



Rapport 2016:3

## Energieffektiva transporter av massgods i stora tätorts- områden och storstäder



**Angelika Treiber**  
**Peter Bark**

Omslagsbilder: Scania, TFK och Volvo

## Förord

Föreliggande rapport utgör redovisning av projektet *Energieffektiva transporter av massgods i stora tätortsområden och storstäder*. Projektet har genomförts av TFK – TransportForsK i samarbete med representanter för byggföretag, fordonstillverkare, kommuner, åkerinäringen samt intresseorganisationer inom transportbranschen.

Ansvarig forskare för detta projekt och huvudförfattare till denna rapport har varit civ. ing. Angelika Treiber (TFK). Vidare har tekn. dr. Peter Bark, TFK, medverkat i projektet samt varit medförfattare till denna rapport.

Projektet har initierats mot bakgrund av erfarenheter och resultat som framkommit inom den tidigare av Energimyndigheten finansierade förstudien *Energieffektiva kortväga massgodstransporter på väg* (TFK 2014:3).

Arbetet har finansierats av Energimyndigheten samt projektdeltagarna vilka tillsammans med övriga intressenter har bidragit med insatser i form av eget arbete.

Projektets finansiärer och övriga intressenter har genom en projektgrupp löpande tagit del av projektets resultat samt även haft möjlighet att påverka projektets inriktning. I projektgruppen har följande personer utöver författarna ingått:

Håkan Ask	Volvo Construction Equipment
Torbjörn Heierson	Sveriges Åkeriföretag
Lars-Göran Jansson	Stockholms stad, Trafikkontoret
Arne Johansson	CeDe Group
Tommy Rosgardt	Volvo Group Trucks Technology
Andreas Säfström	Stockholms stad, Trafikkontoret

Rapporten 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 november 2016

Peter Bark



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>3</b>
1.1	Bakgrund .....	3
1.2	Syfte och mål.....	5
1.3	Tidigare studier .....	5
1.4	Metod och genomförande.....	6
1.5	Definitioner .....	7
<b>2</b>	<b>Regler för vikter och dimensioner .....</b>	<b>13</b>
2.1	Sverige.....	13
2.2	Övriga Europa .....	18
2.3	Utanför Europa.....	19
2.4	Höjning av tillåtna bruttovikter .....	19
<b>3</b>	<b>Massgodslöden.....</b>	<b>23</b>
3.1	Materialanläggningar i Stockholmsområdet .....	23
3.2	Byggarbeten i Stockholm .....	26
3.3	Kartläggning av massgodstransporter i Stockholm.....	26
<b>4</b>	<b>Fordon och infrastruktur .....</b>	<b>31</b>
4.1	Fordonskomponenter och system.....	31
4.2	Rangeringsplatser .....	33
<b>5</b>	<b>Anpassning och utveckling av regelverk .....</b>	<b>37</b>
5.1	Restriktioner idag .....	37
5.2	Lagkravsutveckling .....	37
5.3	Fordonskonfigurationer och fordonskombinationer.....	38
<b>6</b>	<b>Effekter av anpassningar av regelverk.....</b>	<b>42</b>
6.1	Vägslitage.....	42
6.2	Buller och markvibrationer .....	49
6.3	Utbyggnad av tunnelbanans blå linje – exempel.....	53
6.4	Workshop .....	67
<b>7</b>	<b>Resultat och slutsatser .....</b>	<b>69</b>
7.1	Erfarenheter.....	69
7.2	Möjligheter till energieffektiviseringsåtgärder.....	69
7.3	Slutsatser .....	71
7.4	Fortsatta studier .....	71
	<b>Referenser .....</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>Bilagor .....</b>	<b>79</b>
A.	Vägslitageberäkningar.....	79
B.	Beräkningar: Utbyggnad av Stockholms tunnelbanas blå linje .....	81
C.	Workshop – deltagare.....	83



# Sammanfattning

En stor andel av det gods som transporteras på väg är kortväga, det vill säga att det förflyttas över korta avstånd. Samtidigt är massgodstransporter ofta energikrävande och kostsamma. De fordon som används ger även upphov till buller och utsläpp av växthusgaser samt andra föroreningar i områden som redan är miljöbelastade. Transporterna bidrar vidare till ökad trängsel, genom en stor mängd fordonsrörelser i områden med en vanligen hög trafikbelastning.

Vägfordonens bruttovikter, eller egenvikten och nyttolasten sammantagna, begränsas främst av de bruttoviktsbestämmelser som gäller för det allmänna vägnätet. Vidare finns begränsningar av längd, bredd och höjd för fordon samt fordonskombinationer. På grund av lokala restriktioner för tillåtna fordonslängder och bruttovikter i flera större svenska tätorter begränsas lastförmågan hos de fordon som transporterar massgods vilket innebär att en stor del av dessa transporter inte kan utföras på ett effektivt sätt. Detta medför att fler fordonsrörelser krävs för att transportera en viss godsmängd samtidigt som energiförbrukningen per transporterad massenhet (ton) blir högre.

I storstäder och större tätorter såsom Stockholm råder i allmänhet begränsningar av bruttovikten, vanligen till BK2, och restriktioner av den maximala fordonslängden, ofta till 12 m. På grund av dessa restriktioner sker transporterna med en lägre fyllnadsgrad (lastvikt) än vad fordonen är utformade för. Samtidigt råder en stor brist på omlastnings- och rangeringsplatser vilket gör att fordonen körs med samma låga fyllnadsgrad under hela transporten, även utanför innerstaden.

Projektets syfte har varit att kartlägga flödena av massgods, såsom schaktmassor, jord, sten och grus, i stora tätorter, däribland Stockholm, och att kartlägga dessa transporters energiförbrukning samt miljöpåverkan. En avsikt har varit att kvantifiera de energieffektivitetsförluster som uppstår på grund av att fordonens lastkapacitet begränsas av lokala regelverk avseende bruttovikter samt fordonslängder. Ett mål har varit att i ett första steg anpassa och/eller utveckla regelverken i de större tätorterna som möjliggör energieffektivare massgodstransporter. En målsättning har även varit att ta fram konceptuella fordonslösningar som möjliggör ett effektivare utnyttjande av befintlig infrastruktur och att föreslå förändringar i regelverken för tunga fordon i stora tätorter.

Projektet genomfördes i samverkan med företrädare för problemägare såsom fordonstillverkare lokala infrastrukturhållare, transport- och åkeriföretag samt bygg- och anläggningsverksamhet. I projektet konstaterades att möjligheterna till energieffektivisering av massgodstransporterna bedöms vara goda och beror på olika möjliga åtgärder. Följande åtgärder har framkommit som särskilt betydelsefulla för att energieffektivisera massgodstransporterna i städer och tätorter:

- Etablering av rangerings- och/eller omlastningsplatser i anslutning till områden där exempelvis BK2 och maximalt 12 m fordonslängd råder
- Höjning av bruttovikten för enskilt fordon med fler än 4 axlar till i storleksordningen 38-40 ton
- Ökad fordonslängd i innerstaden från 12 m till minst 14 m där framkomligheten så medger
- Höjning av bruttovikter där BK2 råder genom att bruttovikten bestäms utifrån tillåtna axel- och boggilaster alternativt endast axellaster vid BK2 samt utifrån metervikten vid BK1

Upprättande av ranger- och omlastningsplatser i anslutning till områden där restriktioner, i form av BK2 respektive 12 m fordonslängd, råder ger betydande energibesparingar i transportkedjor som till största del utförs på gator och vägar där BK1 gäller. En betydande potential för energibesparingar finns vidare i en framtagning av enskilda motorfordon med fler än 4 axlar och att i tillsammans med detta anpassa regelverken samt viktbegränsningarna i större tätorter (BK2) till dessa fordons förutsättningar och möjligheter. En utveckling av fordonskoncepten med tillhörande förändringar i gällande regelverken bedöms kunna medföra att energiförbrukningen per transporterad massenhet (ton) halveras, samtidigt som slitaget på gator och vägar minskar.

## Summary

A large amount of the road transports of goods are short-distance transports. Meanwhile, the transports of construction materials are often energy-intensive and costly. The vehicles used also gives rise to noise and emissions of greenhouse gases and other pollutants in areas that already have a negative environmental impact. The transports contribute to an increased amount of vehicle movements in areas that already have a high traffic.

The gross weights, or tare weight and payload together, are primarily limited by the regulations of gross weight applicable to the public road network. Furthermore, there are limitations on length, width and height for vehicles and vehicle combinations. Due to local restrictions on vehicle lengths and weights in several major Swedish cities, the load capacity of the vehicle transporting construction material becomes limited, which means that a large part of this transport cannot be performed effectively. That will result in more vehicle movements and the energy consumption per transported mass unit (tonnes) will become higher.

In cities, such as Stockholm, the gross weight is usually limited by load class BK2, and restrictions of the maximum vehicle length are usually 12 m. Because of these restrictions the transports will be done with a lower degree of filling (load weight) than the vehicles are designed for. There is also a lack of transshipment and shunting sites, which results in that the vehicles run with the same low load weight during the entire transport, even outside the inner city.

The aim of this project was to map the flow of construction materials, such as soil, stone and gravel, in urban areas, including Stockholm, and to map these transports energy consumption and environmental impact. The intention has been to quantify the energy losses that occur due to that the load capacity of the vehicles are limited by local regulations. A goal has been to adapt and/or develop the regulations in urban areas that enable more energy-efficient transports of construction materials. A goal has also been to develop conceptual vehicle solutions that enable a more efficient use of existing infrastructure and to propose changes in regulations for heavy vehicles in urban areas.

The project was done in cooperation with representatives from vehicle manufacturers, local infrastructure holders, transport and haulage companies and construction companies. The project found that the potential for improving the energy efficiency of the transport of construction materials are good and depends on various possible measures. The following measures have emerged as particularly important:

- Establishment of shunting and/or transshipment sites adjacent to areas with local restrictions, for example BK2 and a maximum of 12 m vehicle length
- Increase of gross weight of vehicles with more than 4 axles to about 38-40 tonnes
- Increased vehicle length in the inner city from 12 m to at least 14 m where access permits
- Increase the gross weights where BK2 is applied by determined the gross weight based on axle and bogie loads or only axle loads permitted at BK2 and based on the meter weight at BK1

Establishment of shunting and transshipment sites adjacent to areas with local restrictions, for example BK2 and 12 m vehicle length, can provide significant energy savings in transport chains that mostly are performed on streets and roads where BK1 apply. A significant potential for energy savings are also possible with development of vehicles with more than four axles in conjunction with new regulations regarding weight restrictions in urban areas. A development of vehicle concepts together with changes in current regulations are expected to result in a reduction of the energy consumption per transported mass unit (tonnes) by half, while the road wear decreases.



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

En stor andel av det gods som transporteras på väg är kortväga, det vill säga att det förflyttas över korta avstånd. I viss statistik understiger en kortväga transport 100 km medan den i andra fall understiger 150 km. Nästan 80 % av den totala transporterade godsmängden i ton (tonnaget) och nästan 1/3 av godstransportarbetet utgörs av transporter på avstånd under 150 km (AVL, 2011). Av detta utgör schaktmassor, såsom jord, sten och sand en betydande del, eller mer än 1/4 (> 25 %) (Trafikanalys, 2013). 2/3 av dessa transporter utförs på avstånd under 25 km.

Massgodstransporter är energikrävande och kostsamma. De fordon som används ger även upphov till buller och utsläpp av växthusgaser samt andra föroreningar i områden som redan är miljöbelastade. Transporterna bidrar vidare till ökad trängsel, genom en stor mängd fordonsrörelser i områden med en vanligtvis hög trafikbelastning.

Energieffektiviseringar av massgodstransporter, främst inom stora tätorter och över korta avstånd, samt insatser för att minska den miljöpåverkan som dessa transporter ger upphov till har inte omfattats av forsknings- och utvecklingsinsatser av den omfattning som långväga godstransporter och godsdistribution i tätorter varit föremål för. Den forskning och utveckling som berört godstransporter på korta avstånd har främst varit inriktad mot tätortsdistribution av paket, styckegods, färdigvaror samt livsmedel. Dessa transporter skiljer sig i väsentliga delar från massgodstransporter, bland annat avseende de fordonstyper som används, där fordon för massgodstransporter är utformade efter massgodsets särskilda krav. Ett stort behov föreligger därför av att fylla upp det kunskaps- och forskningsbehov som finns inom massgodsområdet.

Vägfordonens maximala bruttovikter, eller egenvikten och nyttolasten sammantagna, begränsas främst av bruttoviktsbestämmelserna för det allmänna vägnätet. Vidare finns begränsningar av längd, bredd och höjd för enskilda fordon respektive fordonskombinationer. I Sverige uppgår den generellt tillåtna fordonslängden till 24 m. För fordon utformade enligt det så kallade europeiska modulsystemet (EMS) tillåts fordonslängder på 25,25 m.

Det svenska gatu- och vägnätet är indelat i 3 generella bärighetsklasser där den högsta klassen (BK1), vilken omfattar 94 % av det allmänna vägnätet, 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 18 m.

Vid BK2 begränsas bruttovikten till 51,4 ton för fordon av full längd samtidigt som de tillåtna boggi- och drivaxeltrycken är lägre. Vid BK3 begränsas bland annat den tillåtna bruttovikten till 37 ton. I flertalet EU-länder tillåts i allmänhet 40 tons bruttovikt för en fordonkombination respektive 44 ton vid transporter av odelbara intermodala lastbärare. Detta med i huvudsak samma regler avseende bärighet, axel- och boggitryck som gäller för det svenska BK1.

I övriga EU-länder uppgår den största tillåtna fordonslängden till 18,75 m. I vissa EU-länder, såsom Danmark, Finland och Nederländerna, tillämpas även EMS-systemets fordonslängd på 25,25 m i olika omfattning.

På grund av lokala restriktioner avseende tillåtna fordonslängder och bruttovikter i flera större tätorter i Sverige begränsas lastförmågan hos de fordon som utför transporter av massgods vilket innebär att en stor del av dessa transporter inte kan utföras på ett effektivt sätt. Detta medför att fler fordonsrörelser krävs för att transportera en viss godsmängd än om fordonen kunnat lastas till full lastförmåga eller om större fordon och fordonskombinationer istället kunnat användas.

Ett problem avseende detta är att energiförbrukningen per transporterad mass- eller godsenshet blir högre på grund av att förhållandet mellan fordonets nyttolast och dess 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.

I en förstudie kartlades transporter av massgods, främst vid anläggningsverksamhet (Krantz et al, 2014). Studien visade att begränsningar av fordonens lastkapacitet genom bruttoviktsbegränsningar, på grund av en låg bärighetsklass, såsom BK2, medförde stora effektivitetsförsämringar samt ökade energiförbrukningen per transporterad mängd gods.

Förstudien resulterade i en rekommendation om att i stora tätortsområden försöka begränsa omfattningen av specifika restriktioner som främst är kopplade till BK2. Ett exempel var den så kallade bärighetskurvan vilken anger hur fordonets tillåtna bruttovikt beror på avståndet mellan första och sista axeln. Vidare diskuterades i vilken omfattning BK2s restriktioner i boggitrycken kan undvikas. Skillnaderna i tillåten axellast för drivaxel, mellan BK1 och BK2, bedömdes däremot vara av mindre betydelse för fordons och fordonskombinationers bruttovikt. En följdfråga var om en för tätorter anpassad bruttoviktsklassning är av intresse. Till exempel kan bärighet enligt BK1 tillämpas medan restriktioner gäller för drivaxeltrycket.

I Finland har bruttovikten för tunga fordon under 2013 höjts till 76 ton. I samband med detta har regelverken även anpassats så att synnerligen intressanta kombinationer av fordon för anläggnings- och massgodstransporter kan skapas. Ett exempel är 5-axliga lastbilar. Även i Sverige vore det möjligt att skapa fordon av detta slag utan att BK1 förändras. Detta om de tillåtna bruttovikterna för enskilda fordon (lastbilar) höjs från nuvarande 32 ton. I Sverige förmodas en höjning av bruttovikterna, till 74 ton, vara aktuell inom en snar framtid, vilket skulle kräva en viss förändring av nuvarande BK1. Även detta skapar möjlighet för nya effektiva fordonskombinationer för massgodstransporter i tätortsområden. I en utredning om att tillåta högre bruttovikter i Sverige har bland annat möjligheten att skapa fordon med 5 axlar och upp till 42 tons bruttovikt angivits (Malmö stad, 2014). Ur energieffektiviseringssynpunkt bedöms denna fordonslösning vara av stort intresse.

I förstudien belystes även ett problem, i form av skador, som tunga fordon i huvudsak förorsakar på gatu- och vägnätet beror på markvibrationer. Dessa skador beror främst på fordonens axeltryck och med vilka hastigheter dessa framförs. Möjliga åtgärder för att minska risken för skador på gatu- och vägnätet kan därför vara att införa hastighetsrestriktioner för de aktuella fordonen i områden med svag infrastruktur och vid andra känsliga passager.

Förstudien indikerade att det av ekonomiska och även praktiska orsaker kunde vara svårt att införa alternativa drivsystem på fordon för massgodstransporter. En orsak var att energilager i form av till exempel batterier ökar fordonens egenvikt och därmed minskar lastkapaciteten. Andra lösningar såsom extern elmatning under drift, från ett elektrifierat gatu- och vägnät, är svåra att anpassa för transporter som över tiden kommer att ske i olika relationer och i olika stråk. Ett utnyttjande av sådana lösningar bygger på förutsättningen att systemen byggs upp för andra transporter och kan merutnyttjas för massgodstransporter. Emellertid framkom att ett behov fanns av alternativa eller nya drivsystem för de fordon som används för transporter av massgods i stora tätorter och storstäder men att dessa lösningar ökar i aktualitet när problemen avseende utnyttjande av och energieffektivitet för befintliga fordon lösts.

Sammanfattningsvis är en viktig del i en utveckling av lösningar för effektivare transporter av massgods i stora tätorter och storstäder att förändra de begränsningar som finns avseende restriktioner i fordonens vikter och dimensioner samt att utifrån ett utvecklat eller förändrat regelverk utveckla effektivare fordonslösningar.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med denna fortsättningsstudie var att utifrån erfarenheterna från en tidigare genomförd förstudie kartlägga flödena av massgods, främst i form av schaktmassor såsom jord, sten och grus, i några stora svenska tätortsområden, däribland Stockholm (Krantz, 2014). Ett syfte var även att kartlägga energiförbrukningen för massgodstransporterna i de aktuella tätortsområdena samt att kvantifiera dessa transporters miljöpåverkan.

En avsikt var vidare att kvantifiera de energieffektivitetsförluster som uppstår på grund av att fordonens lastkapacitet begränsas av lokala regelverk avseende bruttovikter samt fordonslängder. I detta ingår även att uppskatta hur stor energimängd som åtgår för att kompensera de aktuella effektivitetsförlusterna samt kartlägga i vilken omfattning dessa effektivitetsförluster kan reduceras. En energieffektiviseringspotential, per massenhet transporterat gods, på i storleksordningen 20-50 % har tidigare indikerats. En tidigare genomförd fallstudie har indikerat en effektiviseringspotential på 45 %. Ett mål var därför att i ett första steg i ett effektiviseringsarbete anpassa och/eller utveckla regelverken i de större tätorterna på ett sådant sätt att befintliga fordon kan lastas på ett mer effektivt sätt. Transporterna avsågs på detta sätt kunna effektiviseras ur energisynpunkt samt även utifrån ett ekonomiskt perspektiv.

En målsättning är även att ta fram konceptuella fordonslösningar som möjliggör effektivare utnyttjande av befintliga och/eller förändrade regelverk för trafik med tunga fordon i stora tätorter. Ett kvantifierbart mål kan vara att utveckla en konceptuell transportlösning vilken inkluderar såväl infrastruktur, transportmodell som fordon. Analyser har genomförts under förutsättning att större bruttovikter än vad som idag är tillåtna för enskilda fordon (32 ton för motordrivet fordon lastbil samt 38 ton för släpvagn) kommer att vara möjliga, dock utan att gällande högsta bärighetsklass (BK1) överskrids och utan att gällande axeltryck enligt BK2 (10 ton) överskrids.

Vidare analyserades hur bärighet, slitage samt markvibrationer som fordonen förorsakar kan begränsas med nya fordonslösningar och/eller genom att hastighetsrestriktioner införs på begränsade sträckor inom känsliga områden i gatu- och vägnäten.

## 1.3 Tidigare studier

I förstudien *Energieffektiva kortväga massgodstransporter på väg* framkom att ett stort behov fanns av ytterligare kunskapsuppbyggnad inom området massgodstransporter i tätort (Krantz et al, 2014). Studien visade att en betydande effektiviseringspotential förelåg och att stora möjligheter fanns att minska energiförbrukningen vid massgodstransporter i tätorter. Vidare framkom att fortsatt forskning och utveckling kan bidra till stora energieffektiviseringar vid kortväga massgodstransporter. Enligt förstudien är detta ett område där stora effekter kan uppnås med begränsade insatser.

I de största svenska kommunerna, främst Stockholm och Göteborg, råder begränsningar i den tillåtna bärigheten för gatu- och vägnäten samt i flera fall restriktioner avseende tillåten total fordonslängd. I Stockholm är enligt uppgift 98 % av gatu- och vägnätet begränsat till en lägre bärighetsklass 2 (BK2) samtidigt som den tillåtna fordonslängden är begränsad till 12 m (Jansson, 2014).

Enligt en genomförd fallstudie kan fordonens lastförmåga minska med i storleksordningen 1/3 när bärighetsklass BK2 gäller istället för den generella högre bärighetsklassen BK1 (Krantz et al, 2014). Vid den aktuella fallstudien ökade energiförbrukningen, per transporterad massenhet med 45 % på grund av restriktionerna med den lägre bärighetsklassen och kortare fordonslängden.

Förstudien visade även att det är de lokala regelverk som finns i flera större tätorter avseende vikter och dimensioner för fordon som bör anpassas eller förändras på ett sådant sätt att nya effektiva fordonslösningar, anpassade för massgodstransporter kan utvecklas och användas. Exempel på detta är transporter i områden där fordonens format medför framkomlighetsproblem vilket i sin tur innebär att restriktioner för fordonens längder även kommer att krävas i framtiden. Inom Stockholm har i undantagsfall insatser vidtagits för att tillåta längre och tyngre fordon för transporter av massgods. Vid byggnationen av Citybanan har exempelvis längre fordon i form av dragbil med påhängsvagn, tillåtits inom BK2 på vissa gator, såsom Torsgatan (Jansson, 2014).

Behov finns även av att öka kunskaperna om massgodstransporter i tätorter bland kommunala tjänstemän och beslutsfattare. Detta för att kunna värdera fördelar ur energieffektivitets- och miljösynpunkt med effektivare och ofta tyngre fordon mot eventuella kostnadsnackdelar för infrastrukturhållningen, det vill säga ökade underhållskostnader för gatu- och vägnätet.

I Malmö, som i huvudsak tillåter den högsta bärighetsklassen (BK1) på gatu- och vägnätet, och likt Stockholm och Göteborg har en längdrestriktion på 12 m för tunga fordon, motiveras restriktionen med att innerstadens gator av framkomlighetsskäl inte klarar längre fordon. Detta främst på grund av fordonens svängradier etc. (Malmö stad, 2014).

Utifrån behovet av förändringar och utvecklingar av de lokala regelverken finns det även ett behov av att utveckla fordonskoncept som möjliggör energieffektiva massgodstransporter, främst i tätorter där restriktioner av fordonslängderna kommer att bestå i framtiden. Detta kan åstadkommas genom att högre fordonsvikter än idag tillåts för en enskild lastbil, inom 12 m fordonslängd. I Sverige tillåts idag en enskild lastbils vikt att uppgå till 32 ton. I Finland har bruttovikterna höjts till 76 ton samtidigt som 42 tons bruttovikt tillåts för en 5-axlad lastbil (Mustonen, 2014).

Förstudien indikerade slutligen att det i framtiden kan vara motiverat att med nya drivsystem och alternativa drivmedel skapa förutsättningar för att ytterligare minska energianvändningen vid, och miljöpåverkan från, kortväga massgodstransporter, främst i tätortsmiljö. I en framtida kartläggning anses det motiverat att studera förutsättningar för utveckling och implementering av alternativa drivsystem för de anläggningsfordon som avses användas inom större tätorter.

## **1.4 Metod och genomförande**

Projektet har haft en explorativ ansats och utgått från resultat och erfarenheter från förstudien *Energieffektiva kortväga massgodstransporter på väg*. En kvantitativ del i projektet har omfattat insamling av data genom litteraturstudier samt en enkätundersökning. Kvantitativt underlag har insamlats genom intervjuer samt en kompletterande faktainsamling bland intressenter och aktörer. Vidare har en workshop genomförts. Under projektets gång har regelbundna referensgruppsmöten hållits där arbetet med de olika delavsnitten presenterats och diskuterats.

Projektet var indelat i följande delavsnitt:

### **1. Litteraturstudie**

I denna etapp har kompletterande litteraturstudier om massgodstransporter samt en återkoppling till erfarenheter från föregående förstudie utförts.

### **2. Kartläggning av flöden av massgods**

Projektet har bestått av en kvantitativ kartläggning av flöden av massgods, främst schaktmassor såsom jord, sten och grus, inom Stockholms tätortsområde. Vidare har energieffektiviseringspotentialen för dessa massgodstransporter kartlagts.

Detta har även innefattat en kvantifiering av de aktuella transporternas miljöpåverkan och effektivitetsförluster på grund av dåligt utnyttjande av fordonens lastkapacitet. Underlag har insamlats genom litteraturstudier samt datainsamlingar från branschens intressenter. Vid kartläggningen av massgodslöden har en enkätundersökning genomförts bland ett antal av Sveriges Åkeriföretags medlemmar i Stockholm.

### **3. Bedömning av effektiviseringspotential genom anpassning och utveckling av regelverk**

För bedömning av effektiviseringspotentialen har ansatser skett beträffande hur regelverken avseende tunga fordons vikter och dimensioner inom stora tätorter kan utvecklas och/eller förändras. Vidare har ansatser gjorts av hur stora andelar av massgodstransporterna som kan effektiviseras genom ett förbättrat utnyttjande av fordonens möjliga lastförmåga. Hur massgodstransporterna kan effektiviseras genom förändrade och/eller vidareutvecklade fordonskoncept har bedömts och analyser har genomförts av effekter av anpassningar av regelverk.

### **4. Kartläggning av effektiviseringspotential genom utveckling och/eller förändring av fordonskoncept**

Denna etapp har innefattat ansatser om hur fordonskoncepten kan utvecklas, exempelvis genom införande av 5-axliga lastbilar. Vidare har förslag framtagits om hur nya fordonskoncept kan utformas. I projektet har det undersökts hur regelverken avseende tunga fordons vikt och dimensioner ska kunna utvecklas och anpassas för massgodstransporter i större tätorter.

### **5. Analyser**

Analyserna omfattade bland annat:

- En bedömning av möjligheterna till effektiviseringar av massgodstransporterna, främst i stora tätorter och en kvantifiering av de minskningar av energiförbrukningen som förväntas följa av de aktuella åtgärderna
- Ett preliminärt analysresultat togs fram som diskussionsunderlag inför en workshop som genomfördes under medverkan av intressenterna och andra problemägare

### **6. Workshop**

En workshop genomfördes under medverkan av representanter för problemägare såsom kommuner samt andra infrastrukturhållare, transport- och åkeriföretag, fordonstillverkare och byggnadsindustri.

### **7. Slutsatser/syntes**

Utifrån det genomförda utvecklingsarbetet, erfarenheter från den aktuella workshopen samt eventuella kompletterande kartläggningar har en slutlig analys genomförts varefter slutsatser sammanställts.

### **8. Slutrapportering**

En slutrapport som publiceras i TFKs rapportserie sammanställs och tillsänds studiens finansiärer och andra intressenter.

## **1.5 Definitioner**

### **Axellast**

Den sammanlagda statiska vikt som en enskild axel överför till vägbanan (Holmstrand, 2011)

### **Boggi**

Två hjulaxlar med ett inbördes avstånd som är mindre än 2 m (Holmstrand, 2011).



### **Boggitryck**

Den sammanlagda vikten som överförs till vägbanan från hjulen på två intill varandra, och på ett inbördes avstånd mindre än 2,0 m, monterade fordonsaxlar.

### **Bruttovikt**

Den sammanlagda vikten som överförs till vägbanan från samtliga axlar och hjul på ett enskilt fordon eller för ett helt ekipage bestående av flera sammankopplade fordon.

### **Bärighetsklass**

Indelning av vägar utifrån vilket statistiskt tryck i form av bruttovikter som tillåts. Detta inkluderar även reglering av axel-, boggi- och trippelboggitryck. De tre bärighetsklasserna benämns bruttoviktsklass 1 (BK1), bruttoviktsklass 2 (BK2) och bruttoviktsklass 3 (BK3), där BK1 är den som tillåter högst fordonsvikt, se avsnitt 2.1.

### **Dolly**

En dolly är ett efterfordon med kopplingsanordning avsedd att dra ett efterfordon, i form av en påhängsvagn (trailer). En dolly sammankopplad med en påhängsvagn utgör funktionellt en släpvagn. En dolly har inte någon lastyta eller något lastutrymme (se figur 1.1).



Figur 1.1 Dolly (TFK)

### **Dragbil**

En dragbil är ett fordon med kopplingsanordning avsedd för att dra någon typ av efterfordon, vanligen en påhängsvagn (trailer) (se figur 1.2). Dragbilen kan vanligen inte bära någon last i ett eget lastutrymme utan all last transporteras på efterfordonet (Krantz et al, 2014).



Figur 1.2 Dragbil med tillkopplad påhängsvagn (TFK)

### **Efterfordon**

Fordon som dras av en dragbil eller lastbil och vanligen utgörs av en dolly, kärria, släpvagn eller påhängsvagn (Krantz et al, 2014).

### **EMS – European Modular System**

EMS innebär att moduler godkända enligt EU-direktivet 96/53/EG kombineras så att fordonslängden kan bli upp till 25,25 m, se avsnitt 2.2.

### **Euroklass**

Nya tunga dieseldrivna fordon kan klassas enligt Europas utsläppsreglering för Euroklass (Euro) 1 till 6. Denna indelning gäller alla dieseldrivna fordon med en totalvikt på över 3,5 ton. Euro 1 gäller för fordon med registreringsår 1993 och för fordon med registreringsår 2014 gäller Euro 6. Dessa utsläppsstandarder inkluderar utsläpp av CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM (Particulate Matter), PN (Particle Number) och rök (Dieselnet, 2015).

### **Grävmaskin**

En grävmaskin är en anläggningsmaskin som används för olika schaktarbeten såsom grävning, lastning samt rivning.

### **Hjullastare**

En hjullastare, även kallad lastmaskin, är en självgående motordriven hjulburen maskin med frontmonterat lyftarmssystem som främst är anpassat för lastning med skopa. Hjullastare kan även användas för schaktning. Vidare kan en hjullastare, genom byte av arbetsredskap, användas för hantering av de flesta typer av material och gods (Bark, 2002).

### **Kassettflak**

Kassettflak är utformade så att släpets flak kan dras över på lastbilens flak, vilket även är tippbart (se figur 1.3). Detta medför att hanteringen av flak underlättas och att avställning av flak på marken, i samband med att dessa skiftas mellan lastbil och släp, kan undvikas. Nackdelen med kassettflak är att de inte bör användas för vissa typer av material och/eller schaktmassor. Exempelvis bör transporter av krossat berg undvikas då detta medför ett stort slitage på flaken.



Figur 1.3 Kassettflak som flyttas mellan släpvagn och bil (TFK)

### **Kärra**

En kärra är ett efterfordon med en dragstång genom vilken en del av fordonets egen vikt överförs till dragfordonet (se figur 1.4). Ett annat försvenskat begrepp för kärra är centeraxelsläp. Tippkärror är vanligen försedda med en, två eller tre axlar (Krantz et al, 2014). En kärra kan vikas 90 grader vilket gör att det går att lossa, och även lasta både kärra och dragfordon utan att koppla av kärnan.



Figur 1.4 Treaxlig tippkärra kopplad till treaxlig lastbil (Scania)

### **Lastbil**

En lastbil är ett fordon som antingen lastas med en lös (utbytbar) lastbärare, eller är försett med en lastbärare som utgörs av en fast påbyggnad, i vilken det finns ett lastutrymme eller en lastyta i detta fall i form av ett tippflak. Tunga lastbilar förses vanligen med en kopplingsanordning för att kunna dra ett efterfordon.

### **Lastväxlare**

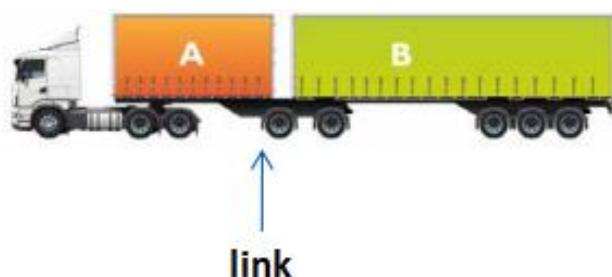
En lastväxlare är en påbyggnad som möjliggör att en lastbil kan hantera och transportera olika typer av lastbärare, såsom flak för schaktmassor och/eller avfall, samt olika typer av behållare, vilket även gör lastbilen flexibel. Lastväxlaren är oftast utformad som en kroklyft (se figur 1.5). Dess funktion är att lyfta upp lastbäraren på fordonet, tippa lastbäraren bakåt respektive att sätta av lastbäraren, på marken eller på en brygga. Den kan även skjuta eller dra lastbärare mellan lastbil och släp. En påbyggnad i form av en kroklyft ökar ett fordonsvikten med 2 - 2,5 ton.



Figur 1.5 Lastväxlare med kroklyft (Treiber)

### **Link**

En link är en påhängsvagn som är utrustad med en vändskiva för att möjliggöra tillkoppling av ytterligare en påhängsvagn (se figur 1.6). Linkar används exempelvis i modulekipage med en totallängd på 25,25 m. En link är vanligen försedd med en skjutbar boggi vilket möjliggör att vändskivan och boggi kan skjutas in under lastbäraren när någon ytterligare påhängsvagn ej är tillkopplad.



Figur 1.6 Dragbil med link och en ytterligare påhängsvagn (trailer) enligt det europeiska modulsystemet (Transportstyrelsen)

### **Massgods**

Massgods avser bulk gods, 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. Gemensamt är ett lågt värde per ton samt att flertalet av transporterna sker med en för det enskilda godsslaget specialanpassad lastbärare såsom malmvagn, betong- eller tankbil. I detta projekt har med massgods främst avsetts berg- och grustransporter samt schaktmassor.

### **Påhängsvagn (trailer)**

Påhängsvagnen benämns oftast trailer, eller semi-trailer och är ett efterfordon vilket med en dragtapp kopplas till en dragbil, eller en dolly (Bark, 2002).



Påhängsvagnen förses ofta med samma slags lastutrymmen och påbyggnader som andra typer av vägfordon. Detta innebär att påhängsvagnar som används vid anläggningstransporter ofta har tippflak (se figur 1.7). Påhängsvagnar med tippflak är vanligen utrustade med skjutbar boggi som vid transport på allmän väg skjuts bakåt för att öka avståndet mellan första och sista axeln i fordonskombinationen samt för att skapa en bättre viktfordelning av lasten.



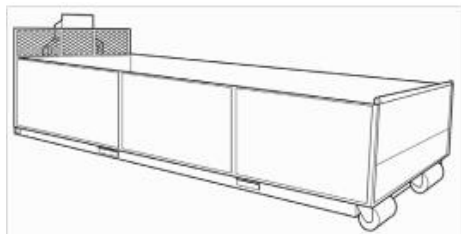
Figur 1.7 Påhängsvagn med tippflak (Parator)

### **Roterbil**

En roterbil används för transport av exempelvis betong. Lastutrymmet består av en lutande cylinder vilken roteras under färd. Detta för att hålla massan homogen samt för att undvika att betongens ballast sjunker ned på botten av lastbäraren. Lossning sker vanligen genom en ränna av begränsad längd som fälls ut bakom bilen. På längre avstånd tillämpas ofta pumpning i rör.

### **Rullflak**

Ett rullflak är en i bakändan rullförsedd lastbärarram anpassad för lastväxlare av typen kroklikt och som vanligen förses med en flakpåbyggnad (se figur 1.8). Rullflakets ram är oftast utformad enligt en nationell standard (i Sverige SMS 3021). Rullflaket är det vanligaste förekommande typen av växelflak vid entreprenad- och massgodstransporter. För massgodstransporter finns olika flak för transport av exempelvis asfalt, grus och schakt, flis, skrot eller maskiner.



Figur 1.8 Rullflak (Timars)

### **Schaktvagn**

En schaktvagn är en anläggningsmaskin som främst används för transport av stora mängder massor en kort sträcka, exempelvis vid stora schaktarbeten (se figur 1.9). Schaktvagnen har vanligen egen framdrivningsutrustning och en tippbar bakvagn. Den kan även vara utförd så att den kopplas till ett dragfordon. Lossning sker vanligen genom tippning. En schaktvagn fylls genom att en lucka fälls upp och främre delen av vagnens lastyta tippas framåt så att skärstålen går ner i marken.



Figur 1.9 Schaktvagn (CAT)

En schaktvagn kan ej användas för transporter av schaktmassor på allmän väg.

### **Släpvagn**

En släpvagn är försedd med minst två axlar, varav den främre axeln är styrbar, eller de främre axlarna är styrbara (se figur 1.10). På släpvagnen finns vidare en dragstång vilken är avsedd att ta upp drag- och tryckkrafter, från det dragande fordonet, samt krafter i sidled för styrning av den främre axeln eller de främre axlarna. Traditionella svenska ekipage, med 64 tons bruttovikt och en längd av upp till 24 m, består vanligen av en treaxlig lastbil och en fyraxlig släpvagn. Den senare med en totalvikt av upp till 38 ton.



Figur 1.10 4-axlad tippsläpvagn (TFK)

### **Tippflak**

En lastbil med tippflak är en lastbil som försetts med ett flak som kan tippas bakåt och/eller åt sidan vid lossning av massgods, exempelvis sand och grus. Fordonet används därför vanligen vid massgodstransporter. Kassetflak kan ställas i tippflaket på bilen och därmed tippas.

### **Tjänstevikt**

Den sammanlagda vikten för ett fordon i driftsdugligt skick, vilket bland annat inkluderar karosseri, reservhjul, bränsle, smörjolja, vatten samt förare och benämns tjänstevikt.

### **Totalvikt**

Summan av fordonets tjänstevikt och vikten av den maximala mängd gods som tillåts för fordonet (se bruttovikt).

### **Trippelaxel**

Tre hjulaxlar på ett fordon med ett inbördes avstånd mellan första och tredje axeln som är kortare än 5 m (Transportstyrelsen, 2014a).

### **Trippelaxeltryck**

Den sammanlagda statiska vikt som hjulen i en trippelaxelkombination för över till vägbanan (Transportstyrelsen, 2014a).

### **Växelflak**

Ett växelflak är en vanligen standardiserad lastbärare till vägfordon med anpassad längd, bredd, höjd och lastkapacitet. Växelflak är inte tippbara och är därför en lastbärare som sällan används för sådant massgods som lossas genom tippning, till exempel grus, jord och schaktmassor. Ett växelflak består av en ram med påbyggnad anpassad efter önskat behov. Lastbärarens påbyggnad behöver inte utgöras av ett flak utan kan exempelvis utgöras av en skåppåbyggnad. Lastbäraren kan ha stödben vilket underlättar avställning av lastbärare. Ett växelflak har generellt en lägre taravikt än en container och är relativt lasttålig (Bark red, 2002). Växelflaksstandarden består av långa flak (klass A) och korta flak (klass C). Klass A innefattar standardiserade längder på 12,2 m, 12,5 m samt 13,6 m. Klass C innefattar standardiserade längder på 7,15 m, 7,45 samt 7,82 m.

## 2 Regler för vikter och dimensioner

### 2.1 Sverige

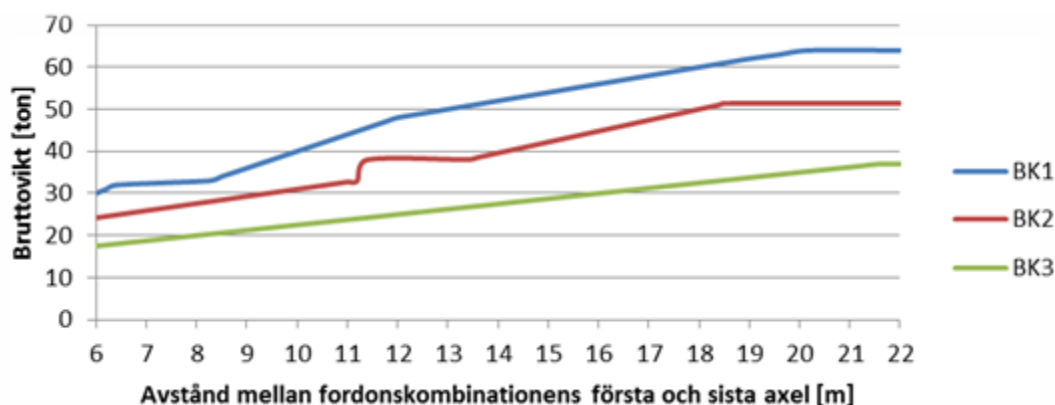
För att begränsa slitaget och risken för skador på de allmänna gatu- och vägnäten finns restriktioner kring fordons bruttovikt och dimensioner. Alla vägar utom enskilda vägar delas in i tre bärighetsklasser (BK); BK1, BK2 och BK3. På 95 % av det allmänna vägnätet tillåts BK1-fordon. På gatu- och vägnätet i de stora tätorterna är emellertid andelen betydligt lägre. Om inget annat anges råder BK1 på allmän väg och BK2 på övriga vägar (Transportstyrelsen, 2015).

#### 2.1.1 Allmänt

Tillåten bruttovikt vid rådande bärighetsklass bestäms av avståndet mellan första och sista axeln, den maximalt tillåtna bruttovikten för enskilt fordon och släpvagnar samt tillåtet axel-, boggi- och trippelaxeltryck. Ingen av dessa restriktioner får överskridas, vilket exempelvis innebär att ett motordrivet fordon med 3 hjulaxlar enligt BK1 inte får ha en högre bruttovikt än 26 ton oberoende av avståndet mellan första och sista axeln.

#### Bruttovikt i förhållande till avståndet mellan första och sista axeln

Maximal tillåten bruttovikt för rådande bärighetsklass baseras på antalet axlar på fordonet eller fordonskombinationen samt avståndet mellan den första och sista axeln (se figur 2.1).



Figur 2.1 Bruttoviktsskurvor enligt bärighetsklasserna BK1, BK2 och BK3

#### Bruttovikt för enskilt fordon och släpvagnar

Maximal bruttovikt för en fordonskombination är 64 ton enligt den nuvarande högsta bärighetsklassen (BK1). För att uppnå denna vikt krävs det att avståndet mellan första och sista axeln i hela fordonskombinationen är minst 20,2 m och att avståndet mellan släpvagnens första och sista axel är minst 7,8 m. Släpet måste ha minst 4 axlar för att klara kraven vilket innebär 18 tons boggi fram och två 10 tons axlar med ett inbördes avstånd på minst 1,8 m bak (vilket sammanlagt blir 38 ton), alternativt 5 axlar med 18 tons boggi fram och trippelaxlar bak. Lastbilen ska ha en tillåten bruttovikt på minst 26 ton.

För fordonskombinationer som främst används i gränsöverskridande trafik mellan olika EU-länder gäller dock generellt följande bruttovikter:

- För 4-axligt fordonståg tillåts 38 tons bruttovikt
- För 5- eller 6-axligt fordonståg tillåts 40 tons bruttovikt
- För 3-axligt motorfordon med 2- eller 3-axlig påhängsvagn tillåts 44 tons bruttovikt vid transport av en odelbar last, såsom en 40 fots ISO-container

Vid trafik mellan länder som tillåter högre fordons- och bruttovikter gäller dock de nationella reglerna och begränsningarna.

För enskilt fordon och släpvagnar vid BK1 och för 2-axlade fordon vid BK2 begränsas den maximalt tillåtna bruttovikten beroende på antalet hjulaxlar (se tabell 2.1). För släpvagn eller för en dolly med tillkopplad påhängsvagn med ett minsta avstånd mellan första och sista axel av 6,6 m gäller tillkommande restriktioner för bruttovikterna (se tabell 2.2).

Tabell 2.1 Maximalt tillåten bruttovikt för olika fordon och bärighetsklasser

Motordrivet fordon	Bruttovikt BK1 [ton]	Bruttovikt BK2 [ton]	Bruttovikt BK3 [ton]
2 hjulaxlar	18	18	Enl. bruttoviktstabell
3 hjulaxlar	25 (26*)	Enl. bruttoviktstabell	Enl. bruttoviktstabell
4 eller fler hjulaxlar	31(32*)	Enl. bruttoviktstabell	Enl. bruttoviktstabell
Släpvagn med axelavstånd $\geq$ 7,8 m	38**	Enl. bruttoviktstabell	Enl. bruttoviktstabell

\* Om drivaxeln är försedd med dubbelmonterade hjul och luftfjädring eller likvärdig fjädring, eller om drivaxel är försedd med dubbelmonterade hjul och vikten inte överstiger 9,5 ton på varken drivande axlar eller löpaxlar.

\*\* Släpet måste ha minst 4 axlar för att klara kraven på 18 tons boggi fram och två 10 tons axlar bak på ett inbördes avstånd av kortare än 1,8 m, alternativt 5 axlar med 18 tons boggi fram och trippelaxel bak.

Tabell 2.2 Maximalt tillåten bruttovikt vid olika avstånd mellan första och sista axel för släpvagn eller dolly med tillkopplad påhängsvagn

Avstånd mellan första och sista axeln (m)			Bruttovikt (ton)
6,60	men inte	6,80	33
6,80	men inte	7,00	34
7,00	men inte	7,20	35
7,20	men inte	7,60	36
7,60	men inte	7,80	37
7,80	eller längre		38

### Tillåtet axel-, boggi- och trippelaxeltryck

Reglerna för axel-, boggi- och trippelaxeltryck vid olika bärighetsklasser påverkar den maximalt tillåtna bruttovikten för ett fordon eller en fordonskombination (se tabell 2.3).

Tabell 2.3 Tillåtet axel-, boggi- och trippelaxeltryck vid olika bärighetsklasser

	BK1 (ton)	BK2 (ton)	BK3 (ton)
<b>Axeltryck</b>			
Axel som inte är drivande	10	10	8
Drivande axel	11,5	10	8
<b>Boggitryck (2 axlar)</b>			
<b>Generella regler – främst tillämpbara på ej drivande boggi</b>			
Avståndet mellan axlarna är mindre än 1,0 m	11,5	11,5	11,5
Avståndet mellan axlarna är 1,0 m eller större men inte 1,3 m	16	16	12
Avståndet mellan axlarna är 1,3 m eller större men inte 1,8 m	18	16	12
Avståndet mellan axlarna är 1,8 m eller större	20	16	12
<b>Särskilda bestämmelser för drivande boggi</b>			
Avståndet mellan axlarna är 1,3 m eller större men inte 1,8 m och drivaxeln är försedd med dubbelmonterade hjul och luftfjädring eller likvärdig fjädring, eller drivaxlarna är försedda med dubbelmonterade hjul och vikten inte överstiger 9,5 ton på någon av axlarna	19	16	12
<b>Trippelaxeltryck (3 axlar)</b>			
Avståndet mellan de yttre axlarna är mindre än 2,6 m	21	20	13
Avståndet mellan de yttre axlarna är 2,6 m eller mer	24	22	13

Axeltrycket för de olika bärighetsklasserna är olika för drivande och icke drivande axlar. Boggitrycket baseras på avståndet mellan axlarna samt i vissa fall om drivaxeln har dubbelmonterade hjul och luftfjädring eller inte. Trippelaxeltrycket baseras på avståndet mellan de yttre axlarna. Den sammanlagda summan av dessa blir fordonets maximalt tillåtna bruttovikt förutsatt att maximal bruttovikt som bestäms utifrån antal axlar eller avståndet mellan första och sista axel inte överskrids.

### Tillåten fordonslängd

Maximalt tillåten längd för en fordonskombination är 24,0 m. Längden får uppgå till 25,25 m om särskilda krav, såsom regelverken för modulfordon (EMS), uppfylls (Transportstyrelsen, 2015). Detta inkluderar att varje enskilt motordrivet fordon eller släpvagn (utom påhängsvagn) högst får vara 12,0 m. Fordon kan få dispens från dessa restriktioner av Transportstyrelsen i enskilda fall.

### Miljözon

I ett flertal svenska städer har det upprättats miljözoner, ofta inom stadskärnor eller andra miljö känsliga områden. Syftet med miljözonerna är att förbättra luftkvaliteten genom att reducera utsläppen av kväveoxider och partiklar. Inom områden klassade som miljözoner gäller särskilda regler för tunga lastbilar och bussar. De lokala bestämmelserna för miljözonerna i svenska städer förklaras mer utförligt under respektive ort nedan.

Enligt Transportstyrelsen är restriktionerna i miljözoner drivmedelsneutrala och gäller även andra fordon än dieseldrivna. Tunga fordon får generellt köra inom miljözonen i 6 år registreringsåret räknat. Fordon som tillhör Euroklass 2 och 3 är tillåtna att köra inom miljözonen i 8 år, registreringsåret räknat. Fordon som tillhör Euroklass 4 har tillåtelse att köra inom miljözonen fram till och med 2016. Fordon som tillhör Euroklass 5 är tillåtna till och med 2020. Detta gäller oavsett registreringsår. Dispens att få tillåtelse att köra inom miljözonen kan ges. Fordon som tillhör Euroklass 6 eller bättre har i dagsläget ingen tidsbegränsning (Transportstyrelsen, 2013).

## 2.1.2 Stockholm

### Allmänt

Följande gäller i allmänhet i Stockholms stad (Stockholms kommun):

- *Förbud mot tung trafik nattetid:* Förbud mot trafik kl. 22-06 med lastbil med totalvikt på över 3,5 ton.
- *Miljözon:* Miljözon för tung trafik gäller i de mest centrala delarna av Stockholm, det så kallade inre trafikområdet.
- *Tunga fordon:* Förbud nattetid mellan kl. 22.00 och 06.00 mot framförande av lastbil med totalvikt över 3,5 ton råder. Undantag gäller på särskilda trafikleder samt inom industriområden och avlastningsterminaler. Undantag gäller även transporter till och från bensinstationer, panncentraler och industribyggnader samt fordon för renhållning, postbefordran med mera. Mellan kl. 22.00 och 06.00 får heller inte motorfordon med totalvikt över 3,5 ton parkeras på väg inom Stockholms kommun om inget annat anges.
- *Vibrationsproblem:* Specifika gator i Stockholm har vibrationsproblem på grund av dåliga markförhållanden och finns listade.
- *Nedsatt bärighet:* På 11 broar och gatudäck i Stockholm råder BK2 och 16 broar har en bärighet lägre än BK3.
- *Fri höjd:* Ett antal vägportar har en fri höjd som understiger 4,50 m.

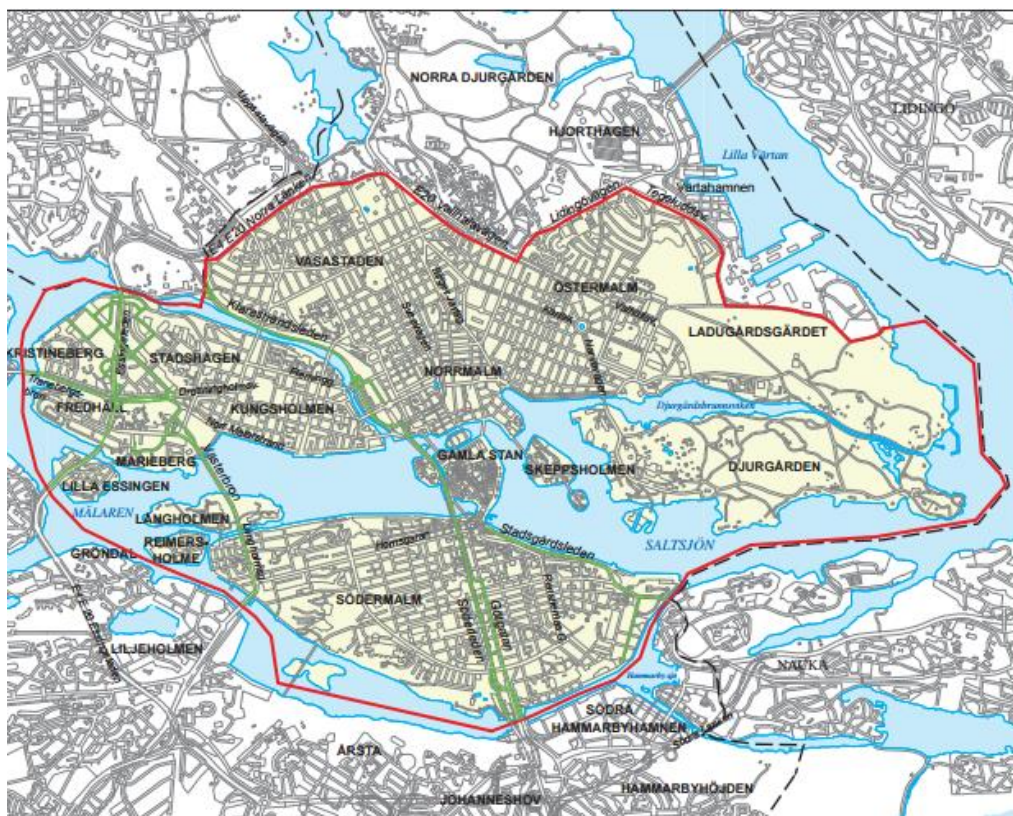


- *Begränsad fordonslängd:* Inom Stockholms kommun är fordon eller fordonskombinationer med en längd som överskrider 12 m inte tillåtna. Detta förbud gäller dock inte vägar med Färdvägsförteckning A. Avvikelse från förbudet gäller även tanktransporter av petroleumprodukter samt fordonståg som består av en lastbil jämte en tillkopplad enaxlad släpvagn där den sammanlagda längden uppgår maximalt till 15 m.

### Inre trafikområdet

Det inre trafikområdet sammanfaller med miljözonen (se figur 2.2). Vanligtvis gäller bärighetsklass BK2, men särskilda begränsningar gällande axeltryck, bruttovikt och fri höjd förekommer. Nedan följer en sammanfattning av de viktigaste lokala trafikföreskrifterna som gäller i det inre trafikområdet:

- *Gamla Stan:* I vissa områden i Gamla Stan är maximal längd begränsad till 8 m. I största delen av Gamla Stan råder även en lokal höjdbegränsning på 3,5 m.
- *Kungsholmen:* BK1 utan begränsning av 12 m fordonslängd samt utan förbud mot tung trafik mellan kl. 22 och kl. 06 gäller på Essingeleden samt Lindhagensgatan från Moa Martinssons torg till Kjellgrens gata. BK2 men utan begränsning av 12 m fordonslängd samt utan förbud mot tung trafik mellan kl. 22 och kl. 06 gäller på övriga delen av Lindhagensgatan samt Västerbron.
- *Södermalm:* I Söderledstunneln samt på Götgatan och Långholmsgatan gäller BK2 utan begränsning av 12 m fordonslängd samt utan förbud mot tung trafik mellan kl. 22 och kl. 06. På delar av Stadsgårdsleden gäller BK1.
- *Slussenområdet:* Begränsad fri höjd till 2,4 m vid området Östra Slussgatan och Katarinahissen på grund av bristfällig bärighet. Begränsad bruttovikt på 12 ton gäller kring Slussens tunnelbanestation.
- *Norrmalm:* På Centralbron och Klarastrandsleden gäller BK2 utan begränsning av 12 m fordonslängd samt utan förbud mot tung trafik mellan kl. 22 och kl. 06.



Figur 2.2 Miljözonen i Stockholm (Stockholms stad, 2007)

## Utanför inre trafikområdet

- *Liljeholmen*: På Liljeholmsvägen mellan Nybohovsbacken och Lövholmsvägen gäller BK1 och tillåten tung lastbilstrafik dygnet runt endast i nordlig riktning.

## Gator med vibrationsproblem på grund av dåliga markförhållanden

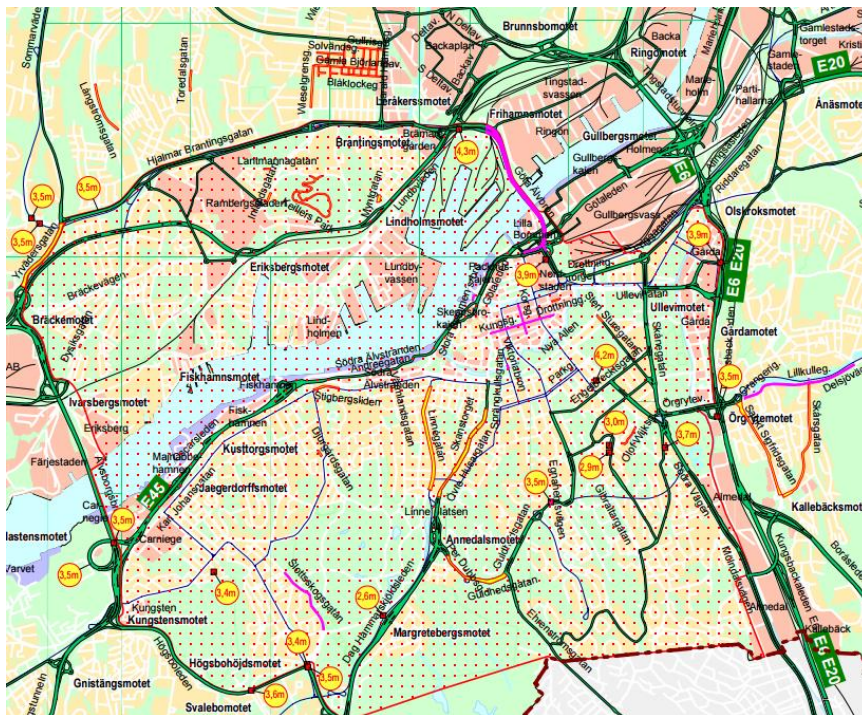
Gator i Stockholms innerstad med vibrationsproblem på grund av dåliga markförhållanden är (Stockholms stad, 2016b):

- *Karlavägen*: mellan Nybrogatan och Grev Turegatan
- *Renstiernas gata*: mellan Tjärhovsgatan och Kocksgatan samt Nytorget och Ringvägen.
- *Folkungagatan*: mellan Nytorrgsgatan och Borgmästargatan
- *Valhallavägen*: mellan Artillerigatan och Sibyllegatan
- *Hantverkargatan*: mellan Pilgatan och Södra Agnegatan
- *Kungsholmsgatan*: mellan Kungsgatan och Scheelegatan

## 2.1.3 Göteborg

I Göteborgs miljözon gäller samma regler som i miljözonen i Stockholm (Trafikverket, 2015) (se figur 2.3). Även Mölndal har infört en miljözon (Mölndals stad, 2015). Höger körfält på Götaälvbron har en begränsad bruttovikt på 3,5 ton. På ett antal vägsträckor råder begränsad fri höjd samt begränsad bärighet. För Göteborg gäller främst BK3 särskilt inom tätort (Trafikkontoret Göteborg, 2009). På Donsö, Brännö, Vrångö, Asperö och Köpstadsö gäller en maximal tillåten bruttovikt på 8 ton och det är förbjudet att köra fordon med boggi. Ett antal vägsträckor i Göteborg har en fri höjd som är lägre än 4,5 m (Göteborgs Stad, 2015).

Inom Vallgraven och Västra nordstaden råder förbud för fordon och fordonskombinationer med en längd som överskrider 10 m. Förbudet gäller dygnet runt utom mellan kl. 6-8 alla dagar (Göteborgs Stad, 2015).

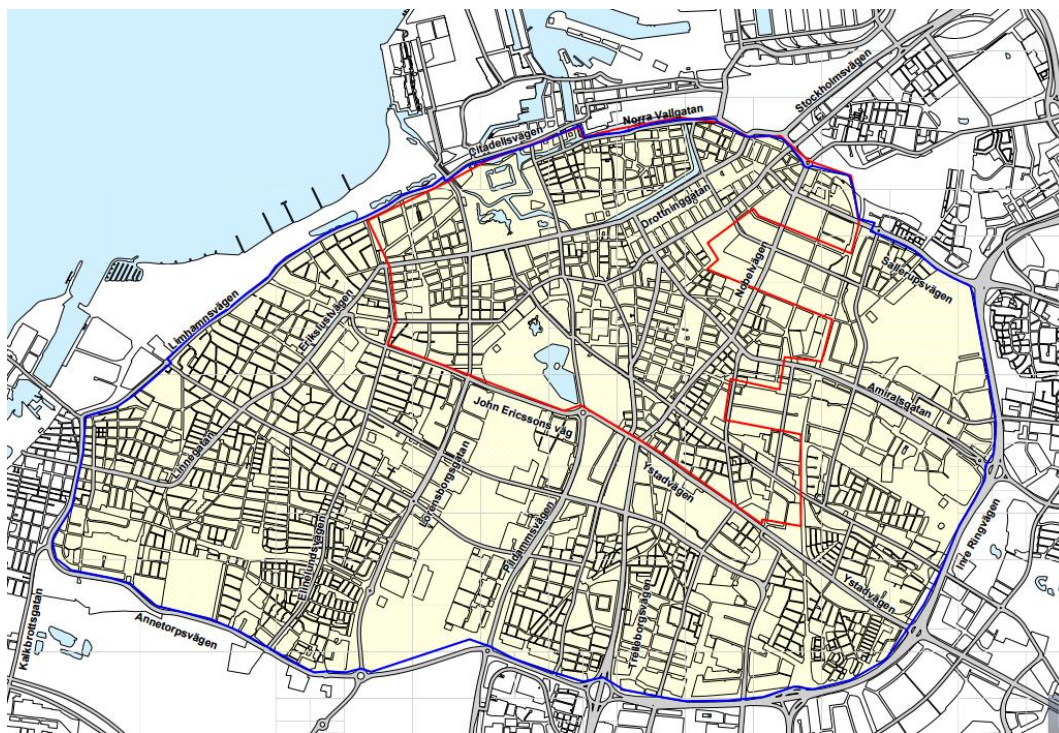


Figur 2.3. Miljözonen i Göteborg markerat med röda prickar, lila vägar råder BK3, gula vägar har restriktionen för tung lastbil, på gröna vägar råder BK1 (Trafikkontoret Göteborg, 2007)



## 2.1.4 Malmö

Precis som Stockholm och Göteborg klassas centrala Malmö som miljözon vilket innebär restriktioner för vilka typer av fordon som får färdas i zonen (se figur 2.4). Begränsningar till en maximal fordonslängd på 12 m gäller inom ett visst område i centrala Malmö (innanför Yttre Ringvägen). Denna begränsning gäller dock inte bussar och distributionsbilar för olja och bensin. Innanför Yttre Ringvägen råder även en begränsad bruttovikt på 3,5 ton med undantag för vissa gator och hamnområden. Inom ett område i centrala Malmö gäller även förbud mot tung trafik nattetid (kl. 22.00 - 06.00), men undantag för fordon för post- och tidningsdistribution, samt fordon för renhållningsarbete m.m. Nattetid gäller förbud mot att parkera tunga fordon inom Malmö kommun. På endast en gata i Malmö kommun gäller BK3, men ett antal broar har begränsad fri höjd på som lägst 3,1 m (Tekniska nämnden Malmö Stad, 2013).



Figur 2.4 Miljözon i Malmö markerad med blå linje (Malmö stad, 2015)

## 2.2 Övriga Europa

I Europa är den maximalt tillåtna längden för fordonsekipage vanligtvis 18,75 m, medan till exempel Sverige och Finland tillåter ekipage upp till 25,25 m (Vierth et al, 2008). De flesta länder i Europa (Sverige och Finland undantagna) har en maximal bruttovikt på mellan 40 och 44 ton. Det senare (44 ton) gäller för ekipage med 5 axlar eller fler och i flera länder gäller detta endast för intermodala vägtransporter (International Transport Forum, 2013). I Finland är den maximala vikten 76 ton för ekipage med 9 axlar eller fler (Mustonen, 2014). Många städer i Europa har miljözoner och olika typer av avgiftszoner samt olika restriktioner kring när och var tunga fordon får köra (Urbanaccessregulations, 2015).

### European Modular System (EMS)

European Modular System (EMS) är ett modulsystem inom EU som tillåter att befintliga lastbärare (moduler) kombineras till längre och ibland tyngre fordonskombinationer vilka tillåts trafikera olika delar av vägnätet. Syftet med EMS är att öka transporteffektiviteten och minska miljöpåverkan. De lastbärare som används i en sammansatt fordonskombination, enligt EMS-systemet, skall överensstämja med EU-direktivet 96/53 (EU Council, 1996).



EMS bygger på att användande av två i Europa vanligt förekommande typer av lastbärare för vägtransporter med lastbil ska vara möjligt. Detta i form av ett kort växelflak (klass C) samt ett långt växelflak (klass A) och/eller en påhängsvagn. EMS tillåter fordonskombinationer med en totallängd på 25,25 m och bygger på att i ett fordonståg kombinera en lång standardiserad lastbärare, till exempel en påhängsvagn, av upp till 13,6 m längd, med en kortare lastbärare såsom ett växelflak (främst av 7,45 eller 7,82 m längd) eller en fast påbyggnad av motsvarande längd. Ofta sammankopplas en lastbil och en påhängsvagn med hjälp av en dolly. Kombinationen kan bestå av följande moduler (Transportstyrelsen, 2016):

- Påbyggnad eller lös lastbärare (växelflak) av upp till 7,82 m längd
- Högst 13,6 m lång påhängsvagn (en 45 fots lastbärare klass A upptar 13,7 m)
- Dolly
- Lastbil
- Annat efterfordon, vanligen i form av kärra eller link

Utöver dessa krav finns ett antal förutsättningar som fordonskombinationen måste uppfylla gällande fordonsbredd, bromsar, vändradie och kopplingsanordning (Transportstyrelsen, 2016).

I Sverige tillåts modulfordonen ha en bruttovikt på 64 ton och i Danmark och Nederländerna tillåts idag en bruttovikt på 60 ton för fordonskombinationer enligt modulsystemet (Larsson, 2014). I Norge tillåts EMS-fordon på stora delar av vägnätet samt på anslutningsvägar till Finland och Sverige. I Tyskland pågår försök i 7 delstater sedan 2012 med modulfordon på 25 m och bruttovikt på 44 ton. I övrigt gäller maximalt 40 tons bruttovikt i Tyskland. I oktober 2013 höjdes den tillåtna bruttovikten i Finland från 60 ton till 76 ton, men ingen hänsyn har tagits till EMS (Mustonen, 2014).

## 2.3 Utanför Europa

I många länder utanför Europa är det tillåtet med längre och tyngre fordon än vad som är tillåtet i Sverige. Exempelvis tillåter Brasilien, Nya Zeeland, Australien, USA, Kanada, Mexiko och Sydafrika fordonskonfigurationer på upp till 53,5 m längd och mellan 62 och 126 tons bruttovikt. HCT (High Capacity Transports) fordon finns tillgängliga på marknaden utanför Europa idag, men infrastrukturens bärighet måste undersökas och eventuellt uppgraderas för att klara dessa dimensioner. I Australien krävs att ett särskilt system med GPS är installerat i flertalet HCT-fordon där överträdelser av bärighetsrestriktioner registreras (Kyster-Hansen et al, 2013).

## 2.4 Höjning av tillåtna bruttovikter

### 2.4.1 Sverige – BK4

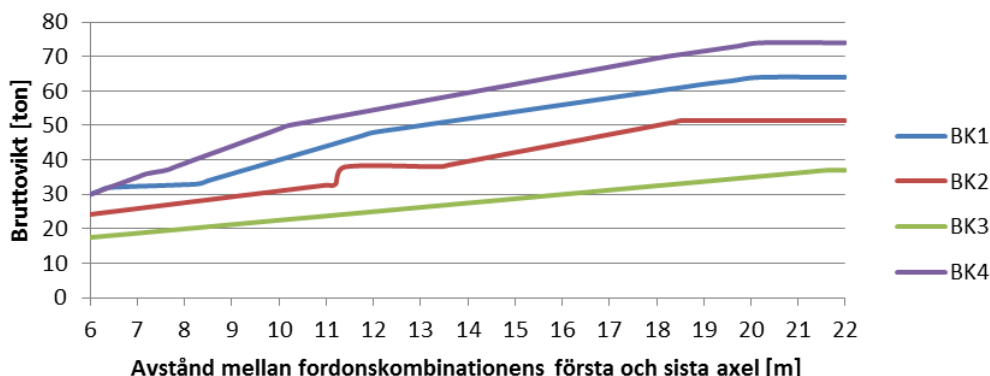
Den 1 juni 2015 höjdes den maximala bruttovikten från 60 ton till 64 ton (Regeringen Näringsdepartementet, 2015). Höjningen innebär en förlängning av den tidigare bruttoviktsskurvan där tillåtna bruttovikt bestäms av avståndet mellan första och sista axeln (se figur 2.5).

Transportstyrelsen och Trafikverket fick 2014 i uppdrag av regeringen att förbereda för en tillåtna bruttovikt på 74 ton för fordonskombinationer på delar av det allmänna vägnätet.

Transportstyrelsen tog då fram förslag på bruttovikter och axel-, boggi- och trippelaxeltryck för en ny bärighetsklass 4 (BK4) (Transportstyrelsen, 2014b).

Idag kräver transporter med fordon med högre bruttovikter, såsom 74 ton dispens från Transportstyrelsen (Transportnytt, 2016). Den 4 oktober 2016 beslutade regeringen om en lagrådsremiss rörande BK4 på vägar där transporter på järnväg eller med sjöfart inte är möjlig.

Lagändringen väntas träda i kraft den 1 mars 2017 (Regeringen, 2016). Förslaget innebär en ny bärighetsklass (BK4) med bruttovikt upp till 74 ton på särskilt utpekade vägar. I dagsläget är maximal tillåten bruttovikt 64 ton. Transportstyrelsen har tagit fram ett förslag för nya bruttovikter utifrån avståndet mellan första och sista axeln för BK4 (se tabell 2.4).



Figur 2.5 Tillåten bruttovikt för dagens bruttoviktsklasser BK1, BK2 och BK3 samt för en ny bruttoviktsklass, BK4

För att komma upp i 74 ton, krävs enligt Transportstyrelsens förslag minst 4 axlar på lastbilen och minst 5 axlar på efterfordonet (släpvagn eller dolly med påhängsvagn) samt att avståndet mellan fordonskombinationens första och sista axel är 20,2 m. Fordon med kortare axelavstånd tillåts inom BK4 ha en högre bruttovikt än vad BK1 tillåter.

Tabell 2.4 Tillåtet axel-, boggi- och trippelaxeltryck för dagens bruttoviktsklasser BK1, BK2 och BK3 samt förslag för en ny bruttoviktsklass, BK4

	BK4	BK1	BK2	BK3
<b>Axeltryck</b>				
Axel som inte är drivande	10 ton	10 ton	10 ton	8 ton
Drivande axel	11,5 ton	11,5 ton	10 ton	8 ton
<b>Boggitryck (2 axlar)</b>				
<b>Generella regler – främst tillämpbara på ej drivande boggi</b>				
Avståndet mellan axlarna är mindre än 1,0 m	11,5 ton	11,5 ton	11,5 ton	11,5 ton
Avståndet mellan axlarna är 1,0 m eller större men inte 1,3 m	16 ton	16 ton	16 ton	12 ton
Avståndet mellan axlarna är 1,3 m eller större men inte 1,8 m	18 ton	18 ton	16 ton	12 ton
Avståndet mellan axlarna är 1,8 m eller större	20 ton	20 ton	16 ton	12 ton
<b>Särskilda bestämmelser för drivande boggi</b>				
Avståndet mellan axlarna är 1,3 m eller större men inte 1,8 m och drivaxeln är försedd med dubbelmonterade hjul och luftfjädring eller likvärdig fjädring, eller drivaxlarna är försedda med dubbelmonterade hjul och vikten inte överstiger 9,5 ton på någon av axlarna	19 ton	19 ton	16 ton	12 ton
<b>Trippelaxeltryck (3 axlar)</b>				
Avståndet mellan de yttre axlarna är mindre än 2,6 m	21 ton	21 ton	20 ton	13 ton
Avståndet mellan de yttre axlarna är 2,6 m men inte 4,4 m	24 ton	24 ton	22 ton	13 ton
Avståndet mellan de yttre axlarna är 4,4 m men inte 4,7 m	25 ton	24 ton	22 ton	13 ton
Avståndet mellan de yttre axlarna är 4,7 m eller större	26 ton	24 ton	22 ton	13 ton

Transportstyrelsen framlade 2014 ett förslag om att för BK4 tillåta ett trippelaxeltryck på 25 ton när avståndet mellan de yttre axlarna uppgår till 4,4 - 4,7 m och 26 ton när avståndet uppgår till 4,7 m eller mer. Detta kan jämföras med att det tillåtna trippelaxeltrycket för BK1 uppgår till 24 ton för ett avstånd mellan de yttre axlarna på 2,6 m eller mer.

Ett totalt axeltryck på 25-26 ton för en trippelaxelkombination med ett avstånd på mer än 4,4 m mellan yttre axlarna innebär att korta dragbilar kan användas (se figur 2.6). Med dagens regler måste dragbilarna ha ett avstånd mellan de yttre axlarna på minst 5,2 m för att kunna ha en bruttovikt på 26 ton. Genom att tillåta dragbilar med kortare hjulbas minskar dragbilens egenvikt samt att den blir lättare att manövrera (Boll, 2014).



Figur 2.6 DUO-ekipage med dubbeltrailer och med dragbil med kort hjulbas (duo2.nu)

## 2.4.2 Finland

I Finland höjdes i oktober 2013 den maximalt tillåtna bruttovikten från 60 till 76 ton. De nya maximala bruttovikterna uppnås främst genom att ekipage förses med fler axlar än vad som tidigare har använts. Därmed ökar inte axeltrycket i nämnvärd omfattning. För de nya typerna av ekipage med 8 eller 9 axlar gäller de högsta tillåtna bruttovikterna. 8-axlade ekipage med dubbelmonterade hjul får ha en maximal bruttovikt på 68 ton och ett 9-axlat ekipage får ha en maximal bruttovikt på 76 ton. 4-axlade fordon tillåts en maximal bruttovikt på 35 ton och för 5-axlade fordon är en maximal bruttovikt på 42 ton tillåten. Krav på dubbelmontage och fjärdring ska dämpa effekterna från det något högre axeltrycket som de nya bruttovikterna medför (Mustonen, 2014).

Stora delar av infrastrukturen i Finland är dock inte anpassad för de nya bruttovikterna vilket gör att flera broar och viadukter blivit viktbegränsade vilket har försämrat möjligheterna att utnyttja de högre bruttovikterna. För att kunna utnyttja de högre bruttovikterna krävs även nya fordonskonfigurationer vilket innebär stora investeringar för åkerierna. Sammantaget bedöms effekterna av höjningen av bruttovikterna vara positiva och förväntas medföra att det finska näringslivets konkurrenskraft stärks (Mustonen, 2014).

Effekten av höjningen av bruttovikten kommer först att visa sig om några år då livslängden för fordon köpta innan lagändringen har uppnåtts. Volvo har dock noterat en ökad försäljning av 4- och 5-axlade lastbilar i Finland och både Volvos och Scantias försäljning av 3-axlade bilar har minskat. Det är främst vid transporter för skogsbruk och skogsindustri som antalet axlar på fordonen har ökat (Alucar Eagle, 2015).

I exempelvis Kajana i norra Finland säljs främst timmerlastbilar vilka idag alla har 4 eller 5 axlar med totalvikt på 76 ton. För lift-dumprar (se figur 2.7), är det vanligast med 4-axlade fordon och för långväga transporter används vanligen 3-axlade lastbilar och 5-axlade vagnar med en sammanlagd bruttovikt på 69 ton (Hiironen, 2016).

I Vasa i västra Finland säljs fler 4- och 5-axlade fordon idag än före höjningen av den tillåtna bruttovikten. Försäljningen av grusbilar dominerades av 3- och 4-axlade fordon, främst 4-axlade, innan bruttoviktshöjningen. Idag säljs däremot ett större antal 5-axlade än 4-axlade grusbilar eftersom 76 tons bruttovikt kräver 9 axlar på hela ekipaget och då är kombinationen 5-axlad lastbil och 4-axlad trailer mer fördelaktig än 4-axlad lastbil och 5-axlad trailer (se figur 2.8). Till

4-axlade lastbilar kopplas främst 4-axlade trailers vilka tillåts ha en bruttovikt på 68 ton. Försäljningen av 4- och 5-axlade bilar har även ökat för timmer-, träflis- och torvtransporter samt vanliga stycke- och partigodstransporter (Backman, 2016).



Figur 2.7 Lift-dumper (TFK)



Figur 2.8 5-axlad lastbil och 4-axlad släp (Scania)

### 2.4.3 Nederländerna

Sedan 2007 är Nederländerna det enda land i EU där en bruttovikt på upp till 50 ton för ett enskilt fordon, till exempel en lastbil, är tillåtet. Den maximala bruttovikten för ett enskilt fordon i Nederländerna avgörs utifrån axeltrycket och kan uppgå till maximalt 50 ton. Om avståndet mellan respektive axel är 1,31 m eller mer men inte 1,8 m och om drivaxeln är försedd med dubbelmonterade hjul och luftfjädring eller likvärdig fjädring tillåts ett trippelaxeltryck på 27 ton i Nederländerna (GITD, 2016). Som en jämförelse är det maximala trippelaxeltrycket i Sverige 24 ton om avståndet mellan axlarna är 2,6 m eller mer och 27 ton i Finland om avståndet mellan axlarna är minst 1,3 m.

Den maximala vikten för ett fordon avgörs utifrån axeltrycket upp till maximalt 50 ton. Detta ger följande maximala bruttovikter i Nederländerna (se tabell 2.5).

Tabell 2.5 Maximal tillåten bruttovikt och axeltryck i Nederländerna, Finland och Sverige

	Nederländerna	Finland	Sverige
<b>Bruttovikt för enskilt fordon</b>			
2 axlar	21,5 ton	18,0 ton	18,0 ton
3 axlar	31,5 ton	26,0 ton	26,0 ton
4 axlar	44,5 ton	35,0 ton	32,0 ton
5 axlar	50,0 ton	42,0 ton	32,0 ton
<b>Axeltryck</b>			
Axel som inte är drivande	10,0 ton	10,0 ton	10,0 ton
Drivande axel	11,5 ton	11,5 ton	11,5 ton
Max boggitryck	20,0 ton	21,0 ton	20,0 ton
Max trippelaxeltryck	27,0 ton	27,0 ton	24,0 ton

## 3 Massgodsflöden

Det logistiska flödet vid massgodshantering 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 ej färdas med last på allmän väg. Tiden för lastning av massgods kan delas upp i 4 deloperationer; 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 annat fall kan transport ske med truckar, dumprar, schaktvagnar och i vissa fall hjullastare eller bandtransportörer. Lossning sker vanligen genom att ett lastflak eller en lastkorg tippas. Alternativt kan lossningen utföras manuellt eller maskinellt. 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.

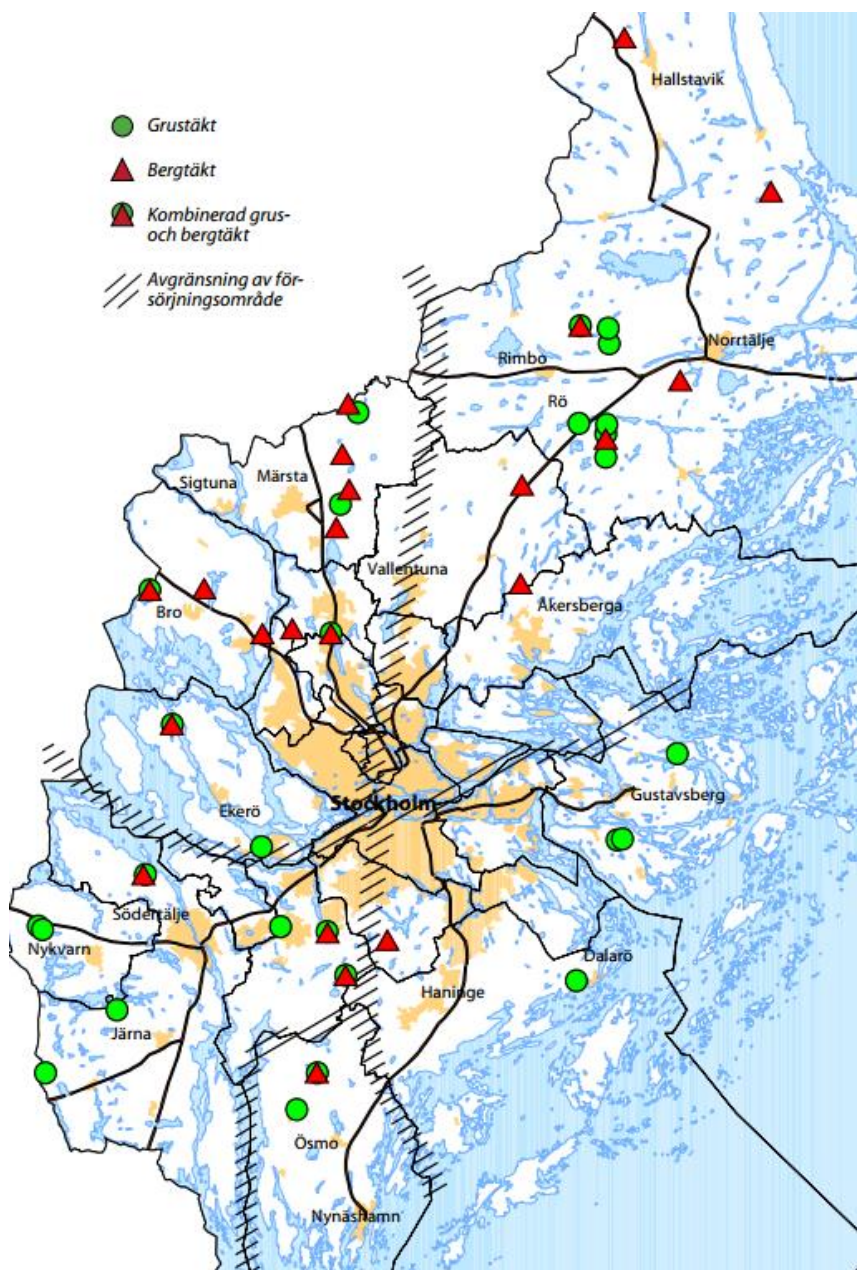
Svenska Bergmaterialindustrin (SBMI) delar in massgodsflöden i tre kategorier (SBMI, 2004):

- Fasta anläggningar/fabriker med kontinuerliga och täta leveranser av massgods. Detta gäller anläggningar som använder massgods i tillverkningsprocessen, främst betong-fabriker och asfaltverk. Begränsade lagringsutrymmen gör att leveranserna blir täta och med små volymer. Om anläggningens behov 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.

### 3.1 Materialanläggningar i Stockholmsområdet

I Stockholmsområdet finns det ca 50 berg-, grus- och torvtäkter varav mer än 75 % är bergtäkter. Stockholm är indelat i 5 olika försörjningsområden; Nordvästra, Nordöstra, Sydvästra, Sydöstra samt Nynäshamns försörjningsområde. Transport och avsättning av material ska i huvudsak ske inom varje enskilt område (se figur 3.1). Transporterna mellan områdena ska endast ske i begränsad omfattning. Gränserna för försörjningsområdena baseras på lokalisering av berg- och grustäkter samt vägnät. Vid ändringar i vägnätet samt ändring av aktiva täkter ändras även försörjningsområdenas gränser. Stockholmsregionen har som mål att minska användningen av grus- och bergmassor genom hushållning och återvinning av material. Materialanläggningar såsom exempelvis täkter ska placeras så att transportavstånden minimeras samt fördelas över de olika försörjningsområdena (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2003). Även Uppsala län är uppdelat i försörjningsområden; nordvästra som inkluderar Älvkarleby, Tierp och Heby, nordöstra utmed kusten som inkluderar Östhammar, storstadsområdet med Uppsala och Knivsta samt nordöstra området som inkluderar Mälardalen med Enköping och Håbo (Grånäs et al, 2013).





Figur 3.1 Grus- och bergstäckter i Stockholmsområdet (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2003)

### 3.1.1 Berg- och grustäckter

Vid berg- och grustäckter utvinns material som sedan kan förädlas. I en bergtäkt sprängs berg loss och krossas till olika produkter. Bergkross används bland annat inom bygg- och anläggningsverksamhet som fyllnadsmaterial, bärlager, slitlager och vid dränering. Från grustäckter erhålls ett flertal grusprodukter som bland annat används till vägbyggen, tillverkning av betong samt som fyllnadsmaterial. Grus är ett naturligt material bestående av grovkorniga stenpartiklar som bildats genom naturlig malning eller vittring (Ballast, 2016).

### 3.1.2 Förädling

I en förädlingsanläggning förädlas material till önskad form och storlek. Detta sker exempelvis genom siktning och rundningsförädling. De flesta berg- och grustäckter krossar materialet på plats för att få önskad kvalitet. Det finns både stationära och mobila krossanläggningar (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2000). Kross och naturgrus siktas till olika kvaliteter (SBMI, 2004).

### 3.1.3 Terminaler

Vid en terminal kan material hanteras eller behandlas, exempelvis krossas, omlastas, mellanlagras eller sorteras. Terminalerna kan skilja mycket i storlek och hur länge de är i drift. Stora terminaler är oftast permanenta och ligger i anslutning till täkter, medan mindre terminaler kan anläggas tillfälligt i närheten av stora byggprojekt. Flöden till terminal består av material från täkt och byggprojekt medan flöden från terminal går till byggprojekt, betong- och asfaltsfabriker samt till deponier (Morén, 2015).

Det är svårt att hitta lämpliga områden för täkter och deponier inom tätorterna vilket gör det allt viktigare att öka energieffektiviteten för massgodstransporterna för att hålla nere verksamhetens miljöpåverkan. För en effektiv materialhantering krävs fler och större omlastnings- och mellanlagringsplatser (terminaler) (SBMI, 2004). Idag (2015) finns det 18 terminaler i Södertörnsområdet (Nykvarn, Södertälje, Salem, Botkyrka, Huddinge, Tyresö, Nynäshamn och Haninge kommun) varav 7 ligger i anslutning till en täkt. Utöver dessa finns 5 tillfälliga täkter i området (Morén, 2015). Brist på terminaler kan, förutom längre transporter, leda till att mer material läggs på deponi (Morén, 2015).

### 3.1.4 Betongfabriker och asfaltsverk

I ett asfaltsverk värms sten och bitumen upp och blandas till en asfaltsmassa. Vid framställning av betong blandas sten och cement (Asfaltskolan, 2016). Skanska Asphalt och Betong AB har tre fabriker i Stockholmsområdet; Bålsta, Solna och Farsta. Svevia har asfaltsverk vid Arlanda samt ett nyöppnat i Läggesta. PEAB Asphalt har asfaltsverk i Västberga och Vidbo i Stockholm. Ballast har asfaltsverk i Arlanda och Vårby. Många företag har även mobila fabriker som kan användas i större projekt.

### 3.1.5 Deponier

Material såsom förorenat avfall eller annat material som inte kan återvinnas eller användas till energiproduktion deponeras. Lötdeponin i Vallentuna är norra Storstockholms huvuddeponi och ägs av Sörab (se figur 3.2).



Figur 3.2 Aktiva deponier i Stockholms län (Stockholmsregionens Avfallsråd, 2007)

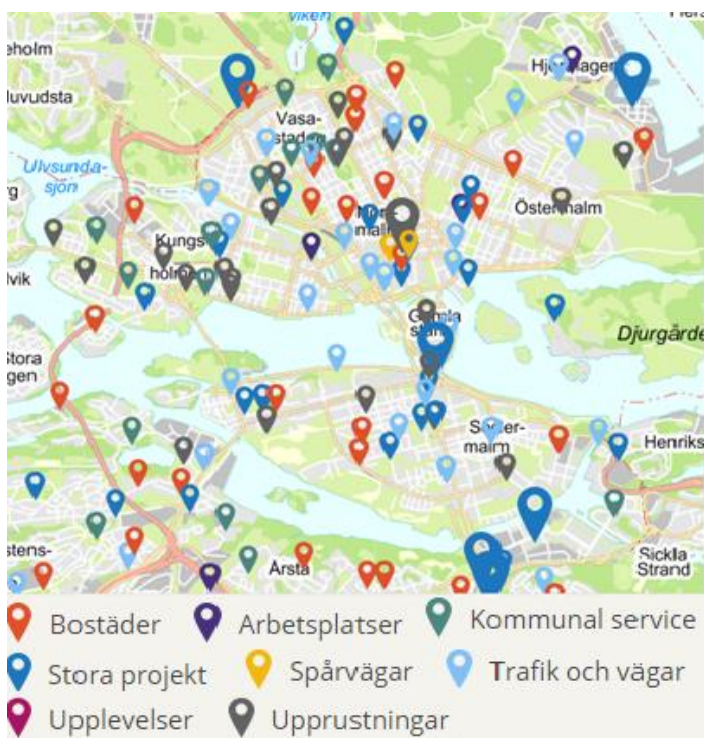
SRV Återvinning AB har en deponi i Sofielund i Huddinge. SRV ägs av ett antal kommuner i södra Storstockholm och Sofielund är ett av Stockholms största deponiområden (Stockholmsregionens Avfallsråd, 2007).

### 3.1.6 Återvinning/återanvändning

Återvinning innebär att restprodukter, material som blir över från produktion och konsumtion, processförädlas och på så sätt kan användas på nytt. Återanvändning betyder att restprodukter kan användas på nytt utan att processförädling behövs (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2000). Material som kan återvinnas är exempelvis asfalt, betong, jord och grus. Asfalt återvinns i stor utsträckning på täckerna där den krossas. Material som klassas som farligt avfall tas vanligtvis inte emot på täckerna och terminalerna (SBMI, 2004).

## 3.2 Byggarbeten i Stockholm

I Stockholms innerstad pågår idag flera byggprojekt samtidigt som fler är planerade (se figur 3.3). Bland de stora projekten återfinns Slussen och Sergels torg vilka kommer att kräva ett stort antal in- och uttransporter av massgods. Vid Slussen råder både begränsad fri höjd och bristfällig bärighet, med bärighetsklass BK2 eller sämre bärighet. Vid Sergels torg råder BK2 på flera infartsvägar, bland annat Centralbron och Söderledstunneln, samt på de flesta vägar i innerstaden. Slussenprojektet kommer att pågå fram till 2025. Andra byggprojekt i närheten av innerstaden är Hagastaden och Norra Djurgårdsstaden. Dessa byggen kan dock nås genom vägar med BK1 vilket underlättar massgodstransporterna till och från byggena.



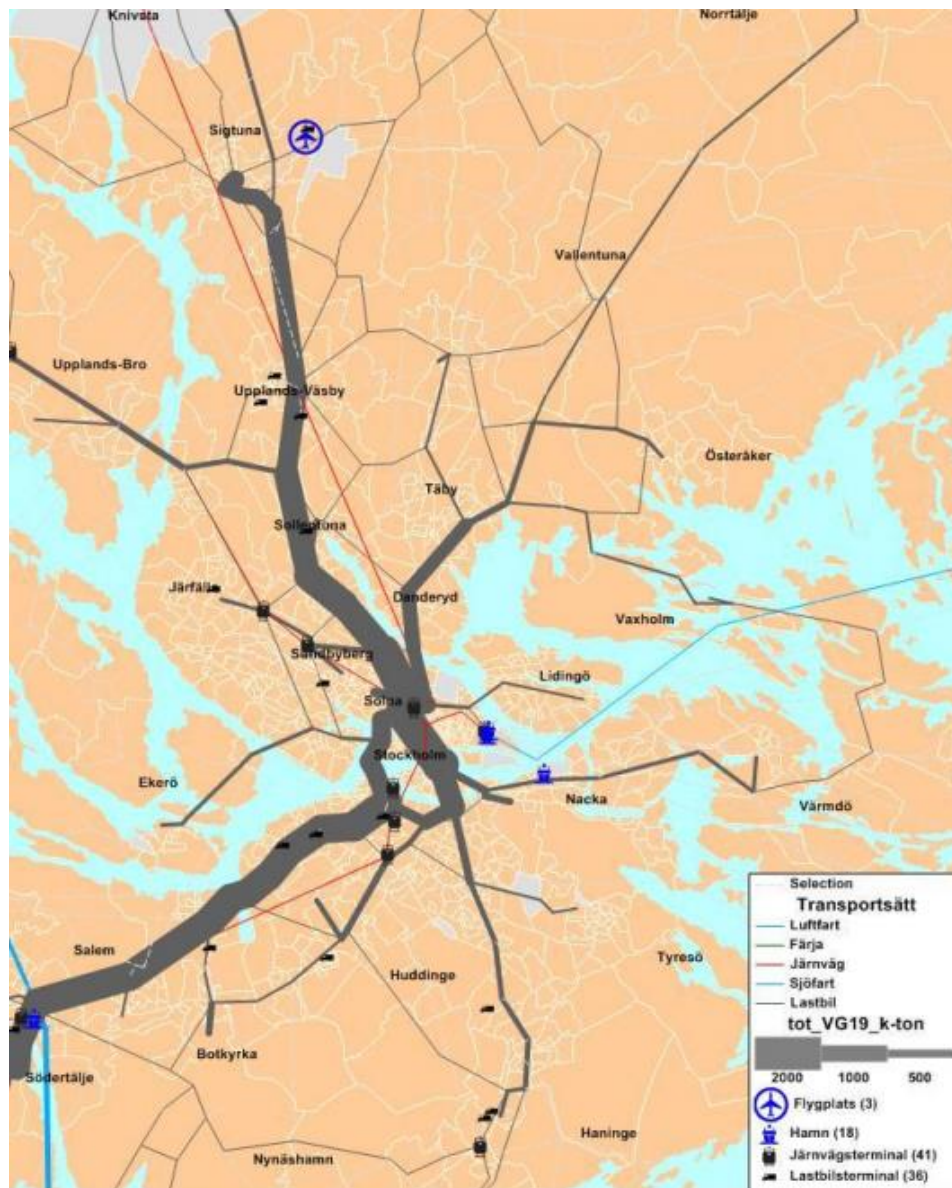
Figur 3.3 Projekt inom Stockholm Stad augusti 2015 (Stockholms stad, 2015)

## 3.3 Kartläggning av massgodstransporter i Stockholm

De flesta massgodstransporterna sker inom länsgränserna och på sträckor under 60 km. Av inrikes transporter utförda med svenska lastbilar under 2010 var den genomsnittliga



godsmängden per transport ca 18 ton för varugruppen jord, sten, grus och sand (Trafikanalys, 2012). Varugruppen jord, sten, grus och sand är den varugrupp dominerar transporterna inom Stockholms län, angivet i viktenheter (ton). Varugruppen transporteras främst med lastbil längs E4 norr och E20 (se figur 3.4) (Idevall et al, 2013).



Figur 3.4 Transportflöden för varugruppen jord, sten, grus och sand i Stockholm, mätt i ton (Idevall et al, 2013)

En kartläggning av massgodsflöden i Stockholmsområdet har genomförts med stöd av en enkätundersökning. Enkäten sändes till Sveriges Åkeriföretags medlemmar i ABC-åkarnas Norr- och Södergrupp som består av totalt 17 åkerier. ABC-området (Stockholm och Uppsala) stod år 2009 för nästan 20 % av den totala mängden levererad ballast (naturgrus, morän och krossberg) i Sverige angivet i viktenheter (ton). Totalt uppgick den levererade mängden ballast i ABC-området till 15,7 miljoner ton år 2009 (Nylén, 2012).

Enkäten besvarades av 12 åkerier vilka tillsammans svarar för 80 % av omsättningen inom Norr- och Södergruppen (Heierson, 2015). Dessa åkerier omfattar sammantaget 2 036 egna och inledda last- och dragbilar samt efterfordon. Av detta uppgick antalet last- och dragbilar till 1 375 enheter.

Den genomsnittliga tidsåtgången för massgodstransport ligger enligt enkätundersökningen i tidsintervallet 20-120 min. Avståndet för transporterna är mellan 16 km och 45 km. Vanligtvis sker transporterna från en materialanläggning till en byggarbetsplats och sedan tillbaka till materialanläggning för transport av mer material eller uttransport av exempelvis schaktmassor från byggarbetsplatsen till lämplig anläggning såsom tipp, återvinningsanläggning eller deponi.

### 3.3.1 Material

De vanligaste materialen av formen massgods för intransport (transport från anläggningar till exempelvis arbetsplats) är bergkross och grus-, jord- och sandprodukter. För uttransporter (transport från exempelvis arbetsplatser) dominerar schaktmassor till tipp, deponi eller återanvändning samt uttransporter av kontaminerade massor till särskild deponi.

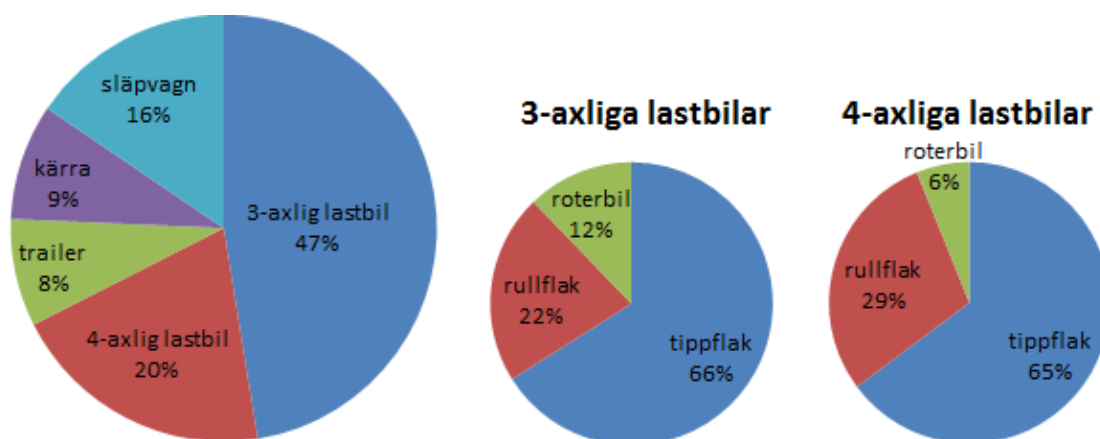
Drygt hälften av åkerierna som deltagit i enkätundersökningen har egna materialanläggningar vilka är lokaliserade enligt figur 3.5. Av de som har anläggningar är täkter vanligast följt av terminaler och återvinnings/återanvändningsanläggningar. Några har även anläggningar för förädling samt deponier.



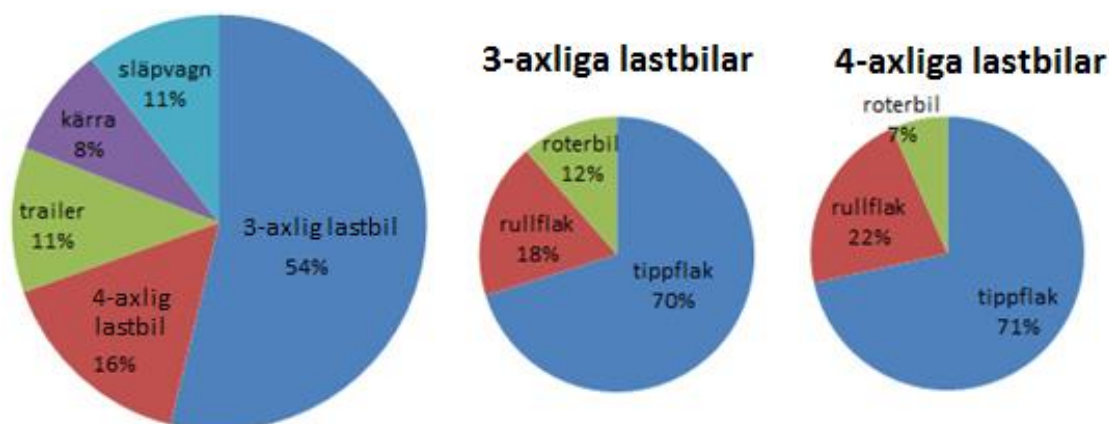
Figur 3.5 Uppgifter från enkäten om lokalisering av åkeriernas anläggningar

### 3.3.2 Fordon och lastbärare

Den vanligaste fordonstypen bland de åkerier som besvarat enkäten är 3-axlig lastbil med tippflak med 25 - 26 tons bruttovikt vid BK1 och med en lastvikt på mellan 12 och 14 ton. För 4-axliga lastbilar är det vanligast med 32 tons bruttovikt och 17 tons lastvikt vid BK1. Av de åkerier som svarade på enkäten var 8 av 12 verksamma i Stockholms innerstad. Svaren från samtliga 12 åkerier har sammanställts (se figur 3.6). Vidare har svaren som avgivits från endast de åkerier som är verksamma i Stockholms innerstad sammanställts separat (se figur 3.7). En jämförelse av sammanställningarna visar bland annat att åkerier som är verksamma i Stockholms innerstad har en större andel 3-axliga lastbilar och bland dessa en större andel med tippflak.



Figur 3.6 Sammanställning av enkätsvar avseende fördelning mellan olika fordonstyper

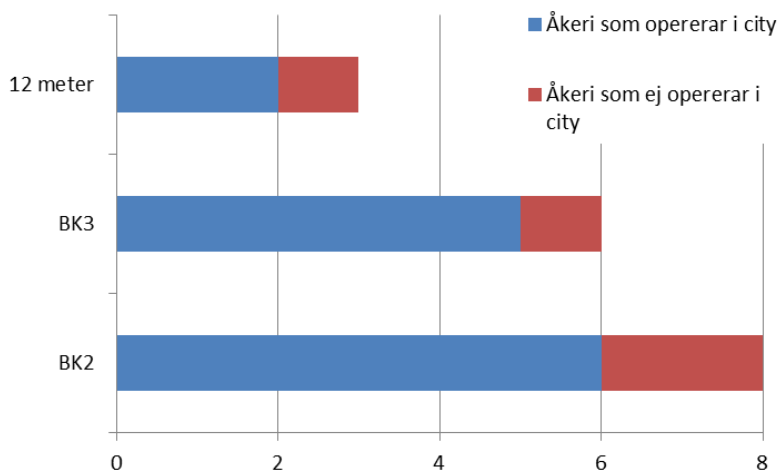


Figur 3.7 Sammanställning av enkätsvar för åkerier som opererar i Stockholms innerstad avseende fördelning mellan olika fordonstyper

En sammanställning har även skett av antalet åkerier som upplever att lastförmågan begränsas på grund av längd- och bruttoviktsrestriktioner (se figur 3.8). Av de åkerier som inte är verksamma i Stockholms innerstad upplever en mindre andel att lastförmågan begränsas av de gällande restriktionerna. Andelen transporter (per år) där lastförmågan uppges ha begränsats på grund av BK2 upplevs vara mellan 10 % och 30 % enligt de 8 åkerier som besvarat frågan.

Andelen av antalet transporter per år där lastförmågan minskas på grund av BK3 är mellan 0,5 % och 5 %. 6 av 8 åkerier uppgav att lastförmågan minskades på grund av BK3. 3 av 8 åkerier uppgav även att längdbegränsning på 12 m minskade lastförmågan. Ett åkeri upplevde att längdbegränsningen begränsade lastförmåga med 50 %.

Sammantaget upplever två tredjedelar av åkerierna att 20-40 % av den totala lastkapaciteten i viktenheter (ton) förloras varje år på grund av längd- och viktrestriktionerna medan en tredjedel upplever att mindre än 20 % av den totala lastkapaciteten förloras varje år. De åkerier som upplever att mindre än 20 % av den totala lastkapaciteten förloras på grund av restriktionerna har fordon som utgår från orter som ligger mellan 30 km och 60 km utanför Stockholms city.



Figur 3.8 Antal åkerier som upplever att lastförmågan begränsas på grund av längd- och bruttoviktsrestriktioner

### 3.3.3 Lastning och lossning

Vid lastning används främst hjullastare och grävmaskiner. Tidsåtgången vid lastning av bergkross samt grus-, jord- och sandprodukter uppgår vanligen till 0,2-0,5 min/ton. För lastning av betong och asfalt/beläggning uppges tidsåtgången ligga kring 0,3 min/ton.

Lossning går generellt snabbare än lastning när det gäller bergkross samt grus, jord och sand. För lossning av betong och asfalt/beläggning är tidsåtgången per ton högre än vid lastning, ungefär 1 min/ton. Lossning sker främst genom tippning av flaket, men även maskinell och manuell lossning från lastflak via ränna förekommer. Åkerierna uppger att valet av lossningsmetod, bortsett från typ av material, främst styrs av arbetsplatsen, fordonet och olika kundkrav. Några uppger även att en strävan mot enkelhet och minimerad tidsåtgång främst styr valet av lossningsmetod.



## 4 Fordon och infrastruktur

Idag finns en begränsning av vikten på enskilda fordon med 4 eller fler axlar på 32 ton. Detta medför att maximal bruttovikt vid BK1 för sådana fordon redan nås då avståndet mellan första och sista axel är 6,2 m. Det är alltså intressant att se över bruttovikterna för enskilda fordon, samt även möjligheten att använda 5-axlade anläggningsfordon (Krantz et al, 2014).

Följande 4 huvudparametrar spelar in vid utformning och val av fordon:

- Lastkapacitet
- Framkomlighet
- Manövrerbarhet
- Flexibilitet

Dessa parametrar måste optimeras för att fordonet ska bli attraktivt. Flexibilitet är viktigt för fordon som ska klara av flera typer av uppdrag och eventuellt även utföra vinterunderhåll. För fordon som används i stora projekt som pågår under flera år kan däremot lastkapaciteten ha en större betydelse. För sådana projekt kan fordonet anpassas efter endast en typ av uppdrag och kan sedan säljas när projektet är slut (Rosgardt, 2016). Åkerierna i SÅ ABC Norr- och Södergrupp anser att det absolut viktigaste vid val av fordon är lastkapaciteten (SÅ ABC, 2016).

### 4.1 Fordonskomponenter och system

För att effektivisera massgodstransporterna bör fordonen kunna ta mer last samtidigt som de blir mer bränsleeffektiva. Samtidigt får detta inte ske på bekostnad på säkerheten eller innebära allt för stort vägslitage eller annan påverkan på infrastrukturen. Vid framtagning av fordon med en förbättrad energieffektivitet vilka samtidigt utformas så att de medför en så liten påverkan på infrastrukturen som möjligt kan flera olika lösningar för utformning av fordonen tillämpas utan att trafiksäkerheten äventyras. Valet av lastbärare/påbyggnad på fordonet samt typ av efterfordon har inverkan på lastkapaciteten, lastning, lossning och flexibiliteten, men även fordonskomponenter och system kan ha en betydande inverkan på effektiviteten.

#### Hjulaxlar

Ett fordon eller en fordonskombinationens tillåtna bruttovikt beror bland annat på antalet hjulaxlar samt avståndet mellan första och sista axeln. Genom att installera fler axlar kan ekipaget ta en större lastvikt och samtidigt hålla sig inom tillåtna restriktioner vad gäller axel- och boggitryck. Ett ökat antal hjulaxlar ökar dock fordonets egenvikt vilket innebär att ökningen i lastvikt måste vara större än ökningen av fordonets egenvikt för att det ska vara motiverat att ur last-, energi- och kostnadssynpunkt att öka antalet hjulaxlar. Med ett större avstånd mellan första och sista axel kan fordonets tillåtna bruttovikt öka. Samtidigt innebär ett större avstånd mellan första och sista axel även att fordonets totala längd ökar, vilket kan begränsa fordonets framkomlighet. Inom vissa områden, främst innerstäder, kan det råda en begränsad tillåten fordonslängd, vanligen maximalt 12 m.

För att begränsa påverkan och slitage på känslig infrastruktur med högre bruttovikter bör dagens regler kring axel-, boggi- och trippelaxeltryck behållas. Om axlarna ligger tätt ökar även deformationen och spårbildningen i vägbanan (Malmö stad, 2014).

Ett argument mot tyngre och längre fordon är att de blir svårmanövrerade vilket kan ge problem med framkomligheten samt innebära en säkerhetsrisk. Genom att utrusta fordonen med styrbara axelgrupper kan manövreringen underlättas och körmotståndet minskas (Elischer et al, 2012).

## Fjädring

Med bra fjädring på fordonen kan belastningen på vägbanan reduceras. De vanligaste fjädringssystemen för lastbilar är blad- eller luftfjädring. Genom sensorer som mäter lufttrycket i en luftfjädring kan vikten fördelas mellan fordonets axlar mellan varje ekipageenhet samt på hela ekipaget. Luftfjädring ger en ökad komfort för föraren vilket möjliggör högre hastigheter även på ojämna vägbanor. Dock är systemet med luftfjädring dyrare och mer känsligt än bladfjädring samtidigt som ett vågsystem blir billigare om fordonet har luftfjädring (Grönlund et al, 2014).

Flertalet lastbilar har idag luftfjädring, men för anläggningsbilar för byggarbeten är bladfjädring fortfarande vanligt då det systemet är mer robust. För fordon med luftfjädring blir de dynamiska krafterna 30-40 % lägre än för fordon med bladfjädring. Mätningar som utfördes vid en provbelastning av Svinesundsbron 2005 visade att bladfjädrade fordon gav mer än dubbelt så stor belastning på vägbanan jämfört med de testade luftfjädrade fordonen (Ny Teknik, 2005).

## Däck

Den idag vanligaste däcktypen är radialdäck där bredden på däckets är oberoende av ringtrycket. Breda singeldäck ger mindre slitage på vägbanan än smala däck, men dubbelmontage ger minst vägsnitage och deformationer. Singeldäck är dock lättare och ger mindre rullmotstånd än dubbelmontage vilket minskar bränsleförbrukningen (Ärnäck et al, 2014).

Genom att minska lufttrycket i däcken kan marktrycket minskas och därmed slitaget på vägbanan. Central Tire Inflation (CTI) är en teknik som kan användas för att minska lufttrycket i däck under färd (se figur 4.1). Detta är en metod som blir allt vanligare att använda inom framförallt skogsindustrin för att köra på vägar med begränsad bärighet vid tjällossning (Forskning, 2006). Enligt en generell dispens från Trafikverket får fordon utrustade med CTI-system köra med BK1-vikt på BK2 och BK3 klassade vägar (Skutin, 2012). Villkoret för att få köra med högre vikt än vad vägens bärighetsklass tillåter är att hastigheten begränsas till 50 km/h (Svensk Åkeritidning, 2007). Trafikverkets dispens från bärighetsklasskraven gäller dock inte där den nedsatta bärigheten beror på begränsningar av broars bärighet (Allfors, 2006). För fordon med däck som har ett ringtryck som är 1 bar under rekommenderat tryck ökar bränsleförbrukningen kring 5 % och däckets livslängd uppskattas minska med 10 %. Högre ringtryck brukar därför allmänt förespråkas ur energibesparingsynpunkt (Ärnäck et al, 2014).



Figur 4.1 CTI (TFK)

## Bromssystem

Ökade bruttovikter för lastbilar och fordonskombinationer kan bara tillåtas om bromssträckorna förblir tillräckligt korta för att garantera erforderlig trafiksäkerhet samt att bromsning kan utföras på ett säkert sätt med hög fordonsstabilitet för att inte äventyra säkerheten.

Stoppsträckan ökar inte nödvändigtvis för tyngre fordon så länge antalet axlar och bromsarnas kapacitet ökar proportionerligt med viktökningen. För att kunna bromsas effektivt och stabilt bör fordonen vara utrustade med låsningsfria bromsar (ABS) eller ha elektroniskt styrda bromssystem (EBS) (Malmö stad, 2014). Idag är alla svenska lastbilar konstruerade så att bromsarna på varje axel är dimensionerade för axelvikten, vilket gör att bromssträckan i stort sett är konstant oavsett antal axlar (Rosgardt, 2016).

### Kontrollsystem

40 % av de tunga fordonen överträder hastighetsrestriktionerna på vägarna och 16 % av de tunga fordonen har mer än 5 % överlast på någon axel eller med avseende på den totala bruttovikten. För att säkerställa att fordonen inte överträder bruttoviktsbestämmelserna vid känslig infrastruktur behövs någon form av kontrollsystem installerat på fordonen. Om fordonets vikt enkelt kan kontrolleras kan vidare säkerhetsmarginalerna kring bärigheten minskas och därmed kan tyngre fordon färdas på vägar som annars begränsas till en lägre bruttovikt. Tekniken för denna form av kontrollsystem finns, men behöver utvecklas för att passa det nya användningsområdet. Trafikverket föreslår ett kontrollsystem där information om fordonets färdväg, hastighet och vikt samlas in och regelbundet skickas till Trafikverket. Det ska även gå att göra stickprovskontroller på fordonen (Malmö stad, 2014).

## 4.2 Rangeringsplatser

För effektiva massgodstransporter krävs det att fordonens lastförmåga utnyttjas optimalt. I innerstaden och andra områden där det råder BK2 och maximalt 12 m fordonslängd kan endast singelbilar utan en fullt utnyttjad lastkapacitet användas. Genom omlastning och/eller tillkoppling av efterfordon till singelbilar kan dessa fordon utnyttjas optimalt enligt BK1 även då fordonen eller de skapade fordonskombinationerna har lämnat områden med restriktioner enligt BK2 och med en maximal fordonslängd på 12 m. För att möjliggöra detta krävs särskilda områden eller ytor för uppställning av fordon och lastbärare där omlastning av massorna kan ske samt där efterfordon kan kopplas på och av. På så sätt kan ett singelfordon anpassade för BK2 sköta transporter mellan rangeringsplatserna och arbetsplatserna i innerstaden medan fordon och fordonskombinationer anpassade för BK1 kan köra utanför innerstaden.

Omlastning av massorna kan innebära mer energieffektiva transporter och färre fordonsrörelser genom att lastutnyttjandet av fordonen och fordonskombinationerna då kan maximeras efter rådande regler och fordon. Omlastningsplatserna kan vara dynamiska genom att de under dagtid används till omlastning och rangering av lastbärare och efterfordon medan de på kvällar och nätter kan användas till parkering för främst personbilar. Omlastningsplatser kan även upprättas tillfälligt när behov uppstår vid exempelvis en byggarbetsplats och då ofta under längre tidsperioder. Detta kan ske på parkeringar eller i parkområden. Dessa ytor avses sedan att återställas när arbetet är klart. Ytorna kan även vara en del i samhällsberedskapen och användas av räddningstjänst och för dumpning av snö.

Rangeringsplatserna bör lokaliseras så att transporter medför en så liten störning som möjligt för de kringboende. Transportvägar förbi förskolor och skolor bör vidare undvikas. Platserna ska ligga så centralt som möjligt men ska kunna nås genom gator och vägar tillåtna för BK1 för att minska de sträckor som fordon måste köra enligt BK2. Då omlastning av massgods medför buller bör omlastningsplatserna lokaliseras så att störningar av detta slag kan minimeras.

Stockholms stads Trafikkontor utförde 2015 en utredning av uppställningsplatser för lastbilar i Stockholm i vilken konstaterades att behovet av ytor för lastbilsarkering och uppställning av släp var stort. Idag begränsas lastbilsarkering dagtid till vägar med bärighetsklass 1 och 2. Inom Stockholms stad finns endast ett fåtal reserverade platser för lastbilsarkering.

De flesta reserverade parkeringsplatserna, i Stockholms stad, finns i Västberga industriområde som generellt upplevs som kaotiskt av lastbilschaufförerna. Inom eller strax utanför miljözonen finns endast reserverade parkeringsplatser på Kungsholmen och i Hjorthagen samt de aktuella parkeringsplatserna i Västberga (Goodall et al, 2015).

Sveriges Åkeriföretag ser ett behov av uppställningsplatser för bygg- och anläggningsfordon så nära de områden som omfattas av den vanligt förekommande längdbegränsningen (12 m) som möjligt. Uppställningsplatserna bör även vara inhägnade och tillgängliga mellan kl. 05:00 och 18:00. De bör vidare i framtiden klara av fordon på upp till 32 m längd och minst 64 tons bruttovikt och ha välfungerande in- och utfartsvägar (Goodall et al, 2015). Medlemmarna i Sveriges Åkeriföretags ABC-grupp vidare anser att alla kommuner borde vara ansvariga och ha en plan för hur avfall och material som produceras inom kommunen ska transporteras bort och vart det ska ta vägen samt att kommunala avlastningsplatser bör finnas. De anser vidare att avlastningsplatser är av större betydelse än att en större del av vägnätet i Stockholm öppnas för BK1. I upphandling av transporter bör det finnas med att överlast inte får förekomma och att detta kan kontrolleras retroaktivt (SÅ ABC, 2016).

Eftersom marken i Stockholm är dyr och attraktiv för bland annat byggnation anses det svårt att anordna uppställningsplatser som enbart är reserverade för lastbilar och släp. Därför har Stockholms stads Trafikkontor undersökt möjligheten att samutnyttja befintliga parkeringsytor för bussar vid Stockholms Läns Landstings (SLLs) bussdepåer. Vidare har parkeringsytor vid trav- och hästkapplöpningsbanorna Solvalla och Täby ansetts vara möjliga att utnyttja. Flera av SLLs bussdepåer ligger nära stora trafikleder och är dimensionerade för 18 m långa bussar. Mellan kl. 06:00 och 18:00, då de flesta av bussarna är i trafik, är belägningsgraden på parkeringsytorna ca 20 %. Parkeringsplatserna vid Solvalla travbana, belägen nära E18 och E4, kan användas som uppställningsplats på de tider då det inte förekommer något evenemang vid anläggningen. Täby Galopp ligger längre bort från city, men har parkeringsplatser som ofta inte utnyttjas fullt (Goodall et al, 2015). Täby Galopp avvecklades dock under 2016 när verksamheten flyttades till Upplands Bro, ca 40 km nordväst om Stockholm.

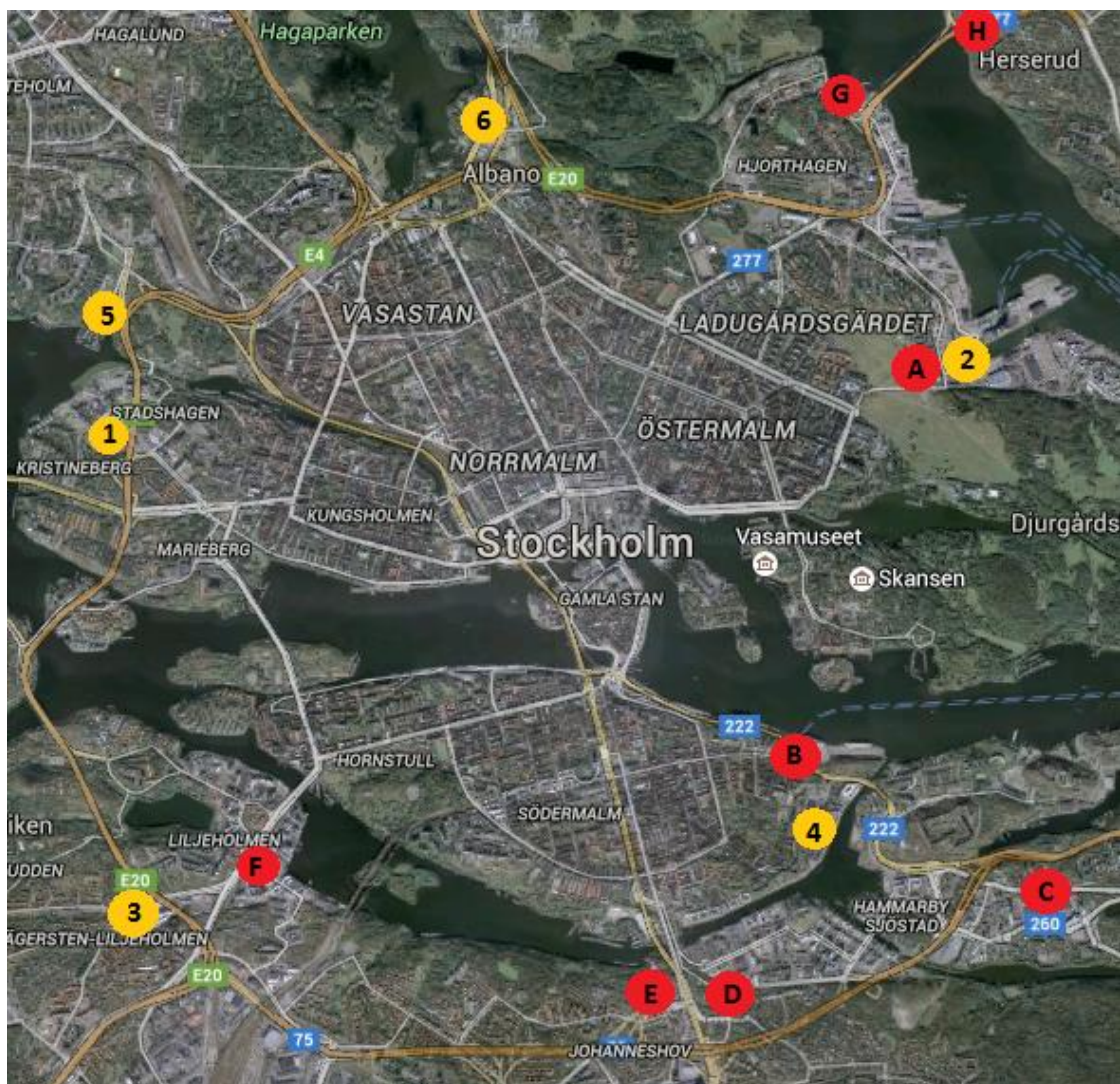
Utöver befintliga parkeringsplatser som kan samutnyttjas har Stockholms stads trafikkontor även undersökt möjligheten till att anlägga så kallade mikroplatser (Goodall et al, 2015). Dessa utgörs av relativt små ytor som idag inte har någon specifik användning, men där det är förbjudet att parkera eller ställa upp släp och andra efterfordon.

Stockholms stads Trafikkontors utredning av möjliga uppställningsplatser vid samutnyttjande av bussdepåer samt mikroplatser i närheten till 12-metersgränsen beskrivs i en kartbild (se figur 4.2). I kartbilden gäller följande numrering:

1. Hornsbergs bussdepå
2. Frihamnen (reserverad plats för lastbil idag)
3. Nyboda buss- och tunnelbanedepå
4. Söderhallen bussdepå (flyttas 2017 till Fredriksdal intill Fortums fjärrvärmeverk i södra Hammarbyhamnen (Metro, 2012))
5. Pampas Marina, Solna (se figur 4.3)
6. Kräftriket i Norra Djurgården

Ytor som nyttjats som etableringsytor i tidigare projekt eller som planeras att nyttjas i kommande byggprojekt kan även vara intressanta i framtiden som rangerings- och omlastningsplatser. Nedan presenteras ett förslag på platser som tillfälligt eller permanent kan göras om till rangeringsplatser tillsammans med Stockholms stads Trafikkontors förslag på uppställningsplatser för lastbilar. Detta är endast ett förslag och måste utredas mer grundligt för att utvärdera möjligheten och lämpligheten att anlägga rangeringsplatser på dessa områden.





Figur 4.2 Stockholms stads Trafikkontors förslag på möjliga uppställningsplatser vid bussdepåer och mikroplatser markerat i gult. Möjliga rangeringsplatser som har använts, planeras att användas eller används idag som etableringsytor för byggmassor och fordon markerat i rött



Figur 4.3 Uppställda släp vid Ekelundsvägen, Pampas Marina, Solna (Treiber)

Rangeringsplatserna markerat i rött presenteras nedan (se figur 4.2).

**A. Ladugårdsgärdet**

Ladugårdsgärdet ligger i Nationalstadsparken. För byggnation av spårväg City mellan Djurgårdsbron och Frihamnen kommer en befintlig parkering och en grusad yta i Nationalstadsparken att användas till etableringsyta vilket totalt ger en yta på ca 10 000 m<sup>2</sup>.

För denna yta finns krav på att den återställs vid byggnationens slut (SLL, 2013). Denna yta kan användas som tillfällig rangeringsplats som återställs efter varje byggprojekts slut.

#### **B. Londonviadukten, parkering vid Stadsgårdsleden**

För arbetet med den nya tunnelbanestationen vid Sofia som ska ingå i den nya tunnelbanelinjen mellan Kungsträdgården och Nacka föreslås en etableringsyta anläggas vid Londonviadukten där det i dagsläget finns en parkeringsplats. Från parkeringen kan transporter ske via väg 222 där det råder BK1. Ytan är ca 3 000 m<sup>2</sup> (SLL, 2015). Parkeringen kan därmed även i framtiden användas som rangeringsplats vid behov och i annat fall fungera som parkering för personbilar.

#### **C. Parkering vid Sickla mot Värmdövägen**

För arbetet med den nya tunnelbanestationen vid Sickla som ska ingå i den nya tunnelbanelinjen mellan Kungsträdgården och Nacka föreslås etableringsytor anläggas på främst parkeringsplatser samt vid Finntorpsberget längs Värmdövägen. Den sammanlagda ytan blir ca 9 000 m<sup>2</sup> (SLL, 2015). Denna yta kan användas som rangeringsplats även i framtiden vid behov och i annat fall fungera som parkering.

#### **D. Mårtensdal, Gullmarsplan**

En ny stationsuppgång mot Mårtensdal ska byggas för att ansluta den blå tunnelbanelinjen till Gullmarsplans tunnelbanestation. I anslutning till entrén vid Mårtensdal anordnas en etableringsyta som även är tänkt som etableringsyta för andra byggen i området. Ytan är ca 4 000 m<sup>2</sup> och består i dagsläget främst av parkeringsplatser (SLL, 2015). Denna yta är alltså redan planerad att användas som en permanent rangeringsplats.

#### **E. Sundstabacken, Gullmarsplan**

För arbetet vid tunnelbanestationen Gullmarsplan kommer en etableringsyta anordnas vid Sundstabacken med en yta på ca 5 000 m<sup>2</sup>. Marken är kommunal och idag finns en småbåtshamn och Sundsta gård invid den planerade etableringsytan (SLL, 2015). Denna yta kan användas som tillfällig rangeringsplats som återställs efter varje byggprojekts slut.

#### **F. Liljeholmen**

Vid Liljeholmen har Stockholm Vatten AB planerat en etableringsyta på 2 000 – 4 000 m<sup>2</sup> för byggnation av en ny avloppsledning. Etableringsytan är tänkt att anläggas på Axelsbergs bollplan där en konstgräsplan nu planeras. Tanken är att fotbollsplanen minskas till en 7-manna plan under bygget och att planen utökas till en 11-manna plan när bygget är avslutat. Hela ytan för konstgräsplanen är ca 7 000 m<sup>2</sup> (Stockholms Stad, 2016a). Även efter avslutat arbete med avloppsledningen, vilket planeras vara klart 2021, kan ytan användas på likanade sätt för andra arbeten i behov av etableringsytor.

#### **G. Parkering vid Ropsten**

I anslutning till Lidingöbron föreslås en anläggning av en etableringsplats på ca 5 000 m<sup>2</sup> för byggnationen av en ny Lidingöbro. Idag ligger det en småbåtshamn på området och nyttjas av en båtklubb. Avlastning är även möjlig på närliggande parkering (Tyréns, 2014). Denna yta kan användas som tillfällig rangeringsplats som återställs till den nuvarande verksamheten efter varje byggprojekts slut.

#### **H. Grönområde mellan Södra Kungsvägen och Lidingöbanan**

Grönområdet mellan Södra Kungsvägen och Lidingöbanan har en yta på ca 10 000 m<sup>2</sup> och används idag som etableringsyta för SLs arbete med Lidingöbanan. Denna yta har tagits upp som förslag för etableringsyta vid byggnation av en ny Lidingöbro (Tyréns, 2014). Även i framtiden kan denna yta vara intressant för rangering och omlastning.

## 5 Anpassning och utveckling av regelverk

### 5.1 Restriktioner idag

Trafiksystemet ska enligt anvisningar och riktlinjer som framtagits på uppdrag av Sveriges kommuner och landsting, Trafikverket och Boverket anpassas till stadens karaktär och tillgänglighet, trygghet, trafiksäkerhet samt miljö och hälsa. Hur detta kan ske har beskrivits i handboken *Trafik för en attraktiv stad (TRAST)*. Gällande tillgängligheten är det främst medborgarnas transportbehov som det har tagits hänsyn till medan godstransporterna inte har prioriterats i tillgänglighetsarbeten (SLL och Trafikverket, 2011). Vanliga restriktioner är klassning av gators och vägars bärighet (BK1, BK2 och BK3), begränsningar av den tillåtna fordonslängden, hastighetbegränsningar, lastzoner, tidsreglering för lastning och lossning, miljözoner samt parkeringsmöjligheter. Om och hur restriktionerna och rådande regelverk kan ändras beror på orsaken till restriktionen.

Orsaken till att vissa gator och vägsträckor har en begränsad tillåten längd är främst begränsad framkomlighet och nedsatt trafiksäkerhet. Längre fordon är svårare att manövrera och särskilt i korsningar kan längre fordon få svårt att svänga. En utredning kring busslängder som Trafikkontoret utfört visar att det i Stockholm är möjligt att tillåta bussar med en högsta tillåtna längd på 13,99 m om bussen är utrustad med styrbar bakre axel i en boggi då detta ger likvärdiga egenskaper som en 12 m lång buss utan styrbar boggi. Detta gäller dock inte i Gamla Stan och andra områden i innerstaden där framkomligheten även är begränsad för 12 m långa fordon (Trafikkontoret, 2005).

Bärighetsklasserna BK2 och BK3 definierar de begränsningar i bruttovikt, axeltryck och boggitryck som råder på vägar med nedsatt bärighet. För flera broar i Stockholms innerstad har den högsta tillåtna bruttovikten begränsats till 12 ton. Beroende på motivet till de rådande viktbegränsningarna kan regelverken anpassas för att ge mer energieffektiva transporter. Med fler axlar kan en högre bruttovikt uppnås vid bibehållet axeltryck (Vierth et al, 2008).

### 5.2 Lagkravsutveckling

Åkerierna har angivit att mellan 10 % och 30 % av transporterna årligen utförs med en begränsad lastförmåga till följd av BK2 och att ca 5 % av transporterna får en minskad lastförmåga på grund av BK3. Även begränsningar till en maximal fordonslängd på 12 m anses minska lastförmågan för upp till 50 % av transporterna. 20-40 % av den totala lastkapaciteten förloras uppskattningsvis varje år på grund av restriktioner kring fordonsvikt och längd. Med förändrade regler kan transporterna därför effektiviseras.

#### Fordonslängd

På platser i innerstäder och tätorter där framkomligheten så tillåter bedöms den maximalt tillåtna fordonslängden kunna höjas från dagens 12 m till 13,99 m vilket skulle kunna möjliggöra användning av fordon och fordonskombinationer med en högre tillåten bruttovikt.

#### Bruttovikt

En höjning av bruttovikten för ett enskilt motordrivet fordon med fler än 4 axlar från dagens 31-32 ton till 38-40 ton ger en medelaxellast på mellan 7,6 och 8 ton. Detta innebär att de regler som idag gäller för tillåtet axel-, boggi- och trippelaxeltryck kan följas, men att reglerna kring maximal bruttovikt för ett enskilt fordon med fler än 4 axlar måste förändras (se tabell 5.1).



Tabell 5.1 Maximal bruttovikt samt approximativ nyttolast (exkl. lastbärare) för enskilt fordon enligt dagens regelverk samt förslag på förändrade regelverk

Antal axlar	Enligt dagens regelverk		Förslag på förändrat regelverk	
	Maximal bruttovikt	Approximativ nyttolast	Maximal bruttovikt	Approximativ nyttolast
3	26 ton	12 ton	26 ton	12 ton
4	31/32 ton	16/17 ton	31/32 ton	16/17 ton
5 och fler	31/32 ton	14/15 ton	38-40 ton	21-23 ton

Idag begränsas den tillåtna bruttovikten vid BK2 främst av bruttoviktskurvan (metervikten). Genom att bestämma den maximalt tillåtna bruttovikten vid BK2 endast utifrån dagens tillåtna axel- och boggitryck vid BK2 samt bruttoviktskurvan vid BK1 kan fordonens lastkapacitet öka. Genom att bibehålla dagens restriktioner för axel- och boggitryck vid BK2 bedöms dessa fordon kunna trafikera dagens BK2-klassade vägar, bortsett från vissa broar med begränsad bärighet.

## 5.3 Fordonskonfigurationer och fordonskombinationer

### 5.3.1 Fordonskonfigurationer och fordonskombinationer idag

Idag används främst 3-axliga boggibilar för transporter av massgods i Stockholm. En stor fördel med dessa fordon är att de är flexibla. Om fordonet utrustas med en större motor kan det användas både i grusgropar och i staden samt att det är möjligt att koppla till efterfordon. Även 4-axlade lastbilar förekommer, dock i något mindre omfattning. Idag sker i princip ingen omlastning vid transporter av massor vilket innebär att fordonen kör med den av BK2 begränsade lastvikten även på BK1-sträckor vid transporter som utförs på gator och vägar med BK1- och BK2-klassning. Den främsta anledningen till att omlastning inte sker är att det råder stor brist på platser för omlastning eller avställning av släp i utkanten av Stockholms innerstad. Om plats fanns skulle däremot omlastning tillämpas i de fall där detta skulle effektivisera transporten (SÅ ABC, 2016).

Släpvagnar utformas vanligen för att maximera nyttolasten, samt att erhålla en bra dynamisk stabilitet i högre hastigheter på landsväg. Det finns också flera lasthanteringssystem anpassade för olika transportbehov och förhållanden, exempelvis kassetflak och lastväxlare samt flervägstipp. Vissa släpvagnar utformas för att även ha god manövreringsförmåga, men då på bekostnad av viss förlust i lastförmåga. Kärror med två eller tre centralt monterade axlar utformas för att ha god manövreringsförmåga i trånga utrymmen samt för effektiv lasthantering. Dessa används framförallt för transporter på korta sträckor och i anläggningsområden med ojämna och mjuka underlag. En påhängsvagn kan kopplas efter en lastbil med dragkrok om en dolly används (se avsnitt 1.5) (Rosgardt, 2016).

Genom att öka ett fordon's tillåtna bruttovikt kan lastkapaciteten öka. Med dagens regler kring tillåten bruttovikt kan ett fordon's maximalt tillåtna bruttovikt höjas om avståndet mellan första och sista axeln ökas. Genom att på detta sätt välja en lång hjulbas för att öka ett fordon's bruttovikt erhålls inte alltid ett optimalt fordon. På långa singelfordon med maximal hjulbas måste ramen förstärkas och tippningsanordningen kan behöva förstärkas eller förstöras. Fordonen blir därmed tyngre och inte lika flexibla samtidigt som lastkapaciteten vid BK1 minskar. För fordon som främst används inne på arbetsplatser är det dessutom av intresse att ha en kort hjulbas för att fordonen skall bli lättmanövrerade (Rosgardt, 2016).

Det är av stor vikt att fordonsflottan är anpassad efter de uppdrag som finns i de aktuella områdena. Om inte rätt typ av fordon finns tillgängligt tvingas åkerierna att använda fordon som inte är optimala för de uppdrag som ska utföras vilket ger ineffektiva transporter med negativ påverkan på miljö och ekonomi som följd.

Enligt uppgifterna från enkäterna består 32 % av åkeriernas fordonsflottor av någon form av efterfordon, främst släpvagnar, men även kärror och trailers förekommer. Bristen på rangeringsplatser gör dock att det är svårt att ställa av ett efterfordon vid färd i ett område där det råder BK2 och 12 m vilket försvårar användningen av långa fordonskombinationer.

Brutto- och lastvikter har sammanställts för 3 fordonskonfigurationer som utformats enligt dagens regelverk (se tabell 5.2). Den 3-axlade boggibilen är främst lämpad för transporter där det råder BK2. En 4-axlad lastbil tillåts ha en bruttovikt på 32 ton vid BK1 men ger ingen betydande lastviktökning vid BK2 på grund av att fordonet har en högre egenvikt jämfört med ett 3-axlat fordon. De 4-axlade fordonen är därmed bättre lämpade för BK1 än BK2. Ett 5-axlat fordon ger ingen ökad lastkapacitet vid BK1 jämfört med ett fordon med 4 axlar på grund av dagens regelverk där ett fordon med 4 eller fler axlar inte tillåts ha en högre bruttovikt än 32 ton. Vid BK2 kan ett 5-axlat fordon däremot ge en något högre lastkapacitet jämfört med lastkapaciteten för ett 4- eller 3-axlat fordon vid BK2.

Tabell 5.2 Brutto- och lastvikter för olika fordonskonfigurationer enligt dagens regelverk

Antal axlar	Konfiguration	Total-längd för fordon (m)	Avstånd mellan första och sista axel (m)	Egenvikt inklusive påbyggnad (ton)	Bruttovikt (ton)		Lastvikt (ton)		Genomsnittlig axellast vid BK1 (ton)
					BK1	BK2	BK1	BK2	
3	Boggi (6x2) alternativt (6x4)	11	5,6	14	26	23,5	12	9,5	8,7
4	Tridemboggi (8x4/2) alternativt dubbla framaxlar (8x4)	11,5	6,4	14,5	32	24,9	17,5	10,4	8
5	Dubbla framaxlar och tridemboggi (10x4)	11,5	8,7	15,2	32	28,6	16,8	13,4	6,4

### 5.3.2 Framtida fordonskonfigurationer och fordonskombinationer

Fordonstillverkarna vill se att nya regelverk främjar en utveckling bort från fordon med lång hjulbas (Rosgardt, 2016). Genom att höja den tillåtna bruttovikten för fordon med fler än 4 axlar från dagens 31/32 ton till 38-40 ton kan lastvikten öka. Detta samtidigt som dagens tillåtna axel-, boggi- och trippelaxeltryck samt reglerna kring maximal bruttovikt utifrån avståndet mellan första och sista axeln följs. 32 tons bruttovikt för fordon med fler än 4 axlar förutsätter idag att drivaxeln har dubbelmonterade hjul och luftfjädring eller likvärdig fjädring alternativt att axeltrycket inte på någon drivaxel överstiger 9,5 ton vilket även bör gälla för 40 tons bruttovikt för fordon med fler än 4 axlar.

Vid en höjning av bruttovikten för fordon med fler än 4 axlar kan lastvikten vid BK1 och BK2 höjas (se tabell 5.3). Det som i dessa fall avgör den maximala bruttovikten är regelverket för maximal bruttovikt utifrån avståndet mellan första och sista axeln.

En 5-axlad lastbil är främst fördelaktig ur lastkapacitetssynpunkt vid den föreslagna nya bruttoviktsklassen BK4. Ett sådant fordon ger dessutom den lägsta genomsnittliga axellasten.



Fordon med fler axlar ger generellt en lägre genomsnittlig axellast än fordon med färre axlar vilket innebär en lägre statisk belastning. För att kunna operera i trånga miljöer specificeras fordonet med fler styrbara axlar (vanligen 3), vilket ger en god manövreringsförmåga. Fordonen kan vidare utrustas med förarstöd i form av flera olika typer av backspeglar och kameror, samt eventuellt också fönster i passagerarsidans dörr. För de få tillfällen där avancerad manövrering krävs på mycket trånga arbetsytor förväntas dagens lösning med 3-axliga fordon bibehållas.

Tabell 5.3 Fordonskoncept med höjning av tillåten bruttovikt för enskilt fordon med fler än 4 axlar till 38-40 ton

Antal axlar	Konfiguration	Total-längd för fordon (m)	Avstånd mellan första och sista axel (m)	Egenvikt inklusive påbyggnad (ton)	Bruttovikt (ton)			Lastvikt (ton)			Genomsnittlig axellast vid BK1 (ton)
					BK4	BK1	BK2	BK4	BK1	BK2	
3	Boggi (6x2) alternativ (6x4)	11	5,6	14	26	26	23,5	12	12	9,5	8,7
4	Tridemboggi (8x4/2) alternativt dubbla framaxlar (8x4)	11,5	6,4	14,5	32	32	24,9	17,5	17,5	10,4	8
5	Dubbla framaxlar och tridemboggi (10x4)	11,5	8,7	15,2	40*	34*	28,6	24,8	18,8	13,4	6,8

\* Frågar dagens regelverk gällande maximalt tillåten bruttovikt för enskilt fordon med 4 eller fler axlar

5-axliga bilar med bruttovikt på maximalt 42 ton är tillåtna i Finland sedan den 1 oktober 2013. En lastbils totalvikt får då inte överskrida det värde som uppnås när till 20 ton läggs 350 kg för varje påbörjad 0,1 m som avståndet mellan bilens yttersta axlar överstiger 1,80 m (Mustonen, 2014). I Finland ser Volvo att intresset för 5-axlade singelbilar för anläggningstransporter ökar. I de flesta stadsmiljöer fungerar de 5-axlade singelfordonen mycket bra. Fordonen används ofta kortare sträckor där framkomligheten är begränsad vilket ökar betydelsen av att ha ett fordon som har god manöverbarhet. För godstransporter över längre sträckor används ofta olika fordonskombinationer för att få så hög lastkapacitet som möjligt. För denna tillämpning är intresset för 5-axlade fordon större. Att ta fram exempelvis nya specifikationer, lastbärare och nya hjulbaser för fordon tar några år vilket innebär att det troligtvis kommer att komma fler 4- och 5-axlade fordon under de kommande åren (Rosgardt, 2016).

Med en längdbegränsning på 13,99 m istället för dagens 12 m möjliggörs ett avstånd mellan första och sista axel på ca 9,79 m vilket ger en tillåten bruttovikt vid BK1 på maximalt 39 ton. Detta innebär att bruttovikten ökar med drygt 20 % vid en ändring av maximalt tillåten längd från 12 m till 13,99 m samt höjning av tillåten bruttovikt för fordon med fler än 4 axlar (Transportstyrelsen, 2014a). Med ett axelavstånd på 9,79 m tillåts bruttovikten uppgå till 30,32 ton vid BK2, enligt den bruttoviktstabell som anger tillåten bruttovikt beroende på avståndet mellan första och sista axeln. Det är dock inte önskvärt att ha en lång hjulbas eftersom detta gör fordonet tyngre och mer svårmanövrerat vilket medför att ett mindre flexibelt fordon erhålls.

Genom en höjning av bruttovikten för fordon med fler än 4 axlar till 38-40 ton kan nya fordonskombinationer med 5-axlade lastbilar skapas. De 5-axlade fordonen kan transportera massgods in och ut ur innerstaden där det råder BK2 och 12 m fordonslängd för att utanför innerstaden koppla på ett efterfordon samt komplettera lasten på fordonet. På detta sätt kan effektivare massgodstransporter uppnås.

Parator Industries har tagit fram ett ekipage som har optimerad lastförmåga både vid BK1 och BK2 och 12 m fordonslängd enligt dagens regelverk (se figur 5.1). Ekipaget består av en kort 3-axlad dragbil och två identiska så kallade linkar med skjutbar boggi. Vid färd inom områden där det råder BK2 och maximalt 12 m fordonslängd kan den bakre linken kopplas av och boggin dras in för att klara längdbegränsningen och samtidigt ha en tillåten totalvikt på 30 ton. Vid BK1 tillåts dragbilen och en link med helt utskjuten boggi ha en totalvikt på 45 ton.



Figur 5.1 Bild till vänster visar ekipaget med utdragna boggin, bild till höger visar indragen boggi (Parator)

Möjligheterna att i olika lägen skapa effektiva fordonskombinationer med hjälp av lastbilar/dragfordon samt släpvagnar och/eller kärror är avgörande för att erhålla en hög utnyttjandegrad relaterat till fordonens lastkapacitet. Fordonskombinationen måste kunna användas till olika uppdrag för att beläggas med transportuppdrag som ger lönsamhet för transportören. En lastbil måste vara kompatibel med flera olika efterfordon och efterfordonen behöver på samma sätt vara möjliga att kombinera med olika lastbilstyper.

I undantagsfall kan en fordonskombination skapas för ett unikt uppdrag, men detta är ovanligt. Ett exempel på specialiserade fordonskombinationer för massgodstransporter återfinns bland annat inom gruvnäringen. Påhängsvagnar (trailers) används främst i kombination med dragbilar och då oftast för transportuppdrag i längre transportcykler på landsväg. En tippsemitrailer har i normalfallet en något mer långsam lasthantering än ett singelfordon (Rosgardt, 2016).

Genom mer optimerade bestämmelser kan längre och/eller tyngre fordonskombinationer tillåtas i avsikt att utnyttja infrastrukturen och dess begränsningar på bästa sätt. Därmed minimeras de negativa effekter från transporter, i form av emissioner, mängder av fordonsrörelser och slitage på gator och vägar. Det finns i många fall också utrymme för en förbättrad produktivitet om transporter planeras väl. För att längre och/eller tyngre fordon och fordonskombinationer skall kunna tillåtas behöver en god efterlevnad av de nya bestämmelserna säkerställas. Detta kan möjliggöras genom att de fordonsägare som vill utnyttja möjligheterna med ökad kapacitet också måste utrusta fordonen med kontrollsystem som säkerställer efterlevnaden och matchningen mot de gällande bestämmelserna. Lösningar för detta finns redan idag i form av bland annat geofencing system som informerar föraren om gällande bestämmelser under färd, samt även lagrar transportdata för uppföljning och matchning mot eventuella överträdelser (Rosgardt, 2016).

## 6 Effekter av anpassningar av regelverk

### 6.1 Vägslitage

Flera faktorer är drivande för att öka den interna och den externa effektiviteten för stadsnära massgodstransporter. Generella effektivitetsförbättringar för stadsnära transporter förväntas även medföra en minskad påkänning och ett minskat slitage på mark och infrastruktur, en minskning av emissioner i form av buller och avgaser samt resultera i en minskad trängsel. För industrin och för samhället är produktiviteten vid samhällsbyggnadsrelaterade projekt mycket viktig.

Vägslitage och nedbrytningen av väginfrastrukturen beror på en rad faktorer, exempelvis däck, däckstorlek, hjulbelastning, däckens lufttryck samt vägmateriell och lagertjockleken på vägens överbyggnad. För att minska fordonets dynamiska belastning på vägbanan och känslig mark bör fordonet specificeras med luftfjädring eller med särskilda bladfjädrar som är konstruerade för att följa markojämnheter på bästa sätt. Det finns dock utrymme att studera och förbättra specifika dynamiska effekter och på så sätt ytterligare minska belastningen mot mark och väg.

#### 6.1.1 Metodik för beräkning av vägslitage

En av de faktorer med störst betydelse är kontaktrycken 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 vägslitage 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 <sub>10</sub>	Antal 10 tons standardaxlar för fordonet i aktuellt hjulspår (dvs. i ett av hjulspåren)
n	Antal axelgrupper hos ekipaget
m <sub>i</sub>	Antal axlar i axelgrupp nr. i
A <sub>i</sub>	Korrektionsfaktor för antal axlar och avståndet mellan axlarna inom axelgruppen nr i
B <sub>ij</sub>	Korrektionsfaktor för däckkonfigurationen på axel nr ij
C <sub>i</sub>	Korrektionsfaktor för fjädringssystemet på axelgruppen nr i
D <sub>ij</sub>	Korrektionsfaktor för lufttrycket i däcken på axel nr ij
P <sub>ij</sub>	Last i ton per hjul på axel nr ij
m <sub>i</sub>	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<sub>i</sub>= 1,4 (1,4 m axelavstånd) och A<sub>i</sub> = 1,75 (1,8 m axelavstånd) och för tridem används A<sub>i</sub>=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  $C_i = 0,95$ .

Luftrycket 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  $P_{ij} = \text{totala axellasten i axelgruppen dividerat med antalet hjul i axelgruppen}$ .

## 6.1.2 Beräknad vägslitageeffekt

Vägslitage från olika fordonskonfigurationer/kombinationer utifrån fjärdepotensregeln på väg med väldimensionerad överbyggnad har beräknats (se tabell 6.1). Beräkningar visas i bilaga A.

Tabell 6.1 Vägslitageeffekt per hjulspår från olika fordonskonfigurationer och kombinationer utifrån fjärdepotensregeln för olika däckkonfigurationer på väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Nr.	Fordonskonfiguration	Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)	Vägslitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Vägslitageeffekt normerad till nyttolast vid BK1 (ESAL <sub>10</sub> per ton)
1a	3-axlad lastbil (Luftfjädring) 	26	12,0	1,04	0,043
1b	3-axlad lastbil (Bladfjädring) 	26	12,0	1,10	0,046
1c	3-axlad lastbil (Luftfjädring) 	26	12,0	1,56	0,065
1d	3-axlad lastbil (Bladfjädring) 	25	11,0	1,42	0,065
2a	4-axlad lastbil (Luftfjädring) 	32	17,5	0,86	0,025
2b	4-axlad lastbil (Luftfjädring) 	32	17,5	0,80	0,023

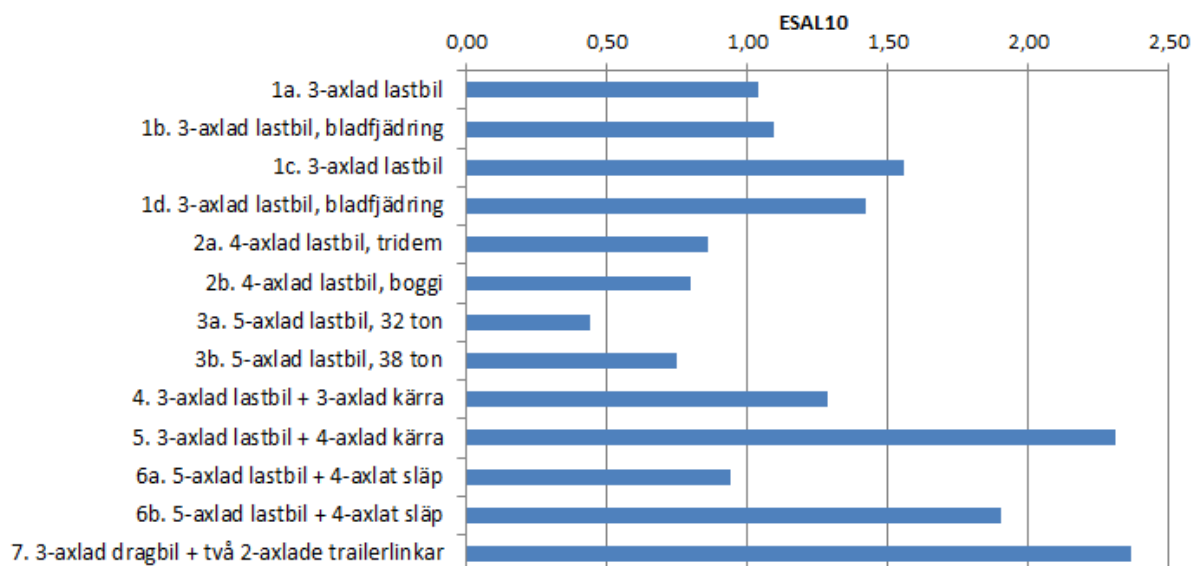


Nr.	Fordonskonfiguration	Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)	Vägslitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Vägslitageeffekt normerad till nyttolast vid BK1 (ESAL <sub>10</sub> per ton)
3a	<b>5-axlad lastbil (Luftfjädring)</b> 	32	16,8	0,44	-0,013
3b	<b>5-axlad lastbil (Luftfjädring)</b> 	38*	22,8	0,75	0,017
4	<b>3-axlad lastbil (1a) + 3-axlad kärra (Luftfjädring)</b> 	50	31,0	1,29	0,021
5	<b>3-axlad lastbil (1a) + 4-axlad släp (Luftfjädring)</b> 	64	41,7	2,31	0,028
6a	<b>5-axlad lastbil (3a) + 4-axlad släp (Luftfjädring)</b> 	64	40,5	0,94	0,012
6b	<b>5-axlad lastbil + 4-axlad släp (Luftfjädring)</b> 	74**	50,5	1,90	0,019
7	<b>3-axlad dragbil + två 2-axlade trailerlinkar (Luftfjädring)</b> 	64	40,0	2,37	0,030

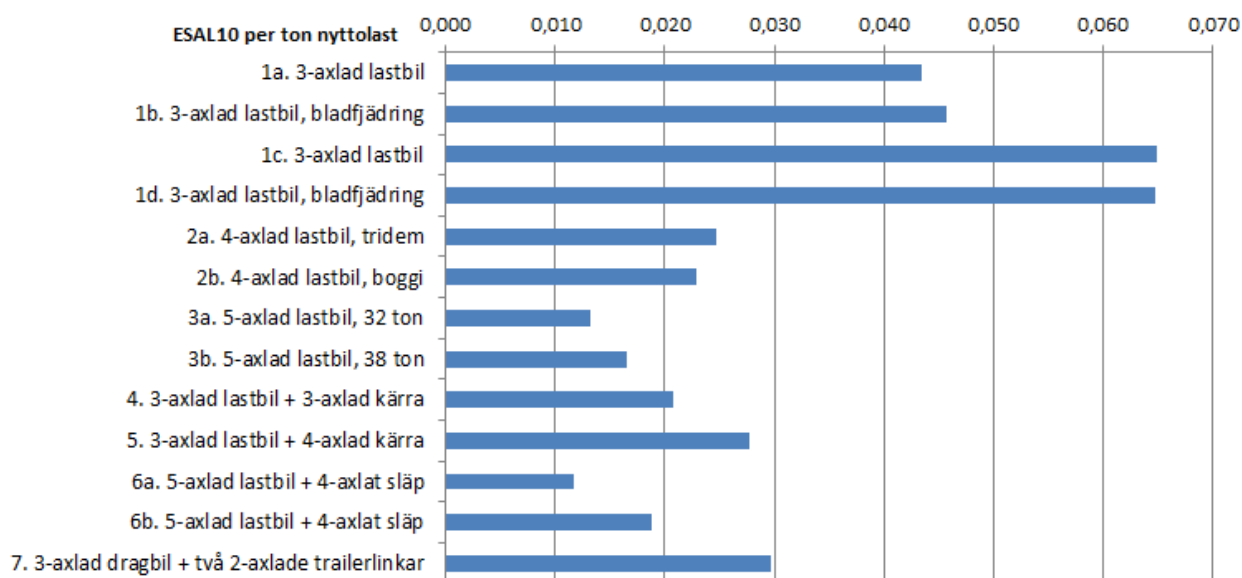
\* Kräver en utveckling av dagens bruttoviktsregler

\*\* Vid kommande BK4

Beräkningarna för vägslitageeffekten från olika fordonskonfigurationer och kombinationer visar att fler axlar i axelgrupper med parmonterade däck ger en mindre vägslitageeffekt per nyttolast jämfört med lastbilar med endast 3 axlar (se figur 6.1 och figur 6.2). Bladfjädring ökar vägslitageeffekten med ca 5 %. Enkelmonterade däck ökar vägslitageeffekten med en faktor 2,91 eller 2,19 beroende på däckbredd per axelgrupp.



Figur 6.1 Vägslitageeffekt för olika fordonskonfigurationer



Figur 6.2 Vägslitageeffekt för olika fordonskombinationer normerat till nyttolast vid BK1

Ovanstående beräkningar visar att alla de undersökta 3-axlade lastbilarna ger en högre vägsitageeffekt än de övriga undersökta fordonskonfigurationerna och fordonskombinationerna. Lägst vägsitageeffekt per ton nyttolast ger den 5-axlade lastbilen med parmonterade däck och luftfjädring. Detta visar att axel- och däckkonfigurationen har stor inverkan på vägslitaget och att ett fordon eller fordonskombination kan lasta mer utan att ge en större vägsitageeffekt per nyttolast förutsatt att axelvikten är låg.

### Ansatser avseende höjningar av bruttovikter i tätortsområden

I de fall bruttovikterna begränsas av restriktioner i bärigheten (metervikten), anges detta vanligen genom restriktiva bärighetsklasser och bruttoviktskurvor. I stora tätorter, såsom Stockholm, råder generellt BK2, (se tabell 6.2). Detta har sammanställts för 5 fordonstyper. Emellertid är en väsentlig fråga i vilken omfattning bärigheten är begränsad i de lokala gatu- och vägnäten samt i vilken omfattning restriktiva bruttoviktskurvor, såsom BK2 respektive BK1, måste tillämpas för att skydda gator och vägar med svag under- och/eller överbyggnad.

Istället är bedömningen att det är av intresse att vid svag under- och/eller överbyggnad av gatu- och vägnäten beakta de restriktioner som främst BK2 och i förekommande fall även BK3, innebär avseende axel- och boggilaster.

Tabell 6.2 Vägslitageeffekt för lastbilar med luftfjädring och bruttovikt ansatt efter BK2

Fordonskonfiguration	Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)	Vägslitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Vägslitageeffekt per nyttolast (ESAL <sub>10</sub> per ton)
3-axlad lastbil BK2 	23	9	1,03	0,057
3-axlad lastbil BK2 	23	9	0,77	0,043
4-axlad lastbil BK2 	28,6	14,1	0,71	0,051
4-axlad lastbil BK2 	28,6	14,1	0,50	0,036
5-axlad lastbil BK2 	28,6	13,4	0,26	0,019

I detta projekt har ansatser skett beträffande möjligheterna att tillämpa kriterier för bärighet (metervikt) enligt nuvarande bärighetsklass 1 (BK1) i kombination med restriktioner av axel- och boggilaster enligt BK2 respektive endast restriktioner av axellasten enligt BK2. Detta har medfört två ansatser som redovisas nedan.

### 1. Bruttoviktshöjning med restriktion av axel- och boggilaster enligt BK2

Enligt denna ansats tillämpas restriktioner av boggi- och axellaster enligt BK2, vilket innebär en högsta axellast på 10 ton oavsett om det är fråga om en drivaxel eller ej. Vidare tillåts en boggilast på 16 ton för 2-axlig boggi, vid ett minsta avstånd mellan axlarna på 1,0 m och ett avstånd som inte överstiger 1,3 m. Trippellasten, det vill säga lasten för en 3-axlig boggi sätts här till 22 ton, vid ett minsta avstånd mellan de yttre axlarna på 2,6 m. Samtidigt bestäms metervikten utifrån bruttoviktskurvan vid BK1.

Genom att bortse från bruttoviktskurvan och istället bestämma maximal bruttovikt utifrån de tillåtna axel- och boggitrycken vid BK2 kan fordonens lastkapacitet ökas. Detta innebär att den maximalt tillåtna axellasten för enskild axel kommer att uppgå till 10 ton oavsett om axeln är driven eller ej. Vidare förekommer i praktiken att framaxeltrycket för lastbilar med luftfjädring kan uppgå till 9 ton. Den förändrade bruttoviktens inverkan på vägslitageeffekten normerat till nyttolasten har sammanställts för 5 fordonskonfigurationer (se tabell 6.3).

Tabell 6.3 Väglitageeffekt för lastbilar med luftfjädring och bruttovikt ansatt efter tillåtna axel- och boggitryck vid BK2 och bruttoviktskurvan vid BK1

Fordonskonfiguration	Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)	Väglitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Väglitageeffekt per nyttolast (ESAL <sub>10</sub> per ton)
3-axlad lastbil 	25	11,0	1,90	0,086
3-axlad lastbil 	25	11,0	1,64	0,074
4-axlad lastbil 	31	16,5	0,91	0,055
4-axlad lastbil 	32	17,5	0,87	0,050
5-axlad lastbil 	38*	22,8	1,08	0,047

\* Frångår dagens regler för maximal bruttovikt för enskilt motordrivet fordon med 4 eller fler axlar

## 2. Bruttoviktshöjning med restriktion av endast axellaster enligt BK2

Enligt denna ansats tillämpas restriktioner av axellaster enligt BK2, vilket innebär en högsta axellast på 10 ton oavsett om det är fråga om en drivaxel eller ej. Vidare tillåts generellt en boggilast på 18 ton för 2-axlig boggi samt en boggilast på 19 ton för drivande boggi enligt de restriktioner som gäller för BK1. Trippellasten, det vill säga lasten för en 3-axlig boggi sätts här till 24 ton om avståndet mellan de yttre axlarna är 2,6 m eller mer enligt de restriktioner som gäller för BK1. Utöver detta överskrids inte de metervikter som gäller enligt bruttoviktskurvan för BK1. Väglitageeffekten av bruttoviktsförändringen har sammanställts (se tabell 6.4).

Tabell 6.4 Väglitageeffekt för lastbilar med luftfjädring och bruttovikt ansatt efter tillåtet axeltryck vid BK2 och bruttoviktskurvan vid BK1

Fordonskonfiguration	Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)	Väglitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Väglitageeffekt per nyttolast (ESAL <sub>10</sub> per ton)
3-axlad lastbil 	26	12,0	2,04	0,085
3-axlad lastbil 	26	12,0	1,04	0,043

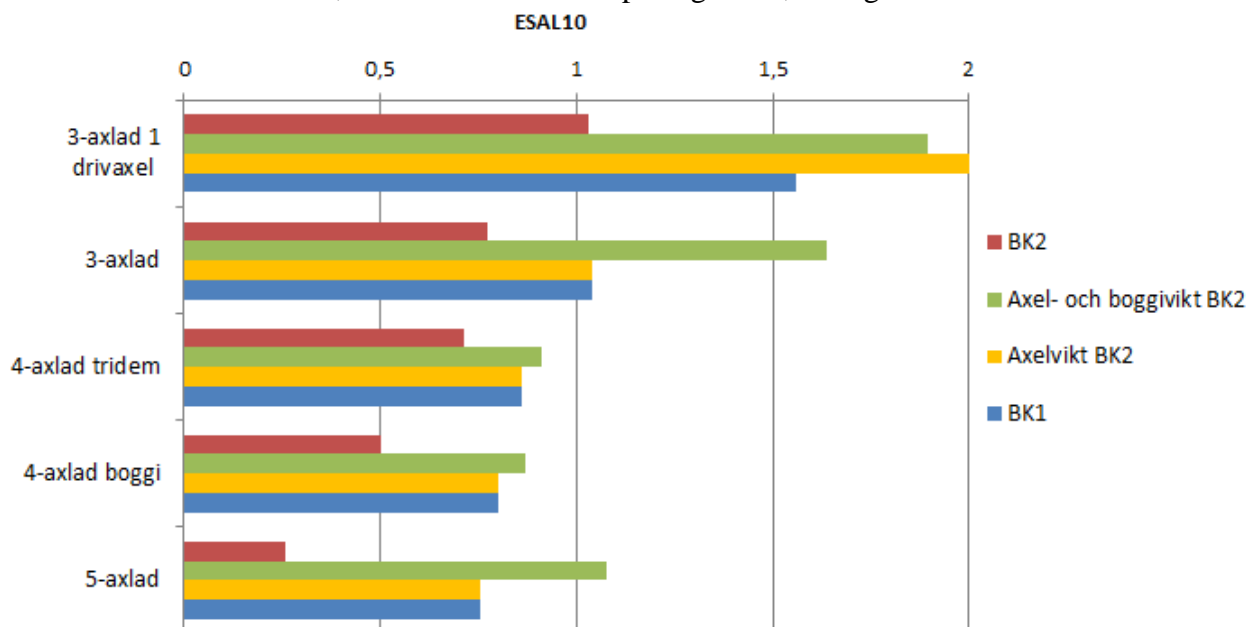


Fordonskonfiguration	Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)	Vägslitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Vägslitageeffekt per nyttolast (ESAL <sub>10</sub> per ton)
<b>4-axlad lastbil</b> 	32	17,5	0,80	0,023
<b>5-axlad lastbil</b> 	38*	22,8	0,75	0,017

\* Frångår dagens regler för maximal bruttovikt för enskilt motordrivet fordon med 4 axlar

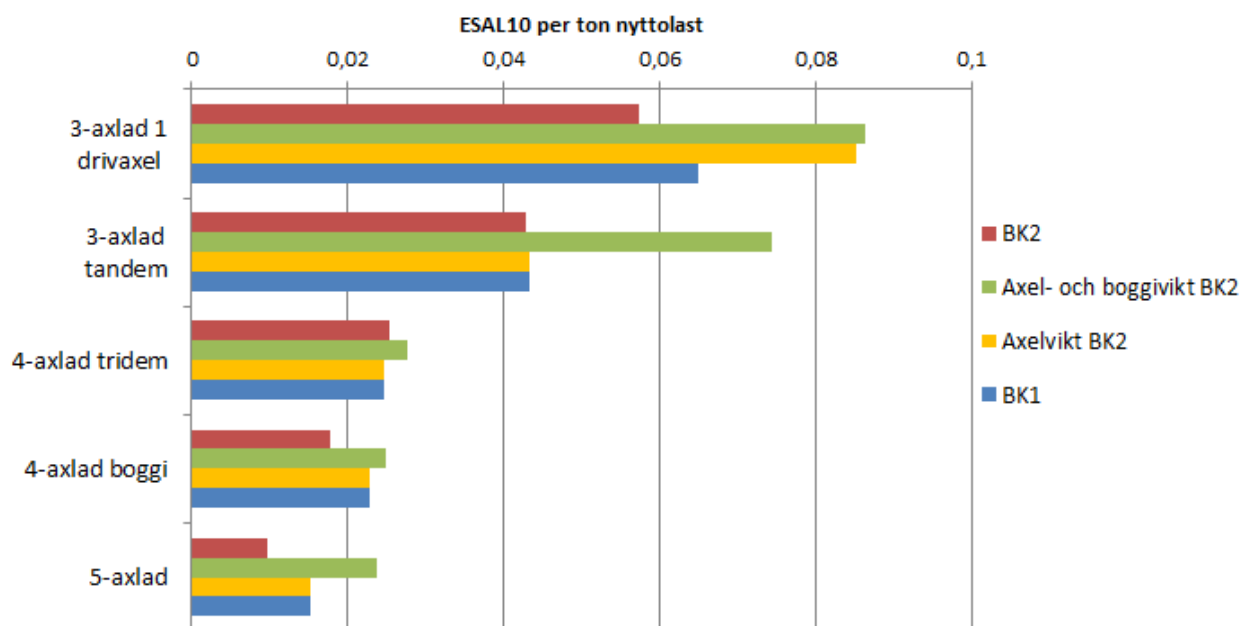
### Jämförelse av effekter av olika ansatser avseende bruttovikter i tätortsområden

Den totala vägslitageeffekten (ESAL<sub>10</sub>) för de 3-, 4- och 5-axlade lastbilarna med bruttovikt enligt de två ansatserna ovan samt med de nuvarande restriktionerna vid BK1 och BK2 har även sammanställts i ett diagram (se figur 6.3). Vägslitageeffekten för fordon med högre bruttovikt än vad de nuvarande restriktionerna vid BK1 och BK2 tillåter innebär en högre vägslitageeffekt eftersom den totala vikten, och därmed effekten på vägbanan, är högre.

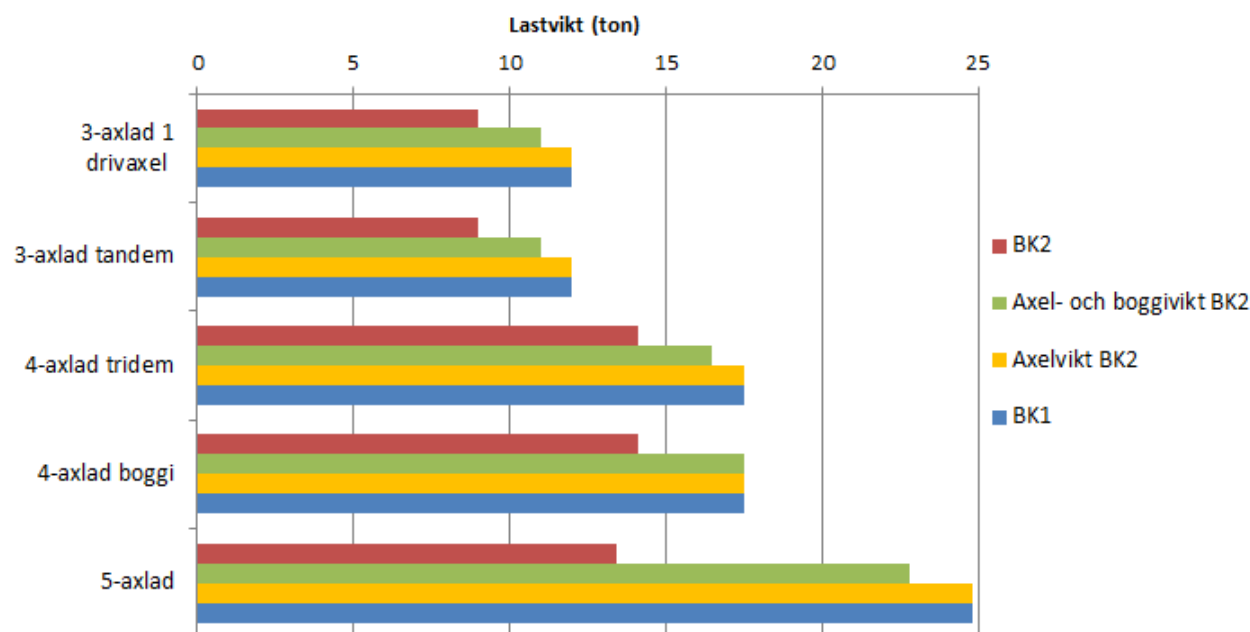


Figur 6.3 Vägslitageeffekt för 3-, 4- och 5-axlade lastbilar med bruttovikt enligt maximalt tillåtna axel- och boggivikter vid BK2 respektive enbart axelvikt vid BK2 jämfört med rådande restriktioner för BK1 och BK2

Vägslitageeffekten normerad till nyttolasten för de 3-, 4- och 5-axlade lastbilarna med bruttovikt enligt de två ansatserna ovan samt med de nuvarande restriktionerna vid BK1 och BK2 har sammanställts (se figur 6.4). Av sammanställningen framgår att 4- och 5-axlade lastbilar har en lägre vägslitageeffekt normerad till nyttolasten jämfört med en 3-axlad lastbil även om bruttovikten på den 4- och 5-axlade lastbilen höjs till den maximalt möjliga bruttovikten enligt maximalt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2. De aktuella fordonslösningarna kan även ta en högre nyttolast vilket har åskådliggjorts i en sammanställning (se figur 6.5). Observera att dagens regler för maximal bruttovikt för enskilt fordon frångås i några fall.



Figur 6.4 Vägslitageeffekt normerad till nyttolasten för 3-, 4- och 5-axlade lastbilar med bruttovikt enligt maximalt tillåtna axel- och boggivikter vid BK2 respektive enbart axelvikt vid BK2 jämfört med rådande restriktioner för BK1 och BK2



Figur 6.5 Nyttolasten för 3-, 4- och 5-axlade lastbilar med bruttovikt enligt maximalt tillåtna axel- och boggivikter vid BK2 respektive enbart axelvikt vid BK2 jämfört med rådande restriktioner för BK1 och BK2

## 6.2 Buller och markvibrationer

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

Eftersom karosseriet och lasten väger mer än hjulaxeln varar karossens och lastens vibrationer under en längre tid vilket belastar gatan och vägen mer och under längre tid än vibrationer i hjulaxeln. Skakningar i karossen inkluderat lasten är därmed mer skadligt än hjulaxelskakningar.

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 i hård mark/berg. 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 6.5).

Tabell 6.5 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, väggroppens 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).

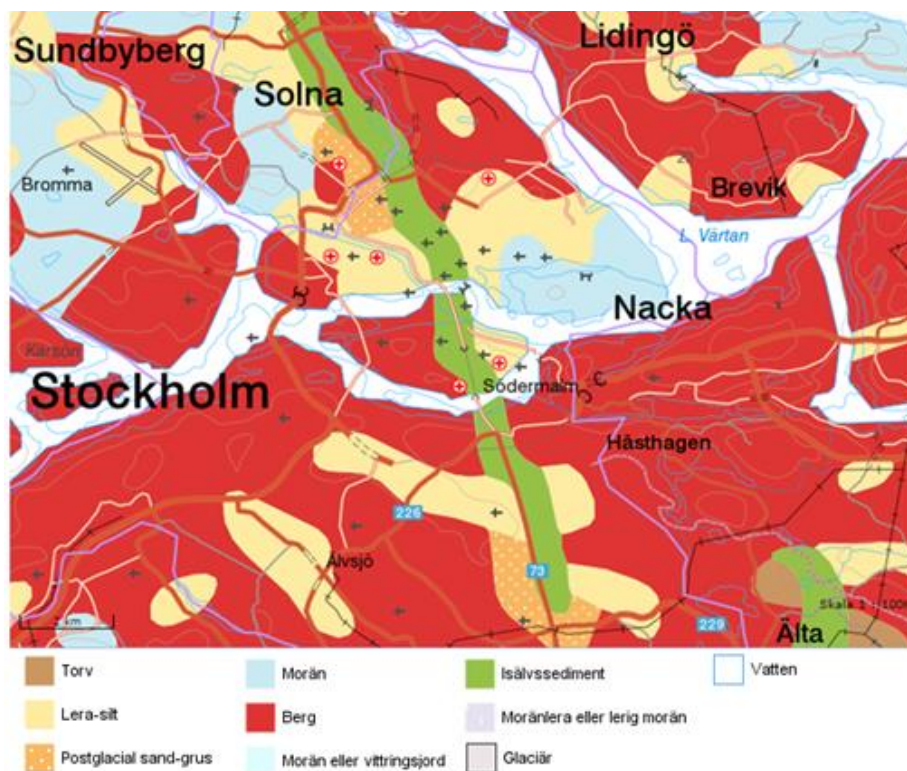
Risk för sättningar i mark och byggnader finns då marken består av lösa jordarter eller en kombination av lösa jordarter och berg. Lösa jordarter dämpar högfrekventa vibrationer bra, men inte lågfrekventa vibrationer. Vid förekomst av lösa jordarter som ligger i ett ytligt lager över berggrunden kan resonans i jordlagret uppstå (Lundberg et al, 2011). I bland annat Danderyds kommun i Storstockholm har 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 vibrationsproblem 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 standard som finns 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 Stockholms Läns Landsting (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).

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).

En jordartskarta visar att markunderbyggnaden i den största delen av centrala Stockholm består av berg, men även lera, sand, grus, morän och isälvs sediment förekommer (se figur 6.6). Isälvs sediment är en form av skiktat naturgrus som har en ogynnsam vibrationsutbredning.



Figur 6.6 Jordartskarta över Stockholm (SGU, 2016)



Hur uppkomsten av komfortvibrationer och risk för byggnadsskada påverkas av marktyp, hastighet och fordonsvikt framgår nedan för BK1 (se tabell 6.6) och för BK2 (se tabell 6.7).

Tabell 6.6 *Bedömning av komfortvibration och risk för byggnadsskada från en 3-axlad boggibil vid BK1 som kör över en 50 mm djup asfaltkant/pothål vid olika marktyper och hastigheter. Byggnaden antas här vara ett flerbostadshus med platta på mark utan källare och med tegel/puts som står 12 m från vägbanan (Källman, 2016)*

Marktyp	Hastighet (km/h)	Komfortvibration i byggnad enligt SS 460 48 61 - vekaste bjälklaget (Måttlig störning (1) 0,4-1,0 mm/s, vägt rms. Sannolik störning (1) >1,0 mm/s, vägt rms)	Risk för byggnadsskada, Riktvärden vid markarbeten enligt SS 02 52 11 (Acceptansnivå för byggnad, 3-6 mm/s linjärt toppvärde)
Lös lera	40	Sannolik störning	Över acceptansnivå
	20	Sannolik störning	Uppfyller acceptansnivå
Silt eller Fast lera	40	Sannolik störning	Uppfyller acceptansnivå
	20	Måttlig störning (2)	Uppfyller acceptansnivå
Sand eller Grus	40	Måttlig störning (2)	Uppfyller acceptansnivå
	20	Måttlig störning (2)	Uppfyller acceptansnivå
Morän och Berg	40	Under riktvärdet för måttlig störning	Uppfyller acceptansnivå
	20	Under riktvärdet för måttlig störning	Uppfyller acceptansnivå

- (1) Enligt den bedömning som gjorts i samband med framtagningen av angivna riktvärden anses mycket få människor uppleva vibrationer under skiktet "måttlig störning" som störande. Vibrationer i skiktet "måttlig störning" ger i vissa fall anledning till klagomål. I skiktet "sannolik störning" är vibrationer kännbara och upplevs av många som störande.
- (2) Vibrationsnivå om 0,4 mm/s vägt rms tillämpas av Trafikverket som riktvärde, TDOK 2014:1021, Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg.

Tabell 6.7 *Bedömning av komfortvibration och risk för byggnadsskada från en 3-axlad boggibil vid BK2 som kör över en 50 mm djup asfaltkant/pothål vid olika marktyper och hastigheter. Byggnaden antas här vara ett flerbostadshus med platta på mark utan källare och med tegel/puts som står 12 m från vägbanan (Källman, 2016)*

Marktyp	Hastighet (km/h)	Komfortvibration i byggnad enligt SS 460 48 61 - vekaste bjälklaget (Måttlig störning (1) 0,4-1,0 mm/s, vägt rms. Sannolik störning (1) >1,0 mm/s, vägt rms)	Risk för byggnadsskada, Riktvärden vid markarbeten enligt SS 02 52 11 (Acceptansnivå för byggnad, 3-6 mm/s linjärt toppvärde)
Lös lera	40	Sannolik störning	Uppfyller acceptansnivå
	20	Måttlig störning (2)	Uppfyller acceptansnivå
Silt eller Fast lera	40	Måttlig störning (2)	Uppfyller acceptansnivå
	20	Under riktvärdet för måttlig störning	Uppfyller acceptansnivå
Sand eller Grus	40	Måttlig störning (2)	Uppfyller acceptansnivå
	20	Under riktvärdet för måttlig störning	Uppfyller acceptansnivå
Morän och Berg	40	Under riktvärdet för måttlig störning	Uppfyller acceptansnivå
	20	Under riktvärdet för måttlig störning	Uppfyller acceptansnivå

- (1) Enligt den bedömning som gjorts i samband med framtagningen av angivna riktvärden anses mycket få människor uppleva vibrationer under skiktet "måttlig störning" som störande. Vibrationer i skiktet "måttlig störning" ger i vissa fall anledning till klagomål. I skiktet "sannolik störning" är vibrationer kännbara och upplevs av många som störande.
- (2) Vibrationsnivå om 0,4 mm/s vägt rms tillämpas av Trafikverket som riktvärde, TDOK 2014:1021, Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg.

Tabellerna bygger på grova uppskattningar och har skett utifrån antagandet att en 3-axlad boggibil som kör över en 50 mm djup asfaltkant/pothål och där byggnaden antas vara ett flerbostadshus med platta på mark utan källare och med tegel/puts som står 12 m från vägbanan.

Tabellerna visar även att om marken består av morän och berg kommer de vibrationer som induceras av en 3-axlad boggibil att ligga under riktvärdena för komfortvibrationer i byggnader. Därmed uppfylls acceptansnivån för byggnader såväl när fordonet har en bruttovikt enligt BK1 som en bruttovikt enligt BK2. Vid BK2 bedöms det inte i något av de studerade fallen finnas någon risk för byggnadsskada och vid BK1 bedöms vibrationerna överstiga acceptansnivån endast vid lös lera när fordonet framförs i 40 km/h. Dock bedöms det att det både vid BK1 och BK2 finns en risk för måttlig till sannolik störning om marktypen är lös lera, silt eller fast lera samt sand eller grus. Mycket få människor upplever dock vibrationer som klassas som måttlig störning som störande. Endast om marken består av lös lera eller silt/fast lera bedöms det finnas en risk för sannolik störning.

### 6.3 Utbyggnad av tunnelbanans blå linje – exempel

För att studera och exemplifiera hur olika transportlösningar och restriktioner inverkar på energieffektiviteten hos transporterna har olika transportlösningar tagits fram och jämförts med transport med en 3-axlad lastbil som kör med last enligt BK2 och 12 m fordonslängd under hela sträckan. Beräkningar för dessa transportlösningar har utförts baserat på data från den planerade utbyggnaden av Stockholms tunnelbana till Nacka och söderort.

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

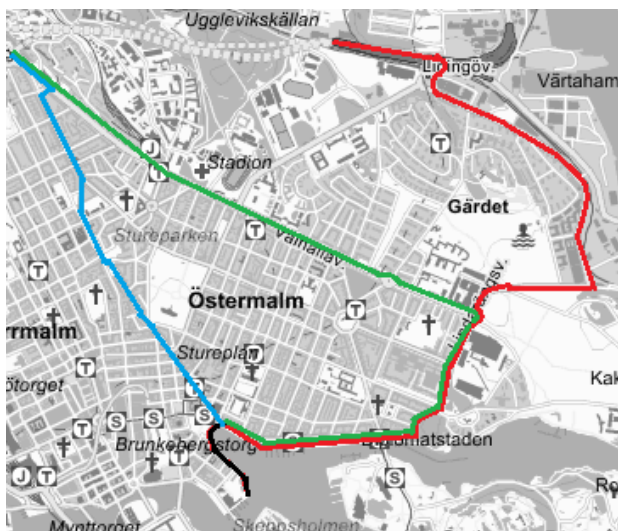
#### 6.3.1 Förutsättningar

Uppskattningsvis 1 700 000 m<sup>3</sup> fast berg kommer att behöva transporteras ut under bygget (SLL, 2015). Detta motsvarar ca 4,5 miljoner ton bergmassor vilka avses att transporteras via arbetstunnlar till materialanläggningar eller andra byggen. 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 fordon. Mängderna bergmassa som har uppskattats behöva transporteras bort per vecka samt vilka restriktioner som råder för transporterna har sammanställts (se tabell 6.8).

Tabell 6.8 Mängd fast berg som uppskattningsvis schaktas bort och behöver transporteras bort per vecka vid de olika stationerna samt rådande vägrestriktioner (SLL, 2015)

Station	Ton per vecka (ton)	Volym fast berg per vecka (m <sup>3</sup> )	Restriktion
Kungsträdgården (Blasieholmen)	5 000	1 900	BK2, 12 m
Sofia	15 000	5 700	BK1
Gullmarsplan	8 000	3 000	BK1/BK2, 12 m
Hammarby Kanal	8 000	3 000	BK2, 12 m
Sickla	8 000	3 000	BK1
Järla	7 500	2 900	BK1
Nacka Centrum	11 000	4 200	BK1
Ny station i Slakthusområdet	8 000	3 000	BK1

Huvuddelen av det bergmaterial som erhålls vid arbetet avses att transporteras ut genom arbetstunnlar vilkas mynningar läggs 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. I detta exempel används data över de beräknade massgodstransporterna från arbetsplatsen vid Kungsträdgården, vilken beräknas ge upphov till ca 5 000 ton bergmassa i veckan. Mynningen för arbetstunneln vid Kungsträdgårdens tunnelbanestation kommer att anläggas vid Museikajen (se figur 6.7). För arbetsplatsen vid Kungsträdgården har även sjötransporter utretts vilka dock bedömdes vara mindre intressanta på grund av ekonomiska, tidsmässiga och miljömässiga orsaker (SLL, 2015).



Figur 6.7 Olika alternativ för uttransport av massor. Röd markering visar alternativ 1, grön markering visar alternativ 2 och blå markering visar alternativ 3

För uttransporter från Kungsträdgården har 3 rutter, för vilka BK2 och en maximal fordonslängd på 12 m gäller fram till utträdet ur miljözonen vid 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 parentes beräknats enligt följande:

- Via Nybrokajen, Nybrohamnen, Strandvägen, Oxenstiernsgatan, Lindarängsvägen och Tegelluddsvägen 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)

### 6.3.2 Antaganden

Vid beräkning av mängden (ton) transporterat massgods per avståndsenhet (km) samt per tidsenhet (minut) har beräkningar utförts för hela sträckan respektive tiden tur och retur mellan arbetsplatsen och materialanläggningen. Fordonen antas lastas maximalt enligt de restriktioner som råder samt går tom på vägen tillbaka från materialanläggningen. Även bränsleförbrukningen och koldioxidutsläppen beräknas för hela sträckan tur och retur. Transportkostnaderna beräknas utifrån den tid transporterna antas ta och med uppgifter från åkeriföretagen över kostnader för olika fordon per timme. Vid omlastning tillkommer även kostnaden för hjullastare för den tiden omlastningen antas ta. Nedan presenteras de antaganden som gjorts vid beräkningarna. För en mer detaljerad beskrivning av beräkningarna, se bilaga B.

## Fordon

I detta exempel har beräkningar gjorts för 3-, 4- och 5-axlade lastbilar eller dragbilar med och utan efterfordon. De olika transportalternativen (se tabell 6.9).

Tabell 6.9 Olika transportalternativs bruttovikt och lastvikt vid olika restriktioner

Alt	Fordon	Restriktioner	Avstånd mellan första och sista axel (m)	Bruttovikt (ton)	Egenvikt (ton)	Lastvikt (ton)
1a	3-axlad lastbil	BK2, 12 m	5,6	23	14	9,5
1b		BK1, 12 m	5,6	26	14	12
2a	4-axlad lastbil	BK2, 12 m	6,4	24,88	14,5	10,4
2b		BK1, 12 m	6,4	32	14,5	17,5
2c		BK2, 12 m	8,7	28,62	14,5	14,12
3a	5-axlad lastbil	BK2, 12 m	8,7	28,62	15,2	13,42
3b		BK1, 12 m	8,7	32	15,2	16,8
3c		BK1, 12 m <sup>a</sup>	9,5	38	15,2	22,8
4a	3-axlad dragbil + 2-axlad påhängsvagn	BK2, 14 m	10,8	32,36	17	15,36
4b		BK1, 14 m	10,8	43	17	26
5	3-axlad dragbil + 3-axlad tipptrailer med skjutbar boggi	Omlastning <sup>d</sup>	9,6/13	30 (BK2) <sup>b</sup> 50 (BK1) <sup>c</sup>	16	14 (BK2) <sup>b</sup> 34 (BK1) <sup>c</sup>
6	3-axlad lastbil	Omlastning <sup>d</sup>	Se alternativ 1a och 1b			
7	4-axlad lastbil	Omlastning <sup>d</sup>	8,7	28,62 (BK2) 32 (BK1)	14,5	14,12 (BK2) 19,5 (BK1)
8	5-axlad lastbil	Omlastning <sup>d</sup>	9,5	29,98 (BK2) 38 (BK1)	15,2	14,78 (BK2) 22,8 (BK1)
9a	3-axlad lastbil + 4-axlat släp	Omlastning och rangering <sup>d</sup>	20,2 <sup>c</sup>	23 (BK2) <sup>b</sup> 64 (BK1) <sup>c</sup>	22,3	9,5 (BK2) <sup>b</sup> 41,7 (BK1) <sup>c</sup>
9b		Rangering <sup>d</sup>	20,2 <sup>c</sup>	23 (BK2) <sup>b</sup> 50,8 (BK1) <sup>c</sup>	22,3	9,5 (BK2) <sup>b</sup> 28,5 (BK1) <sup>c</sup>
10	4-axlad lastbil + 4-axlat släp	Rangering <sup>d</sup>	20,2 <sup>c</sup>	28,2 (BK2) <sup>b</sup> 64 (BK1) <sup>c</sup>	22,8	13,7 (BK2) <sup>b</sup> 41,2 (BK1) <sup>c</sup>
11	5-axlad lastbil + 4-axlat släp	Rangering <sup>d</sup>	20,2 <sup>c</sup>	28,6 (BK2) <sup>b</sup> 64 (BK1) <sup>c</sup>	23,5	13,4 (BK2) <sup>b</sup> 40,3 (BK1) <sup>c</sup>
12a	3-axlad dragbil med två 2-axlade trailers	Omlastning och rangering <sup>d</sup>	20,2 <sup>c</sup>	30 (BK2) <sup>b</sup> 64 (BK1) <sup>c</sup>	24	14 (BK2) <sup>b</sup> 40 (BK1) <sup>c</sup>
12b		Rangering <sup>d</sup>	20,2 <sup>c</sup>	30 (BK2) <sup>b</sup> 52 (BK1) <sup>c</sup>	24	14 (BK2) <sup>b</sup> 28 (BK1) <sup>c</sup>

a) Överskrider dagens maximalt tillåtna bruttovikt

b) Endast lastbil

c) Hela fordonskombinationen

d) Plats för rangering och omkoppling av lastbärare och efterfordon krävs

Endast fordonskombinationerna med en 3-axlad lastbil och 4-axlat släp samt 3-axlad dragbil med två 2-axlade trailers behöver komplettera lasten i lastbärarna för att vid BK1 komma upp i den maximalt tillåtna totalvikten (64 ton).

## Bränsleförbrukning

Bränsleförbrukningen skiljer sig markant mellan olika körcykler varför det är svårt att ansätta en allmän genomsnittsförbrukning för fordonen (Rosgardt, 2016).

En schablonberäkning av den genomsnittliga bränsleförbrukningen har utförts för ett fordon med en tjänstevikt på 14 ton, med en körcykel med många starter och stopp och som under en stor del av tiden kör i 50 km/h och under ca 20 % av tiden kör i 80 km/h (se tabell 6.10). I beräkningarna antas bränsleförbrukningen vara linjär med fordonets totalvikt oberoende av fordonstyp.

Tabell 6.10 Bränsleförbrukning för en 3-axlad boggibil då den är lastad för BK1, BK2 respektive olastad

	Bruttovikt (ton)	Bränsleförbrukning (l/100 km)
<b>BK1</b>	26	35
<b>BK2</b>	23,5	32,9
<b>Tom</b>	14	25

Bränsleförbrukningen beräknas för transport tur och retur till arbetsplatsen vilket innebär att fordonet går ena sträckan med last och retursträckan utan last. För de transportlösningar där omlastning tillämpas inkluderas även den uppskattade bränsleförbrukningen för omlastningen. För en hjullastare uppgår den genomsnittliga bränsleförbrukningen vid gruslastning till ca 7,2 l/h (Lindgren et al, 2002).

### Transportkostnader

Dieselpriiset ansätts till 14 kr/l och drivmedelskostnaden per ton transporterad bergmassa adderas till fordonskostnaden. Vid större uppdrag anges vanligen kostnaden för förflyttning av berg- och grusmassor per transporterad volymenhet ( $m^3$ ) eller viktenhet (ton). För mindre uppdrag, eller när det är svårt att fastställa vilka kvantiteter som transporteras, ersätts istället transportören, eller åkeriet för den tid som beställaren utnyttjar fordonet. I timpriserna är standardutrustning och förare inkluderad. Prissättningen varierar beroende på hur stor kunden är. Även typen av arbete kan påverka priset i mindre omfattning (Örn, 2016). Nedan visas de tidsbaserade fordonskostnader som används vid beräkning i denna studie (se tabell 6.11).

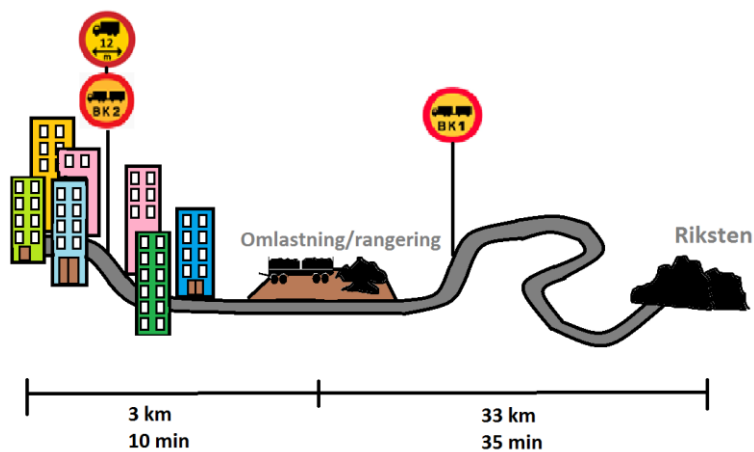
Tabell 6.11 Timpriser för olika fordon

Fordonstyp	Kr/h	Referens
3-axlad tippbil	705	(Alwex, 2014)
4-axlad tippbil	773	(Alwex, 2014)
5-axlad tippbil	850	Uppskattning
3-axlad dragbil med 3-axlad tipptrailer	600+1000=1600	Uppskattning
3-axlad dragbil med 2-axlad påhängsvagn	844	(Maserfrakt, 2016)
3-axlad lastbil med 4-axlat släp (lastväxlare)	795 + 255 = 1050	(Alwex, 2014)
4-axlad lastbil med 4-axlat släp (lastväxlare)	843 + 255 = 1098	(Alwex, 2014)
5-axlad lastbil med 4-axlat släp (lastväxlare)	940 + 255 = 1195	Uppskattning
3-axlad dragbil med två 2-axlade trailers	600 + 300*2 = 1 200	Uppskattning
Hjullastare	800	(Alwex, 2014)

### Färdväg

För att kunna jämföra energiförbrukningen, koldioxidutsläppen samt de kostnader som massgodstransporterna vid olika gällande restriktioner ger upphov till har det i detta exempel antagits att alla massor transporteras till en materialanläggning i Riksten. Beroende på val av uttransportväg uppskattas avståndet från arbetsplatsen till Riksten variera i intervallet 34-39 km. Tidsåtgången för transporten, vid en uttransport från arbetsplatsen kl. 9.00 en vardag, bedöms ligga i ett intervall på 35-60 min beroende på trafiksituationen. I detta räkneexempel har avståndet mellan arbetsplatsen och Riksten ansatts till 36 km och körtiden till 45 min. Eventuell rangering eller omlastning antas ske vid en omlastnings- och rangeringsplats på ett avstånd av 3 km från arbetsplatsen och körtiden uppgår då till 10 min (se figur 6.8).





Figur 6.8 Sträcka och tidsåtgång för transport till omlastnings- och rangeringsplats samt till materialanläggningen Riksten

### Omlastning

I exemplet med omlastning har Ladugårdsgärdet använts som omlastningsplats. Avståndet från arbetsplatsen till Ladugårdsgärdet har beräknats till 3 km och körtiden till 10 min (se figur 6.9).



Figur 6.9. Arbetsplats på Blasieholmen markerat i grönt och omlastningsplats vid Ladugårdsgärdet markerat i rött

Det finns olika alternativ för omlastning utanför BK2-området. Ett alternativ är att endast komplettera lastbäraren med material för att uppnå maximal lastvikt enligt BK1. Ett annat är att både komplettera lastbäraren med material samt att koppla till ett släp med en eller flera lastbärare vid omlastningsplatsen. De möjliga alternativen kan beskrivas enligt följande:

- Komplettering av last i lastbäraren (ökad fyllnadsgrad per lastbärare)
- Tillkoppling av släp med en eller två lastbärare (bibehållen fyllnadsgrad per lastbärare)
- Komplettering av last i lastbäraren och påkoppling av släp med en eller två lastbärare (kombination av alternativ A och B)

Förutsättningen är att 1 m<sup>3</sup> krossad bergmassa antas väga 1,5 ton. En hjullastares skopa har en volym på ca 6,2 - 12, 7 m<sup>3</sup> vilket innebär att en skopa motsvarar ca 9,3 - 19,1 ton bergmassa. En lastbärare som lastats inom BK2-området vid 12 m tillåten fordonslängd kan kompletteras med ytterligare 6 ton bergmassa där BK1 råder samt samtransporteras på ekipage som består av en 4-axlad bil och ett 3-axlat släp. En skopa räcker därför att komplettera lasten i varje lastbärare. Omlastningen antas ta 3 min (0,2-0,5 min/ton enligt enkät). Hur mycket ytterligare bergmassa som lasten behöver kompletteras med mäts med lastbilens eller lastmaskinens vågutrustningar.

Hanteringen vid omlastning och överflyttning av lastbärare ser något olika ut beroende på om kassetflak eller lastväxlarflak används. Beräkningar har endast gjorts på fallet med lastväxlare, men kassetflak skulle ge ett likvärdigt resultat gällande bränsleförbrukning, kostnad, tid och koldioxidutsläpp per transporterat ton massgods. Nedan presenteras hur omlastning och överflyttning av lastbärare kan gå till för de två olika lastbärartyperna.

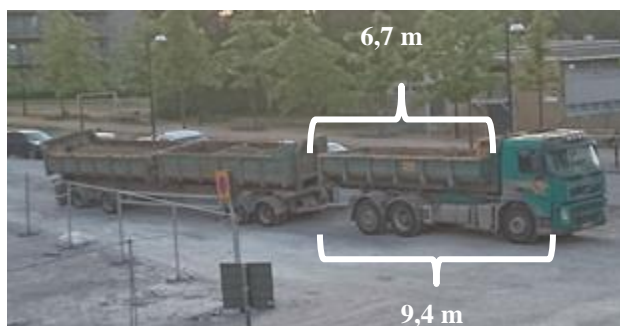
### Kassetflak

Genom användning av kassetflak kan flaken lastas och sedan skjutas över på ett släp för vidare transport utanför BK2-området. Flakens last kompletteras även genom att en lastmaskin skopar över material så att maximal lastvikt för BK1 uppnås.

Ett möjligt scenario är att omlastning sker genom att en lastbil med kassetflak och släp kopplar ifrån släpet och sedan åker in med kassetflaket från släpet till arbetsplatsen där flaket lastas. På bilen finns nu två flak vilket begränsar lastvikten och innebär att lastvikten för flaket från släpet reduceras med vikten på ett kassetflak vilket motsvarar ca 2,5 ton. Lastbilen åker sedan till omlastningsplatsen där kassetflaket skjuts över på släpet och återvänder sedan till arbetsplatsen där flaket på bilen lastas varefter den återigen åker omlastningsplatsen. Där kompletteras de båda flakens last med hjälp av en lastmaskin. För att flaken, som lastats enligt BK2 vid arbetsplatsen, ska kunna få kompletterande last vid omlastningsplatsen krävs det separata materialtransporter som tippas av vid omlastningsplatsen. När detta ska ske och vilken bil som tippas av last styrs av en transportledare på plats. Tidsåtgången för flakbyten uppgår till ca 2 min där 1 min åtgår för att skjuta över flaket från släpet till bilen och 1 min för att skjuta tillbaka flaket till släpet.

### Rullflak

Ett alternativ till kassetflak är lastbärare av typen rullflak. Ett ekipage med 3 rullflak, ett på bilen och två på släpet har vanligen en längd av 24 m (se figur 6.10).



Figur 6.10 3-axlad lastbil med 4-axlat släp och 3 rullflak (Treiber)

Vid användning av rullflak ställs ett av två eller tre flak på marken medan ett annat flak tas på bilen och lastas vid arbetsplatsen. Efter att detta flak har lastats körs bilen till omlastningsplatsen där det lastade flaket ställs på släpet och ett tomt flak dras upp på bilen som återvänder till arbetsplatsen och fyller detta flak. Detta kan upprepas ytterligare en gång om 3 flak skall fyllas. Flaken får sedan, vid behov, kompletterande last genom att en lastmaskin skopar över tillräckligt mycket material så att lastvikten uppnår maximal vikt enligt BK1. Tidsåtgången för ett flakbyte uppgår till ca 4 min varav 1 min åtgår för att lyfta av flaket på bilen.

1 min åtgår för att flytta flaket från släpet till bilen, 1 min åtgår för att flytta över flaket från bilen till släpet samt 1 min åtgår för att lyfta upp flaket från marken till bilen.

Vid beräkning för omlastning och överflyttning av lastbärare till släp har följande antagits:

- Tid för omlastning antas vara 4 min per lastbärare.
- Omlastning sker med en hjullastare till en kostnad av 800 kr/h
- Tid, kostnad och bränsleförbrukning för omlastningen har endast beräknats för den aktiva tid som omlastningen antas ta. I verkligheten uppstår troligen väntetid och tomgångskörning vilket ökar tidsåtgången, kostnaderna och bränsleförbrukningen.
- BK2 och 12 m fordonslängd förutsätts råda på sträckan från arbetsplatsen till omlastningsplatsen, 3 km bort. Därefter råder BK1 i 33 km till materialanläggningen.

### Tidsåtgång

Tidsåtgången för transporterna inkluderar tiden för transport tur och retur samt eventuell omlastning och överflyttning av lastbärare. Tidsåtgången för transport enkel väg uppskattas ta 45 min. Tidsåtgången för flakbyte då rullflak används uppskattas till 4 min. Omlastningen uppskattas ta 3 min i anspråk.

### Koldioxidutsläpp

Koldioxidutsläppen för transporterna beräknas utifrån dieselåtgången för transport och eventuell omlastning. En liter diesel antas här ge upphov till 2,67 g CO<sub>2</sub> (van den Broek et al, 2014).

## 6.3.3 Analyser

För att bedöma den energieffektiviseringspotential som finns för massgodstransporter i storstäder och tätorter genom anpassning och utveckling av regelverk samt genom förändrade fordonskoncept har olika transportalternativ valts ut för beräkningar.

Från föregående avsnitt kan 4 huvudsakliga åtgärder identifieras som förväntas ge mer energieffektiva massgodstransporter i tätorter och storstäder:

- Höjd bruttovikt för enskilt fordon med fler än 4 axlar till 38-40 ton vid BK1
- Etablering av rangerings- och omlastningsplatser utanför områden där begränsningar till BK2 och en maximal fordonslängd av 12 m råder
- Ökad fordonslängd till 14 m inom områden där det idag råder maximalt 12 m fordonslängd
- Nya fordonslösningar, exempelvis 5-axlade lastbilar och kombinationer med 5-axlade lastbilar med efterfordon.

Den två första åtgärderna, höjd bruttovikt för fordon med fler än fyra axlar till 38-40 ton samt etablering av rangerings- och omlastningsplatser, kan medföra att nya fordonslösningar såsom 5-axlade lastbilar och fordonskombinationer med 5-axlade lastbilar med efterfordon blir mer attraktiva och mer fördelaktiga att använda ur effektivitetssynpunkt. Om så är möjligt är det även av intresse att öka den tillåtna fordonslängden till 14 m eller mer för att öka energieffektiviteten i transporterna. Möjligheterna att tillåta längre fordon kan dock begränsas av framkomligheten.

Genom att begränsa hastigheten vid känsliga vägavsnitt till 10-20 km/h kan det vara möjligt att köra fordon som är lastade enligt BK1 inom BK2-zonen. Den idag tillåtna hastigheten under sträckan mellan arbetsplatsen vid Blasieholmen och E20 är generellt 50 km/h med flera nedsättningar till 30 km/h. Dagtid uppgår dock den verkliga hastigheten vanligen till mellan 13 och 26 km/h. En sänkning av den tillåtna hastigheten till 10-20 km/h på denna sträcka skulle därmed inte ge någon betydande påverkan på varken bränsleförbrukningen eller tidsåtgången.

Resultatet för transportalternativen där ingen omlastning eller rangering sker presenteras nedan (se tabell 6.12). Bränsleförbrukning, tid och kostnad är beräknad för hela uppdraget att transportera en given mängd massgods samt för returtransporter och eventuell omlastning. Redovisningen sker per borttransporterat ton massgods (5 000 ton massgods totalt i exemplet).

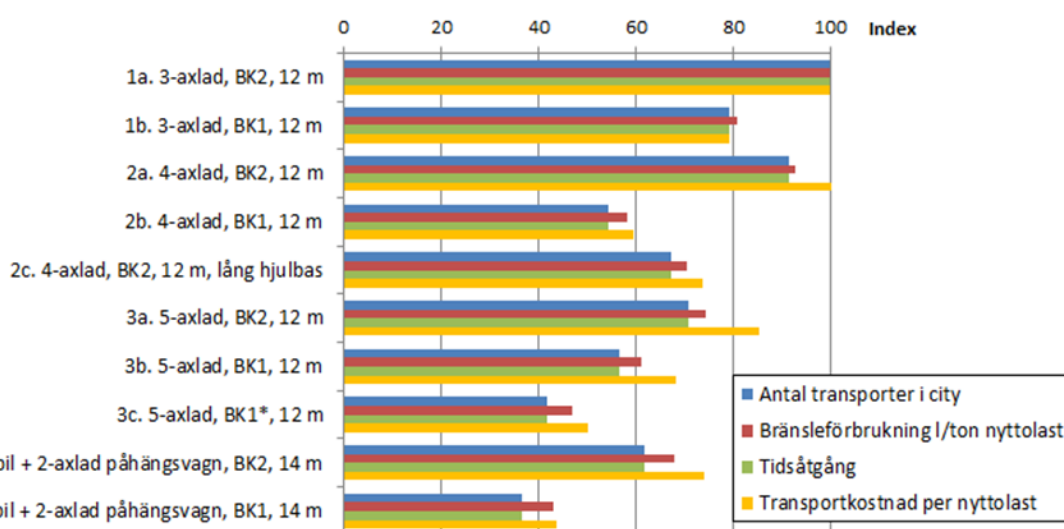
Tabell 6.12 Antal fordonsrörelser, bränsleförbrukning, tidsåtgång samt transportkostnad för transporter med olika alternativa fordon och fordonskombinationer samt vid olika restriktioner

Alternativ	Fordon	Restriktioner	Antal transporter i city	Bränsleförbrukning per transport (l/ton)	Tidsåtgång (ton/min)	Transportkostnad (kr/ton)
1a	3-axlad lastbil	BK2, 12 m	526	2,7	0,11	149
1b		BK1, 12 m	417	2,2	0,13	118
2a	4-axlad lastbil	BK2, 12 m	482	2,5	0,12	146
2b		BK1, 12 m	286	1,6	0,19	88
2c		BK2, 12 m	354	1,9	0,16	108
3a	5-axlad lastbil	BK2, 12 m	373	2,0	0,15	123
3b		BK1, 12 m	298	1,6	0,19	99
3c		BK1, 12 m <sup>a</sup>	219	1,3	0,25	56
4a	3-axlad dragbil + 2-axlad påhängsvagn	BK2, 14 m <sup>b</sup>	326	1,8	0,17	82
4b		BK1, 14 m <sup>b</sup>	192	1,2	0,29	49

a) Överskrider dagens maximalt tillåtna bruttovikt

b) Överskrider dagens tillåtna fordonslängd i Stockholms miljözon

Resultaten enligt ovan illustreras (se figur 6.11) där resultaten är angivna som index i relation till transportlösning 1a som är satt som referens (index 100).



Figur 6.11 Index för de olika transportlösningarna med avseende på tidsåtgång, kostnad och bränsleförbrukning per transporterat ton massgods samt antalet transporter i city som behövs för att transportera bort 5 000 ton bergmassa.

### Omlastning och rangering

Nedan presenteras resultatet för transportalternativen där rangering av lastbärare och efterfordon och/eller omlastning av lastbärare tillämpas (se tabell 6.13). För transportlösningarna med överflyttning och/eller omlastning skiljer sig antalet transporter och fordonsrörelser i city och utanför city eftersom en större mängd massa per fordon/fordonskombination kan transporteras bort utanför city där det råder BK1. Resultaten kan även anges som index i relation till transportlösning 1a som är satt som referens (index 100) (se figur 6.12).

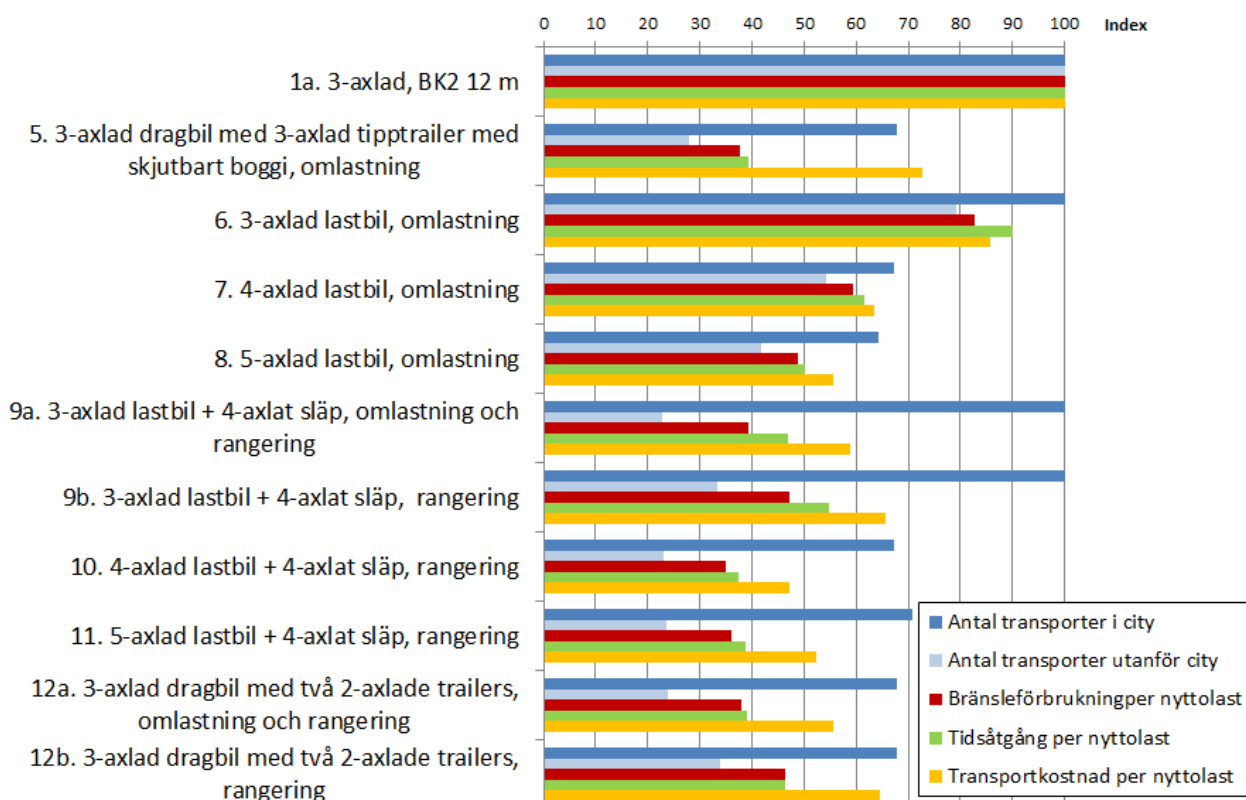


Tabell 6.13 Antal fordonsrörelser, bränsleförbrukning, tidsåtgång samt transportkostnad för transport vid olika restriktioner och för olika transportalternativ som inkluderar rangering och/eller omlastning

Alternativ	Fordon	Restriktioner	Antal transporter i city	Antal transporter utanför city	Bränsleförbrukning per transporterad massenhet (l/ton)	Tidsåtgång (ton/min)	Transportkostnad (kr/ton)
5	3-axlad dragbil + 3-axlig tipptrailer med skjutbar boggi	Omlastning	357	147	1,0	0,28	108
6	3-axlad lastbil	Omlastning	526	417	2,2	0,12	128
7	4-axlad lastbil	Omlastning	354	286	1,6	0,18	95
8	5-axlad lastbil	Omlastning <sup>a</sup>	338	219	1,3	0,22	83
9a	3-axlad lastbil + 4-axlat släp	Omlastning och rangering <sup>b</sup>	526	120	1,1	0,23	88
9b		Rangering <sup>b</sup>	526	175	1,3	0,20	98
10	4-axlad lastbil + 4-axlat släp	Rangering <sup>b</sup>	354	121	0,9	0,29	70
11	5-axlad lastbil + 4-axlat släp	Rangering <sup>b</sup>	373	123	1,0	0,28	78
12a	3-axlad dragbil med två 2-axlade trailers	Omlastning och rangering <sup>b</sup>	357	125	1,0	0,28	83
12b		Rangering <sup>b</sup>	357	179	1,3	0,24	96

a) Överskrider dagens maximalt tillåtna bruttovikt

b) Plats för rangering och omkoppling av lastbärare och efterfordon krävs



Figur 6.12 Index för de olika transportlösningarna med omlastning och rangering med avseende på tidsåtgång, kostnad och bränsleförbrukning per transporterat ton massgods samt antalet transporter i och utanför Stockholms city som behövs för att transportera bort 5 000 ton bergmassa



## Bruttoviktshöjning med restriktion av axel- och boggilaster enligt BK2

Eftersom främst höga axeltryck antas utgöra den faktor som påverkar slitaget på gator och vägar med dålig underbyggnad och/eller svag överbyggnad förmodas det vara mindre lämpligt att frångå de gällande regelverken avseende axel- och eventuellt boggitryck, enligt BK2. Däremot kan det vara av intresse att i städer kunna använda fordon med högre metervikter än vad BK2 tillåter. En avsikt med begränsningarna i den utbredda belastningen enligt BK2, även benämnd metervikten, är främst att undvika stora belastningar på i första hand svaga broar inom det sekundära vägnätet. En bedömning är att det i stora städer är möjligt att generellt tillåta högre metervikter, såsom anges i BK1, samt att som redan idag sker skylta de broar och andra passager för vilka viktrestriktioner gäller.

En möjlighet kan således vara att reglera de enskilda fordonens bruttovikter enligt BK1 och sedan tillämpa bestämmelserna avseende tillåtna axeltryck för BK2, samt eventuellt även tillämpa restriktioner för boggitryck enligt BK2. På detta sätt kan lastvikterna ökas vilket möjliggör effektivare transporter. Beräkningar har genomförts även avseende möjliga effektiviseringar beträffande antalet fordonsrörelser, energiförbrukningen, tidsåtgången för transporter samt transportkostnaderna. Detta för 3-, 4- och 5-axlade lastbilar (se tabell 6.14).

*Tabell 6.14 Dimensioner för 3-, 4- och 5-axlad lastbil om bruttovikten bestäms utifrån rådande restriktioner för BK2 jämfört med om bruttovikten bestäms utifrån tillåtna axel- och boggitryck enligt BK2 respektive utifrån endast tillåtna axeltryck enligt BK2*

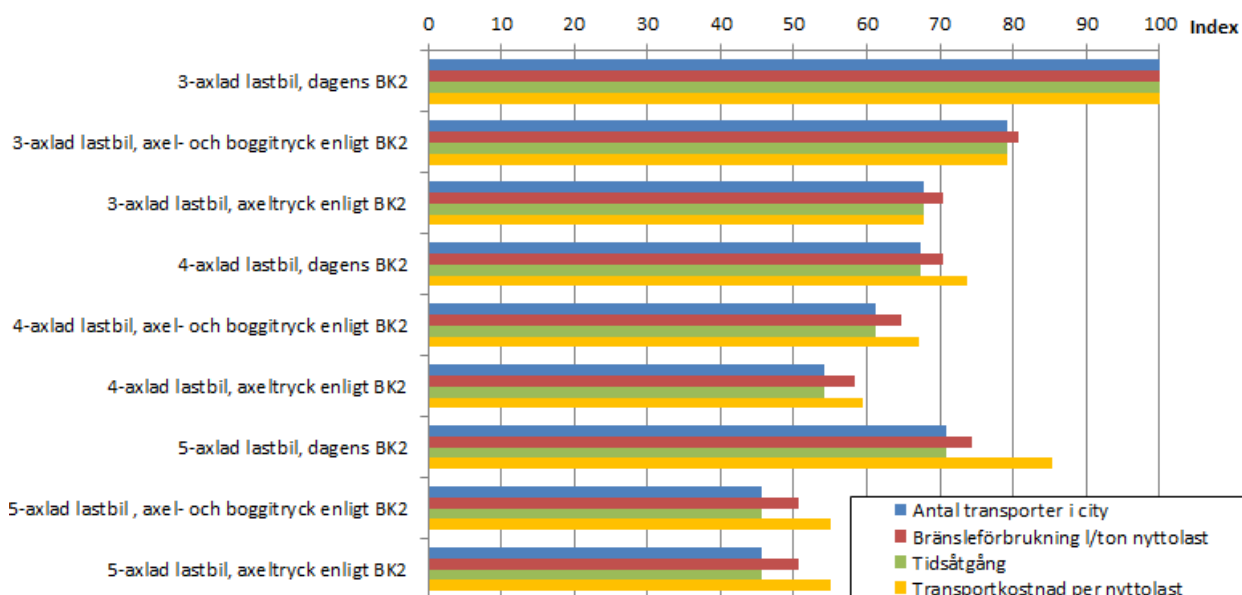
Fordon	Restriktion	Avstånd mellan första och sista axeln (m)	Bruttovikt (ton)	Egenvikt (ton)	Lastvikt (ton)
<b>3-axlad lastbil</b>	BK2, 12 m tillåten fordonslängd, dagens regler	5,6	23,5	14	9,5
	Bruttovikt enligt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	5,6	26	14	12
	Bruttovikt enligt tillåtna axeltryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	5,6	28	14	14
<b>4-axlad lastbil</b>	BK2, 12 m tillåten fordonslängd, dagens regler	8,7	28,62	14,5	14,12
	Bruttovikt enligt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	8,7	30	14,5	15,5
	Bruttovikt enligt tillåtna axeltryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	8,7	32	14,5	17,5
<b>5-axlad lastbil</b>	BK2, 12 m tillåten fordonslängd, dagens regler	8,7	28,62	15,2	13,42
	Bruttovikt enligt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	9,0	36	15,2	20,8
	Bruttovikt enligt tillåtna axeltryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	9,0	36	15,2	20,8

Resultaten för dessa beräkningar avseende 3-, 4- och 5-axlade lastbilar med bruttovikt bestämd utifrån maximalt tillåten axel- och boggivikt vid BK2 respektive med bruttovikt bestämd utifrån bruttoviktskurvan vid BK2 har sammanställts (se tabell 6.15).

Tabell 6.15 Antal fordonsrörelser, bränsleförbrukning, tidsåtgång samt transportkostnad för 3-, 4- och 5-axlad lastbil om bruttovikten bestäms utifrån rådande restriktioner för BK2 jämfört med om bruttovikten bestäms utifrån tillåtna axel- och boggitryck enligt BK2 respektive utifrån endast tillåtna axeltryck enligt BK2

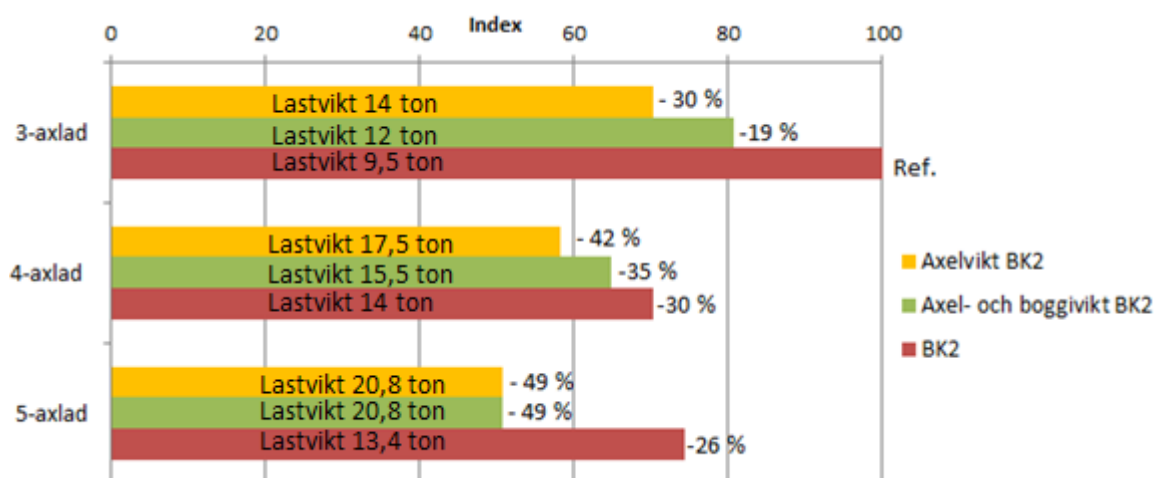
Fordon	Restriktion	Antal transporter i city	Bränsle-	Tids-	Trans-
			förbrukning per transporterad massenhet (l/ton)	åtgång (ton/min)	port-kostnad (kr/ton)
3-axlad lastbil	BK2, 12 m tillåten fordonslängd, dagens regler	526	2,7	0,11	149
	Bruttovikt enligt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	417	2,2	0,13	118
	Bruttovikt enligt tillåtna axeltryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	357	1,9	0,16	102
4-axlad lastbil	BK2, 12 m tillåten fordonslängd, dagens regler	354	1,9	0,16	108
	Bruttovikt enligt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	323	1,7	0,17	99
	Bruttovikt enligt tillåtna axeltryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	286	1,6	0,19	88
5-axlad lastbil	BK2, 12 m tillåten fordonslängd, dagens regler	373	2,0	0,15	123
	Bruttovikt enligt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	240	1,4	0,23	80
	Bruttovikt enligt tillåtna axeltryck vid BK2, 12 m tillåten fordonslängd	240	1,4	0,23	80

Ovanstående resultat kan även anges som index i relation till respektive transportlösning 1a (3-axlad lastbil med bruttovikt enligt bruttoviktskurvan vid BK2) som är satt som referens (index 100) (se figur 6.13).



Figur 6.13 Index för de olika transportlösningarna med höjd bruttovikt respektive med bruttovikt enligt dagens regler avseende på tidsåtgång, kostnad och bränsleförbrukning per transporterat ton massgods samt antalet transporter i och utanför city som behövs för att transportera bort 5 000 ton bergmassa.

Genom att bortse från bruttoviktskurvan för BK2 och istället ansätta bruttovikten utifrån maximalt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2, alternativt endast tillåtna axeltryck vid BK2, samt bruttovikt enligt bruttoviktskurvan (metervikt) för BK1 kan bruttovikten höjas. Detta medför skillnader i bränsleförbrukning per ton transporterat massgods vilka kan jämföras med transporter som sker med last enligt BK2 under hela transporten (se figur 6.14).



Figur 6.14 Bränslesparning per ton transporterat massgods för lastbilar med bruttovikt ansatt efter tillåtna axel- och boggitryck vid BK2 respektive bruttovikt ansatt efter tillåtna axeltryck vid BK2 jämfört med bränsleförbrukningen för en 3-axlad lastbil med bruttovikt enligt bruttoviktskurvan för BK2 (transportlösning 1a).

Genom att höja bruttovikten för en 3-axlad lastbil kan en bränslesparning på 19 % uppnås. Höjningen av bruttovikten på en 3-axlad lastbil ger dock en hög väglitageeffekt per nyttolast, se avsnitt 6.1. En höjning av bruttovikten för lastbilar med 4 eller 5 axlar ger dock en lägre väglitageeffekt än en 3-axlad lastbil med bruttovikt enligt bruttoviktskurvan för BK2.

### Bränsleförbrukning och emissioner

För beräkning av emissioner används EUs utsläppsstandard för tunga dieselmotorer Euroklass VI samt antal g CO<sub>2</sub> per liter diesel (se tabell 6.16). Energiinnehållet i en liter diesel ansätts till 9,8 kWh.

Tabell 6.16 EUs utsläppsstandard för tunga dieselmotorer vid stationär testning samt g CO<sub>2</sub>/liter diesel

Euroklass	CO <sub>2</sub> (g/l)	NO <sub>x</sub>	HC (g/kWh)	PM	CO
Euro VI	2670	0,40	0,13	0,01	1,5

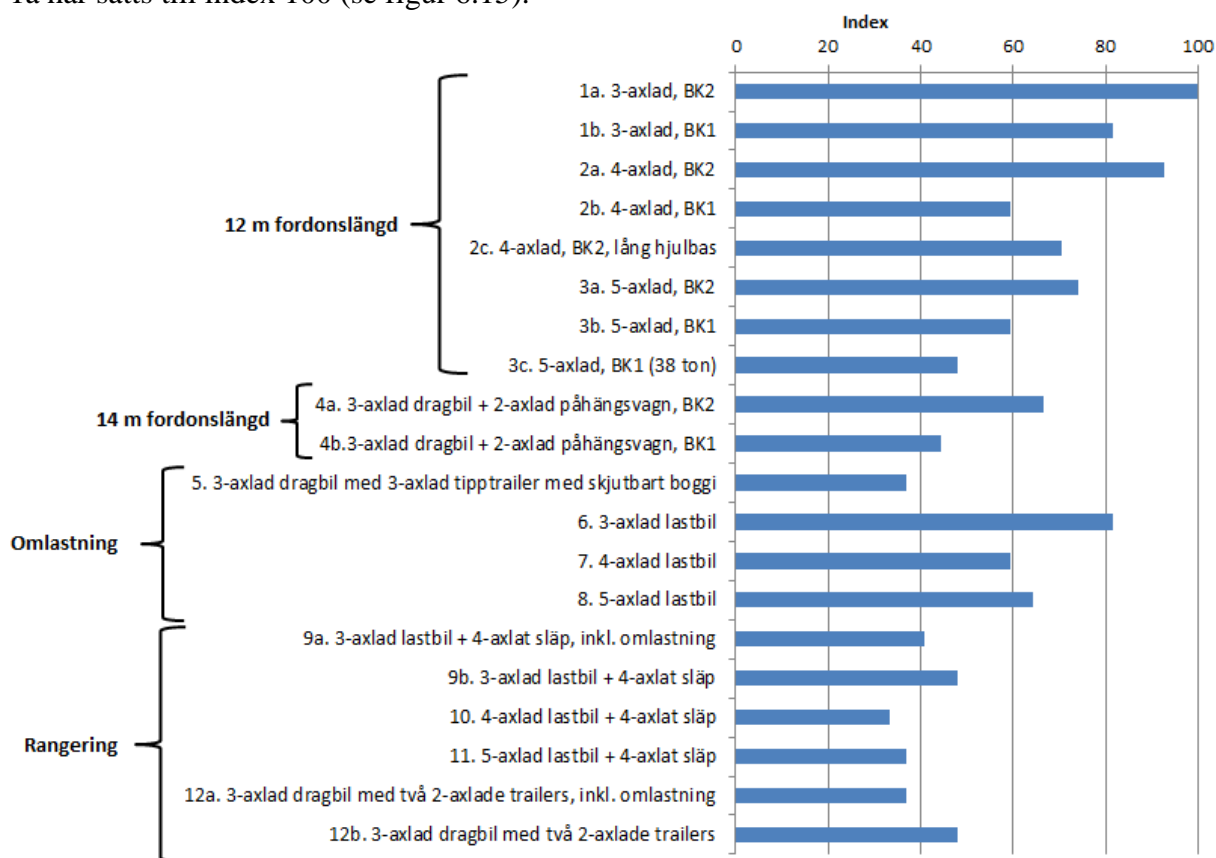
Utifrån ovanstående resultat fås följande bränsleförbrukning och emissioner (se tabell 6.17). Utsläppen av emissioner beror på bränsleförbrukningen.

Tabell 6.17 Bränsleförbrukning och emissioner per ton nyttolast för olika transportalternativ för ovanstående transportexempel

Alternativ	Fordon	Bränsleförbrukning (l/ton)	CO <sub>2</sub> (kg/ton)	NO <sub>x</sub>	HC (g/ton)	PM (g/ton)	CO
1a	3-axlad lastbil	7,2	7,1	10,6	3,4	0,3	39,7
1b		5,9	5,8	8,6	2,8	0,2	32,3
2a	4-axlad lastbil	6,7	6,6	9,8	3,2	0,2	36,8
2b		4,3	4,2	6,3	2,0	0,2	23,5
2c		5,1	5,0	7,4	2,4	0,2	27,9

Alternativ	Fordon	Bränsleförbrukning (l/ton)	CO <sub>2</sub> (kg/ton)	NO <sub>x</sub>	HC (g/ton)	PM	CO
3a	5-axlad lastbil	5,3	5,3	7,8	2,5	0,2	29,4
3b		4,3	4,2	6,3	2,0	0,2	23,5
3c		3,5	3,4	5,1	1,7	0,1	19,1
4a	3-axlad dragbil + 2-axlad påhängsvagn	4,8	4,8	7,1	2,3	0,2	26,5
4b		3,2	3,2	4,7	1,5	0,1	17,6
5	3-axlad dragbil + 3-axlad tipptrailer med skjutbar boggi	2,7	2,6	3,9	1,3	0,1	14,7
6	3-axlad lastbil	5,9	5,8	8,6	2,8	0,2	32,3
7	4-axlad lastbil	4,3	4,2	6,3	2,0	0,2	23,5
8	5-axlad lastbil	3,5	3,4	5,1	1,7	0,1	19,1
9a	3-axlad lastbil + 4-axlat släp	2,9	2,9	4,3	1,4	0,1	16,2
9b		3,5	3,4	5,1	1,7	0,1	19,1
10	4-axlad lastbil + 4-axlat släp	2,4	2,4	3,5	1,1	0,1	13,2
11	5-axlad lastbil + 4-axlat släp	2,7	2,6	3,9	1,3	0,1	14,7
12a	3-axlad dragbil med två 2-axlade trailers	2,7	2,6	3,9	1,3	0,1	14,7
12b		3,5	3,4	5,1	1,7	0,1	19,1

Utsläppen är proportionerliga till bränsleförbrukningen. Bränsleförbrukningen för de olika transportalternativen per transporterad nyttolast kan även anges som index där transportlösning 1a har satts till index 100 (se figur 6.15).



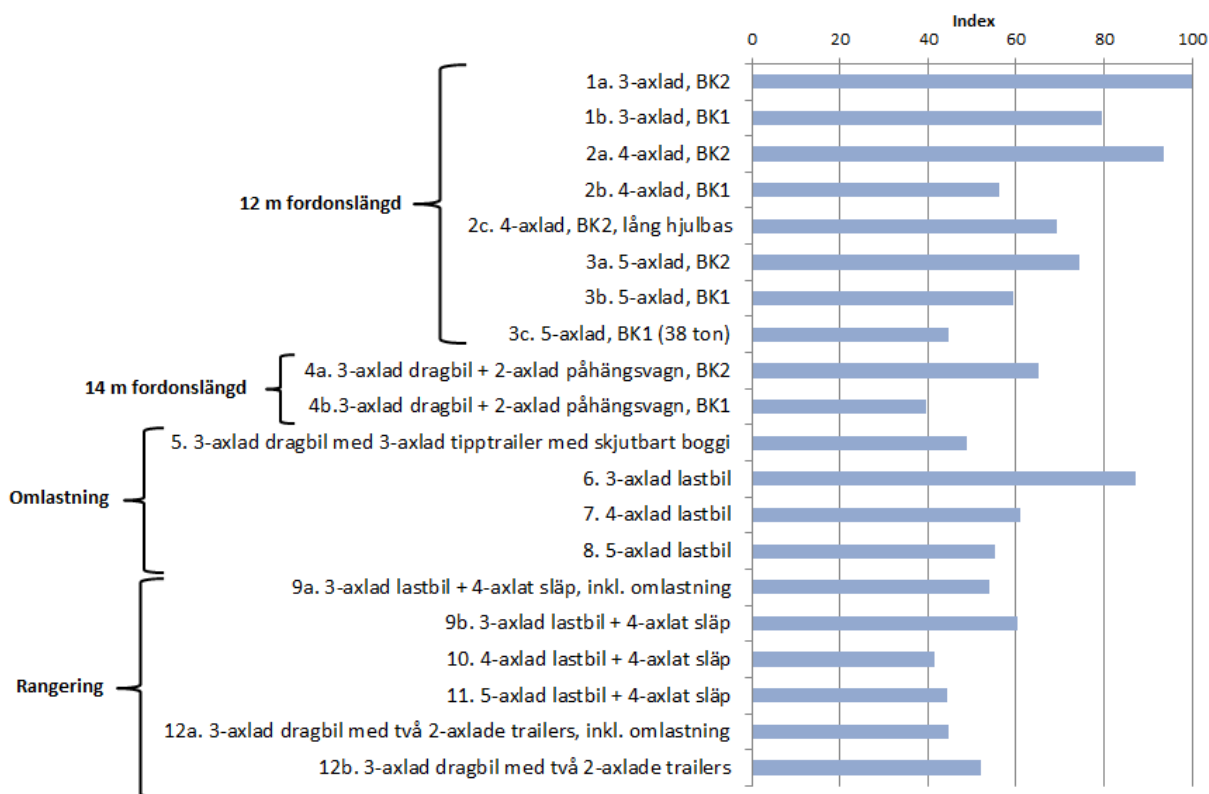
Figur 6.15 Bränsleförbrukning per ton transporterat massgods för de olika transportlösningarna relativt transportlösning 1a



## Sammanvägning av parametrar

Om alla 5 parametrar värderas lika och de olika transportlösningarnas index summeras fås ett resultat där ett lågt index indikerar att transportlösningen sammantaget ger en bra energi-, tids- och kostnadseffektivitet samt ett begränsat antal fordonsrörelser (se figur 6.16). Detta jämfört med om transporten sker med ett referensfordon i form av en 3-axlad boggibil som lastas enligt BK2 och 12 m fordonslängd under hela sträckan (index 100).

Transportalternativet med 4-axlad lastbil och 4-axlat släp med rangering (alt. 10) ger lägst sammanlagt index. Även de andra transportalternativen där rangering tillämpas ger ett lågt sammanlagt index i jämförelse med om transportererna sker med en 3-axlad boggibil med last enligt BK2. Detta visar att omlastings- och rangeringsplatser väsentligt kan effektivisera transportererna. Även transportalternativet med en 5-axlad lastbil som tillåts ha en högre bruttovikt än vad dagens regelverk tillåter får ett lågt index vilket innebär att detta är ett effektivt transportalternativ sett till bränsleförbrukning, tidsåtgång, kostnad samt antalet fordonsrörelser i och utanför innerstaden.



Figur 6.16 Summering av transportlösningarnas index för antal fordonsrörelser, bränsleförbrukning, transportkostnad samt tidsåtgång

### 6.3.4 Effektiviseringspotential

De genomförda ansatserna och analyserna avseende exemplet med utbyggnad av Stockholms tunnelbanas blå linje visar att det finns betydande möjligheter att energieffektivisera de massgodstransporter som till vissa delar utförs inom områden med restriktioner avseende fordonens bruttovikter och/eller längder. För att uppnå den största effektiviseringspotentialen krävs det att flera åtgärder genomförs parallellt (se tabell 6.18).

Av tabellen framgår att det till exempel krävs att åtgärd A genomförs ifall åtgärd B skall få erforderlig effektiviseringseffekt. Detta gäller även för åtgärd D som i kombination med åtgärd B kan skapa förutsättningar för en betydande effektivisering.

Tabell 6.18 Möjliga åtgärder för att uppnå en energieffektivisering i det studerade exempel avseende en tunnelbaneutbyggnad

Åtgärd	Exempel på fordonslösning	Energieffektiviseringspotential (minskad bränsleförbrukning jämfört med en 3-axlad lastbil lastad med hänsyn till BK2)
A. Rangerings- och omlastningsplatser i anslutning till område där det råder BK2 och max 12 m fordonslängd	4-axlad lastbil + 4-axlat släp med rangering	- 67 %
B. Höjning av bruttovikt för enskilt fordon med fler än 4 axlar till ca 38-40 ton	5-axlad lastbil som vid BK2 och 12 m tillåts ha en bruttovikt på ca 28,6 ton och vid BK1 38 ton och som lastas om utanför miljözonen.	- 52 %
C. Tillåten fordonslängd på minst 14 m i innerstaden där detta är möjligt med hänsyn till framkomlighet	3-axlad dragbil + 2-axlad påhängsvagn	- 33 % (BK2) / - 56 % (BK1)
D. Höjning av bruttovikter där det idag råder BK2 genom att bruttovikten bestäms utifrån maximalt tillåtna axel- och boggilaster vid BK2 samt metervikter vid BK1	5-axlad lastbil	- 49 %

Vidare framgår att åtgärd A, som omfattar anläggande av rangerings- och omlastningsplatser, har den högsta energieffektiviseringspotentialen av de analyserade åtgärdsalternativen. Emellertid måste även kostnadsaspekterna för dessa åtgärder beaktas där rangering kan utföras till en låg kostnad medan kostnaderna för omlastning kan vara betydande. Samtidigt finns en osäkerhet om hur effektivt fordonen kan lastas efter en omrangering av lastbärarna vilket är av stor betydelse för energieffektiviteten i den aktuella transportkedjan.

Vidare framgår att nya fordonskoncept och förändrade regelverk som gynnar dessa potentiellt kan bidra till att energiförbrukningen per transporterad massgodsenhet (ton) halveras. Ett exempel på detta är framtagning av och tillåtelse att använda singelfordon (lastbilar) med fler än 4 axlar och bruttovikter på 38-40 ton.

## 6.4 Workshop

En workshop genomfördes i oktober 2016 under medverkan av problemägare såsom representanter för kommuner samt andra infrastrukturförhållare, transport- och åkeriföretag och fordonstillverkare (se bilaga C). Syftet med workshopen var att presentera de preliminära resultaten av studien samt att fånga upp intressenters kunskaper, erfarenhet och synpunkter inför det avslutande arbetet med studien. Workshopen samlade ett brett spektrum av problemägare och kom att omfatta diskussioner och ett erfarenhetsutbyte som var betydelsefullt för projektet.

### 6.4.1 Effekter av mer energieffektiva massgodstransporter

I diskussionerna under workshopen framfördes bland annat synpunkten att om samma mängd gods kunde transporteras med färre antal fordon kan både energieffektiviteten, hållbarheten och kostnadseffektiviteten öka. Detta eftersom transportuppdragen oftast är tidsbegränsade och avser en avgränsad, om än ofta stor, kvantitet av massgods. Vidare kan trafiksäkerheten förbättras om antalet fordonsrörelser kan minskas. Resultatet från projektet skulle kunna användas som inspel för att argumentera för lättnader i dagens restriktioner och påverka framtida styrmedel. Resultatet kan även användas som underlag för att utreda vad som är en attraktiv fordonskombination.

Deltagarna önskade även att det pågående projektet skulle följas av fortsatta studier vilka bland annat innefattar frågeställningar om vibrationer och stomljud. Detta för att utgöra underlag för kartläggningar avseende om och hur en ökad andel av väg- och gatunätet kan användas för massgodstransporter under ett ökat antal av dygnets timmar.

På kort sikt förväntas ett arbete med målsättningen att energieffektivisera massgodstransporterna även leda till ett minskat antal fordonsrörelser i de berörda storstadsområdena. En förhoppning är dessutom att Stockholms stad lättar på den generella längdbegränsningen på 12 m vilket skulle möjliggöra mer energieffektiva fordons- och transportlösningar. På lång sikt förväntas en energieffektivisering även leda till en ökad andel automation samt att transporter kan ske nattetid. I framtiden kan det även bli möjligt att införa prestandabaserade lagkrav.

## **6.4.2 Prioritering av åtgärder**

Under workshopen diskuterades vilka åtgärder som var av särskilt stor vikt ur ett samhällsperspektiv för att energieffektivisera massgodstransporterna. Vidare diskuterades hur betydelsefulla olika åtgärder var för aktörernas egen verksamhet. Etablering av rangeringsplatser ansågs som den enskilt viktigaste åtgärden både ur ett samhällsperspektiv och för den egna verksamheten. Därefter ansågs det av stor vikt att öka bärigheten i kombination med att tillåta längre fordon i innerstaden. Beträffande möjligheter att vidareutveckla fordonslösningarna poängterades det dock att det är viktigt att ingen specifik ”Stockholmsstandard” gällande fordon etableras vid förändringar av regelverken. Samma regler bör gälla i alla större svenska städer för att främja konkurrenskraften. Det ansågs även vara av stor vikt att det följs upp att de regler som finns verkligen efterlevs och att de krav som ställs i upphandlingar sedan följs upp.

Åtgärder för att öka massgodstransporternas energieffektivitet samt hur betydelsefulla åtgärderna som diskuterades i samband med workshopen bedömdes vara sammanfattas nedan.

### **Ökad tillåten fordonslängd**

En ökad tillåten fordonslängd (över 12 m) i innerstaden anses inte som ensam åtgärd kunna medföra någon betydande energieffektivisering utan att andra förändringar genomförs gällande trafikrestriktioner och infrastruktur i och i direkt anslutning till innerstaden. En ökad fordonslängd möjliggör dock, utifrån bruttoviktskurvorna, en ökad tillåten fordonsvikt.

Trafikkontoret i Stockholms stad har vidare beställt en utredning angående att öka den tillåtna fordonslängden i Stockholm från 12 m till åtminstone 14 m (Säfström, 2016).

### **Ökad bärighet**

Att höja bärigheten på vägar och gator i innerstaden till BK1 bedöms vara kostsamt för infrastrukturhållaren (staden), men skulle däremot kunna medföra en ökad transporteffektivitet för transportköpare och transportutförare (åkerier). En höjning av bärigheten föreslogs vidare att kombineras med en ökning av den tillåtna fordonslängden.

### **Rangerings- och omlastningsplatser**

Rangeringsplatser anses vara av särskilt stor betydelse för att åstadkomma en effektivisering av massgodstransporterna. Omlastning anses däremot vara kostsamt och värderas därför inte lika högt av berörda aktörer.

### **Nya fordonslösningar/koncept**

För framtagning av nya fordonslösningar och koncept bör BK4 (som ska tillåta upp till 74 tons bruttovikt) inväntas. Regeringen beslutade den 4 oktober 2016 om en lagrådsremiss angående BK4 och lagändringen träder i kraft den 1 mars 2017 (Regeringen, 2016).

## 7 Resultat och slutsatser

### 7.1 Erfarenheter

I det genomförda projektet har det framkommit att det finns ett flertal möjligheter att utifrån energiförbrukningssynpunkt effektivisera de massgodstransporter som utförs i stora tätortsområden och storstäder. Erfarenheter från bland annat Stockholmsområdet visar att de använda fordonens lastförmåga i stor omfattning begränsas av de restriktioner som råder på grund av restriktioner i de tillåtna bruttovikterna, främst genom tillämpning av bärighetsklass 2 (BK2) samt restriktioner avseende de tillåtna fordonslängderna, främst till en totallängd av 12 m. Dessa restriktioner medför att transportererna sker med lägre fyllnadsgrad och lastvikt än vad fordonen utformats för, vilket försämrar transportuppläggens effektivitet samt medför att energiförbrukningen per transporterad massenhet (ton) ökar.

Studier har vidare visat att för ett transportuppdrag i ett storstadsområde, där restriktioner avseende fordonens vikter och dimensioner råder, är det vanligen endast under en begränsad del av den totala transportsträckan som dessa restriktioner råder. Samtidigt medför dessa restriktioner att hela transportuppdraget oftast utförs med de begränsningar av lastförmågan som de lokala restriktionerna gett upphov till.

### 7.2 Möjligheter till energieffektiviseringsåtgärder

Projektet har indikerat att en rad effektiviseringsåtgärder är möjliga avseende de transporter vilka hittills på ett eller annat sätt påverkats av restriktioner, vilka medfört effektivitetsförluster. Dessa insatser och effektiviseringsåtgärder kan delas in i följande kategorier:

- Åtgärder som möjliggör omlastning och/eller rangering av fordon och lastbärare, vid in- och utfart från områden inom vilka restriktioner avseende fordonslängder och bruttovikter råder. Detta för att kunna öka effektiviteten för transportererna på den huvuddel av transportsträckan där den högsta bärighetsklassen råder.
- Förändringar av regelverken avseende fordonslängder i innerstadsområden, till exempel en ökning av den tillåtna fordonslängden, från 12 m till minst 14 m.
- Framtagning av nya fordonskoncept samt höjning av bruttovikten för enskilt motordrivet fordon (lastbil) med fler än 4 axlar till i storleksordningen 38-40 ton.
- Anpassning av bruttoviktsbestämmelser där det idag råder BK2, avseende såväl axel- och boggilaster som bruttoviktskurvan (metervikten) till att endast omfatta begränsningar av axel- och/eller boggilaster, enligt BK2, medan bruttovikterna bestäms av fordonens axelavstånd enligt den högre bruttoviktskurvan (BK1).

#### 7.2.1 Åtgärder som möjliggör omlastning och rangering

Möjligheter att rangera om lastbärare och efterfordon under transportuppdragen kan väsentligen öka energieffektiviteten. Med rangering blir det möjligt att använda fordonskombinationer med två eller tre lastbärare vid BK1 vilket, enligt exemplet i avsnitt 6.3, kan minska bränsleförbrukningen med ca 60 % per transporterad massgodsenhet jämfört med om transportererna sker med en 3-axlad lastbil som är lastad enligt BK2 under hela transportsträckan.

En viktig aspekt är dock den totala kostnad som detta medför för transportuppdragen. För att få mer energieffektiva transporter krävs därför att det vid upphandling av transportererna ställs särskilda krav på exempelvis energieffektivitet, att priset sätts så att det blir lönsamt att använda mer energieffektiva transportupplägg samt att det kontrolleras att kraven efterföljs.



## 7.2.2 Förändrade regelverk för fordonslängder i städer

Om de tillåtna fordonslängderna inom miljözonerna ökas kan avståndet mellan första och sista axeln på ett fordon eller fordonskombination ökas vilket enligt bruttoviktskurvorna medför att en högre bruttovikt tillåts. För bussar med styrbar bakre axel tillåts idag en fordonslängd på 13,99 m i Stockholm. Om den tillåtna fordonslängden inom miljözonen höjs från 12 m till 14 m kan, bränsleförbrukningen enligt ett exempel (se avsnitt 6.3) minska med drygt 30 % om en 3-axlad dragbil med en 2-axlad påhängsvagn används jämfört med om transporterna sker med en 3-axlad lastbil som går med last enligt BK2 under hela transportsträckan. Om en fordonslängd på 15 m tillåts möjliggör detta transporter med en 4-axlad lastbil och ett 2-axlat efterfordon (kärra). Trafikkontoret i Stockholms stad har dessutom beställt en utredning angående att öka den tillåtna fordonslängden i Stockholm från 12 m (Säfström, 2016).

## 7.2.3 Framtagning av nya fordonskoncept samt höjning av bruttovikten för motordrivna fordon med fler än fyra axlar

Genom förändrade regelverk möjliggörs nya fordonslösningar och fordonskoncept. Dessa lösningar bör vara flexibla, samtidigt som de måste vara anpassade för de uppdrag och de regelverk som råder där transporten sker. Vid framtagning av nya fordonskombinationer bör dessa anpassas för den beslutade nya bärighetsklass 4 som innebär en bruttovikt på 74 ton vid ett axelavstånd på 20,2 m eller större. Vilka nya fordonslösningar/koncept som bör tas fram för massgodstransporter i tätortsmiljö beror på om och hur olika detaljer i regelverken kommer att förändras. Med fler axlar kan lastvikten ökas hos ekipagen samtidigt som det är möjligt att hålla ekipaget inom tillåtna restriktioner vad gäller axellaster. Genom att höja den tillåtna bruttovikten för fordon med fler än 4 axlar kan exempelvis 5-axlade lastbilar göras mer attraktiva samtidigt som de ger lägre vägslitageeffekter per nyttolastenheter (ton) i jämförelse med befintliga 3- och 4-axlade lastbilar. I projektet har det framkommit att anpassningar av regelverken för motordrivna fordon i avsikt att tillåta tyngre singelfordon än idag är av stort intresse. Dessa anpassningar kan ske genom att till exempel bruttoviktskurvorna för BK1 (metervikterna) tillämpas vid bibehållen axellast för BK2 samt att möjligen även de boggilaster som gäller för BK2 tillämpas.

Enligt ett exempel (se avsnitt 6.3) kan bränsleförbrukningen per transporterad massenhet (ton) mer än halveras, eller minskas med 52 %, om transport sker med en 5-axlad lastbil som lastas om utanför BK2-området och som vid BK1 tillåts ha en bruttovikt på 38 ton. Detta istället för dagens maximala bruttovikt på 32 ton jämfört med en 3-axlad lastbil som går med last enligt BK2 och 12 m under hela transportsträckan. Om denna fordonstyp skulle tillåtas ta full last, även inom BK2-området, förväntas ytterligare energibesparingar kunna erhållas samtidigt som de ekonomiska incitamenten för att använda ett energieffektivt fordon av detta slag skulle stärkas.

## 7.2.4 Anpassning av bruttoviktbestämmelser

Vägslitageet påverkas främst av fordonets axellast. En fördubblad axellast innebär något förenklat att nedbrytningen av vägbanan ökar 16 gånger. Ett fordon med fler axlar möjliggör en lägre axellast samtidigt som fordonets bruttovikt kan bibehållas eller ökas. Fler axlar kan därmed ge ett fordon med högre lastkapacitet, men med mindre påverkan på vägslitageet och möjligen även mindre inverkan på markvibrationerna. Komplexiteten kring markvibrationer gör dock att det är svårt att generellt säga om fler axlar ger en mindre eller större påverkan.

Om den tillåtna bruttovikten som idag, inom stora tätorter, såsom Stockholm, regleras av bestämmelser om utbredd last, enligt en bruttoviktskurva (BK2) höjs och istället bestäms utifrån maximalt tillåtna axel- och boggitryck vid BK2 samt den utbredda last, eller metervikt, som gäller för huvuddelen av det svenska vägnätet, enligt BK1, kan effektiviteten öka samtidigt som vägslitageeffekten per transporterad massgodsenshet kan minskas.

Som tidigare nämnts (se avsnitt 7.2.3) kan bränsleförbrukningen för en 5-axlad lastbil med bruttovikt som bestäms utifrån maximalt tillåtet axel- och boggitryck vid BK2 halveras jämfört med om en 3-axlad lastbil med bruttovikt enligt dagens regler vid BK2 används. Ett förslag är därför att vidare utreda möjligheterna att tillåta högre bruttovikter för motordrivna fordon.

För att säkerställa att fordonen inte överträder gällande bruttoviktsbestämmelser vid känslig infrastruktur bör någon form av kontrollsystem installeras på fordonen. Om fordonets vikt enkelt kan kontrolleras kan mindre säkerhetsmarginaler kring bärigheten tillämpas och därmed kan tyngre fordon färdas på vägar som annars begränsas till en lägre bruttovikt. Tekniken för denna form av kontrollsystem finns, men behöver anpassas till det nya användningsområdet.

## 7.3 Slutsatser

Projektet har visat att en betydande energieffektiviseringspotential kan uppnås genom olika åtgärder gällande infrastruktur och fordonskonfigurationer tillsammans med förändrade regelverk. En särskilt betydelsefull åtgärd är att i ett första skede ordna rangeringsplatser i nära anslutning till områden där lokala restriktioner gällande fordonsvikt och/eller fordonslängd råder. Denna åtgärd förväntas leda till att en större del av transporterna som trafikerar områden där både BK1 och BK2 gäller kan öka lastvikten och ekipagelängden på gator och vägar där det råder BK1 utan längdbegränsningar. Detta förmodas minska energiförbrukningen per transporterad massenhet (ton). Detta jämfört med dagens transporter där transporterna främst sker med singelfordon (lastbilar) som är lastade enligt BK2 under hela transportsträckan.

Andra åtgärder som kan öka energieffektiviteten för massgodstransporter i städer och tätorter är att höja bruttovikten för enskilt fordon med fler än fyra axlar och/eller höja bruttovikterna för BK2 samtidigt som de rådande regler för axel- och/eller boggitryck vid BK2 följs. Analyser i detta projekt har visat att bränsleförbrukningen per transporterad viktenhet massgods kan reduceras kraftigt (halveras) samtidigt som vägslitaget per transporterad viktenhet massgods kan minska trots att fordonens bruttovikt ökar. Dock krävs vidare undersökning av markvibrationer och vägslitage för att kunna fastslå om och i så fall hur mycket som bruttovikterna, där det idag råder BK2, är möjlig att höja. Vidare bör dagens lokala restriktioner utvärderas för att undersöka i hur stor omfattning som bruttovikter och fordonslängder kan tillåtas öka i dessa områden.

## 7.4 Fortsatta studier

### 7.4.1 Off-peak transporter av massgods i städer och tätorter

För att effektivisera massgodstransporterna i städer och tätorter kan off-peak transporter vara av intresse. Idag råder dock vanligen förbud mot tung trafik i innerstaden mellan kl. 22 och 06. Projektet pågår emellertid där distributionstrafik med tunga lastbilar nattetid testas. I dessa projekt används elhybridlastbilar för att få ner bullernivåerna från transporterna på känsliga kortare sträckor. För att massgodstransporterna ska kunna ske nattetid i innerstaden förutsätts det att transporterna sker tyst. Omlastnings- och rangeringsplatser utanför innerstaden kan möjliggöra att ellastbilar eller elhybridlastbilar kan användas för skytteltrafik mellan arbetsplatser i innerstaden och omlastnings- och rangeringsplatser i innerstadens utkant. För transport utanför innerstaden kan förbränningsmotordrivna lastbilar användas.

En studie kring off-peak transporter för massgods bör innefatta en kartläggning av möjligheterna att utföra transporter, lastning och lossning med minimal störning till omgivningen. Vid massgodstransporter är det lastning och lossning som i de flesta fall ger upphov till det mesta bullret. Genom klädda lastbärare kan lastning göras tystare, alternativt att lastbärare lastas innan kl. 22 och sedan endast körs ut under natten.

## 7.4.2 Lättare lastbärare

En viktig faktor för att energieffektivisera massgodstransporterna är att öka fordonens lastvikt. Förutom en höjning av den tillåtna bruttovikten samt omlastning och rangering kan lastvikten öka genom en utveckling av lättare lastbärare. Utveckling av lätta lastbärare samt en utvärdering av hur lätta lastbärare kan effektivisera massgodstransporterna utifrån energiförbrukning, tidsåtgång och kostnad är därför av intresse.

## 7.4.3 Framtida fordonslösningar för massgodstransporter

Fordonens lastkapacitet är, enligt åkerier och transportföretag, en avgörande effektivitetsfaktor. Idag begränsas emellertid lastkapaciteten av att det råder BK2 i flera innerstadsområden, samt att bruttovikten begränsas på grund av reglerna kring maximal bruttovikt för enskilt fordon med 4 eller fler axlar, vilken ligger på 32 ton. Genom att tillåta högre bruttovikt för fordon med fler än 4 axlar från dagens 32 ton till förslagsvis 38 - 40 ton, samtidigt som dagens tillåtna axel- och boggitryck bibehålls kan effektivare fordon tas fram, exempelvis 5-axlade fordon. Om längre fordon än 12 m tillåts kan även 6-axlade bilar vara intressanta. Dessa kan jämföras med bussar som idag tillåts ha en fordonslängd på ca 13,99 m på särskilda gator i Stockholms innerstad. Det är därför av intresse att ta fram förslag på hur massgodstransporter i tätorter och storstäder kan energieffektiviseras genom utveckling och framtagning av nya fordonslösningar.

## 7.4.4 Utveckling av transportsystem och infrastrukturlösningar

Metoder och upplägg för hur omlastning och rangering ska genomföras krävs, samtidigt som detta endast bör ske tillsammans med åtgärder som minimerar störningarna till omgivningen. Hela transportlösningen måste även göras ekonomiskt försvarbar och tidseffektiv. Hur omlastnings- och rangeringsplatser samt noder och stråk som förstärks för tyngre trafik bör lokaliseras måste också kartläggas. Som en del i detta behövs även kunskaper om och i vilken omfattning som rangering och/eller omlastning ska utföras för att skapa energieffektiva transporter som samtidigt är ekonomiskt försvarbara och tidseffektiva. Detta för att i praktiken skapa möjligheter att energieffektivisera de massgodstransporter som sker i större städer.

En studie av utvecklingen av transportsystem och infrastruktur för massgodstransporter bör genomföras i avsikt att skapa en helhetsbild av hur infrastruktur och transportsystemen bör utvecklas för att öka energieffektiviteten av massgodstransporter i städer. Studien bör inkludera alla steg i transportkedjan från att massorna lastas vid arbetsplatsen inne i staden till att de lossas vid exempelvis en terminal eller annan materialanläggning utanför innerstaden.

## 7.4.5 Prestandabaserade lagkrav

Det är även möjligt att skapa energieffektivare fordon genom att införa prestandabaserade lagkrav där de olika kraven på fordonen och fordonskombinationerna kan variera mellan olika geografiska områden. Fordon som uppfyller dessa prestandaparametrar, exempelvis vändradie, markfrigång och siktinklar, får därefter tillstånd att köra inom de områden där begränsningar råder. Ett exempel på prestandabaserade lagkrav som tillämpas idag är de krav som gäller för EMS-ekipage (European Modular System). Dessa ekipage tillåts ha en totallängd på maximalt 25,25 m förutsatt att de även uppfyller krav gällande bland annat vändradier. Genom att använda ett geofencing-system kan uppdragsgivaren kontrollera att föraren respekterar rådande regler.

En studie i vilken det kartläggs och analyseras hur prestandabaserade lagkrav kan utformas, vilka krav som krävs samt hur detta ska implementeras kan bidra till större möjligheter att ta fram energieffektivare fordon och transportlösningar för bland annat massgodstransporter i storstäder.

# Referenser

## Litteratur

Ahlberg, J et al, *Hållbara intermodala tempererade transporter*, TFK Rapport 2013:5, 2013.

Allfors, B, *CTI skonar både förare och väg*, Bullentinen nr. 2, 2006.

AVL, *Swedish In-Service Testing Program – On Emissions from Heavy-Duty Vehicles – Report for the Swedish Transport Agency, Certification & Regulation Compliance*, # OMT1013, AVL MTC AB, Haninge, 2011.

Bark P, red, *Materialhantering – 3e omarbetade utgåvan*, TFK-rapport 2002:8, TFK, Stockholm, 2002.

Boll M, *Remissvar: Förslag och bedömningar baserade på rapporter från Trafikverket och Transportstyrelsen om tyngre och längre fordon på det allmänna vägnätet*, AB Volvo, 2014.

van den Broek F et al, *Allocation methodology CO<sub>2</sub>: Road Freight Transport*, Dinalog, EVO, Green Freight Europe & TLN, 2014.

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

Danderyds Kommun, *Bilaga 1 – Samrådsredogörelse*, 2012.

Elischer M et al, *Best of two words: A study of heavy vehicle access in Japan & Australia*, 2012.

EU Council, *European Union Council directive 96/53/ regarding heavy vehicle weight and dimensions*, 1996.

Goodall et al, *Utredning av uppställningsplatser för lastbilar*, Atkins i uppdrag av Stockholms stads Trafikkontor, 2011996\_RA1-2, 2015.

Granlund J et al, *Förkortad väglivslängd – orsaker och kostnader*, WSP, 2016.

Grånäs K et al, *Underlag till materialförsörjningsplan för Uppsala län*, SGU-rapport 2013:19, 2013.

Grönlund Ö et al, *Lastindikatorer och lastbärrarvågar*, Arbetsrapport från Skogforsk nr. 824-2014, 2014.

Holmstrand T, *Dispenstransporter – en handbok Undantag för breda, långa och tunga vägtransporter*, Trafikverket 2011:057, 2011.

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

Idevall F et al, *Godsflöden i Östra Mellansverige – Stockholms län*, Trafikverket, Regionförbundet Östsam, Region Gotland, Länsstyrelsen i Stockholms län, Regionförbundet, 2013.

Krantz G et al, *Energieffektiva kortväga massgodstransporter på väg*, TFK Rapport 2014:3, 2014.

- Kyster-Hansen H et al, *Roadmap High Capacity Transports on Road in Sweden*, CLOSER Lindholmen, 2013.
- Lindgren M et al, *Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelatsning och avgasemissioner*, JTI, 2002.
- Lundberg O et al, *Projekt Slussen Åtgärdsplan för vibrationer gällande kulturbyggnader*, Tyréns, 2011.
- Länsstyrelsen i Stockholms Län, *Krossat berg och återvunnet material ersätter grus*, Faktablad 2003:06, 2003.
- Länsstyrelsen i Stockholms län, *Masshantering i Stockholms län – Brytning och återvinning av grus, berg och schaktmassor*, Rapport 2000:11, 2000.
- Malmö Stad, *Godstrafikprogram för Malmö*, Malmö Stad, 2014.
- Morén L, *Lokalisering av ytor för hantering av jord- och bergmaterial i Södertörn*, Examensarbete SLU & Uppsala Universitet, 2015.
- Mustonen, M. *Implementering av tunga lastbilar I Finland*, TFK rapport 2014:4, 2014.
- Möller, B, et al, *Geodynamik i praktiken*, Information 17, SGI, 2000.
- Nylén F, *Förädling av ballastmaterial med hydrocyklon, ett fungerande alternativ?* Examensarbete i geologi vid Lunds universitet, 2012.
- Regeringen Näringsdepartementet, *Regeringsbeslut Uppdrag om fördjupade analyser av att tillåta tyngre fordon på det allmänna vägnätet 2015-05-13*, N2015/4204/MRT, 2015.
- SBMI, *Bergmaterialindustrins förutsättningar i Stockholmsregionen*, 2004.
- SGF, *Markvibrationer*, Sveriges Geotekniska Förening, SGF Informationstidsskrift 1:2012, version 2013-12-18, 2012.
- Skutin, S-G, *Lönsamhet för CTI på virkesfordon*, Skogforsk Arbetsrapport nr. 771, 2012.
- SLL, *Tunnelbana Nacka och söderort – samrådsunderlag om byggskedet*, 2015.
- SLL, *MKB Spårväg City Djurgårdsbron – Frihamnen*, 2013.
- SLL och Trafikverket, *Handbok för godstransporter i den goda staden*, 2011.
- Stockholms Stad, *Tung trafik inom Stockholms stad – Färdvägar och information*, 2016b.
- Stockholms stad, *Miljözon för tung trafik i Stockholm 1996-2007*, 2007.
- Tekniska nämnden Malmö Stad, *Sammanställning över de av Malmö kommuns lokala trafikföreskrifter som inte ska eller behöver märkas ut med vägmärke m.m.* 2013.
- TFK, *Massförflyttning vid anläggnings- och byggnadsarbeten*, Rapport 1979:4, 1979.
- Trafikanalys, *Lastbilstrafik 2012. – Inrikes och utrikes trafik med svenska lastbilar*, Trafikanalys 2013.
- Trafikanalys, *Godsflöden i Sverige – Analys av transportstatistik inom lastbilstrafik, bantrafik och sjötrafik*, Rapport 2012:8, 2012
- Trafikkontoret, *Förslag om ändrad högsta tillåtna längd för bussar*, Tjänsteutlåtande, 2005.



Trafikkontoret Göteborg, *Karta för yrkesförare*, 2007.

Transportstyrelsen, *Miljözoner*, 2013.

Transportstyrelsen, *Lasta lagligt - Vikt- och dimensionsbestämmelser för tunga fordon*, 2014a.

Transportstyrelsen, *Rapport om tyngre och längre fordonståg på det allmänna vägnätet*, TSV 2014-1419, 2014b.

Tyréns, *Miljöbedömning av alternativ för ny bro mellan Lidingö och Stockholm*, 2014.

Vierth I et al, *Långa och tunga lastbilers effekter på transportsystemet – Redovisning av regeringsuppdrag*, VTI rapport 605, 2008.

Ärnäck S et al, *Ringtrycks påverkan på vägslitage – Tungas fordons ringtryck och dess påverkan på vägens underhållsbehov*, BMTX01-14-35, kandidatarbete inom Civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad, Chalmers, 2014.

## **Muntliga källor**

Backman J, Scania, Vasa, Finland, 2016

Heierson T, Sveriges Åkeriföretag, 2015

Hiironen J, Scania, Kajana, Finland, 2016

Jansson L-G, Stockholm Stad Trafikkontoret, 2014 & 2015

Källman M, ÅF, 2016

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

Rosgardt T, Volvo, 2016

SÅ ABC, Sveriges Åkeriföretags sammanträde med SÅ ABC Norr- och Södergrupp, 2016-05-24

Säfström A, Stockholms stad Trafikkontoret, TFK workshop 2016-10-05

Örn D, Bellmans Åkeri och Entreprenad AB, 2016

## **Elektroniska källor**

Alucar, *Raised Total Weights of Trucks Provokes Discussion*, Publicerad 2015-06-17, hämtad 2016-04-01

<http://www.alucareagle.com/en/2015/06/17/raised-total-weights-of-trucks-provokes-discussion/>

Alwex, *Prislista Lastbilar o maskiner*, Publicerad 2014-03-31, hämtad 2016-08-29

[http://assets.wm3.se/sites/124/media\\_files/13633/-](http://assets.wm3.se/sites/124/media_files/13633/-ZqVeuCH9K8t2aHTSwnGOW/original_Prislista_lastbil_o_maskin_1404.pdf?1396339663)

[ZqVeuCH9K8t2aHTSwnGOW/original\\_Prislista\\_lastbil\\_o\\_maskin\\_1404.pdf?1396339663](http://assets.wm3.se/sites/124/media_files/13633/-ZqVeuCH9K8t2aHTSwnGOW/original_Prislista_lastbil_o_maskin_1404.pdf?1396339663)

Asfaltskolan, *Detta är asfalt*, hämtad 2016-08-15

<http://www.asfaltskolan.se/Allmantomasfalt.htm>

Ballast, *Våra produkter*, hämtad 2016-08-15

<http://www.ballastsverige.se/sv/Vara-produkter/>

Dieselnet.com, *Regulatory Framework*, hämtad 2015-06-23

<http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>

Duo2, hämtad 2016-08-24

[duo2.nu/?attachment\\_id=111](http://duo2.nu/?attachment_id=111)

Forskning.se, *Mindre problem med tjällossning i framtiden*, 2006

<http://www.forskning.se/nyheterfakta/nyheter/pmimportocharkiv/pressmeddelandenarkiv2006/mindreproblemmedtjallossningiframtiden.5.e562c1a1158a47678280003883.html>

GITD, *Maximum permitted wieghts and dimensions, goods transport Netherlands*, Glówny

Inspektorat Transportu Drogowego, hämtad 2016-04-07

[http://www.gitd.gov.pl/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/37700/inf48zala.pdf](http://www.gitd.gov.pl/__data/assets/pdf_file/0017/37700/inf48zala.pdf)

Göteborgs Stad, *Tung trafik*, hämtad 2015-08-19

[http://goteborg.se/wps/portal/foretag/tillstand-och-regler/trafik-och-transporter/tung-trafik!/ut/p/z1/04\\_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziAwy9Ai2cDB0N\\_N0t3Qw8Q7wD3Py8fUxMTMz0w8EKDFCAo4FTkJGTsYGBu7-RfhQx-vEoiMIwHtki\\_YLc0FAAXGtU-Q!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/](http://goteborg.se/wps/portal/foretag/tillstand-och-regler/trafik-och-transporter/tung-trafik!/ut/p/z1/04_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziAwy9Ai2cDB0N_N0t3Qw8Q7wD3Py8fUxMTMz0w8EKDFCAo4FTkJGTsYGBu7-RfhQx-vEoiMIwHtki_YLc0FAAXGtU-Q!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/)

Huddinge kommun, *Vibrationer från trafik – komfortmätning av vibrationer från trafik*, 2015,

hämtad 2016-06-14

<http://www.huddinge.se/trafik-vagar-och-resande/trafik-och-miljo/trafikbuller-och-vibrationer/>

International Transport Forum, *Permissible maximum weights of trucks in Europe*, 2013

<http://www.internationaltransportforum.org/IntOrg/road/pdf/weights.pdf>

Larsson L, *Gothenburg showcase*, Volvo Group Technology 2014-05-12

<http://viajeoplus.eu/wp-content/uploads/sites/4/2015/05/Duo-Trailer.pdf>

Malmö Stad, *Malmös miljözon*, hämtad 2015-06-26

<http://malmo.se/miljozon>

MaserFrakt, *Transporter*, 2016-05-01

<http://www.maserfrakt.se/wp-content/uploads/2010/10/Prislista-2016-MF-ANL.pdf>

Metro, *SL bygger garage för 1,25 miljarder*, Publicerad 2012-05-02, hämtad 2016-03-31

<http://www.metro.se/stockholm/sl-bygger-garage-for-1-25-miljarder/EVHleb!uETICJ8RxjfKM/>

Mölnåls stad, *Miljözon*, 2015

<https://www.molndal.se/medborgare/trafikochresor/trafikochgator/miljozon.4.47315bb7131d8f123cf80007739.html>

Ny Teknik, *Bladfjädring dubbelt så slitsamt för vägbanan*, Lars Eriksson, 2005.

[http://www.nyteknik.se/nyheter/it\\_telekom/allmant/article242976.ece#](http://www.nyteknik.se/nyheter/it_telekom/allmant/article242976.ece#)

Regeringen, *74 tons lastbilar för klimatsmartare transporter och fler jobb*, 2016-10-04

<http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2016/10/74-tons-lastbilar-for-klimatsmartare-transporter-och-fler-jobb/>

SGU, 2016.

<http://apps.sgu.se/kartvisare/>

Stockholmsregionens Avfallsråd, *Deponeringsanläggningar i Stockholms län*, 2007

<http://www.atervinningscentralen.se/web/page.aspx?refid=108>

Stockholms Stad, *Axelsbergs aktivitetspark*, 2016a

<http://bygg.stockholm.se/Alla-projekt/Axelsberg-Ornsberg/Axelsbergs-aktivitetspark/>

Stockholms Stad, *Vägtrafik – tillsynsrapport 2015*, 2016c

<https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1838920>

Stockholms Stad, *Stockholm växer*, hämtad 2015-08-19

<http://bygg.stockholm.se/-/Karta/?lager=200414>

Svensk Åkeritidning, *Sänkt däcktryck öppnar vägar*, 2007

<http://www.akeritidning.se/svensk-akeritidning/nyheter/sankt-dackstryck-oppnar-vagar>

Trafikkontoret Göteborg, *Miljözon*, 2009

[http://www2.trafikkontoret.goteborg.se/resourcelibrary/Milj%C3%B6zon\\_karta\\_091109.pdf](http://www2.trafikkontoret.goteborg.se/resourcelibrary/Milj%C3%B6zon_karta_091109.pdf)

Trafikverket, *Miljözoner, regelverk för efterkonvertering och miljökrav vid upphandling – hur hänger det ihop?* 2015

<http://www.trafikverket.se/contentassets/db4e52cfc1274e8c9baf71647515e120/miljozon-miljokrav-efterkonvertering-150225.pdf>

Transportnytt, *74-tonns fordon halverar transportererna hos Höganäs*, 2016-03-14, 2016

<http://transportnytt.se/item/1478-74-tonns-fordon-halverar-transportererna-hos-hoganas>

Transportstyrelsen, *Modulsystem*, hämtad 2016-07-04

<https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Modulsystem/>

Transportstyrelsen, *Grundregler*, hämtad: 2015-06-23

<https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Grundregler/>

Urbanaccessregulations.eu, *Urban Access Regulation In Europe*, hämtad: 2015-09-07

<http://urbanaccessregulations.eu/>

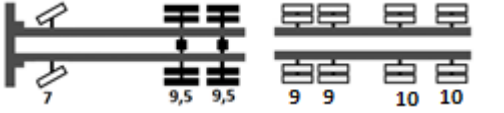
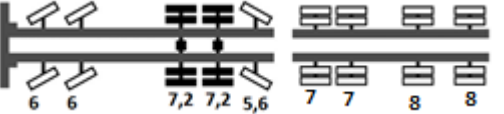
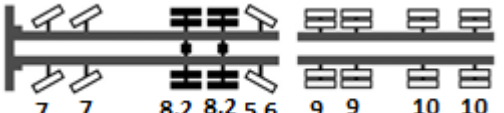
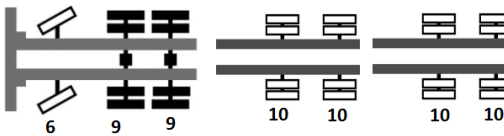


## 8 Bilagor

### A. Vägsitageberäkningar

Nr.	Fordonskonfiguration	Vägsitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Vägsitageeffekt normerat till nyttolast vid BK1 (ESAL <sub>10</sub> per ton)
1a	3-axlad lastbil (luftfjädring) 	$\frac{((1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (4,75/5)^4) / 2 + ((1 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (3,5/5)^4) / 1}{1} = 1,04$	$(1,04/12) / 2 = 0,043$
1b	3-axlad lastbil (bladfjädring) 	$\frac{((1,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1)^{\cdot} (4,75/5)^4) / 2 + ((1 \cdot 2,19 \cdot 1 \cdot 1)^{\cdot} (3,5/5)^4) / 1}{1} = 1,10$	$(1,10/12) / 2 = 0,046$
1c	3-axlad lastbil (luftfjädring) 	$\frac{((1,4 \cdot 1,955 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (4,75/5)^4) / 2 + ((1 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (3,5/5)^4) / 1}{1} = 1,56$	$(1,64/12) / 2 = 0,065$
1d	3-axlad lastbil (bladfjädring) 	$\frac{((1,4 \cdot 1,955 \cdot 1 \cdot 1)^{\cdot} (4,5/5)^4) / 2 + ((1 \cdot 2,19 \cdot 1 \cdot 1)^{\cdot} (3,5/5)^4) / 1}{1} = 1,42$	$(1,42/11) / 2 = 0,065$
2a	4-axlad lastbil (luftfjädring) 	$\frac{((1,9 \cdot 1,637 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (4/5)^4) / 3 + ((1 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,18)^{\cdot} (4/5)^4) / 1}{1} = 0,86$	$(0,86/17,5) / 2 = 0,025$
2b	4-axlad lastbil (luftfjädring) 	$\frac{((1,4 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (3,25/5)^4) / 2 + ((1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (4,75/5)^4) / 2}{1} = 0,80$	$(0,80/17,5) / 2 = 0,023$
3a	5-axlad lastbil (luftfjädring) 	$\frac{((1,9 \cdot 1,637 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (3,3/5)^4) / 3 + ((1,4 \cdot 2,91 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (3/5)^4) / 2}{1} = 0,44$	$(0,44/16,8) / 2 = 0,013$
3b	5-axlad lastbil (luftfjädring) 	$\frac{((1,9 \cdot 1,637 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (4/5)^4) / 3 + ((1,4 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (3,5/5)^4) / 2}{1} = 0,75$	$(0,75/22,8) / 2 = 0,017$
4	3-axlad lastbil (1a) + 3-axlad kärra (luftfjädring) 	$\frac{((1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (4,75/5)^4) / 2 + ((1 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (3,5/5)^4) / 1}{1} + \frac{((1,9 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1)^{\cdot} (4/5)^4) / 3}{1} = 1,29$	$(1,29/31) / 2 = 0,021$



Nr.	Fordonskonfiguration	Vägslitageeffekt (ESAL <sub>10</sub> )	Vägslitageeffekt normerat till nyttolast vid BK1 (ESAL <sub>10</sub> per ton)
5	<p><b>3-axlad lastbil (1a) + 4-axlad släp</b> (luftfjädring)</p> 	$\left(\frac{1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{4,75}{5} / 2 + \left(\frac{1 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{3,5}{5} / 1 + \left(\frac{1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{4,5}{5} / 2 + \left(\frac{1,75 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{5}{5} / 2 = 2,31$	$(2,31/41,7)/2 = 0,028$
6a	<p><b>5-axlad lastbil (3a) + 4-axlad släp</b> (luftfjädring)</p> 	$\left(\frac{1,9 \cdot 1,637 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^3 \cdot \frac{3,33}{5} / 3 + \left(\frac{1,4 \cdot 2,91 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{3,5}{5} / 2 + \left(\frac{1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{3,5}{5} / 2 + \left(\frac{1,75 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{4,5}{5} / 2 = 0,94$	$(0,94/40,5)/2 = 0,012$
6b	<p><b>5-axlad lastbil + 4-axlad släp</b> (luftfjädring)</p> 	$\left(\frac{1,9 \cdot 1,637 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^3 \cdot \frac{3,67}{5} / 3 + \left(\frac{1,4 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{3,5}{5} / 2 + \left(\frac{1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{4,5}{5} / 2 + \left(\frac{1,75 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{5}{5} / 2 = 1,90$	$(1,90/50,5)/2 = 0,019$
7	<p><b>3-axlad dragbil + två 2-axlade trailerlinkar</b> (luftfjädring)</p> 	$\left(\frac{1,4 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{4,5}{5} / 2 + \left(\frac{1 \cdot 2,19 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{3,5}{5} / 1 + \left(\frac{1,75 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1}{5}\right)^4 \cdot \frac{5}{5} / 2 \cdot 2 = 2,37$	$(2,37/40)/2 = 0,030$

## B. Beräkningar: Utbyggnad av Stockholms tunnelbanas blå linje

### Förutsättningar

- **Antal transporter i city**  
= 5 000 ton/lastvikt vid BK2
- **Antal transporter utanför city**  
= 5 000 ton/lastvikt vid BK1
- **Bränsleförbrukning (l/km)**  
=  $(0,0573 \times \text{fordonsvikt} + 2,4504)/10$
- **Bränsleförbrukning transport (l/ton) utan omlastning/rangering**  
=  $(\text{l/km full last} \times 36 \text{ km} + \text{l/km tom} \times 36 \text{ km})/\text{lastvikt}$
- **Tidsåtgång (ton/min)**  
=  $\text{lastvikt}/90 \text{ min}$
- **Transportkostnad (kr/ton)**  
=  $(1,5 \text{ h} \times \text{timpris fordon})/\text{lastvikt} + \text{bränsleförbrukning (l/ton)} \times 14 \text{ kr/l}$

### Med omlastning/rangering

- **Bränsleförbrukning transport (l/ton)**  
=  $((\text{l/km last BK2} \times 3 \text{ km} + \text{l/km tom} \times 3 \text{ km})/\text{lastvikt BK2}) + ((\text{l/km last BK1} \times 33 \text{ km} + \text{l/km tom} \times 33 \text{ km})/\text{lastvikt BK1}) + (\text{omlastningstid} \times 7,2 \text{ l/h})/5 000$
- **Tidsåtgång (ton/min)**  
=  $5 000 \text{ ton} / (20 \text{ min} \times \text{antal transporter i city} + 70 \text{ min} \times \text{antal transporter utanför city} + \text{eventuell omlastningstid} + \text{eventuell rangeringstid})$
- **Omlastningstid (totalt antal timmar)**  
=  $(3 \text{ min}/60 \text{ min}) \times \text{antal transporter utanför city}$
- **Rangeringstid (totalt antal timmar)**  
=  $(4 \text{ min}/60 \text{ min}) \times \text{antal transporter i city}$
- **Transportkostnad (kr/ton)**  
=  $14 \text{ kr/l} \times \text{bränsleförbrukning (l/ton)} + (((20 \text{ min}/60 \text{ min}) \times \text{antal transporter i city} + (70 \text{ min}/60 \text{ min}) \times \text{antal transporter utanför city}) \times \text{timkostnad fordon} + (\text{omlastningstid} \times \text{timkostnad hjullastare}))/5 000 \text{ ton}$



## C. Workshop – deltagare

Deltagare vid workshopen 5 oktober 2016 på TFKs kontor, Warfvinges väg 29, Stockholm:

Peter Bark	TFK
Urban Baudin	Märsta Förenade Åkeriföretag AB
Johan Granlund	WSP
Torbjörn Heierson	Sveriges Åkeriföretag
Arne Johansson	CeDe Group
Christer Jääskeläinen	Bellmans Åkeri & Entreprenad
Eric Lennolf	Volvo Truck Center
Daniel Lindmark	ÅF
Lennart Olsson	Parator Industri AB
Tommy Rosgardt	AB Volvo/ Group Trucks Technology
Peter Svensson	Sveriges Åkeriföretag
Andreas Säfström	Stockholms Stad, Trafikkontoret
Angelika Treiber	TFK
Joachim Wiberg	Sveriges Åkeriföretag
Per Erik Österlund	Stockholms Stad, Miljöförvaltningen









**TFK – TransportForsk**

**Warfvinges väg 29**

**112 51 Stockholm**

**Tel: 08-652 41 30**

**E-post: [info@tfk.se](mailto:info@tfk.se)**

**Internet: [www.tfk.se](http://www.tfk.se)**