markvibrationer inom Stockholms stad kommer från boggi- och ledbussar. Idag tillåts ledbussar med 3 axlar att ha en bruttovikt på 28 ton, jämfört med 3-axlade lastbilar som tillåts ha en bruttovikt på 26 ton.

Det händer även att bussar överskrider den tillåtna totalvikten vid högtrafik. Detta gäller särskilt drivaxellasten på 11,5 ton vid BK1 vilken ofta överskrids. Oftast uppstår vetskap om vibrations-problem först när fastighetsägare påtalar problemen som sedan undersöks (Jansson, 2015).

Idag saknas standarder för riktvärden och mätmetoder för vibrationer från vägfordonstrafik. Istället används ofta den föreliggande standarden för vibrationer orsakade av anläggningsarbete, (SS 02 52 11) ”Vibration och stöt – Riktvärden och mätmetoder för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning”. Riktvärdet för det momentana toppvärdet för vibrationen är beroende av byggnadens konstruktion (Lindmark, 2016). Samma riktlinjer används inte alltid för uppskattning av störning från vibrationer. Exempelvis använder Region Stockholm (SLL) och Trafikverket olika riktlinjer, men vid nybyggnad har Trafikverket börjat tillämpa samma riktlinjer som SLL och Stockholms stad. Göteborgs Stad använder dock andra riktlinjer (Lindmark, 2016). För att vibrationerna ska ge upphov till byggnadsskada krävs att vibrationerna är i storleksordningen 10 till 100 gånger större än de värden som normalt ger komfortstörningar (Fromell, 2018)

Enligt svensk standard (SS 460 48 61) ”Mätning och riktlinjer för bedömning av komfort i byggnader” klassas trafikvibrationer som en måttlig störning om de uppgår till 0,4–1,0 mm/sekund rms (vägd hastighet) och som sannolik störning om vibrationerna uppgår till mer än 1,0 mm/sekund rms (vägd hastighet). En sannolik störning innebär att vibrationerna är kännbara och upplevs som störande av många. Vid en måttlig störning upplever en mindre andel vibrationerna som störande (Huddinge kommun, 2015). Miljöförvaltningen i Stockholm bedömer att trafikvibrationer är ett relativt begränsat problem i Stockholm, men att de som är berörda av detta blir mycket störda. Under 2015 fick Miljöförvaltningen in ett tiotal klagomål gällande trafikvibrationer. Ett exempel på ett område där boende blivit störda av vibrationer är Sörgårdsvägen i Solhem, Spånga. Vibrationerna uppstår främst när tunga fordon trafikerar en ojämn vägbana med instabila markförhållanden, exempelvis lera (Stockholms stad, 2016c).

Markunderbyggnaden i den största delen av centrala Stockholm består av berg, men även lera, sand, grus, morän och isälvssediment förekommer. Isälvssediment är en form av skiktat naturgrus som har en ogynnsam vibrationsutbredning.

4.2 Buller

I lagens mening definieras buller som oönskat ljud på nivåer som kan utgöra en risk för olägenheter för människor. Buller kan påverka människors hälsa och möjligheten till en god livsmiljö. Effekter av trafikbuller är exempelvis påverkan på sömn, taluppfattning och störd vila. Det är även möjligt att prestation och inlärning påverkas negativt. Långvarig och kraftig exponering av buller kan ge hörselskador. Vid starkare buller krävs kortare exponeringstid för att hörselskador ska uppstå. Det bullret som uppstår från vägtrafiken är normalt inte av en sådan styrka att det ger upphov till hörselskador. En av de vanligaste negativa konsekvenserna av trafikbuller är sömnstörningar.

Ett ljud vars styrka är konstant i tiden beskrivs ofta med ljudnivå i decibel (dB). Ofta viktas ljudets frekvens på ett sätt som gör att det motsvarar hur det mänskliga örat uppfattar ljudet, detta anges genom ett indexerat ”A” vilket ger beteckningen dB(A). Detta ger ett mått på ljudnivå som är enkelt att arbeta med och kan mätas upp genom en ljudnivåmätare. Decibel är ett logaritmiskt mått vilket innebär att när två bullerkällor med samma ljudnivå adderas ökar ljudnivån med 3 dB(A). Därav ger en fördubbling av trafikmängden en ökning av ljudnivån med 3 dB(A). För trafikbuller används två störningsmått, ekvivalent och maximal ljudnivå. Den ekvivalenta ljudnivån avser medelljudnivån under en given tidsperiod, för trafikbuller är ett dygn den vanligaste. Maximal ljudnivå avser den högsta förekommande ljudnivån (Trafikverket, 2017b). För att minimera risken av störningar finns Naturvårdverkets riktlinjer för byggplatser och vägtrafik (Naturvårdverket, 2019a; 2019b) om ekvivalentnivå inomhus på 30 dB(A) och maximalnivå inomhus nattetid på 45 dB(A).

Ljudnivån från vägtrafikbuller beror på ett antal olika faktorer, de viktigaste är antalet fordon, fordonsslag, hastighet, körsätt, däcktyp och vägbeläggning. Bullret uppkommer från fordonets motor, avgassystem och från kraftöverföring via däcken och i kontakten mellan däck och vägbanan. Ljud från motor och avgassystem är dominarande vid låga hastigheter, för personbilar tar ljudet från däck och vägbana över vid 30–50 km/h och för tunga fordon vid 50–70 km/h (Trafikverket, 2017a).

Det är komplicerat att mäta buller för att ta fram ett rättvisande dygnsmedelvärde eller maximalnivå. För att åstadkomma detta behöver tidpunkten för mätningen och mätperiodens längd väljas med stor omsorg. Vid mätningar utomhus påverkas resultaten i mycket hög grad av väder, vind och andra källor än trafiken. Därför är den bästa metoden för att analysera trafikbuller att utföra beräkningar. Vid beräkningar av trafikbuller i Sverige används den nordiska beräkningsmodellen som utgår från trafikmängd, trafikslag, hastighet, terrängförhållanden och bebyggelse (Trafikverket 2018d).

4.3 Emissioner

Fordon som använder förbränningsmotorer ger upphov till emissioner och de emissioner som tas i beaktning för denna studie är, partiklar (PM), kväveoxid (NO_X), kolväten (HC), kolmonoxid (CO) och koldioxid (CO_2) vilka ger en negativ påverkan på försurning, övergödning, humantoxicitet samt global uppvärmning se tabell 4.2. De miljökvalitetsmål relaterade till emissioner som detta projekt förväntas bidra till är *begränsad miljöpåverkan*, *frisk luft, ingen övergödning* och *bara naturlig försurning*.

Tabell 4.2 Emissioners påverkan för olika kategorier (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007)

Potentiell påverkan	**Emissioner**
Global uppvärmning	CO_2, CO, HC, NO_X
Humantoxicitet	NO_X, PM
Försurning	NO_X
Övergödning	NO_X

4.4 Påverkan på väginfrastruktur

Hastighet spelar stor roll när det gäller uppkomst icke-avgasemissioner. En ökning från 50 km/h till 80 km/h gav ökningar av dessa emissioner med 60–175 % vid mätningar med två olika mobila mätningsfordon (Volkswagen LT35 respektive Volkswagen LT 35, 2002) kallade *sniffer* och *EMMA* (Lundberg, 2018). Dubbdäck bidrar till nötningsslitage och bildandet av slitagepartiklar från vägar. Tunga lastbilar använder dock inte dubbdäck vilket innebär att de inte bidrar till icke-avgasemissioner i samma utsträckning som persontrafiken där dubbdäck används. Förändringar i övriga icke-avgasemissioner som uppkommer från lastbilars däck och bromsar när hastigheten ändras förefaller inte vara klarlagda. Gällande bromsemissionerna handlar det troligen mer om hur hårt inbromsningen sker snarare än fordonets hastighet, i synnerhet då varmare bromsar ökar emissionerna av partiklar. Annan nedbrytning på grund av trafik orsakar spår i vägen samt krackelering och sprickbildning. Rent allmänt ökar påfrestningen från lastbilar (samt nedbrytningseffekten) med ökande däcktryck (given samma axellast) överst i vägkonstruktionen (närmast ytan), dock avtar denna effekt med djupet. Går man längre ner i konstruktionen är det dock axellasten som är avgörande och däcktrycket spelar en mindre roll (Lundberg, 2019).

Vilken påverkan lufttrycket i däck har på mängden bildade icke-avgasemissioner är inte klarlagt (Lundberg, 2019). Li *et al*. (2012) använder lufttryck som en ingående parameter för att modellera slitage. Det är då kopplat till fysikaliska principer såsom däckdeformation och hur varma däcken är etc. Det finns inte många studier avseende belagda vägar, såsom asfaltsbetongvägar och cementbetongvägar, men det finns en del studier avseende obundna vägar (grusvägar) (Lundberg, 2019). Exempelvis Gillies *et al.* (2005) visar på samband mellan fordonshastighet och emissioner (på grusväg) oberoende av fordonsvikten [*Normalized Emissions, NE = 0.014 x (km/hr)*].

För bättre prognostisering och förståelse av spårbildning i asfaltslager, har ett verktyg PEDRO (PErmanent Deformation of asphalt concrete layer for ROads) utvecklats vid VTI. Det har skett inom projektet Prognostisering av spårtillväxt – asfaltbeläggningar under perioden 2016 - oktober 2019. Med hjälp av PREDO kan val av beläggning vid underhållsarbete och dimensionering av vägar göras. Verktyget ger även uppskattning av skadegrad från olika typfordon och däckkonfiguration (VTI, 2019).

4.4.1 Metodik för beräkning av vägslitage

En av de faktorer med störst betydelse är kontakttrycken under däcken vilket främst beror på axellasten och däckkonfigurationen (Granlund *et al.,* 2016). Skillnaden i slitagekostnaden mellan två fordon beräknas ofta med fjärdepotensregeln, vilket förenklat kan beskrivas som $(A/B)^4$ där A är axellasten för det ena fordonet och B är axellasten för det andra fordonet. En fördubblad axellast ökar därmed nedbrytningen med 16 gånger. Denna metod tar dock inte hänsyn till vägstandard, däcktryck, klimatförhållanden m.m. (Vierth *et al.,* 2008).

Fjärdepotensregeln ger endast en grov bild av vägslitaget och beroende på vägkonstruktion, vägunderbyggnad m.m. kan potenstalet avvika kraftigt från 4. Däremot kan fjärdepotensregeln användas för att jämföra olika tunga fordon med varandra. Fjärdepotensregeln som tar hänsyn till axel- och däckkonfigurationer och beräknar vägslitageeffekten i respektive hjulspår visas nedan (Granlund *et al*., 2016).

$$ESAL_{10} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_i} \frac{A_i B_{ij} C_i D_{ij}}{m_i} \left(\frac{P_{ij}}{5}\right)^4$$

Där:

$ESAL_{10}$	Antal 10 tons standardaxlar för fordonet i aktuellt hjulspår (dvs. i ett av hjulspåren)
N	Antal axelgrupper för ekipaget
m_i	Antal axlar i axelgrupp nr. i
A_i	Korrektionsfaktor för antal axlar och avståndet mellan axlarna inom axelgruppen nr i
B_{ij}	Korrektionsfaktor för däckkonfigurationen på axel nr ij
C_i	Korrektionsfaktor för fjädringssystemet på axelgruppen nr i
D_{ij}	Korrektionsfaktor för lufttrycket i däcken på axel nr ij
P_{ij}	Last i ton per hjul på axel nr ij
m_i	Antal axlar i axelgrupp nr i

En axellast på 10 ton används vanligen som referens (axellast för fordon B) och kallas då standardaxel. Resultatet från fjärdepotensregeln anger då hur många 10 tons axlar som det tunga fordonet motsvarar slitagemässigt. I Sverige har det genomsnittliga tunga fordonet 1,3 standardaxlar (Granlund *et al.,* 2016).

För boggi används A_i= 1,4 (1,4 m axelavstånd) och A_i = 1,75 (1,8 m axelavstånd) och för tridem används A_i=1,9 (1,4 m axelavstånd).

För enkelmontage används B_{ij} = 2,91 vilket motsvarar en däckbredd på 315 mm. Vid dubbelmontage används B_{ij}=1. För boggi där den ena axeln har dubbelmonterade hjul och den andra axeln enkelmonterade hjul interpoleras värdet för B_{ij} till 1,955. För tridem där två av axlarna har dubbelmonterade hjul och den tredje axeln har enkelmonterade hjul interpoleras värdet för B_{ij} till 1,637.

För bladfjädring är C_i = 1,0 och för luftfjädring är C_i = 0,95.

Lufttrycket i däcken antas allmänt vara ca 7 bar och D_{ij} ansätts därför till 1,0. I det fall där styraxeln har en axellast på 8 ton används D_{ij}=1,18.

För axelgrupper där axellasten per axel skiljer sig mellan de olika ingående axlarna approximeras beräkningarna till att den totala lasten i axelgruppen fördelas jämnt över hjulen, det vill säga att P_{ij} = totala axellasten i axelgruppen dividerat med antalet hjul i axelgruppen.

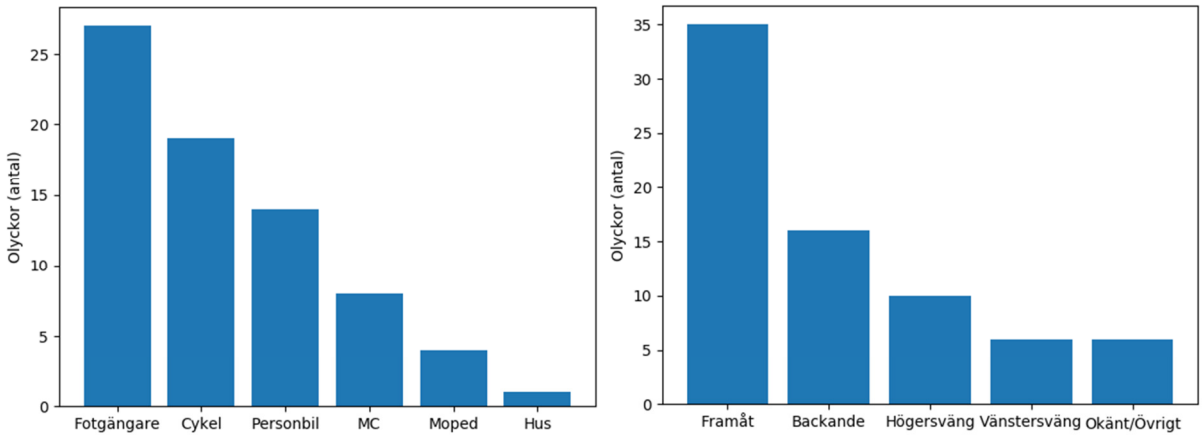
4.5 Trafikträngsel

Trafikträngsel uppstår företrädesvis i tätorter och på tillfartsvägar, detta ger upphov till höga kostnader i form av ökad bränsleförbrukning och förseningar. Till följd av att majoriteten av gods- och pasagerartransporter börjar eller slutar i tätorter inverkar trafikträngseln i dessa områden även negativt på resandet mellan städer (EU kommissionen, 2009). Stockholm har infört en trängselskatt med avsikt att minska antalet fordon och därmed minska fordonsträngseln samt förbättra framkomligheten och miljön i Stockholms innerstad (Stockholmsförsöket, 2006).

Data från trängselskattspassager i Stockholm exklusive passager på Essingeleden under 2016 visar att 76 % av passagerna utgjordes av personbilar, 18 % av lätta lastbilar, 3,1 % av tunga lastbilar och 2,6 % av bussar (Goodall *et al*., 2017*).*

4.6 Trafiksäkerhet

I en studie om dödsolyckor på kommunala vägar under perioden 1997–2002 var tunga lastbilar inblandade i 73 olyckor innefattande 74 omkomna personer när självmord exkluderats. De trafikanter som var inblandade i flest dödsolyckor med tunga lastbilar är oskyddade trafikanter. 50 av 73 olyckor (68 %) avsåg oskyddade trafikanter, vilket inkluderar fotgängare, cyklister och mopedister se figur 4.1 (VTI, 2012). Flest antal dödsolyckor inträffar när lastbilen färdas framåt (48 %), därefter vid backning (22 %) följt av högersväng (14 %) se figur 4.1. De två sistnämna olyckstyperna står för totalt 36 % och inträffar ofta till följd av chaufförens begränsade sikt.



Figur 4.1 Trafikelement inblandade i dödsolyckor med tunga lastbilar samt lastbilens färdriktning vid dödsolyckor på det kommunala vägnätet 1997-2002, (VTI, 2012)

WSP har genomfört studien *Olyckor med dödlig utgång, tunga lastbilar inblandade, år 2018* på uppdrag av Transportföretagen. Data som analyserats är hämtad från trafikverkets olycksdatabas Strada (*Swedish Traffic Accident Data Acquisition*). Under 2018 stod tung trafik för olyckor som gav 70 dödsfall samt 6 allvarligt skadade. Väghållaren har angetts för 61 av dödsfallen där 50 skedde på statliga vägar, 9 på kommunala samt 2 på okända vägar. Hälften av dödsolyckorna har inträffat på vägar med hastighetsbegränsning 70 eller 80 km/h och cirka 20 % på vägar med en hastighetsbegränsning på 30 till 60 km/h (WSP, 2019).

VTI (2012) sammanfattar att litteraturen visar på att det är komplext att uppskatta hur trafiksäkerheten skulle påverkas av längre och tyngre fordon. Där vissa studier dras slutsatsen att längre och tyngre fordon kan ge en positiv nettoeffekt på trafiksäkerheten medan andra visar att förändringen av olycksfrekvensen blir liten i jämförelse med konventionella fordon. Det finns även studier som indikerar att olycksrisken blir något förhöjd per fordonskilometer.

4.7 Intervjuer

Vid intervjuer med representanter för Sveriges Åkeriföretag, åkerier, förare och den kommunala väghållaren Stockholms stad framkom att de har goda kunskaper gällande regler för tyngre fordons vikter och dimensioner och att de var överens om att en ökad fordonslängd ger ökad tillåten lastvikt per fordon vilket leder till att antalet fordonsförflyttningar samt bränsle-förbrukningen per ton last minskar. Det sågs som problematiskt att det under dagtid är trångt i centrala Stockholm när alla trafikanter måste samsas om vägutrymmet.

Prestandabaserade regelverk med geografiska begräsningar, geofencing, ger möjlighet att öka fordonslängden och att bibehålla god framkomlighet. Ett prestandabaserat regelverk anses av Sveriges Åkeriföretag vara ett bättre regelverk än dagens då det möjliggör att längre fordon kan används och därmed ge möjlighet till att öka transporteffektiviteten vilket krävs för att uppnå klimatmålen (Wiberg, 2019).

Detta kan möjliggöra för åkerier att själva välja vilka fordon som ska användas vid ett transportuppdrag, vilket även förväntas vara nytta till övriga trafikanter då antalet fordonsrörelser blir färre. Buller och vibrationer behöver utredas så att påverkan inte blir större än vad den är idag.

En omställning kommer att ta tid och diskussionen om att tillåta längre fordon i Stockholm har pågått under ett par år. Frågan har varit uppe i fullmäktige två gånger men stoppats. Sveriges Åkeriföretag anser att en diskussion måste föras, utifrån sakförhållanden och fakta, och att högre transporteffektivitet är nödvändigt för att uppnå de uppsatta klimatmålen.

Från olika åkerier har uppgifter framkommit om att det idag finns geografiska områden med en begränsad framkomlighet där det inte är möjligt att ta sig fram med längre fordon än vad som hittills använts. Problem uppstår ofta med felparkerade (dubbelparkerade) personbilar som tar körbanan i anspråk vilket leder till att lastbilen behöver färdas i motsatt körbana för att ta sig fram. Även placering av vägskyltar och refuger vid smala korsningar kan skapa problem.

En intervjuad förare såg positivt på möjligheten att prestandabaserade regelverk med geografiska begränsningar kunde användes för att automatiskt anpassa hastigheten i geografiska zoner. Detta då många lastbilsförare inte respekterar rådande hastighetsbegränsningar.

En slutsats var att de personer som intervjuats såg stora fördelar i att tillåta längre fordon för att öka transporteffektiviteten och anser att en regeländring till 15 m är rimligt men att det kommer att leda till framkomlighetsproblem i vissa områden. Att möjliggöra längre fordon med stöd av ett dynamiskt prestandabaserat regelverk, för att behålla god framkomlighet, ansågs positivt från åkerinäringens sida. Från förarnas sida ansågs automatisk hastighetsanpassning vara ett bra hjälpmedel för att begränsa lastbilsförare att bryta mot hastighetsbegränsningar. För att inte öka de problem som förorsakas av buller och vibrationer behöver dessa frågor studeras vidare.

5 Fältprov

Två fältprov utfördes inom projektet, ett vibrationstest och ett framkomlighetstest.

Målet med vibrationstestet var att undersöka hur olika fordonskombinationer påverkar komfortvibrationerna i en byggnad samt att identifiera vilka vägfordons- eller lastbilsparametrar som påverkar vibrationerna.

Målet med framkomlighetstestet var att undersöka om det finns möjlighet att framföra längre fordon i centrala Stockholm och att identifiera prestandaparametrar som kan användas som mått på framkomlighet. Ett mål var vidare att påvisa att längden på ett ekipage inte korrelerar mot dess framkomlighet.

Resultaten från fältproven har använts för att undersöka och analysera de möjliga effekterna av ett prestandabaserat regelverk som tillåter längre och tyngre fordon utifrån produktivitet och effektivitet samt miljö, säkerhet, trängsel respektive påverkan på infrastruktur.

5.1 Vibrationstester

Vibrationsmätningar utfördes 2019-10-23 i ett vibrationskänsligt område längs Gamla Tyresövägen i Skarpnäck nattetid mellan kl. 01:00–05:00. Totalt gjordes mätningar för 12 olika kombinationer av ekipage och hastigheter. Som definierad vägojämnhet användes farthindret snoken, se figur 5.1.

Längd: 3 050 mm
Bredd: 230 mm
Höjd: 50 mm
Vikt: 22 kg

Figur 5.1 Den typ av farthinder som användes vid vibrationstesterna

Testet utfördes på ett område som tidigare berörts av vibrationsstörningar från tung trafik. Den adress som mätningarna utfördes på har tidigare använts för vibrationsmätningar på uppdrag av Stockholms stad. Marken i området innehåller mycket lera och är att betrakta som ett vibrationskänsligt område. De geotekniska förhållandena för området beskrivs från markytan och nedåt i jordlagerförhållandet enligt följande:

- Ungefär 0,2 m mulljord
- Mellan 5 m och 8 m varvig lera med tunna slitskikt, största mäktigheten mitt i kvarteret
- mellan 2 m och 10 m sand och slit, växellagret med tunna lerskikt, största mäktigheten i mitten av kvarteret
- Ungefär 1 m tunt lager fast friktionsjord, åsgrus och morän
- Berg

Lerans karaktär kan klassificeras som lös till halvfast. Vid mätningarna var marken tjälfri.

Mätning av vibrationer i husgrunden har genomförts i enlighet med svensk standard (SS 02 52 11) ”Vibration och stöt – Riktvärden och mätmetod för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning” varför vibrationshastighet i vertikalled [mm/s PEAK] i frekvens-området 2–150 Hz har registrerats. Mätning av komfortvägda vibrationer har genomförts i enlighet med svensk standard (SS 460 48 61) ”Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader”, varför vibrationshastigheter [mm/s] i frekvensområdet 1 – 80 Hz har registrerats.

Mätutrustningen som användes var av typ INFRA fältmätarsystem av fabrikat Sigcom bestående av två vibrationsmätare kopplade till en styrenhet. För att erhålla ett säkrare statistiskt resultat utfördes tre mätningar för vardera fordonkombination och respektive hastighet.

För mätning av vibrationer i husgrund monterades en geofon på den sida av huset som vetter åt vägen. Mätaren skruvades fast i en täckskiva för grunden och registrerade vertikala vibrationer. Triggnivån, den minsta vibrationshastighet som krävs för registrering av tidsförlopp av samtliga signaler, sattes till 0,20 mm/s hos denna mätare. De högsta värdena under varje 5 sekunders-period registrerades kontinuerligt oavsett vilka nivåer som registrerades av referensmätaren. Figur 5.2 visar den aktuella fastigheten ovanifrån och riktningarna för givaren inomhus.

För mätning av komfortvibrationer användes en triaxiell geofon med tillhörande montageplatta med spikar. Mätaren placerades under sängens fotända i det södra sovrummet på plan två. De tre mätriktningarna benämns enligt nedan.

- vertikalled (V-led) vertikala vibration
- latteralled (L-led) horisontella vibrationer i vägens längsriktning
- transversalled (T-led) horisontella vibrationer tvärs vägen

Figur 5.2 Fastigheten ovanifrån och riktningarna för givaren inomhus

Fordonsparametrar för de fordon som används och de hastigheter som studerats redovisas i tabellerna 5.1, 5.2 och 5.3.

Tabell 5.1 Fordon och fordonskombination som ingick i vibrationstestet

LB1

3-axlad boggibil (referensfordon)

Lastbilen är utrustad med luftfjädring på samtliga axlar, en drivande bakaxel samt dubbelmonterade däck på båda bakaxlarna. Fordonet är 8,3 m långt och tjänstevikten är 10,9 ton.

Fordonet är väl anpassat för BK2.

LB2

3-axlad boggibil

Lastbilen är utrustad med bladfjädring på framaxeln och luftfjädrade bakaxlar, varav en axel är drivande och försedd med dubbelmonterade däck Den bakersta stödaxeln är försedd med singelmonterade däck. Fordonet är 8,2 m långt och tjänstevikten uppgår till 11,9 ton.

LB3

3-axlad boggibil + 3-axlad kärra

Lastbilen är utrustad med bladfjädring på framaxeln och luftfjädrade bakaxlar samt har en drivande bakaxel med dubbelmonterade däck.

Kärran är utrustad med luftfjädring på samtliga axlar samt försedd med enkelmonterade däck.

Hela ekipaget är 15,9 m långt och tjänstevikten uppgår till 18,3 ton.

LB4

3-axlad dragbil + 3-axlad trailer

Dragbilen är utrustad med bladfjädring fram och luftfjädrande bakaxlar vilka båda är drivande och försedda med dubbelmonterade däck.

Trailern är utrustad med luftfjädring på samtliga axlar, enkelmonterade däck och en skjutbar boggi.

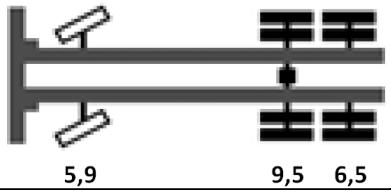
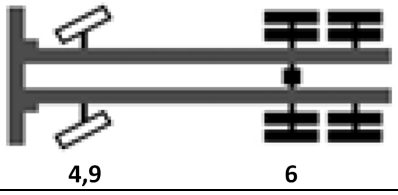
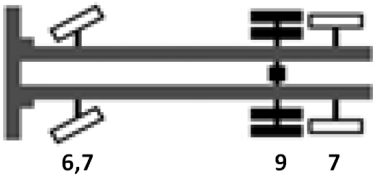
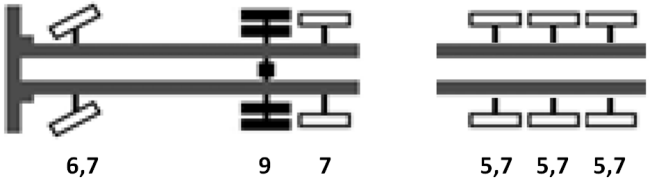
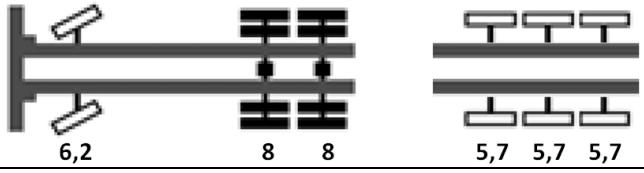
Hela ekipaget är 15,3 m långt och tjänstevikten uppgår till 20,1 ton.

Tabell 5.2 Fordonsparametrar och hastigheter för de studerade fordonskombinationerna

Fordon	**LB1 (a)**	**LB1 (b) olastad**	**LB2**	**LB3**	**LB4**
Testade hastigheter (km/h)	20 och 40	20 och 40	20 och 40	20 och 40	10, 20, 30 och 40
Längd (m)	8,3	8,3	8,2	15,9	15,3
Tjänstevikt (ton)	10,9	10,9	11,9	18,3	20,1
Lastvikt (ton)	11	0	10,8	21,7	19,2
Bruttovikt (ton)	21,9	10,9	22,7	40	39,3
Tillåten bruttovikt vid BK2 (ton)	23,5	-	22,8	-	-
Möjlig last vid BK2 (ton)	12,6	-	10,9	-	-
Antal axlar	3	2*	3	6	6
Fjädring fram	Luft	Luft	Blad	Blad	Blad
Fjädring bak	Luft	Luft	Luft	Luft	Luft
Fjädring efterfordon	-	-	-	Luft	Luft

* Fordonets tredje axel är upplyft när fordonet är olastat

Tabell 5.3 Axellaster, axelkonfigurationer och typer av däck för de undersökta fordonen och fordonskombinationerna vid tester

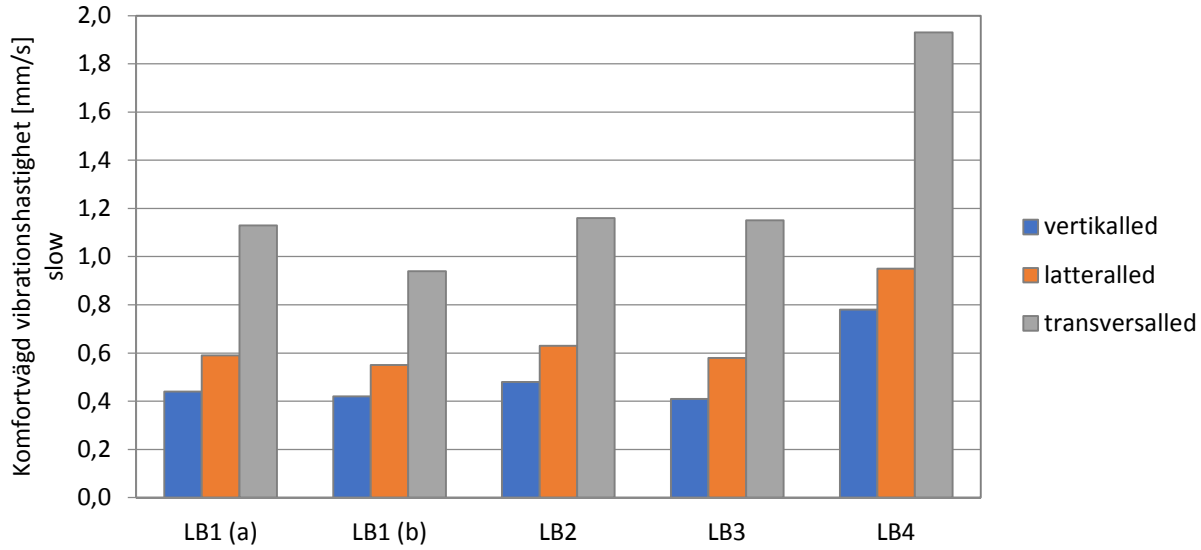
Fordonskonfiguration	Fordons-beteckning	Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)
3-axlad boggibil (Referens) 	LB1(a)	21,9	11
3-axlad boggibil (Olastad) 	LB1(b)	10,9	0
3-axlad boggibil 	LB2	22,7	10,8
3-axlad boggibil + 3-axlad kärra 	LB3	40	21,7
3-axlad dragbil + 3-axlad trailer 	LB4	39,3	19,2

5.1.1 Komfortvägda vibrationer

De redovisade värdena för varje kombination och hastighet är ett medelvärde för de tre passagerna. Samtliga mätvärden redovisas i bilaga 1.

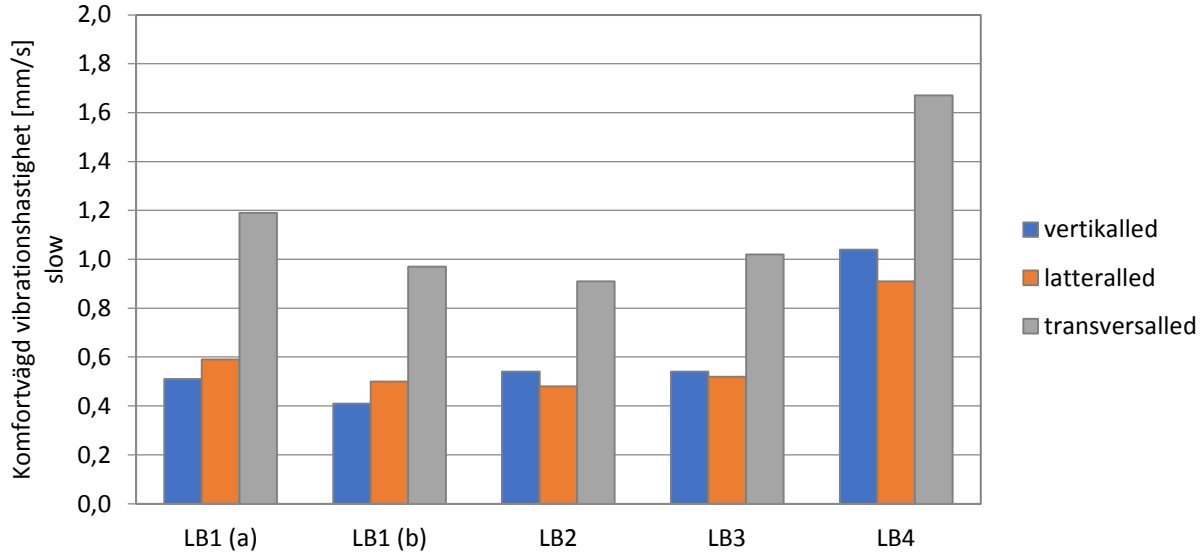
Vid de omständigheter som rådde vid testtillfället visar resultaten på att det vid 20 km/h endast är dragbilen med trailer som utmärker sig med högre vibrationer se figur 5.3. Övriga kombinationer ger vibrationer i samma storleksordning inklusive boggibil med kärra.

Vid 40 km/h ger den luft-luft fjädrade bilen, lastad och olastad, upphov till ungefär samma vibrationshastighet i horisontalplanet som vid 20 km/h. Övriga lastade fordon visar på något lägre värden i horisontalplanet vid 40 km/h.



Figur 5.3 Samtliga fordonskombinationer jämförda mot referensfordonet (LB1a) vid 20 km/h. Medelvärde av tre förbifarter

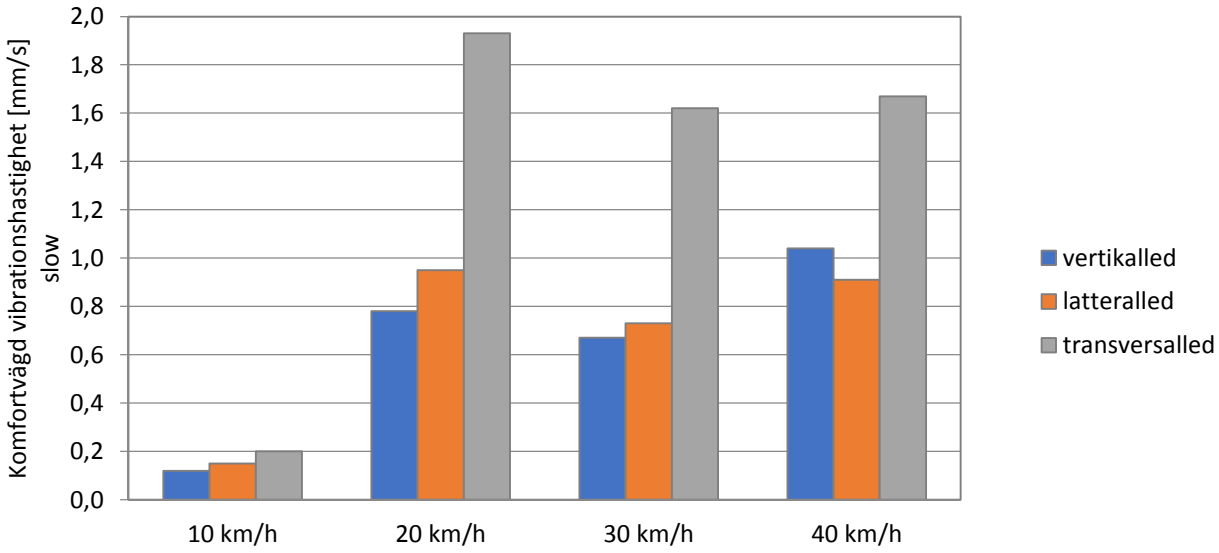
I vertikalled ökar vibrationshastigheten emellertid något vid 40 km/h jämfört med 20 km/h, se figur 5.4.



Figur 5.4 Samtliga fordonskombinationer jämförda mot referensfordonet (LB1a) vid 40 km/h. Medelvärde av tre förbifarter

Dragbil med trailer var den fordonskombination som uppvisade störst vibrationspåverkan vid de jämförda hastigheterna 20 och 40 km/h. Ekipagets vibrationspåverkan mättes också vid förbifart i 10 respektive 30 km/h. De högsta vibrationerna uppvisas i horisontalplanet vid förbifart i 20 km/h, se figur 5.5. Resultatspridningen mellan de tre förbifarterna har beräknats genom standardavvikelsens storlek i förhållande till medelvärdet. För samtliga fordonskombinationer, förutom dragbil med trailer, vid 10 km/h är standardavvikelsen mindre än 10 % av medelvärdet och i allmänhet mindre än 5 %. För fullständig data se bilaga 1.

Vid de omständigheter som rådde under testtillfället visar resultaten att det endast är fordonskombinationen dragbil med trailer (LB4) som utmärker sig med högre vibrationsnivåer. Övriga kombinationer ger vibrationer av samma storleksordning.



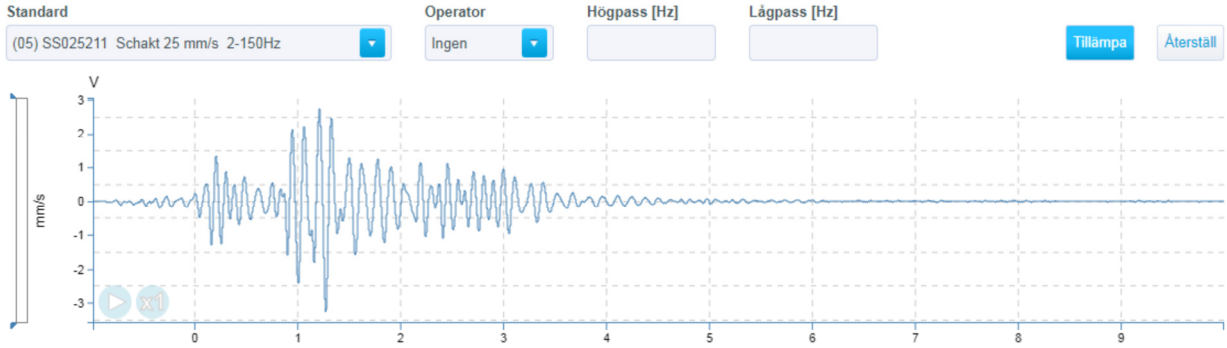
Figur 5.5 Dragbil med trailer vid olika hastigheter. Medelvärde av tre förbifarter

Resultaten visar även att en hastighetsökning från 20 till 40 km/h inte medför någon markant förändring av vibrationerna. En betydande reducering av vibrationer noteras först när hastigheten minskas till 10 km/h.

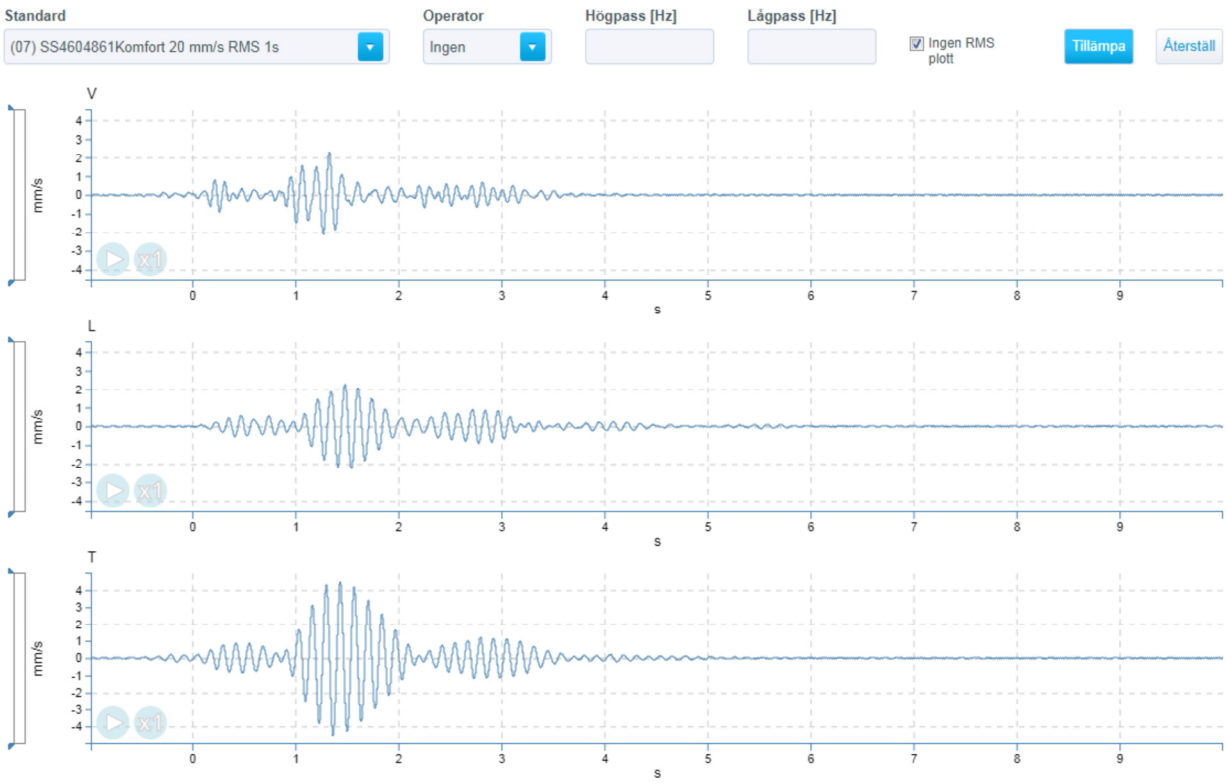
Dragbilen med trailer var den fordonskombination som uppvisade störst vibrationspåverkan vid de jämförda hastigheterna 20 och 40 km/tim. Ekipaget mättes också vid förbifart i 10 och 30 km/h. Vid 20 km/h uppvisas de högsta vibrationerna i horisontalplanet. Vid högre hastigheter ser det närmast ut som om transversalledsvibrationerna sjunker något.

5.1.2 Vibrationsförlopp

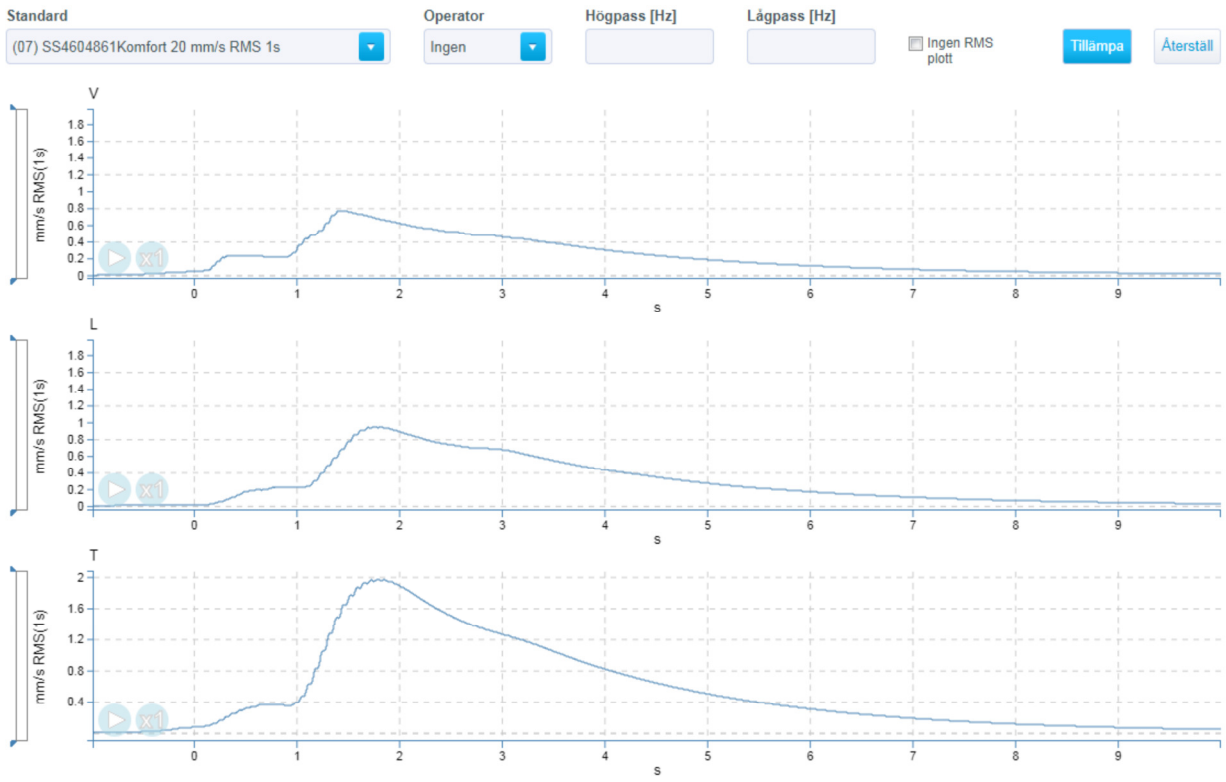
I figurerna 5.6, 5.7 och 5.8 visas tidsförloppen vid den förbifart av dragbil med trailer som gav upphov till den högsta komfortvägda vibrationshastigheten på bjälklaget. Figur 5.6 visar förloppet från den mätare som var monterad på husets fasad. I figur 5.7 visas tidsförloppen från vibrationsmätaren på bjälklaget för samma passage. Observera att figuren visar tidssignalen och inte det RMS-vägda värdet som presenteras som resultat. Den kurva som ligger till grund för de presenterade komfortvägda resultaten visas i figur 5.8. Den högsta komfortvägda vibrations-hastigheten uppkom då dragbilens boggi passerade farthindret, se figur 5.7. Även för de övriga fordonen var det boggin som gav upphov till de kraftigaste vibrationerna.



Figur 5.6 Tidsförlopp från vibrationsmätaren på fasaden då den högsta komfortvägda vibrationshastigheten uppmättes på bjälklaget. Vid noll sekunder överskrider vibrationshastigheten triggnivån 0,2 mm/s



Figur 5.7 Ovägt tidsförlopp (ingen tidsvägning Slow men filtrerat 1-80 Hz) för vibrationshändelsen på bjälklag som gav upphov till den högsta komfortvägda vibrationshastigheten. Överst vertikalled, mitten lateralled, längst ner transversalled

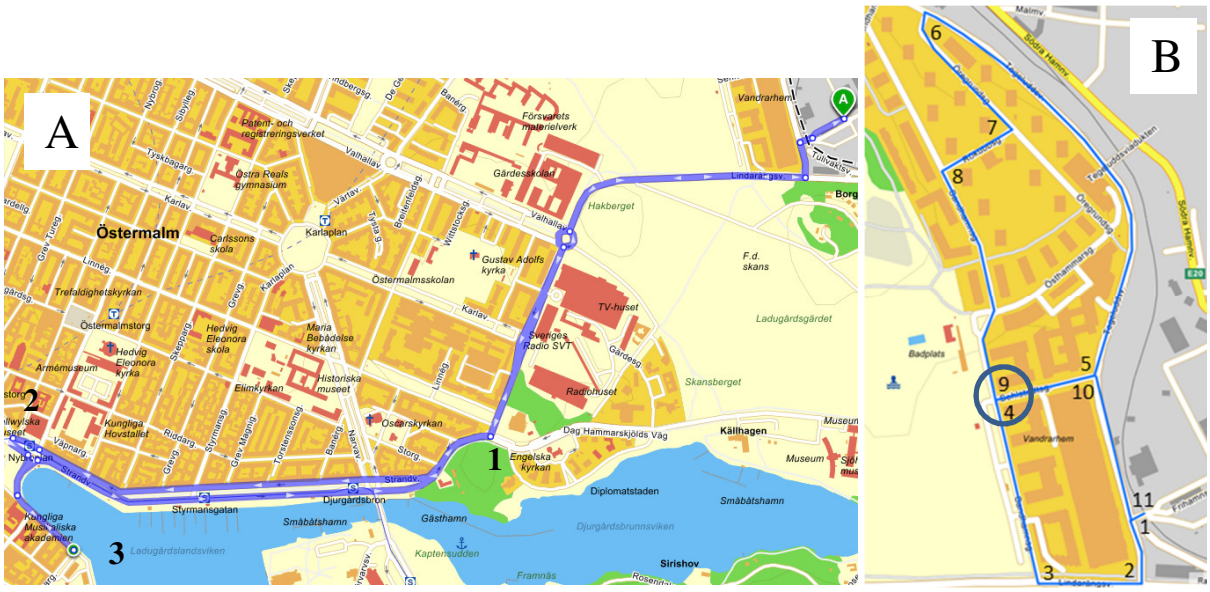


Figur 5.8 Den komfortvägda vibrationshastigheten RMS med tidsvägning Slow

5.2 Framkomlighetstest

Framkomlighetstester genomfördes i Stockholms innerstad i ett stråk mellan Frihamnen och Blasieholmen (A) samt i ett stråk med många korsningar i närheten av Frihamnen (B), se figur 5.9. De stråk i vilka testerna utfördes är begränsade till BK2 samt en maximal fordonslängd på 12 m. Tester ägde rum 2019-11-28 mellan kl. 02:30 och 05:00. De ekipage som användes under testet var en olastad 3-axlad boggibil med en 3-axlad kärra, total längd 16,1 m samt en olastad 3-axlad dragbil med en 3-axlad trailer, total längd 15,27 m. Ytterligare fordonsinformation ges i tabell 5.4.

I den korsning som på förhand identifierats som mest problematisk ritades vardera fordonets körspår upp på asfalten. Korsningen är markerad i figur 5.9. Dessa körspår användes sedan för att mäta upp fordonens svängradie och avstånd från hörn. Det fanns även möjlighet att koppla från kärran samt att skjuta in trailerns boggi om det visade sig att fordonen i full längd inte hade möjlighet att ta sig fram.



Figur 5.9 Karta över stråk som ingick i framkomlighetstest i Stockholm

Tabell 5.4 Fordonskombinationer vid demonstration av framkomlighet

3-axlad dragbil + 3-axlad trailer Dragbilen är utrustad med en bladfjädrad framaxel och två luftfjädrade drivande bakaxlar med dubbelmonterade däck. Trailern är utrustad med luftfjädring på samtliga axlar, har enkelmonterade däck samt är försedd en skjutbar boggi. Hela ekipaget är 15,3 m långt och tjänstevikten uppgår till 20,1 ton.	**3-axlad boggibil + 3-axlad kärra** Lastbilen är utrustad med en bladfjädrad framaxel och två luftfjädrade drivande bakaxlar med dubbelmonterade däck. Kärran är utrustad med luftfjädring på samtliga axlar samt har enkelmonterade däck. Hela ekipaget är 16,1 m långt och tjänstevikten uppgår till 19,6 ton.

Testerna dokumenterades genom filmning från fordonens förarhytter, bakom fordonen från en efterföljande bil samt utifrån vid en korsning som passerades. Det insamlade materialet användes, vid bedömning av fordonens framkomlighet, som komplement till uppmätta värden.

Vid de stråk, kring Frihamnen i Stockholm, där testerna utfördes var det möjligt att framföra vägfordonskombinationer av full längd, vilket innebar att kortare kombinationer inte testades.

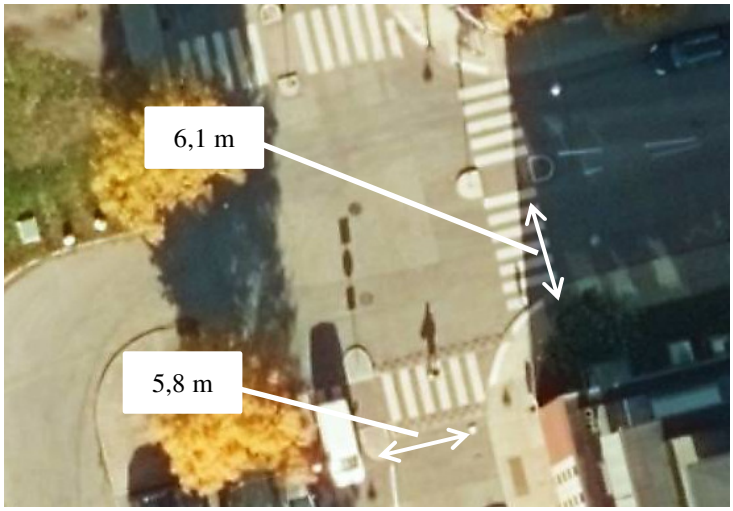
Vid gatukorsningarna fick förarna ge sin bedömning av kurvans/korsningens svårighetsgrad i en skala 1-10 där 1 var mycket lätt och 10 mycket svår. På stråk A mellan Frihamnen och Blasieholmen, se figur 5.9, upplevdes framförallt två korsningarna som något svårare att passera (3-5 på skalan): korsning 1, främst på grund av placering av en refug och många trafikljus samt korsning 2 på grund av förvirrande information och många skyltar. Att utföra vändning av fordon på Blasieholmen, markerat som 3 på figur 5.9, upplevdes som lätt av ena föraren och något svårare av den andra.

På stråk B i närheten av Frihamnen, se figur 5.9, bedömdes ett par av högersvängarna, kurva 3 och 4, som något besvärligare av båda förarna (3-5 på skalan). Även en skapt vänstersväng (kurva 6) samt ytterligare en högersväng (kurva 9) bedömdes av en förare som något besvärligare att passera (3-5 på skalan).

Vid korsning 4 utfördes mätningar av avståndet från fordonets innerradie till dess ytterradie vilket uppgick till 7,2 m för dragbil med trailer respektive och 6,6 m för boggibil med kärra. Vid mätningarna skilde sig de olika fordonens avstånd till korsningens runda gathörn. I figur 5.10 presenteras en bildserie för fordonens passage genom korsningen.

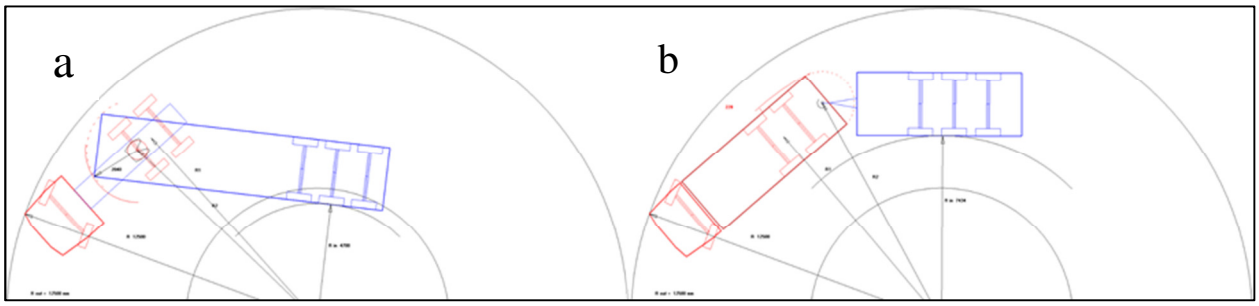
Figur 5.10 Passage genom korsning 4 för a) dragbil + trailer b) jämnlastbil + kärra

Vägbredden vid korsningen mättes upp till 5,8 m precis före korsningen och 6,1 m efter korsningen. En överblicksbild av korsningen framgår av figur 5.11.



Figur 5.11 Översiktsbild av korsning 4, vägbredd före och efter korsningen

I tabell 5.5 visas fordonens beräknade innerradie vid en 360° sväng i en kurva med en ytterradie på 12,5 m. Den 3-axlade dragbilen med en 3-axlad trailer och en sammanlagd längd på 15,3 m har en innerradie som understiger innerradien enligt ECE-cirkeln. Däremot klarar den måtten för innerradie enligt Lmod ECE-cirkeln (se figur 5.12).



Figur 5.12 Fordonsprestanda för a) 3-axlad dragbil och 3-axlad trailer och b) 3-axlad boggibil och 3-axlad kärra vid en 360° sväng i en kurva med 12,5 m ytterradie

Tabell 5.5 Fordonsprestanda för olika fordon och fordonskombinationer vid en 360° sväng i en kurva med 12,5 m ytterradie

Fordon	Längd (m)	Innerradie (m)	Utsväng (m)
3-axlad dragbil och 3-axlad trailer	15,3	4,7	0,169
3-axlad boggibil och 3-axlad kärra	16,1	7,4	0,238

Tabell 5.6 visar fordonens avstånd till gatuhörn vid en 90° sväng och en vägbrädd på 8,5 m. Från beräkningar framgår att båda fordonen klarar en sådan manöver samt att en 3-axlad boggibil med en 3-axlad kärra som är längre än en 3-axlad dragbil med en 3-axlad trailer har större avstånd till gatuhörnet.

Tabell 5.6 Fordonsprestanda för olika fordon och fordonskombinationer vid en 90° sväng och en vägbredd på 8,5 m, ofta benämnts som ”gatuhörnsprovet”

Fordon	Längd (m)	Avstånd till gatuhörn (m)	Utsväng (m)
3-axlad dragbil och 3-axlad trailer	15,3	1,76	0,16
3-axlad boggibil och 3-axlad kärra	16,1	3,24	0,23

6 Tillståndsprocess

En del i detta projekt har varit att ta fram en för aktörerna gemensam målbild för att möjliggöra ett mer flexibelt ansökningsförfarande avseende en prestandabaserad tillståndsprocess för användning av tunga vägfordon, i städer och större tätorter, samt möjlighet till en dynamisk anpassning och styrning av fordonsanvändningen. Idag sker inmatning av fordonsdata manuellt med lagring i flera olika servrar medan det i enlighet med ett framtidsmål omfattar hopkopplade servrar och anpassade föreskrifter på nationell och lokal nivå. En framtida ansvarsfördelning respektive hur en implementering skulle se ut var viktiga frågor vid de diskussioner som fördes inom projektet.

6.1 Nuläget hos Stockholms stad

Väghållaren i Stockholms innerstad är Stockholms stad. Det är trafikkontoret inom kommunen som sköter dispenshanteringen och har som uppdrag att skydda konstruktioner och människor genom effektiva och rättssäkra dispensprocesser. För transporter som planeras att genomföras utöver gällande föreskrifter kan dispens sökas. Till väghållaren Stockholms stad kommer ansökningar antingen direkt till kommunen, då fattas ett beslut, eller så kommer ansökan via Trafikverket, då besvaras yttranden (remiss). Exempel på faktorer att ta hänsyn till vid dispenshantering är konstruktioner, framkomlighet, buller/vibrationer, likabehandling, trafiksäkerhet, miljö samt framförallt trafiklagstiftning. Villkor som kommunen utreder vid beslut/yttrande för att få dispens för lång, bred och tung färddispens är (Säfström, 2019):

a) Enligt 13 kap. 4 § 4 st. Trafikförordningen (SFS 1998:1276) får dispens från längdbestämmelserna i 4 kap. 17 § ej medges ifall lasten är delbar. I SFS 2001:651 Förordning om vägtrafikdefinitioner definieras odelbart gods som ”Last som inte utan risk för onödiga kostnader eller skador kan delas i två eller flera dellaster”. Gods kan alltså till synes vara delbart men anses vara odelbart enligt Trafikförordningen. Massgodstransporter räknas som delbara och dispenser ges därför inte för dessa.

b) Finns det särskilda skäl och kan transporten ske utan fara för trafiksäkerheten, skada på vägen eller annan olägenhet i enlighet med Trafikförordningens 13 kap. 4 §?

c) Undantagsförfarandet är reglerat i 13 kap. 4 § i Trafikförordningen ”Undantag får föreskrivas eller medges om det behövs av särskilda skäl och det kan ske utan fara för trafiksäkerheten, skada på vägen eller någon annan avsevärd olägenhet”. Trafikförordningen är tvingande och kan inte avtalas bort eller bortses från på annat sätt. Begreppet ”särskilda skäl” skall enligt avgöranden från Transportstyrelsen (ex. TSV 2010-4852, Dubbdäcksförbud Hornsgatan Stockholm) tolkas som unika skäl för just den föreliggande transporten. Den som ansöker ska ha skäl som är särskilt för denne eller en grupp som är så avgränsad att det inte fanns anledning att ta hänsyn till den gruppen när föreskriften meddelades. Att köra med ett längre ekipage och därigenom få med mer gods är otvetydigt, likaså att det genererar mindre utsläpp att köra färre gånger med längre fordon. Detta faktum är inte unikt för enskilda transporter utan gäller i princip alla transporter varför det ej kan anses vara särskilda skäl för dispens.

d) Enligt p. 7 Transportstyrelsens allmänna råd (2009:62) om undantag för färd med långa fordon bör lastens storlek betraktas som särskilt skäl för undantag endast om godset inte kan tillverkas eller emballeras i mindre delar utan att detta medför en väsentlig kostnad. Enligt p. 9 bör, om lasten medför längdöverskridandet, undantag ej medges om ett annat fordon eller fordonståg kan användas och den totala längden därigenom kan minskas väsentligt.

e) Alltså kan man sammanfatta att det görs en prövning om godset är odelbart samt vidare om transporten uppfyller kraven i 13 kap 4 § Trafikförordningen.

f) Hänsyn till likabehandling och konstruktioner:

- Objektivitetsprincipen gör att en ansökan om längddispens för delbart gods som beviljas har en prejudicerande verkan om det inte går att visa på att omständigheterna i den beviljade dispensen är så unika att det inte går att jämföra fallen.
- Konstruktioner är byggda med olika hållfasthet och bärighet. För att en transport ska kunna passera en konstruktion måste det vara säkerställt att det inte finns risk att konstruktionen skadas eller på annat sätt går sönder. Därav måste ingenjörer beräkna vissa transporter för att säkerställa bärighet och hållfasthet.

Antalet ärenden som inkom till dispensenheten under 2018 var 4 057 stycken (Säfström, 2019). I dessa ärenden ingår yttranden till Trafikverket, parkeringsdispenser, undantag mot de lokala trafikföreskrifterna för långa, tunga och breda fordon och undantag mot lokal föreskrift om färd med fordonstrafik. Merparten av dessa ärenden rör någon form av tungtrafik. Tillsynsmyndighet är Polisen. Det finns i dagläget ingen direkt koppling mellan kommunens dispenssystem och Polisen.

Vid införande av nya föreskrifter och vid enskilda frågor om fordon som färdas på Stockholms gator, kommunicerar tillsynsmyndigheten Polisen med väghållaren Stockholms stad. Det kan till exempel vara frågor som rör enskilda fordons dispenshandlingar eller allmänna frågor rörande undantag.

6.2 Förslag på tillståndsprocess med prestandabaserade regelverk

I målbilden finns möjlighet för väghållaren att stänga och öppna vissa zoner för tyngre fordon beroende på omgivningen och fordonets prestanda. För väghållaren, i detta fall Stockholms stad, är viktiga faktorer i utvecklingen av ändrat upplägg för uppkopplade regelverk:

- ***Digital hantering som underlättar effektiva transportlösningar***

  Trafikkontoret följer med i utvecklingen genom att medverka i digitaliseringsprojekt. Det är intressant att se om man genom villkor för vissa fordon med exempelvis geofencing, översiktsbild över fordonet, utökad manöverförmåga med mera, kan skapa säkrare och effektivare fordon i staden än vad som finns idag.

- ***Rättssäker överföring av information***

  Trafikkontoret är också intresserat av hur man kan lösa problemet med rättssäkerhet för digitala dokument mellan tillståndsgivande myndighet och sökande. Hur kan man lösa matchning mellan fordonets givna villkor för att färdas och fordonets faktiska prestanda?

Kommerskollegium ansvarar för frågor som rör utrikeshandel, EUs inre marknad och handelspolitik. Deras uppdrag är att verka för frihandel vilket innebär att de verkar för fri rörlighet på den inre marknaden och för liberaliseringar av handel mellan EU och omvärlden samt globalt. Vad gäller prestandabaserade fordonskrav är Kommerskollegiums uppfattning att kravet på notifiering till EU genom Kommerskollegium, beror på inom vilka områden dessa ska gälla. Är det ett begränsat område såsom enskilda gator kan det vara så att det egentligen inte innebär någon väsentlig påverkan för fordonen och de behöver då inte anmälas.

Om det däremot är ett större område kan också dessa krav bli anmälningspliktiga. Vid osäkerhet är det Kommerskollegiums rekommendation att alltid anmäla kraven (Säfström, 2019).

6.2.1 Nuläget i fordonet

Det är förarens ansvar att fordonet som framförs uppfyller gällande begräsningar, exempelvis längd- och viktbegränsningar. Moderna fordon använder sig idag av fleet management system som vanligtvis inkluderar ett GPS- och navigationssystem. Data som kan samlas in och följas är bland annat:

- Fordonshastighet
- Kopplingsbrytare (på/av)
- Bromsbrytare (på/av)
- Farthållare (på/av)
- Kraftuttag (Power Take-Off) (status/läge)
- Acceleratorpedalposition (0-100 %)
- Bränsleförbrukning
- Bränslenivå (0-100 %)
- Motorhastighet (RPM)
- Axelvikt (kg)
- Totalt antal motortimmar (h)
- Identifikationsnummer (VIN)
- Färdskrivarens information
- Högupplöst fordonsavstånd
- Serviceavstånd
- Motorns kylvätsketemperatur

Det finns fleet management system som optimerar körrutten efter fordonets vikt/längd, såsom Garmin fleet 700 Series. Detta system fungerar primärt i USA och en optimerad körrutt är inte tillgänglig i alla områden. Data för fordonets höjd, längd och vikt måste även matas in manuellt.

6.2.2 Framtida utveckling i fordonet

I fordon som använder prestandabaserade regelverk erhåller föraren stöd under körning, främst avseende uppdaterade ruttförslag för godkänd fordonskombination, kontinuerlig information om trafikbestämmelser för relevant infrastruktur via Trafikverkets API, erhåller kontinuerlig information avseende trafiksituation och störningar via trafikoperatörens/väghållarens API (Stockholms stads trafikmyndighet/övervakning). Via väghållarens geofence ger återkoppling till föraren när fordonet är på väg att köra ur tillåten zon med varningsmeddelanden. Dessa kan följas av hastighetssänkning/-ar och/eller meddelande till kontrollmyndighet.

Före körning kan proceduren för föraren bestå av följande steg (för hastighetssänkande åtgärder):

- inloggning med automatiskt uppdaterade uppgifter om prestanda utifrån fordonskombination och last
- godkännande av delning av data med väghållare
- godkännande av villkor för t ex hastighetssänkande åtgärder
- får bekräftelse om att fordonet överensstämmer med gällande regler för inmatad rutt, alternativt ej överensstämmer varvid
  a) information sänds till förare för att informera om olaglig transport
  b) information sänds från fordon till fleet management systemet och tillsynsmyndighet för att beivra

Under körning kan på så sätt stöd till föraren i form av anpassad ruttoptimering ges baserat på aktuell information om bland annat:

- registrerad fordonskombination
- geofence kopplat till registrerad fordonskombination
- trafikläget
- väderförhållande

Under körning kan återkoppling ges när fordonet är på väg att köra ur tillåten zon, t ex i följande ordning:

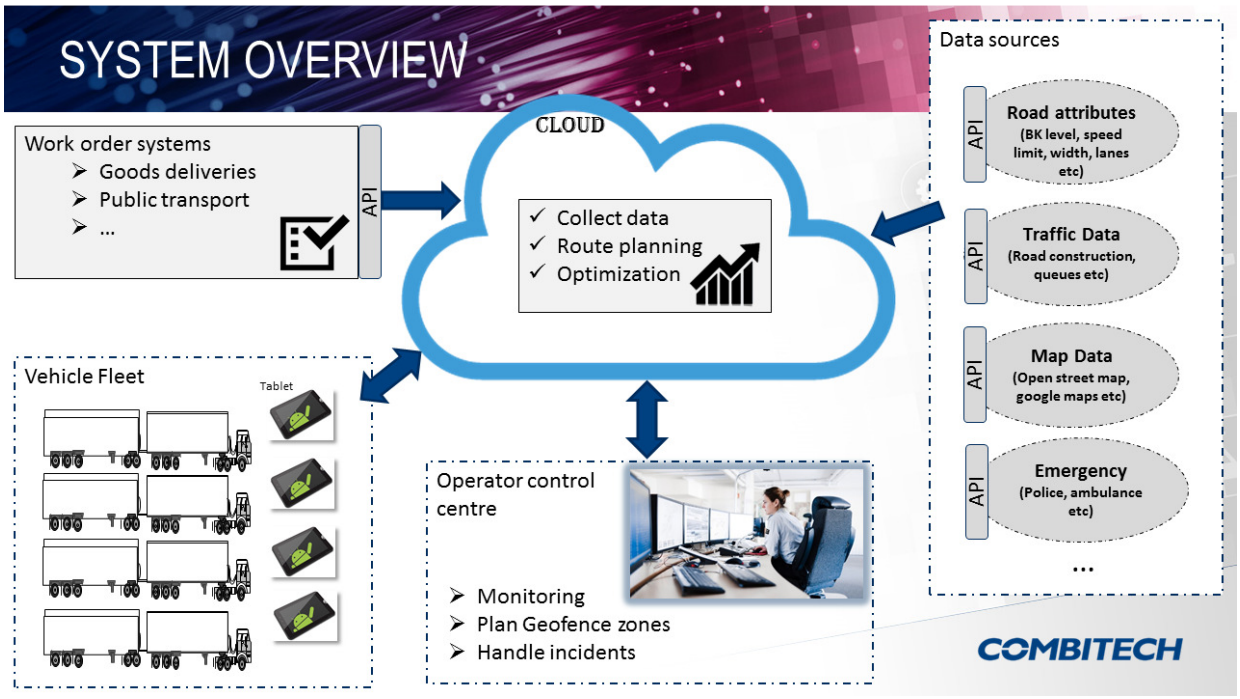
1. Varningsmeddelande inför geofence
2. Varningsmeddelande vid passage av geofence
3. Hastighetssänkning vid inträde i otillåten zon
4. Fordonet stannas (i en specificerad tidslängd)

Förslag på fordonsspecifika prestandaparametrar särskilt relevanta för tunga transporter i städer har inom projektet identifierats till:

- svängradier
- utsvepning
- siktvinklar
- förmåga att göra en 90° sväng vid en angiven gatubredd

6.2.3 Förslag på systemarkitektur och delsystem för ett prestandabaserat regelverk

Den systemarkitektur som arbetats fram inom projektet för att möjliggöra automatiserat informationsutbyte mellan olika aktörer och myndigheter i en stad visas översiktligt i figur 6.1.



Figur 6.1 Översikt av IT-system för informationsutbyte mellan olika aktörer och myndigheter i en stad (Fogelquist, 2019)

6.2.4 Systembeskrivning

Tidigare har PBS, ITK, ITS och öppen data behandlats och det framgår att dessa har utvecklats och utvecklas för tunga och långa fordon och är inte anpassade för stadstrafik. Vid stadstrafik uppstår andra problem vad gäller vilken prestanda ett fordon behöver för att framföras effektivt och trafiksäkert. Vilken utrustning som kommer att behövas för att införa prestandabaserade regelverk för tunga transporter i städer och hur kommunikationen mellan fordon och tillståndsgivande myndighet kan gå till kommer att utredas mer i detta avsnitt.

Följande delsystem förväntas vara grunden för ett prestandabaserat regelverk:

- Central-nod som sköter integrationen mellan alla delsystem och delansvariga
- Infrastrukturens kapacitet och begränsningar – maxprestanda samt tillfälliga begränsningar
- Trafik och fordonsrörelser – flöde/intensitet/miljö/omstyrningar/dygns- och veckoreglering
- Fordonsprestanda – varje fordonstillverkare registrerar in ett fordon med viss förmåga och geometri
- Strategisk trafikplanering – flödesändringar, tillfälliga eller nya behov
- Operationellt transportbehov – transportföretag + industri, leveranspunkter och konsolideringspunkter
- Regelefterlevnad – polisen och Transportstyrelsen; kontroll/beivran

Förslag på element som bör ingå i en prestandabaserad standard:

- manöverbarhet i specifika användningsfall:
  - exempelvis vid 90° och 360° sväng
  - väggeometri
- upptäcka föremål:
  - statiskt, rörligt, oskyddade trafikanter
- fordon och/eller fordonskombinationer och dess fysiska egenskaper:
  - upptäck fordonsenheter
  - informera föraren och operatör
  - enhetsdimension, komplett kombinations dimensioner
  - dela med API
- hastighetskontroll:
  - informera förarna om hastigheten
  - fordonshastighetsstyrning från trafikledningens API
- trafikledningssystem:
  - använd trafikhanteringsinformation – förare- och kontorsystem
  - informera om giltiga rutter för fordonskombination
  - godkänna och följa rutt
  - guida föraren i giltig rutt

För att erhålla en prestandabaserad standard med de föreslagna elementen behöver fordonets parametrar och BO system identifieras samt att infrastruktur- och trafikprestanda behöver identifieras. Data delas via API och fordonet ges tillåtelse att framföras på angivna gator och vägar. Nedan följer vad fordon och BO system respektive infrastruktur- och trafikprestanda bör kunna identifiera eller utföra.

Fordon och BO system:

- fordon och/eller fordonskombinations id och fysiska egenskaper
- svängradier och svept bana
- direkt och indirekt sikt
- fordonsdynamik
- övervaka och upptäcka föremål
- hastighetsövervakning och vägledning
- trafikledning, slotdetektering och planering
- ruttledning: godkännande av övervakning och vägledning

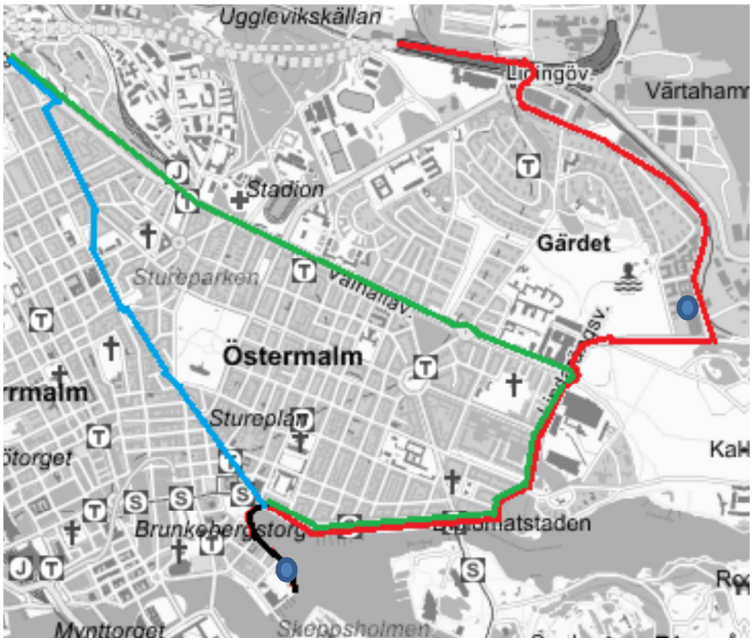
Infrastruktur- och trafikprestanda:

- väginfrastrukturens bärkapacitet och framkomlighetsegenskaper
- infrastrukturens vibrationskapacitet
- övervaka infrastruktur- och vibrationsbelastningar
- kapacitetsgränser
- övervaka trafik

7 Effekter vid förändrade tillträdesregler

För att analysera prestandabaserat regelverk användes utbyggnad av tunnelbanans blå linje som exempel med fokus på bortforsling av material från Kungsträdgården. De två testade fordonskombinationerna från framkomlighetstestet, en 3-axlad dragbil med en 3-axlad trailer samt en 3-axlad boggibil med en 3-axlad kärra, jämfördes med ett referensfordon, en 3-axlad boggibil. Jämförelsen analyserades inom följande områden: produktivitet, miljöpåverkan, säkerhet, trängsel och påverkan på infrastrukturen samt transportkostnad.

Massgodstransporterna från arbetsplatsen vid Kungsträdgården, beräknas ge upphov till ca 4 000 ton bergmassa per vecka. Mynningen till arbetstunneln vid Kungsträdgårdens tunnelbanestation kommer att anläggas vid Museikajen på Blasieholmen (se figur 7.1).



Figur 7.1 Möjliga transportvägar från Kungsträdgården

För uttransporter från Kungsträdgården har 3 rutter, för vilka BK2 och en maximal fordonslängd på 12 m gäller, fram till E20, Valhallavägen eller Lidingövägen, presenterats (SLL, 2015). Med dessa restriktioner bedöms en 3-axlad boggibil vara ett lämpligt fordon. För de tre rutterna har avstånd och tidsåtgång (vid avresa kl. 9.00 på en vardag) till E20 inom parantes beräknats enligt följande:

- Via Nybrokajen, Nybrohamnen, Strandvägen, Oxenstiernsgatan, Lindarängsvägen och Tegeluddsvägen till väg 277/E20 (5,2 km, 12 – 18 min)
- Via Nybrokajen, Nybrohamnen, Strandvägen, Oxenstiernsgatan och Valhallavägen till E20 eller Lidingövägen (5,6 km, 14 – 24 min)
- Via Nybrokajen, Nybrohamnen, Birger Jarlsgatan och Valhallavägen till E20 (3,4 km, 10 – 16 min)

7.1 Produktivitet/effektivitet

Resultatet från framkomlighetstestet för stråket Nybrokajen (Blasieholmen) – Frihamnen visar att de lastbilar som testades har möjlighet att ta sig fram. Med införande av ett prestandabaserade regelverk skulle därmed denna sträcka kunna vara tillgänglig för fordon som vad gäller framkomlighet uppfyller de prestandaparametrar som gäller.

Resultatet av detta skulle vara att fordon med högre nyttolast kan användas vilket leder till att antal fordonsrörelser minskar. Skillnaden i antal transporter per vecka samt i bränsleförbrukning per tonkm har sammanställts i tabell 7.1 för de två testade fordonskombinationerna samt jämförts mot ett referensfordon (3-axlad boggibil). Bränsleförbrukning är framtagen i samråden med Märsta Förenade och är ansatt till 4 l/mil för boggibilen och 5 l/mil för dragbil med trailer samt boggibil med kärra. Detta gäller då fordonen körs fullt lastade i ena riktningen och olastade i retur samt tar hänsyn till tomgångskörning och stadstrafik.

Tabell 7.1 Energiförbrukning och antal fordonsrörelser för de testade fordonskombinationerna och ett referensfordon

Fordon	**3-axlad boggibil** (referensfordon)	**3-axlad dragbil och 3-axlad trailer**	**3-axlad boggibil och 3-axlad kärra**
Längd (m)	8,32	15,27	16,1
Bruttovikt BK2 (ton)	23,52	38	40,12
Lastvikt (ton)	12,63*	17,9	20,6
Antal transporter per vecka	317	224	195
Bränsleförbrukning (l/tonkm)	0,032	0,028	0,024
Skillnad i antal transporter jämfört med boggibil	Referens	- 30 % *(- 29 %)*	- 40 % *(-39 %)*
Skillnad i bränsleförbrukning (l/tonkm) jämfört med boggibil	Referens	- 12 %	- 23 %

* Fordon anpassat för BK2

Resultatet visar på att produktiviteten ökar när nyttolasten per ekipage ökar, detta på grund av att antalet arbetstimmar som krävs för att utföra transporterna minskar. Det leder även till att antalet fordon som behövs för att utföra arbetet minskar. Resultatet visar även på att energiåtgången för att utföra arbetet kan minskas med 23 %. I tabell 7.2 redovisas antal fordon, arbetstimmar samt bränsleförbrukning per vecka för tre möjliga mottagningsplatser. Arbetstiden är ansatt till måndag-fredag mellan kl. 07:00 och 17:00.

Tabell 7.2 Antal fordon, arbetstimmar och bränsleförbrukning för att transportera 4 000 ton under 5 arbetsdagar

Mottagningsplats	**Rydbo**	**Rotebro**	**Bålsta**
Avstånd (km)	26	29	53
Tidsåtgång* (minuter)	115	120	155
Antal transporter per fordon och dag	4	4	3
Minsta antal fordon			
3-axlad boggibil	16	16	22
Dragbil och trailer	12	12	15
Boggibil och kärra	10	10	13
Arbetstid/drifttid (h)			
3-axlad boggibil	607	633	818
Dragbil och trailer	429	447	578
Boggi och kärra	373	389	502
Bränsleförbrukning (liter)			
3-axlad boggibil	6 590	7 350	13 430
Dragbil och trailer	5 820	6 490	11 860
Boggibil och kärra	5 060	5 640	10 310

* Tidsåtgång inkluderar tur och retur samt lastning och lossning.

7.2 Miljöpåverkan

7.2.1 Emissioner

Emissioner av CO, NO_X, HC och partiklar (PM) har hämtats från Transportstyrelsen för de fordon som användes vid framkomlighetstestet samt ett referensfordon genom provningsförfarandet World Harmonized Stationary Cycle (WHSC), samt tillåtna emissioner enligt Euro VI vid provningsutförande WHSC. Utsläpp av växthusgaser har hämtats från Energimyndigheten och gäller för diesel MK1. I tabell 7.3 framgår en sammanställning av emissionerna från fordonen samt för Euro VI.

Tabell 7.3 Emissioner för fordonen som användes under framkomlighetstest samt för ett referensfordon

Fordon	CO_2-eq (g/l)	CO (g/l) WHSC	HC (g/l) WHSC	NO_X (g/l) WHSC	PM (g/l) WHSC
3-axlad boggibil (referens)	2 734	0,92	0,84	0,07	0,03
3-axlad boggibil + kärra	2 734	0,41	0,02	0,76	0,03
3-axlad dragbil + trailer	2 734	0,12	0,04	0,70	0,02
Euro VI	-	14,7	1,27	3,92	0,1

Den totala mängden emissioner som uppstår till följd av transportararbetet av 500 000 ton vid Blasieholmen när tunnelbanan byggs ut redovisas i tabell 7.4 för de två testade fordonen och ett referensfordon med specifika emissionsdata och när dessa uppfyller Euro VI. Beräkningarna avser sträckan Blasieholmen – Rydbo med full last enligt BK2 och utan last på returvägen. Dieselförbrukningen för de olika fordonen antas vara samma som i föregående avsnitt.

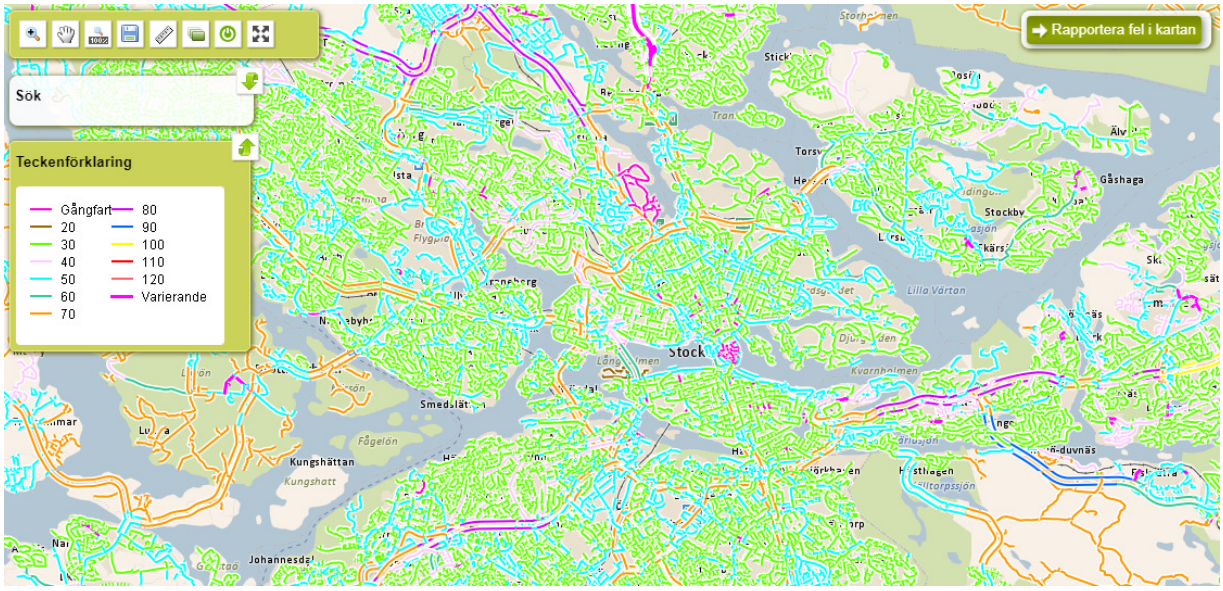
Tabell 7.4 Beräknade emissioner för transportarbetet av 500 000 ton från Blasieholmen vid utbyggnad av tunnelbanan

Fordonstyp	Bränsle-förbrukning (l)	CO_2-eq (ton)	CO (kg)		HC (kg)		NO_X (kg)		PM (kg)	
			Verklig WHSC	Euro VI WHSC	Verklig WHSC	Euro VI WHSC	Verklig WHSC	Euro VI WHSC	Verklig WHSC	Euro VI WHSC
3-axlad boggibil (referens)	823 000	2 250	760	12 100	690	1 050	60	3 230	24	81
3-axlad boggibil + kärra	632 000	1 730	260	9 290	11	810	480	2 480	17	62
3-axlad dragbil + trailer	727 000	1 990	90	10 690	28	930	510	2 850	15	71

7.2.2 Buller

Vad gäller störningar från buller framgick det av tidigare avsnitt att vid hastigheter under 50–70 km/h är det lastbilens motor och avgassystem som ger upphov till det dominerande bullret och vid ökad hastighet är det istället bullret från hjulen mot vägbanan som dominerar. Enligt hastighetsbegränsningarna i Stockholms stad, som till en majoritet består av vägar med en hastighetsbegränsning mellan 30–50 km/h (se figur 7.2). Vid dessa hastigheter är det till största delen ljud från motor och avgassystem som ger upphov till buller. Införande av prestandabaserade regelverk som tillåter fordon med högre bruttovikter bör därför inte, på en huvuddel av gatu- och vägnätet i Stockholms stad, bidra till att bullret från vägtrafiken ökar.

Till följd av att fordonsrörelserna förväntas minska och därmed antalet bullerkällor är det även möjligt att buller från vägtrafiken kan reduceras. Med ett prestandabaserat regelverk finns det även möjlighet att använda buller som en prestandaparameter i berörda områden. Detta innebär en möjlighet att fordon som inte överskrider en viss ljudnivå kan tillåtas att framföras på natten under förutsättning att de uppfyller ställda kraven på utsläpp, energiförsörjning och bränslen.



Figur 7.2 Hastighetsbegränsningar för Stockholms stad (NVDB, 2020)

7.2.3 Vibrationer

Från tidigare avsnitt gällande vibrationer framgick att uppkomsten av markvibrationer är komplex och beror på ett flertal parametrar. Dessa parametrar är inte enbart relaterade till fordonet utan även infrastrukturen, mark- och byggnadskonstruktion. Därför går det inte att dra någon generell slutsats om vilka fordonsparametrar som påverkar vibrationerna då detta kan variera från fall till fall. Utifrån de omständigheter som rådde vid testet visar resultaten på att en hastighetsbegränsning på 10 km/h ger en betydande reducering av vibrationer samt att tre av fyra fordonskonfigurationer gav liknande resultat. Den fordonskonfiguration som avvek från resultaten och gav upphov till mer vibrationer var en dragbil med trailer.

Med prestandabaserade regelverk minskar antalet transporter till följd av en ökad transporteffektivitet vilket ger färre vibrationstillfällen. Testerna visar även att det är möjligt att utföra tyngre och längre transporter utan att komfortvibrationerna ökar. Det är även möjligt att med ett prestandabaserat regelverk begränsa de komfortvägda vibrationerna som uppkommer av tungt trafik, detta kan åstadkommas genom att i berörda områden begränsa hastigheten eller att begränsa vissa typer av fordonskombinationer.

7.3 Trängsel

Vid införande av prestandabaserade regelverk ges möjlighet att införa prestandaparametrar som ger positiv inverkan på trängsel samt möjligheten till att i realtid styra trafiken för att minska trängsel. Exempelvis genom att tillåta fordon med vissa uppfyllda parametrar att framföras nattetid vilket avlastar trafiken under dagtid om transportarbetet per dygn är konstant.

Framkomlighetstestet visade att det är möjligt att införa prestandaparametrar som ger möjlighet att framföra längre fordon med högre nyttolast. Tester visade även att det var möjligt att framföra större fordonskombinationer, än vad som idag tillåts, på de aktuella gatorna/vägarna. Detta kan minska antalet fordonsrörelser med 40 % (39 %) vilket bidrar till en minskad trängsel.

Datorsimuleringar visar att accelerationsförmågan i förhållande till vikt och motorstyrka har en större påverkan på trafikflödet än fordonslängden (Trafikverket, 2014). Med prestandabaserade regelverk kan detta problem minskas om prestandaparametrar för acceleration införs vilket dock kan vara kontraproduktivt då en större motor ökar bränsleförbrukningen och därmed utsläppen.

7.4 Trafiksäkerhet

Det är svårt att dra slutsatser om hur ett förändrat regelverk som tillåter längre fordon kan påverka trafiksäkerheten. Det som går att förutse är att om antalet fordon i trafiken minskar till följd av att det krävs färre fordon för att transportera samma mängd gods, vilket förväntas leda till färre antal olyckor när fordon färdas framåt per transporterat gods. Olyckor som sker till följd av begränsad sikt kan dock förväntas öka med ökad fordonslängd till följd av att längre fordon oftast har fler ledpunkter vilket ger upphov till fler döda vinklar. Vad nettoeffekten av detta blir är dock svårt att avgöra då antalet fordonskilometrar kommer att minska.

7.5 Transportkostnader

Vid massgodstransporter inom större uppdrag anges vanligen kostnaden för förflyttning av berg- och grusmassor per transporterad viktenhet (ton). Uppdraget att transportera berg- och grusmassor från Blasieholmen vid utbyggnaden av tunnelbanan klassas som ett större uppdrag vilket betyder att åkeriet ersätts per transporterat ton. Åkeriet måste därför göra en kostnadsbedömning av uppdraget för att bestämma ett rimligt pris per ton transporterat gods. Faktorer som påverkar priset är körsträcka, tidsåtgång, bränsleförbrukning, nyttolast, löner och fordonskostnader.

Kostnadsberäkningar har utförts för det studerade transportstråket Blasieholmen – Frihamnen och från Frihamnen vidare till tre möjliga mottagningsplatser. Kostnaderna är beräknade utifrån en 3-axlad boggibil med lastvikt 11 ton samt en 3-axlad dragbil + 3-axlad trailer med lastvikten 18 ton. Kostnaderna är exklusive moms och dieselpriset är ansatt till 12,8 kr/l. Bränslekostnaden är beroende av transportavståndet, och för dessa alternativ svarar bränslekostnaden för mellan 13 och 19 % av den totala kostnaden. En sammanställning framgår av tabell 7.5.

Tabell 7.5 Kostnadsberäkningar för att utföra transportuppdraget vid utbyggnad av tunnelbanan på Blasieholmen

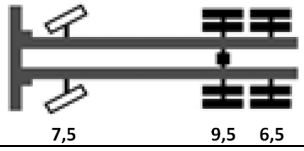
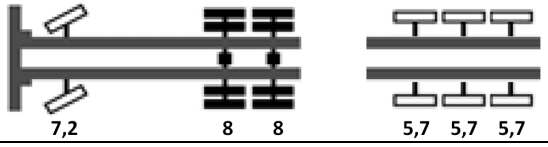
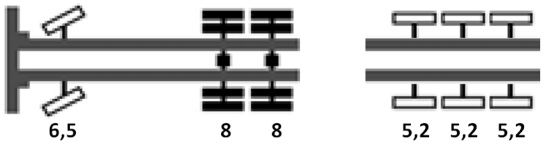
Mottagningsplats	**Rydbo (26 km)**		**Rotebro (29 km)**		**Bålsta (53 km)**	
Ekipage	**Boggi**	**Dragbil + trailer**	**Boggi**	**Dragbil + trailer**	**Boggi**	**Dragbil + trailer**
Fast pris (kr/ton)	180	145	183	148	258	209
Total kostnad (mkr)	90	73	92	74	129	105
Transporter (1 000-tals [antal])	45	27	45	27	45	27
Total kärsträcka (1 000-tals [mil])	236	144	264	161	482	294
Total arbetstid (1 000-tals [h])	91	56	91	56	121	74
Total timkostnad (kr/h)	990	1 305	1 007	1 332	1 064	1 411
Dieselförbrukning (m^3)	945	722	1 055	806	1 927	1 472
Dieselkostnad (mkr)	12	9	13	10	25	19
Timkostnad exkl. diesel (kr/h)	857	1 139	858	1 146	860	1 156
Total kostnad exkl. diesel (mkr)	78	63	78	64	104	86

Kostnaden per timme exklusive bränsle är högre för dragbil med trailer vilket beror på att anskaffningskostnaden är högre för dessa ekipage. En dragbil med trailer kräver även färre antal arbetstimmar och en mindre mängd bränsle vilket medför ett större positivt bidrag än den ökade anskaffningskostnaden för ekipaget. Den totala kostnaden för uttransporter av massgods från Blasieholmen kan minskas med 17 mkr vilket motsvarar en kostnadsbesparing på 19 % genom att byta fordon/fordonskombination, från en traditionell boggibil till en dragbil med trailer.

7.6 Påverkan på infrastrukturen

I tidigare avsnitt har teorin om vägslitage och spårbildning redovisats. I detta avsnitt beräknas vägslitage utifrån den beskrivna beräkningsmetodiken $ESAL_{10}$ och redovisas för de fordonskombinationer som användes vid framkomlighetstestet samt för ett referensfordon, se tabell 7.6. Det finns även litteratur som visar på problematiken med att använda standardaxlar som mått på vägslitage vilket inte denna studie tar hänsyn till. Beräkningar visar att vägslitaget per ton nyttolast blir lägre för de fordonskombinationer som är längre än vad dagens regelverk tillåter. En 3-axlad dragbil med en 3-axlad trailer beräknades ge lägst vägslitage totalt samt per ton nyttolast.

Tabell 7.6 Vägslitageeffekt per hjulspår för tre fordonskonfigurationer enligt fjärdepotensregeln

Fordonskonfiguration	**Totalvikt vid BK2** (ton)	**Nyttolast** (ton)	**Vägslitage-effekt** ($ESAL_{10}$)	**Vägslitage per ton nyttolast** ($ESAL_{10}$ per ton)
3-axlad boggibil (1 drivande axel) (Referens) 	23,52	12,63	1,16	0,046
3-axlad boggibil (2 drivande axlar) + 3-axlad kärra 	40,12	21,82	1,22	0,030
3-axlad dragbil (2 drivande axlar) + 3-axlad trailer 	38	17,88	0,92	0,026

7.7 Förslag till vägledning för handläggare och beslutsfattare

Vid större bygg- och anläggningsprojekt som väntas medföra omfattande transporter bör frågan om hur och var dessa transporter ska ske lyftas i ett tidigt skede. Exempelvis kan ett eller flera stråk föreslås, utredas och jämföras för att minska antalet transporter och omgivningsstörningar.

Ett stråk som identifierats som lämpligt med avseende på att avkorta och effektivisera transporterna kan innehålla begränsningar i form av exempelvis längd- och viktrestriktioner som gör att det i dagsläget inte är tillåtet att använda de tänkta fordonen. Det bör i så fall undersökas om PBS-krav kan ställas på de tänkta fordonen så att den föreslagna vägsträckan kan användas. Är det längdrestriktioner för att korsningar är svåra att passera kan prestandakrav avseende svängradier sättas som krav. Initialt kontrolleras förslagsvis identifierade stråk genom att ett fordon/fordonskombination som är tänkt att användas testkör stråket. Är det andra fysiska hinder kan det övervägas om exempelvis skyltar tillfälligt kan flyttas, eller att vägen breddas. Om restriktionerna avser vikten kan krav till exempel på axeltryck eller hastighet sättas. Är en del av stråket begränsat av bärighetsklassen kan tillträdeskrav baserade på exempelvis ett begränsat antal transporter och/eller lägre hastigheter tillämpas.

Genom att använda prestandabaserade regelverk med begräsningar som sätts utifrån fordonens faktiska prestanda kan mer eller mindre tillfälliga transporter av massgods tillåtas på sträckor där de annars inte skulle få tillträde eftersom dispens inte ges för delbart gods.

8 Resultat och slutsatser

I detta projekt med tillhörande fälttester och analyser har det utretts hur ett prestandabaserat regelverk i städer och tätorter kan utformas, vilka krav som krävs samt hur detta ska kunna implementeras. Analyser fokuserades på produktivitet, buller, vibrationer, trafiksäkerhet, trängsel, kostnader och påverkan på infrastrukturen. Vid framkomlighetstester framkom att framkomligheten nattetid var god på de testade stråken och att placering av vägskyltar och trafikljus i vissa korsningar gjorde det svårare att passera.

Fordonsspecifika prestandaparametrar särskilt relevanta för tunga transporter i städer har genom projektet identifierats till: svängradier, utsvepning, siktvinklar, förmåga att göra en 90° sväng med en bestämd gatubredd. Resultatet från framkomlighetstester och beräknade svängradier visar på att fordonskombinationens längd inte behöver korrelera med dess framkomlighet. Analyser visade att med ett prestandabaserat regelverk ökar produktiviteten till följd av att tidsåtgång, bränsleförbrukning och antalet fordon minskar. Till följd av att bränsleförbrukningen minskar kommer även emissioner från tunga lastbilar att reduceras. Prestandabaserade regelverk ger också möjlighet att begränsa emissioner genom att i valda områden via geofencing endast tillåta drivsystem utan lokala utsläpp, till exempel eldrift. Geofencing-tekniken är idag väl utvecklad hos fordonstillverkare och andra företag som arbetar med fleet management-system. Djupare analyser av de juridiska aspekterna kopplade till dispenshantering, prestandabaserade regelverk och delning av data saknas.

Ett prestandabaserat regelverk förväntas reducera bullernivån från tunga fordon till följd av att antalet tunga fordon i trafiken minskar och att hastighetsbegränsningar i städer och tätorter till största del är lägre än 50 km/h. I berörda områden finns även möjlighet att med stöd av prestandaparametrar för buller endast tillåta fordon med låg bullernivå, vilket exempelvis kan användas för att tillåta nattransporter i Stockholms innerstad. Det är även möjligt att begränsa komfortvibrationerna som inducerats av tunga fordon genom att begränsa hastigheten i berörda områden eller genom att endast tillåta vissa fordonskombinationer.

Vad gäller IT-system och datautbyte finns det flera juridiska frågetecken, till exempel vem som ansvarar för att data är korrekt, hur frågor om data och offentlighetsprincipen hanteras samt om det är en svensk myndighet som ska tillhandahålla data från tredjepart.

8.1 Slutsatser

Projektet har visat på att en betydande energieffektiviseringspotential kan uppnås genom att införa prestandabaserade regelverk. Den beräknade potentialen visar på att Energianvändningen och/eller bränsleförbrukningen kan minskas med 10–25 % samt att antalet transporter kan reduceras med 30–40 %. Till följd av en minskad bränsle-/energiförbrukning reduceras även emissionerna. Färre antal fordon förväntas även minska antalet dödsfall vid olyckor som uppstår när fordonet färdas framåt, transportkostnader samt buller- och vibrationsstörningar.

Framkomlighetstestet visade att det finns vägstråk i Stockholms stad där det är möjligt att framföra fordon längre än 12 m samt att fordonens eller fordonskombinationernas längder inte alltid behöver korrelera mot framkomligheten. Utifrån de beräknade framkomlighets-parametrarna framkom att en 3-axlad boggibil med en 3-axlad kärra förväntades prestera bättre i framkomlighetstesterna, än en dragbil med trailer, trots att den var 80 cm längre, vilket stämde väl överens med resultaten från fälttestet. Därmed är potentialen för effektivisering större för ett prestandabaserat regelverk än att förändra dagens längdbegränsningar och tillåta längre fordon. Ett prestandabaserat regelverk med geofencing ger även möjlighet till ett dynamiskt regelverk vilket kan användas för en ökad utnyttjandegrad av väginfrastrukturen.

För att implementera prestandabaserade regelverk behöver data delas mellan bland annat fordonstillverkare, fordon, transportör och väghållare. Utveckling av nationella och europeiska system för delning av data pågår bland annat inom projekten NordicWay 3 och C-Roads. Systemen kommer förmodligen att se olika ut i olika länder. Frågor om antal centralnoder återstår att lösa.

8.2 Fortsatta studier

Detta demonstrationsprojekt har visat att ett behov av fortsatta studier föreligger avseende markvibrationer, trafikmiljö, digitalisering, juridiska aspekter och off-peak transporter. Detta för att kunna utforma prestandakrav som möjliggör utformning av fordon och fordonskombinationer som ökar transporteffektiviteten och är skonsamma mot väginfrastrukturen. För att kunna införa ett prestandabaserat regelverk behöver de juridiska aspekterna studeras ytterligare.

För att kunna utföra transporter med längre och tyngre fordon så effektivt som möjligt och inte öka störningar från komfortvibrationer behöver ytterligare fälltester utföras med avseende att identifiera hur fordonskombinationer och hastighet påverkar vibrationerna. Genom att identifiera vid vilken hastighet vibrationerna avtar ges möjligheten att begränsa komfortvibrationer utan att sänka hastigheten mer än nödvändigt. Fälttester bör utföras på ett flertal berörda områden med varierande geologi och byggnadskonstruktion för att ge en mer generell slutsats. En studie bör även innefatta relationen mellan ett fordons inducerade vibrationer och dess vägslitage.

Vidare är det av intresse att studera optimala hastigheten efter faktiska förhållanden. Detta kanske genom att studera ett specifikt transportprojekt med del av sträckan på BK2 och studera effekten av lägre hastighet vid BK 2, med full last.

En studie kring off-peak transporter bör utföras och innefatta vilka prestandakrav som behöver ställas på fordonen för att tillåtas att framföras under de tider på dygnet det idag råder förbud mot tung trafik. Ett exempel är Stockholms innerstad där förbud mot tung trafik råder, idag mellan kl. 22 och 06.

För att maximera potentialen av ett prestandabaserat regelverk är det viktigt att trafikmiljön anpassas för att tillåta effektivare transporter. I projektet har vägskyltar och refuger identifierats som problemområden vilka med små medel kan åtgärdas för att öka framkomligheten. Vid ett införande av prestandabaserade regelverk är det därmed viktigt att identifiera stråk med stor potential för att öka transporteffektiviteten samt vilka insatser gällande trafikmiljön som kan initieras och utföras för att ge en maximal nytta. En studie bör genomföras i avsikt att kartlägga hur trafikmiljön kan utvecklas och anpassas parallellt med ett prestandabaserat regelverk.

En studie kring digitalisering inom området massgodstransporter bör genomföras och innefatta hur ett digitaliserat samt uppkopplat transportsystem inom massgodstransportområdet kan utnyttjas för att öka transporteffektiviteten samt hur detta kan användas för att utveckla nya affärsmodeller. En studie bör även belysa hur ett digitaliserat och uppkopplat transportsystem inom området massgodstransporter kan bidra till att underlätta arbetsuppgifterna och utveckla yrkesrollen och arbetsinnehållet för chaufförer och andra operatörer i systemet.

Referenser

AB Volvo, *Volvokoncernen passerar en milstolpe med en miljon levererade uppkopplade enheter för ökad hållbarhet, drifttid och säkerhet*, pressmeddelande 2019-10-03 (2019) https://www.volvogroup.se/sv-se/news/2019/oct/news-3436055.html

Andersson M, Biding T, Huusko C, Svärdby-Bergman A, Westman F, Åsman P, *Nationell strategi och handlingsplan för användning av ITS*, Trafikverket TRV 2013/65381 (2014)

Anrell O, *Gigantisk mängd av sprängsten ska bort från Blasieholmen*, MittiStockholm, 2019-10-23 (2019)
https://mitti.se/nyheter/gigantisk-stenmassor-blasieholmen/

Asp T, Wandel S, Rydén P*, Demonstration Intelligent Tillträdes- Kontroll – ITK för HCT fordon*, *FFI Fordonsstrategisk Forskning och Innovation*, Vinnova, 28 (2018)

Asp T, Wandel S, Olbäck M, och Miller-Tiedemann S*, Kravspecifikation för Intelligent Tillträdeskontroll 74 ton, FFI Fordonsstrategisk Forskning och Innovation*, Vinnova, (2016)

Berg J*, Utredningsledare digitaliseringen av transportsystemet*, Trafikverket, mailkonversation (2020)

Brunsell A, *Teknisk beskrivning Bilaga A – Miljöprövning för tunnelbana från Kungsträdgården till Nacka och söderort*, SSL (2018)

Carlén A, *Metod för att beräkna dynamiska hjullaster på vägbanan*, Lunds Tekniska Högskola, Thesis 236 (2013).

Chalmers, *Performance Based Standards II*, hämtad 2019-11-30 (2019)
https://www.chalmers.se/sv/projekt/Sidor/Performance-Based-Standards-II.aspx

CLOSER, *Geofencing - Samverkan kring digitalisering för trygga och smarta städer*, hämtad 2020-01-15 (2020a)
https://closer.lindholmen.se/projekt-closer/geofencing

CLOSER, *NordicWay 2,* hämtat 2020-01-15 (2020b)
https://closer.lindholmen.se/node/63287

CLOSER, *Geofencing Forsknings- och Innovationsprogram,* presentation Transportforum 8 januari 2020 (2020c)

CLOSER, *Övergripande handlingsplan: gemensam kraftsamling kring digitalisering för säkra och smarta stadsmiljöer - Regeringsuppdrag test- och demoprojekt med geostaket i urbana miljöer*, (2018)

C-Roads, *Report on Legal and Organisational Structures for C-ITS Operation*, (2019)

Danderyds Kommun, *Bilaga 1 – Samrådsredogörelse* (2012)

DIGG, *Sveriges dataportal*, DIGG – Myndigheten för digital förvaltning, hämtad 2020-01-15 (2020) https://www.dataportal.se/

ElectriCity, *Elbussar – tystare, avgasfria och passagerarvänliga*, hämtad 2019-01-31 (2019), https://www.electricitygoteborg.se/node/19499/om-elbussen

EU, *Directive 2010/40/EU of the European parliament and of the council*, European Union (2010)

EU, *Commission delegated regulation (EU) No 886/2013,* European Union (2013)

EU kommissionen, *Hållbara framtida transporter – Ett integrerat, teknikstyrt och användarvänligt transportsystem*, (2009)

Fogelquist M, Combitech, mailkommunikation (2019)

Forum för Innovation i Transportsektorn, *Färdplan för Uppkopplade och samverkande transporter*, (2014)

Fromell J, *Detaljplan Delbanco 1 - Vibrationer och stomljud*, ÅF-Infrastructur (2018)

Gillies J A, Etyemezian V, Kuhns H, Nikolic D, Gillette D A*, Effect of vehicle characteristics on unpaved road dust emissions*, Atmospheric Environment 39, 2341–2347 (2005).

Granlund J, Lang J, *Förkortad väglivslängd – orsaker och kostnader,* WSP (2016)

Goodall C, Nyberg S, Grell H, Evers O, *Tungtrafikutredning Stockholms stad*, Atkins (2017)

Göteborgs Stad, *Geofencing*, hämtad 2019-01-30 (2019)
https://goteborg.se/wps/portal/enhetssida/Innovation-och-utveckling-far-framtidens-mobilitet-i-Gateborg/geofencing

Göteborgs Stad*, Sammanställning av Göteborgs kommuns lokala trafikföreskrifter som inte behöver märkas ut m.m, gällande lokala trafikföreskrifter den 16 oktober 2017*, trafikkontoret (2017)

Huddinge kommun, *Vibrationer från trafik – komfortmätning av vibrationer från trafik*, 2015, hämtad 2016-06-14 (2015)
http://www.huddinge.se/trafik-vagar-och-resande/trafik-och-miljo/trafikbuller-och-vibrationer/

Hunaidi O, *Traffic Vibrations in Buildings*, Construction Technology Update No. 39, National Research Council of Canada (2000)

Jacobson B J H, Sundström P, Kharrazi S, Fröjd N, Islam M. *An Open Assessment Tool for Performance Based Standards of Long Combination Vehicles*, Chalmers University of Technology (2017)
https://research.chalmers.se/publication/251269

Jansson L-G, Stockholms stad Trafikkontoret, muntligt (2015)

Janusson U, Renare, *smartare och säkrare med uppkopplade lastbilar*, Scaniapresentation Transportforum 9 januari 2020 (2020).

Kharrazi S, Bruzelius F, Sandberg U, *Performance Based Standards for High Capacity Transports in Sweden*, VTI, rapport 948A, 2017 (2017).

Li Y, Zuo S, Lei L, Yang X, Wu X, *Analysis of impact factors of tire wear*, Journal of Vibration and Control 18, 833–840 (2012).

Lindmark D, ÅF, *Ljud och vibrationer*, TFK workshop 2016-10-05 (2016)

Ljung S, *Masshanteringsplan – Kontrollprogram miljöfarlig verksamhet Tunnelbana från Kungsträdgården till Nacka och Söderort*, Region Stockholm, 2019

LTF, *Lokal trafikföreskrift 1280 2013:00064*, Malmö stad (2013b)

LTF, *Lokal trafikföreskrift 1280 2013:00065*, Malmö stad (2013a)

LTF, *Lokal trafikföreskrift 1480 2009:00939*, Göteborgs Stad (2009)

Lundberg J, VTI/KTH, mailkommunikation (2019)

Lundberg J, *Non-Exhaust PM10 and Road Dust*, Licentiatavhandling, KTH, Stockholm (2018)

Lundberg O, Joseph P, *Projekt Slussen Åtgärdsplan för vibrationer gällande kulturbyggnader*, Tyréns (2011)

Malmö stad, *Lokala Trafikföreskrifter särskilt gällande för tung trafik,* gatukontoret, uppdaterad 2013-02-01 (2013)
https://malmo.se/download/18.1d78cdc3167bce2fb3623ab/1545989956122/LTF_Tunga_kartan_A3_600dpi_130201_utskrift.pdf hämtad 2020-12-16

Mildén M, *De kapar elva procent av transporterna*, Transportnet, publicerad 2019-01-07 (2019a)
https://www.transportnet.se/article/view/680279/de_kapar_elva_procent_av_transporterna?ref=newsletter&utm_medium=email&utm_source=newsletter&utm_campaign=daily

Mildén M, *Scanias laddhybrid testas för nattleveranser*, Transportnet, publicerad 2019-02-15, (2019b)
https://www.transportnet.se/article/view/646787/scanias_laddhybrid_testas_for_nattleveranser

Möller B, Larsson R, Bengtsson P-E, Moritz L, *Geodynamik i praktiken*, Information 17, SGI (2000)

Naturvårdsverket, *Buller från byggplatser,* uppdaterad 2019-09-19 (2019a)
https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Buller/Buller-fran-byggplatser/

Naturvårdsverket, *Riktvärden för buller från vägar och järnvägar vid nybyggnationer,* uppdaterad 2019-09-19 (2019b)
https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Buller/Buller-fran-vagar-och-jarnvagar-nybyggnation/

NHVR*, Performance-Based Standards Scheme – the Standards and Vehicle Assessment Rule*, National Transport Commission, Australien (2008)

NVDB, *nationell vägdatabas,* senast uppdaterad 2020-01-27 (2020)
https://nvdb2012.trafikverket.se/

Olsson L, *Projektledare för regeringsuppdraget Test- och demonstrationsprojekt med geostaket i urbana miljöer,* presentation vid TFK-workshop 2018-05-07, Closer (2018)

Orton K, *Implementation geofencing,* presentation i samband med Trafikverkets presentation av handlingsplanen för geofencing, Keolis Sverige, 2018-12-06 (2018)
https://www.trafikverket.se/om-oss/nyheter/Nationellt/2018-12/sa-ska-geofencing-inforas-i-svenska-stader/ eller https://www.youtube.com/watch?time_continue=2615&v=aykNm6QuTo4

Oslo kommun, *Dieselforbud*, hämtad 2020-01-27 (2020)
https://www.oslo.kommune.no/gate-transport-og-parkering/dieselforbud/

Pernestål Brenden A, Koutoulas A, Fu J, Rumpler R, Sanchez-Diaz I, Behrends S, Glav R, Cederstav F, Brolinsson M, *Off-peak City Logistics – A Case Study in Stockholm*, KTH (2017)

Piek, *Home*, hämtad 2019-12-12 (2019)
https://www.piek-international.com/english/?page=home

Regeringskansliet, *Uppdrag att genomföra test- och demonstrationsprojekt med geostaket (geofencing) i urbana miljöer*, hämtad 2019-01-25 (2019a)
https://www.regeringen.se/regeringsuppdrag/2019/01/uppdrag-att-genomfora-test--och-demonstrationsprojekt-med-geostaket-i-urbana-miljoer/

Regeringskansliet, *Uppdrag att öka den offentliga förvaltningens förmåga att tillgängliggöra öppna data, bedriva öppen och datadriven innovation samt använda artificiell intelligens*, Diarienummer: I2019/01416/DF, I2019/01020/DF (2019b)

Regeringskansliet, *Lag (2013:315) om intelligenta transportsystem vid vägtransporter*, SFS 2013:315 (2013)

SBMI, *Bergmaterialindustrins förutsättningar i Stockholmsregionen*, (2004)

SFS 2007:90, *Vägmärkesförordning*, Stockholm: Infrastrukturdepartementet

SFS 1998:1276, *Trafikförordning*, Stockholm: Infrastrukturdepartementet

SFS 1951:649, *Lag (1951:649) om straff för vissa trafikbrott*, Stockholm: Justitiedepartementet

SGF, *Markvibrationer*, Sveriges Geotekniska Förening, SGF Informationstidsskrift 1:2012, version 2013-12-18, (2013)

SLL, *Tunnelbana Nacka och söderort – samrådsunderlag om byggskedet*, 2015-10-08 (2015)

SS 02 52 11, *Vibration och stöt – Riktvärden och mätmetoder för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning,* Standardiseringskommissionen i Sverige

SS 460 48 61, *Vibration och stöt – Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader,* Standardiseringskommissionen i Sverige

Stockholms stad, *Ansök om tillstånd för tunga, långa och breda fordon*, 2019-10-04 (2019a)
https://tillstand.stockholm/tillstand-regler-och-tillsyn/transporter/ansok-om-tillstand-for-tunga-langa-och-breda-fordon/

Stockholms stad, *Öppen data - Dataportalen*, hämtad 2019-12-17 (2019b)
https://dataportalen.stockholm.se/dataportalen/

Stockholms stad, *Så växer Stockholm*, publicerad 2018-11-26 (2018a)
https://vaxer.stockholm/tema/oversiktsplan-for-stockholm/#sa-vaxer-stockholm

Stockholms stad, *Godstrafikplan 2018* (2018b)
https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1941419

Stockholms stad, *Stockholms kommuns lokala trafikföreskrifter om allmänna föreskrifter. 16 § Färdvägsförteckning A; 0180 2016:01618* (2016a)

Stockholms stad, *Karta tung trafik* (2016b)

Stockholms stad, *Vägtrafik – tillsynsrapport 2015* (2016c)

Stockholms stad, *Stockholms kommuns lokala trafikföreskrifter om allmänna föreskrifter. 10 § Begränsad fordonslängd, 0180 2012-03066* (2012a)

Stockhoms stad, *Stockholms kommuns lokala trafikföreskrifter om allmänna föreskrifter. 2 § Definition av inre trafikområde; 0180 2012:02851*, (2012b)

Stockholmsförsöket, *Syfte & mål*, Stockholms stad, Vägverket och SL, publicerad 2006, hämtad 2020-02-13 (2006) http://www.stockholmsforsoket.se/

Svensk P-O*, Koncept för datautbyte – Etableras inom ramen för High Level Data Task Force*, Trafikverket, presentation vid Transportforum 9 januari 2020 (2020)

Swiss Centre for Life Cycle Inventories, *Data base for life cycle impact assessment methods and their factors*, Data v2.01(2007), CML 2001data category, hämtad 2011, 2007

SVT, *Fartyg ersätter hundratusentals lastbilar*, publicerad 2018-09-19 (2018) https://www.svt.se/nyheter/lokalt/stockholm/fartyg-ersatter-hundratusentals-lastbilar

Sydsvenskan, *Geostaket gör tung stadstrafik säkrare*, publicerad 2018-12-07 (2018) https://www.sydsvenskan.se/2018-12-07/geostaket-gor-tung-stadstrafik-sakrare

Säfström A, projektledare, Trafikkontoret Stockholms stad, muntlig kommunikation (2019)

The Government of the Hong Kong, *Government sets up franchised bus low emission zones starting today* 2015-12-31 (2015) https://www.info.gov.hk/gia/general/201512/31/P201512310204.htm

TheKoreanTimes, *What to know about new emission rules in Seoul*, 2019-12-04 (2019) https://www.koreatimes.co.kr/www/nation/2020/02/281_279677.html

TFK, *Massförflyttning vid anläggnings- och byggnadsarbeten*, Rapport 1979:4 (1979)

Trafikverket, *BK – bärighetsklasser på vägar och broar*, hämtad 2020-03-31 (2020) https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/bk--barighetsklasser-pa-vagar-och-broar/

Trafikverket*, ITS-direktivet och den svenska nationella åtkomstpunkten (NAP)*, senast uppdaterad 2019-05-28 (2019) https://www.trafikverket.se/tjanster/Oppna_data/its-direktivet-och-den-svenska-nationella-atkomstpunkten-nap/

Trafikverket, *NordicWay – bilar som byter information bidrar till färre olyckor*, senast uppdaterad 2018-04-03 (2018a) https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/forskning-och-innovation/aktuell-forskning/transport-pa-vag/nordicway--bilar-som-byter-information-bidrar-till-farre-olyckor/

Trafikverket, *Data vi erbjuder*, senast uppdaterad 2018-10-10 (2018b) https://www.trafikverket.se/tjanster/Oppna_data/oppna-data-vi-erbjuder/

Trafikverket, *Ministern på plats när geofencing testades i Stockholm*, senast uppdaterad 2018-05-30. (2018c) https://www.trafikverket.se/om-oss/nyheter/Nationellt/2018-05/ministern-pa-plats-nar-geofencing-testades-i-stockholm/

Trafikverket, *Beräkna och utreda buller och vibrationer*, senast uppdaterad 2018-04-13 (2018d) https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Berakna-och-utreda-buller-och-vibrationer/

Trafikverket, *Buller från vägtrafik*, senast uppdaterad 2017-03-23 (2017a) https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/buller-och-vibrationer---for-dig-i-branschen/Fakta-om-buller-och-vibrationer/buller-fran-vagtrafik/

Trafikverket, *PM Buller E20 Förbi Vårgårda*, TRV 2015/19263 (2017b)

Trafikverket, *Tyngre fordon på det allmänna vägnätet – rapportering av regeringsuppdrag*, TRV 2014:102 (2014)

Transportstyrelsen, *Bruttoviktstabeller*, hämtad 2020-03-31 (2020) https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Bruttoviktstabeller/

Transportstyrelsen, *Fordonsregler*, hämtad 2019-05-20 (2019a) https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/Fordonsregler/

Transportstyrelsen, *Trafikregler*, hämtad 2019-05-20 (2019b) https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/trafikregler/

Transportstyrelsen, *Svensk trafikföreskriftssamling – Transportstyrelsen*, hämtad 2019-05-20 (2019c) https://rdt.transportstyrelsen.se/rdt/defaultstfs.aspx

Transportstyrelsen, *Intelligenta transportsystem*, hämtad 2018-04-23 (2018) https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/its/

Treiber A, Bark P, *Energieffektiva transporter av massgods i stora tätortsområden och storstäder*, Rapport 2016:3 (2016)

Treiber A, Bark P, *Prestandabaserade regelverk och trafikförordningar för energieffektiva tunga transporter i städer*, TFK, rapport 2018:2 (2018)

Tällberg E, *Statligt och kommunalt väghållaransvar – En studie kring allmän väghållning och kommunala väghållningsområden*, KTH (2018)

urbanaccessregulations.eu, *Urban Access Regulations in Europe*, hämtad 2020-05-20 (2020) https://sv.urbanaccessregulations.eu

Vierth I, Berell H, McDaniel J, Haraldsson M, Hammarström U, Yahya M-R, Lindber G, Carlsson A, Ögren M, Björklund U, *Långa och tunga lastbilars effekter på transportsystemet – Redovisning av regeringsuppdrag,* VTI rapport 605 (2008)

Wiberg J, *Branschföreträdare vid Sveriges Åkeriföretag,* muntlig kommunikation 2019-09-23 (2019)

World Resources Institute, *Beijing Low-Emission Zone*, hämtad 2020-05-20 (2020) https://wrirosscities.org/our-work/project-city/beijing-low-emission-zone

WSP, *Olyckor med dödlig utgång tunga lastbilar inblandade, år 2018* (2019)

VTI, *Spårprognostisering i asfalt – verktyget PEDRO – Konsten att begränsa spårbildning i asfaltlager*, hämtad 2019-03-18 (2019) https://www.vti.se/sv/workshop-pedro

VTI, *Trafiksäkerhetseffekter vid införande av längre och tyngre fordon*, 2012

Österlund P E, *Trafikkontoret Stockholms stad,* muntlig kommunikation 2017-08-29 (2017)

Bilaga 1

Mätresultat från vibrationstest vid Gamla Tyresövägen 2019-10-23

	Grundvibrationer	Komfortvibrationer						
	V	*V*	*L*	*T*				
Time	*Max value*	*Max val*	*Max val*	*Max val*	Bil	Släp	Last	Hast
00:55	2,07	0,42	0,58	1,14	LB1		Ja	20
01:22	2,10	0,46	0,66	1,19	LB1		Ja	20
01:44	2,02	0,45	0,53	1,05	LB1		Ja	20
02:05	2,21	0,52	0,60	1,16	LB1		Ja	40
02:24	2,25	0,51	0,62	1,22	LB1		Ja	40
02:44	2,51	0,52	0,56	1,20	LB1		Ja	40
03:47	2,11	0,42	0,53	0,91	LB1 uppdr	boggie	Nej	20
04:02	2,03	0,42	0,55	0,93	LB1 uppdr	boggie	Nej	20
04:17	2,28	0,44	0,57	0,98	LB1 uppdr	boggie	Nej	20
04:26	2,53	0,41	0,51	1,02	LB1 uppdr	boggie	Nej	40
04:33	2,20	0,39	0,46	0,91	LB1 uppdr	boggie	Nej	40
04:38	2,47	0,43	0,52	0,98	LB1 uppdr	boggie	Nej	40
03:06	2,22	0,48	0,63	1,15	LB2		Ja	20
03:16	2,11	0,48	0,63	1,18	LB2		Ja	20
03:27	2,16	0,49	0,62	1,14	LB2		Ja	20
03:38	2,47	0,55	0,48	0,92	LB2		Ja	40
03:51	2,52	0,53	0,46	0,88	LB2		Ja	40
04:07	2,54	0,56	0,50	0,95	LB2		Ja	40
01:04	2,09	0,44	0,64	1,20	LB3	3 Axl Kärra	Ja	20
01:29	1,89	0,39	0,55	1,13	LB3	3 Axl Kärra	Ja	20
01:52	1,84	0,39	0,56	1,11	LB3	3 Axl Kärra	Ja	20
02:11	2,29	0,53	0,54	1,06	LB3	3 Axl Kärra	Ja	40
02:30	2,40	0,56	0,49	0,98	LB3	3 Axl Kärra	Ja	40
02:49	2,21	0,54	0,52	1,02	LB3	3 Axl Kärra	Ja	40
01:09	3,28	0,78	0,96	2,00	LB4	3 Axl trailer	Ja	20
01:34	2,61	0,79	0,95	1,88	LB4	3 Axl trailer	Ja	20
01:56	2,78	0,78	0,95	1,92	LB4	3 Axl trailer	Ja	20
02:17	4,14	1,00	0,91	1,68	LB4	3 Axl trailer	Ja	40
02:36	4,44	1,06	0,91	1,68	LB4	3 Axl trailer	Ja	40
02:55	4,40	1,05	0,90	1,65	LB4	3 Axl trailer	Ja	40
03:10	0,72	0,14	0,16	0,23	LB4	3 Axl trailer	Ja	10
03:21	0,77	0,15	0,18	0,26	LB4	3 Axl trailer	Ja	10
03:33	0,40	0,07	0,11	0,13	LB4	3 Axl trailer	Ja	10
03:43	2,62	0,66	0,70	1,55	LB4	3 Axl trailer	Ja	30
03:56	2,70	0,70	0,82	1,79	LB4	3 Axl trailer	Ja	30
04:13	2,67	0,66	0,68	1,51	LB4	3 Axl trailer	Ja	30

TFK – TransportForsK

Warfvinges väg 29
112 51 Stockholm

Tel: 08-652 41 30

E-post: info@tfk.se

Internet: www.tfk.se