



**CHALMERS**



# Visualisering av masshantering i infrastrukturprojekt

Klassificering och kartläggning av massor i anläggningsprojekt

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

Henk Hoogendijk

Robin Andersson

Joaquim Altimiras Granel

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD**  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**

## **Förord**

Denna rapport tillkom genom ett kandidatarbetsförslag på Chalmers tekniska högskola. Förslaget kom med initiativ från Joakim Claesson på Trafikverket tillsammans med Jenny Norrman från enheten för Teknisk geologi på institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. Vi skulle vilja tacka både Jenny, Joakim och även Fredrik Winterås från Trafikverket för all handledning under hela arbetsprocessen, och för att ha lagt ner tid och kraft på att hjälpa oss att lyckas med kandidatarbetet. Vi vill även tacka Filip Karlsson med kollegor på arbetsplatsen ute vid Horred station för att ha låtit oss komma på platsbesök och ställa frågor.

Göteborg, maj 2022

Joaquim Altimiras Granel, Robin Andersson, Henk Hoogendijk

# Visualization of mass management in infrastructure projects

Classification and handling of masses in construction projects

## Abstract

Before a track change of a railway begins, a mass management plan for the project is drawn up. The purpose of this is to ensure the feasibility of the project and show how the contractor plans to handle all the masses in the project. At present, this is produced by the contractor and/or the Swedish Transport Administration, depending on the form of contract, and is not used later in the project to any great extent. This report examines the potential of visualizing mass management in a track replacement project, to identify time-critical stages as early as possible in the design process. This is done by studying the track- and catenary mast replacement project between Borås-Varberg.

Mass management is a major challenge in large infrastructure projects, as it requires a lot of logistics. The masses are excavated and then handled on temporary surfaces. At present, all the masses that are removed from the track are classified as waste, and thus the contractor is responsible for the management of this waste. In practice, this means that the masses are sent to reception facilities where they are disposed of in landfills.

The study is based on input data from the Swedish Transport Administration's mass management plan and other investigations for this project. With this input data, visualizations can be created of excavation and filling masses, design of reload areas for excavated masses, transports, estimated production rate and classification of the masses regarding technical buildability and environmental classification. This is mainly done by producing various relevant key figures and visualizing them over the distance in diagrams.

The results of the study help identify time-critical stages that arise because of mass-intensive stages, large number of transports and design of reload areas for excavated masses. The possibility of reusing the masses, instead of putting them in landfills, is also studied. This is done by classifying the masses regarding contamination levels and technical buildability.

The results show that time-critical stages in the project can be identified during the design stage with the help of visualization of mass handling. The visualization can help reduce various risks of delays and extra costs in production and thereby ensure that the work is carried out as planned.

**Keywords:** Mass handling, mass management, excavated masses, filling masses, time-critical stages, track change, ballast cleaning, classification of masses.

## Sammanfattning

Innan ett spårbyte av en järnväg påbörjas tas det fram en masshanteringsplan för projektet. Syftet med denna är att säkerställa projektets genomförbarhet och visa hur entreprenören planerar att hantera alla massor i projektet. I dagsläget tas denna fram av entreprenören och/eller Trafikverket beroende på kontraktsform, och används inte senare i projektet i någon större utsträckning. I denna rapport undersöks potentialen hos visualisering av masshanteringen i ett spårbytesprojekt för att identifiera tidskritiska skeden så tidigt som möjligt i projekteringen. Detta görs genom att studera spår- och kontaktledningsbytesprojektet Borås-Varberg.

Masshanteringen är en stor utmaning i stora infrastrukturprojekt, då det kräver mycket logistik. Massorna tas upp ur marken och hanteras sedan på etableringsytor. I dagsläget klassas alla massor som tas upp som avfall, och därmed måste den som tar upp massorna ansvara för hanteringen av detta avfall. I praktiken innebär detta att massorna skickas till mottagningsanläggningar på deponi.

Studien grundar sig i indata från Trafikverkets masshanteringsplan och undersökningar för detta projekt för att skapa visualiseringar av bland annat schakt- och fyllnadsmassor, dimensionering av omlastningsytor och transporter, estimerad produktionstakt samt klassificering av massorna med hänsyn till teknisk byggbarhet samt miljöteknisk klassning. Detta görs främst genom att ta fram olika relevanta nyckeltal och visualisera dessa över sträckan i diagram.

Resultaten av studien mynnar ut i identifiering av tidskritiska skeden som uppstår till följd av bland annat massintensiva etapper, stort antal transporter samt dimensionering av omlastningsytor. Möjligheten till återanvändning av massorna studeras också, i stället för att lägga massorna på deponi. Möjligheten till detta baseras på klassificeringen av massorna.

Resultaten visar att tidskritiska skeden i projektet kan identifieras redan under projekteringsstadiet med hjälp av visualisering av nyckeltal. Visualiseringen kan bidra till att minska diverse risker för förseningar och extra kostnader i produktionen och därmed säkerställa att arbetet genomförs som planerat.

**Nyckelord:** Masshantering, schaktmassor, fyllnadsmassor, säkerställd avsättning, tidskritiska skeden, spårbyte, ballastrening, bankettrensning, klassificering av massor.

## INNEHÅLL

1.	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte .....	1
1.3	Avgränsningar.....	2
1.4	Samhälleliga och etiska aspekter .....	2
2.	Teori.....	3
2.1	Underhåll av järnväg.....	3
2.1.1	Slitage av ballast .....	3
2.1.2	Spårbyte .....	4
2.1.3	Ballastrening .....	4
2.1.4	Bankettrensning .....	5
2.1.5	Hantering av invasiva arter .....	5
2.1.6	Omlastningsytor.....	6
2.2	Klassning utav massor .....	6
2.2.1	Miljöteknisk klassning .....	6
2.2.2	Byggteknisk klassning .....	7
2.2.3	Återanvändning av massor.....	7
2.3	Kontraktsformer .....	8
2.3.1	Entreprenadformer .....	8
2.3.2	Upphandlingsform .....	8
3.	Fallstudiebeskrivning .....	9
4.	Metod .....	10
5.	Resultat .....	12
5.1	Grundberäkningar .....	12
5.2	Klassificering och visualisering av olika klasser .....	13
5.3	Produktionstakt .....	17
5.4	Indelning efter skift.....	19
5.5	Omlastningsytor.....	21
5.6	Invasiva arter.....	24
5.7	Identifiering av tidskritiska skeden.....	26
6.	Diskussion.....	29
6.1	Begränsningar i analysen .....	29
6.2	Metodiken som stöd i projekteringsskedet .....	30
6.3	Säkerställd avsättning och resursmassor.....	30
6.4	Framtida arbete och utveckling.....	31
6.5	Slutsatser .....	33

Källförteckning .....	34
Bilaga 1. Ballastreningsmassor .....	36
Bilaga 2. Alla visualiseringar i fullformat .....	37
Bilaga 3. Koppling av skift till omlastningsytor .....	52

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Under 2018 genererade den svenska byggsektorn 12,4 miljoner ton avfall, och denna siffra överskrider alla andra branscher (Naturvårdsverket, 2018). En stor del av denna enorma siffra består utav schaktmassor som ofta åker på deponi. Byggande, drift och underhåll beräknas också stå för 5–10 procent av de totala utsläppen ifrån trafik och infrastruktur inom väg- och järnvägssektorn (Boverket, 2021).

Stora anläggningsprojekt som byten av järnvägsspår innebär ofta omfattande och kostsamt arbete. Vid sådana projekt kan stora mängder massor behöva tas in och ut ur projektet i olika skeden, och hanteringen av dessa massor kräver mycket plats och ger upphov till mycket transporter. Det uppstår ofta kritiska moment under processen då särskilt stora massor ska flyttas, vilket kan orsaka stora förseningar i projektet om man inte planerat för detta. I dagsläget finns det inte någon given standard för hur man ska hantera dessa massor, då varje projekt är unikt och har sina egna utmaningar. Utgående massorna i ett projekt klassas ofta som avfall men skulle ibland kunna återanvändas om de har rätt egenskaper, men det finns samtidigt ofta stora delar som är förorenade och som kräver särskild hantering. På grund av detta måste hanteringen av de utgående massorna alltid redovisas i miljökonsekvensbeskrivningen för projektet (Länsstyrelsen, 2018). Den ansvariga entreprenören ska därför ha tagit fram en masshanteringsplan innan anläggningsarbetet startar.

I dagsläget används inte alltid massorna särskilt effektivt då mycket läggs på deponi, och det finns utrymme för förbättring med högre grad av cirkularitet. Masshanteringsplanen ska redovisa storleken på massorna, miljötekniskt klassa dem och på något sätt visualisera in- och utgående massor enligt Trafikverkets standarder. Om visualiseringen specificeras ytterligare kan man få en bättre kunskap om masshanteringen i projektets olika etapper, minimera risken för förseningar och eventuellt få mer cirkularitet för massorna. Av dessa anledningar kan det vara intressant att närmare studera visualisering som ett verktyg för förbättrad masshantering i projekt.

## 1.2 Syfte

Det övergripande syftet med studien är att undersöka den potential som finns i visualisering av masshantering genom att på olika sätt visualisera och åskådliggöra masshanteringen vid spår- och kontaktledningsbytet i projektet Borås – Varberg. Genom att visualisera relevanta nyckeltal i ett tidigt skede kan tidskritiska skeden identifieras och eventuella åtgärder kan då planeras i förväg.

För att uppnå det övergripande syftet har följande delmål formulerats:

- I. Att klassificera massor med avseende på byggnadstekniska egenskaper och miljötekniska egenskaper.
- II. Att åskådliggöra behov och överskott av massor i anläggningsprojektet över tid med avseende på geografi.
- III. Att med hjälp utav visualisering av data identifiera projektets tidskritiska skeden och dimensionera omlastningsytor.
- IV. Att ge allmänna rekommendationer om vilken data som möjliggör en informativ visualisering i framtida projekt.



### 1.3 Avgränsningar

Projektet kommer främst att fokusera på visualiseringen av massor som tillförs projektet och massor som tas ut ur projektet. Visualiseringens främsta syfte är att identifiera kritiska tidsskeden i anläggningsprojektet där åtgärder och resurser kan behöva sättas in för att minimera risken för förseningar. Hur massorna som lämnar projektet sedan ska hanteras vad gäller mottagningsanläggningar kommer endast att behandlas översiktligt. Detta innebär att specifik avsättning för diverse schaktmassor ej kommer specificeras i någon större utsträckning.

Utgående massor från ballastreningen kommer ligga till grund för hela visualiseringen. Diverse andra massor som uppkommer i projektet så som bankettreningen behandlas inte i denna rapport då mängden massor är minimal jämfört med ballastreningen.

Massor som uppstår i infrastrukturprojekt kan klassas på många olika sätt beroende på vilka egenskaper som studeras. I denna rapport klassas massorna enbart efter miljöteknisk klassning och teknisk byggbarhet med några underkategorier. Den miljötekniska klassningen innefattar totalhalter samt lakbarhet och den tekniska klassningen är uppbyggd utifrån materialtyp enligt tabell CB/1 i AMA Anläggning 20 (Svensk Byggtjänst, 2020).

I visualiseringen kan många olika faktorer och nyckeltal studeras. I denna rapport kommer visualiseringen att vara begränsad till de nyckeltal som bedöms vara särskilt intressanta och relativt enkla att ta fram, efter samråd med handledare.

### 1.4 Samhälleliga och etiska aspekter

Genom en ingående visualisering av masshanteringen i projektet kan det bättre planeras för transporter, återanvändning samt onödig deponering vilken i sin tur bidrar till ett mer cirkulärt flöde kring masshanteringen. En önskad konsekvens av arbetet är att visualiseringen ska utgöra en större och mer relevant del av masshanteringsplanen i framtida projekt.

Diverse miljörisiker kan uppstå vid ett spårbyte då väldigt stora massor tas upp och omplaceras. Material innehållande farliga föroreningar bör identifieras i projekteringen och behandlas korrekt vid utförande. Problemet kring invasiva arter bör även tas i åtanke vid visualiseringen av masshanteringen då ett överseende av detta kan bidra till en minskning av den biologiska mångfalden i andra områden.

Materialklassificeringen är viktig då en spridning av föroreningar på olämpliga områden kan ha förödande konsekvenser på vatten- och markkvalitet. Massornas lakbarhet bör även beaktas vid omhändertagandet och placeringen av massorna då även detta kan bidra till omfattande negativ områdespåverkan.

## 2. Teori

### 2.1 Underhåll av järnväg

Reparationer av spår görs för att förebygga funktionsbrister som uppstår längre fram i tiden. Enligt Edvardsson och Hedström (2015) är den faktor som har störst påverkan på nedbrytningen av bankkonstruktionen själva trafikbelastningen, både last och frekvens har en inverkan. Tågets egenskaper så som hastighet, axelvikt samt hjulens skick i form utav slitage påverkar rälen kvaliteten. Därefter följer i ordning; dränering, dräneringssystem, ballastkvalitet, sliprar och räl, ballastförening, spårålag, skarvar samt markens stabilitet. Slitaget leder till bland annat spårålagförändring, materialutmattning, rälskador samt stabilitetsproblem. Rälen upplever under sin livstid både utmattning och slitage. Processen är komplicerad då den sker icke-linjärt och det är svårt att förutspå hur skadorna kommer att bete sig (Berggren, 2009). En mindre skada på rälen kan snabbt förändra takten som rälen försämras i.

De största anledningarna till att underhåll på järnvägar genomförs är bland annat säkerhet då risken för olyckor måste vara låg (Berggren, 2009). Ett jämnt spår utan störningar är viktigt både för passagerare och gods, även ur ett omgivningsperspektiv då ett jämnare spår även leder till lägre nivåer av buller. Tillgänglighet är också en bidragande faktor, en sliten järnväg medför stopp och mer omfattande hastighetsbegränsningar som gör att kapaciteten blir lägre. Ekonomi är likaså en viktig aspekt då en skadad järnväg bara blir sämre med tiden samt att den kan orsaka kostsamma skador på tågen. Då reparationer av spåret är kostsamma är det viktigt att optimera och analysera projektet med diverse metoder. Exempelvis kan en bedömning av livscykelkostnaden på järnvägen genomföras för att identifiera den besparingspotential som eventuellt finns i underhållskostnaderna.

När enskilda punkter på spåret identifieras som bristfälliga kan enklare lösningar så som slipning av rälen räcka för att höja livslängden och kvaliteten på spåret. När hela sträckor är nedgångna och det inte lönar sig rent ekonomiskt eller inte räcker till att göra enskilda insatser kan mer omfattande åtgärder så som spårbyte vidtas. Då högre hastigheter och axellaster är något som eftersträvas kommer allt högre krav ställas på de existerande järnvägskonstruktionerna och ett behov av upprustning av de svenska järnvägarna uppstår.

#### 2.1.1 Slitage av ballast

Vid projekt som innefattar spårbyten består en stor del utav de utgående massorna av makadam med oönskad kornstorlek, som anses vara ohållbart. För att säkerställa ballastens kvalitet finns det krav gällande hållfasthet, form, storleksfördelning, kantighet och föroreningsgrad (Karlsson, 2012). Man vill bibehålla de egenskaper ballasten har i form av inre friktion samt hålrumsvolym. Dessa egenskaper försämras dock med tiden då det förekommer alltmer finkornigt material i banken, Karlsson (2012) menar att de fraktioner som förkortar ballastlagrets livslängd är fraktionerna 0-31,5 mm. Vilka fraktioner man väljer att sortera bort kan skilja sig från projekt till projekt. Att uppkomsten av det finkorniga materialet anses vara skadligt beror främst på fem faktorer:

##### **1. Nedbrytning till följd av belastning från trafik**

Till följd av de krafter som tågen belastar ballastens kontaktpunkter med försämras hela tiden ballastens egenskaper på grund av fenomen som nötning och sönderbrytning. Hastighet på nedbrytningen blir högre med ökande axellast och större totalbelastning.

## **2. Finmaterial från underballast**

Om materialet under ballasten består av jord med hög finkornighet finns det risk för att finjorden transporteras upp i ballasten med vatten. Detta blir kritiskt då dräneringen i järnvägsbanken är dålig och vatten finns i banken.

## **3. Felaktigt utförd ballastrening**

Om finkornig jord lämnas vid sidan av banken i samband med ballastrening kan problem med dränering och transport av finkorniga material in i banken uppstå.

## **4. Förorening från tåg**

Material från transporter av finkorniga material som till exempel malm eller sand hamnar med tiden på vägbanken och fyller de hålrum som finns i ballasten och försämrar dess egenskaper.

## **5. Klimatets påverkan**

Vid perioder med stor nederbörd eller smältning av snö kan finjord transporteras in i banken om den inte är tillräckligt dränerad. I områden som är extra utsatta för blåst kan finkornig jord och annat organiskt material blåsa in i ballastlagret och fastna i hålrummen.

Provtagning av ballasten är en bra metod för att kontrollera ballastens standard. Detta ger sedan underlag för att bedöma vilka åtgärder som bör vidtas. Enligt Karlsson (2012) genomförs provtagningarna normalt med hjälp utav en ballastprovtagare och kan kompletteras med geotekniska sonderingar, provgropar eller radarundersökningar.

### **2.1.2 Spårbyte**

Vid ett komplett spårbyte byts makadam, räl och sliper ut. Processen har utvecklats och effektiviserats under åren och det är nu ett lag på ungefär 200 personer som utför arbetet (Trafikverket, 2018). Först lossas den gamla rälen från sliparna med hjälp utav en traktor med ett specialanpassat redskap. När rälen sedan sitter löst kommer spårbytarmaskinen, den förs fram på en ny rälssektion som tidigare monterats. Med hjälp utav en magnet plockar den upp de gamla befästningarna, som håller ihop rälen med sliparna. Även sliparna plockas upp av maskinen som samtidigt plöjer upp bädden för att nya sliprar ska placeras med ett exakt cc-avstånd.

Den nya rälen matas sedan in på sliparna och placeras noggrant av operatören, maskinen klämmer därefter till befästningarna på sliparna för att låsa fast rälen. Skarvarna i rälen svetsas ihop och slipas sedan för hand. Den gamla rälen som nu ligger vid sidan av spåret klipps i mindre delar för att transporteras bort för återanvändning. Makadamen dras sedan på plats igen med hjälp utav en grävskopa för att sedan skiktas med en ballastrenare. Den plockar upp makadam och sorterar den efter kornstorlek och makadam med önskvärd kornstorlek återanvänds. Den makadam som inte återanvänds lastas i vagnar som maskinen skjuter framför sig, dessa vagnar lossas sedan och massorna kan tas till en omlastningsplats.

### **2.1.3 Ballastrening**

En utav de främsta anledningarna till att ballasten behöver tas i beaktning vid underhåll är att dräneringsförmågan i järnvägsbanken riskerar att bli lägre då de enskilda kornen bryts ner (Edvardsson & Hedström, 2015). Detta i kombination med att annat material så som löv eller damm fastnar i utrymmena mellan kornen gör att banken blir tätare. Vid ballastrening är målet

alltså att separera den grovkorniga ballasten ifrån finmaterialet samt yttre material som har tagit sig in i banken. Den fukt som samlas i banken kan samlas runt sliprarna och orsaka ett instabilt spårsläge. Att stabiliteten i spåret påverkas beror på att de finkorniga fraktionerna i ballasten tillsammans med vatten pumpas uppåt på grund av den återkommande lasten från passerande tåg. Detta leder som sagt till ett ostabilt spårsläge eller mer specifikt en låg spårstyvhet och dålig spårgeometri. Att finmaterialet pumpas uppåt leder även till att genomsläppligheten i banken blir ännu sämre och fungerar på så sett som en katalysator för processen.

Utöver en säkrad spårgeometri är ytterligare en positiv följd av ballastreningen att den bekämpar ogräs i banvallen. Anledningen till att man inte vill ha växtligheter i banken är att de försämrar ballastens egenskaper och medför diverse risker. Edvardsson och Hedström (2015) menar att ballastrening är en alldeles för dyr lösning för att kunna motivera endast ur detta perspektiv men är utan tvekan en positiv efterverkan.

Man vill även se till att stenarnas kantiga form bibehålls eftersom formen gör så att stenarna låser fast i varandra och kan hålla spåret på plats. Detta hade inte varit fallet om exempelvis natursten hade använts. Då ballastrening är en relativt kostsam åtgärd för att förlänga spårets livstid bör en genomförlig bedömning göras på förhand. Det kan vara motiverat att genomföra ballastrening i samband med ett spårbyte. Enligt (Berggren, 2009) blir ballastrening en rimlig åtgärd då 30% av makadamen har en kornstorlek under 22,4 mm, och det är nödvändigt då 40% av materialet har en kornstorlek under 22,4 mm.

Ballastreningen kan även kompletteras med ytterligare åtgärder för en förstärkt effekt exempelvis materialskiljande lager av geotextil, frostskyddsisolering, ytterligare dräneringsåtgärder och/eller bankbreddning (Karlsson, 2012).

#### 2.1.4 Banktrensning

När diverse förstärkningsåtgärder vidtas kan en av konsekvenserna bli att stora mängder makadam, grus, jord eller liknande lämnas vid sidan utav spåret. Dessa massor täpper till banken och förhindrar dränering i sidled. För att kunna säkerställa en god dränering i banken görs även en banktrensning i samband med ballastreningen genom att avlägsna överflödiga massor vid sidan av banken. Genom att utföra banktrensningen minimeras risken för att de problem som uppstår till följd av dålig dränering i ballasten återkommer. Då den extra last på banken som banketten bidragit med avlägsnas ökar även stabiliteten vilket i sin tur leder till att axellasten på spåret kan ökas (Sundvall, 2005).

#### 2.1.5 Hantering av invasiva arter

Människan har sedan en lång tid tillbaka flyttat runt både växter och djur till nya miljöer över hela världen. Då detta vid första anblick kan tros vara ofarligt har ingen större tyngd lagts vid frågan. Under senare år har man börjat inse att främmande arter som sprids till nya områden kan orsaka stor skada. Om arten trivs i sin nya miljö finns det stor risk att den sprids snabbt och i stor utsträckning (Naturvårdsverket, 2022a). Invasiva arter är både i Sverige och globalt ett utav de största hoten mot biologisk mångfald. Spridningen utav nya arter orsakar även stor skada på ekosystem, infrastruktur samt människors hälsa i allmänhet. Konkurrensen med de inhemska växterna gör att pollinatörer så som bin, fjärilar och även blommor får svårt att överleva (Trafikverket, 2020). Ett exempel på art som är skadlig för människans hälsa är jätteloka vars växtsaft är frätande och kan orsaka brännskador. Invasiva arter som växer intill järnvägsbanken kan också bli ett problem då dess rötter kan täppa till hålrummen i ballasten, detta gäller särskilt parkslide (Trafikverket, 2019b).

### 2.1.6 Omlastningsytor

Under ett spårbytesarbete behövs diverse ytor etableras längs med sträckan. Majoriteten av dessa tillfälliga ytor används som omlastningsplatser för de utgående massorna från ballastreningen och bankettrensningen. Massorna mellanlagras på dessa platser från att de har tagits upp tills att de ska skickas på deponi.

Vid dimensionering av dessa omlastningsplatser behövs flera parametrar tas i åtanke, främst är mängden massor som kommer hanteras på platsen men även separationen av massor med olika kvalitet. Massor med olika totalhalter och lakbarhet behövs separeras på omlastningsytorna för att sedan kunna transporteras separat till deponianläggningen. Massor innehållande invasiva arter kräver även speciell hantering då det är förbjudet enligt EU-förordningen att sprida invasiver när de påträffas (Länsstyrelsen Västra Götalands Län, 2021).

## 2.2 Klassning utav massor

Klassificeringen av massorna som uppstår, det vill säga schaktmassorna, är viktig eftersom det kan ge information om hur mycket av massorna som kan utgöra resurser. Man kan med hjälp utav klassningen också ta reda på vilka massor som är särskilt förorenade och behöver särskild hantering.

### 2.2.1 Miljöteknisk klassning

I dagsläget finns det i branschen inte ett entydigt sätt att klassificera massor enligt föroreningsgrad. Två utav de vanligaste sätten att kontrollera föroreningar i massor är med hjälp utav totalhalt och/eller lakbarhet. Klassificeringarna används främst för att kunna planera deponering av massorna då massor med olika föroreningsgrader behöver separeras för att sedan transporteras till korrekt mottagningsanläggning. Den miljötekniska klassningen kan även ge en indikation på vilka massor som potentiellt kan återanvändas som exempelvis fyllnadsmassor.

För att utreda totalhalten av föroreningar i ett material görs provtagningar. Utifrån provtagningarna görs en analys på finmaterialet som ska tas upp för att kunna jämföra de halter av föroreningar som påträffats med existerande riktvärden för KM och MKM som satts av Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2009). KM och MKM står för känslig respektive mindre känslig markanvändning, och gränsvärdena är satta efter den markanvändning som kan förväntas på området. För känslig markanvändning gäller det att människor ska kunna vistas på området under en livstid. Här ska även grund- och ytvatten samt vissa markecosystem skyddas. Markkvaliteten begränsar alltså inte hur man väljer att använda marken. Detta är annorlunda när det kommer till MKM då det är markkvalitén som sätter gränserna kring hur marken kan användas. Här bör vistelser begränsas till människors yrkesverksamma tid. Marken kan därav användas för till exempel kontor eller industriområden. Barn och gamla bör endast vistas tillfälligt i dessa områden. Hur man väljer att använda massorna beror på vilka typer av föroreningar som dominerar då vissa kan påverka människor, mark och miljö i olika utsträckning.

Den andra kategorin som studeras när det gäller miljöteknisk klassning är lakbarhet. Lakbarheten delas in i tre klasser: inert avfall, icke-farligt avfall samt farligt avfall. Inert avfall definieras enligt Miljödepartementet (2001) som avfall som inte genomgår större biologiska, kemiska eller fysikaliska förändringar. Det bryts inte ned eller inverkar på andra material på ett sätt som kan skada miljön eller människors hälsa. Den totala lakbarheten, föroreningsinnehållet och ekotoxiciteten hos massans lakvatten ska vara obetydlig och inte påverka yt- eller grundvatten.

Avfall som kan utgöra en risk för miljön eller människors hälsa klassas som farligt avfall och bör separeras från övrigt avfall. Materialet kan ha egenskaper så som brandfarlighet, akut toxicitet eller vara cancerframkallande. Avfall som varken är inert eller farligt avfall klassas som icke-farligt avfall.

### 2.2.2 Byggteknisk klassning

För att säkerställa att massorna går att använda är det viktigt att även ta reda på materialets byggtekniska klassning. Detta kan göras på flera olika sätt utifrån en rad olika parametrar. Även om det inte är nödvändigt att känna till alla materialets egenskaper kan det vara till fördel att känna till några av dem för att veta hur massan kommer att bete sig och hur lämplig den är att använda ur ett byggtekniskt perspektiv. Den byggtekniska klassningen kan också vara till hjälp vid beslut kring på vilket sätt man väljer att använda massorna. En utav de vanligaste metoderna för att klassa massor är efter AMA:s materialtyper.

AMA är referensböcker som ges ut av företaget AB svensk byggtjänst, böckerna är inte juridiskt bindande men förekommer ofta i branschen (Borga, u.å.). I AMA finns beskrivningar utav flertalet beprövade lösningar och materialval. Målet med att använda AMA är att kunna öka tydligheten och kvaliteten i processen. Den aktuella versionen är AMA anläggning 20 och eftersom den inte är juridiskt bindande har Trafikverket tagit fram ändringar och tillägg som används i kombination med föreskrifterna.

### 2.2.3 Återanvändning av massor

Vid ett stort anläggningsprojekt är det viktigt att se över potentialen för återanvändning av massor i så stor utsträckning som möjligt, inte endast ur ett hållbarhetsperspektiv utan även ur ett ekonomiskt perspektiv då en utgående massa klassad som resurs genererar värde medan deponering av massor är en kostnad.

Schaktmassor som uppstår i en verksamhet som inte har som huvudsyfte att producera material kan antingen vara avfall eller inte avfall (Naturvårdsverket, 2022b). Det som avgör om en massa är avfall eller inte är kvittblivningsintresset. I Miljöbalken avses avfall som ett föremål eller ämne som innehavaren är skyldig till att göra sig av med, avser att göra sig av med eller gör sig av med (Miljödepartementet, 1998). Om innehavaren inte har som avsikt att göra sig av med, är skyldig att göra sig av med eller gör sig av med massorna är de inte avfall. Ytterligare måste det vara säkerställt att massorna kommer fortsätta att användas och att användningen som avses inte har några negativa effekter på miljön eller människors hälsa. Dessutom bedömer Naturvårdsverket (2016) att schaktmassor inte anses vara avfall om massorna grävs upp och används på samma ställe inom en rimlig tidsram.

För att ha en säkerställd avsättning för massorna måste avsättningen även ske inom en rimlig tidsrymd (Naturvårdsverket, 2022b). Säkerställd avsättning innebär att man har en plan för hur och när man ska använda massorna. Verksamhetsutövaren måste dessutom kunna visa på att en efterfrågan finns på en befintlig marknad och därmed att avsättning inom en rimlig tidsrymd är sannolik.

Utifrån de olika klassificeringarna av massorna kan det tas ett beslut om massorna kan klassificeras som en resurs eller avfall. Massor med goda egenskaper utifrån de olika klassificeringarna kan ses som en resurs förutsatt att en avsättning är bestämd inom en rimlig tidsram (Naturvårdsverket, 2022b).

Genom att kunna klassificera utgående massor med god kvalitet som en resurs i stället för avfall elimineras de många mellansteg som tidigare behövt appliceras innan återanvändning möjlig då en resursklassad massa inte kräver någon vidare behandling före avsättning.

## 2.3 Kontraktformer

Projekten som utförs på Sveriges järnvägar varierar i storlek men i ett projekt med denna omfattning är det av stort intresse att sätta höga krav på projektering, planering samt utförande. Detta kräver kompetens, erfarenhet och samverkan mellan alla inblandade aktörer. För att minska risken för missförstånd och problem under projektens alla skeden skrivs olika former utav kontrakt och avtal. I detta avsnitt beskrivs hur dessa bestämmelser påverkar tillvägagångssättet på arbetsplatsen.

### 2.3.1 Entreprenadformer

Kontraktformer är något som diskuterats länge i branschen, och en utav de typer av kontraktformer som länge diskuterats är entreprenadformer. Där det finns två huvudtyper; totalentreprenad och utförandeentreprenad. Totalentreprenad innebär att den entreprenör som beställaren väljer att anlita har ansvar både för projekteringen och utförandet. Vid en totalentreprenad kan det därför vara nödvändigt att specificera de funktionskrav som bör uppnås. Det är standardavtalet allmänna bestämmelser totalentreprenader 06 (ABT06) som reglerar totalentreprenader. Vid en utförandeentreprenad har entreprenören endast ansvar för utförandet av projektet då beställaren står för projekteringen. Här är entreprenörens skyldigheter beroende utav de instruktioner som tagits fram utav beställaren. Utförandeentreprenader regleras utav standardavtalet allmänna bestämmelser 04 (AB04) (Trafikverket, 2015). I praktiken är det inte ovanligt att projekten genomförs med en kombination utav entreprenadformerna.

Trafikverket har på uppmaning av regeringen börjat arbeta mer med totalentreprenader och funktionskrav i stället för utförandeentreprenader (Riksrevisionen, 2012). Målet med detta är att få mer järnväg för pengarna då man hoppas på att entreprenören kan påverka utformningen på ett sådant sätt att funktionskraven uppfylls till en lägre kostnad. På så sätt uppmuntras även entreprenören till innovation. En risk är däremot att kvalitén kan bli lidande om beställaren till exempel inte lyckas med att formulera kraven på projektet på ett distinkt sätt vilket lätt leder till missförstånd.

### 2.3.2 Upphandlingsform

När entreprenadformen är satt väljs en upphandlingsform; generalentreprenad, delad entreprenad eller samordnad generalentreprenad. Upphandlingsformen reglerar hur många entreprenörer som kommer att jobba med projektet samt hur dessa ska förhålla sig till varandra. De två vanligast förekommande är generalentreprenad och delad entreprenad. Generalentreprenad innebär att en entreprenör har ett avtal med beställaren och det är sedan upp till denne att handla upp underentreprenörer. Den största nackdelen är att beställaren tappar en del kontroll och får förlita sig på generalentreprenören, däremot går även en stor del av risken över till generalentreprenören. I omfattande projekt kan även kommunikationen bli en kritisk del då det i många fall är ett stort antal entreprenörer på samma projekt som måste agera samordnat. Delad entreprenad innebär att flera entreprenörer har avtal med beställaren och blir här sidoentreprenörer till varandra. Fördelen här är att beställaren har större inflytande på det olika delarna men det blir ett större ansvar att samordna och leda arbetet. Likt entreprenadformerna är det vanligt att upphandlingsformerna kombineras på olika sätt.

### 3. Fallstudiebeskrivning

I detta projekt studerades ett spårbyte mellan Borås – Varberg. Det ska bytas både spår och kontaktledningar samt höja järnvägsbanken 20 cm. Järnvägen är enkelspårig och ca 82 km lång, byggd 1880 och elektrifierad 1949 (Järnväg.net, u.å.). Kontaktledningssystemet är från 1970-talet och är slitet och behöver därför bytas (Trafikverket, 2021a). Ballasten består av förorenat grus, makadam och jord. Projektet startade i augusti 2021 och förväntas pågå i ett år framåt.

Eftersom det är Trafikverket som står för tillhandahållandet av det svenska väg- och järnvägsnätet faller även ansvaret på dem när det kommer till skötsel och service. Eftersom Trafikverket är en statlig myndighet sker alla upphandlingar enligt lagen om offentlig upphandling (LOU). I detta fall är den valda entreprenadformen totalentreprenad, vilket innebär att Trafikverket tar fram en plan för att säkerställa byggbarhet. Det är sedan upp till entreprenören, Leonhard Weiss att genomföra en egen projektering för att kunna utföra arbetet. Då upphandlingsformen är generalentreprenad är det även upp till Leonhard Weiss att välja vilka underentreprenörer man vill upphandla och arbeta med.

Spårbytet utförs främst för att kunna transportera godståg med byggnadsmaterial till konstruktionen av infrastrukturprojektet Västlänken men kommer även att användas för kollektivtrafik.



## 4. Metod

Figur 1 visar en schematisk översikt av arbetsprocessen. För att förstå bakgrunden och förutsättningarna för anläggningsprojektet studerades dokument från Trafikverket och entreprenören, såsom masshanteringsplan och siktanalys. Dessa dokument innehåller information om de massor som både förväntas uppstå i projektet och de som behöver tillföras projektet. Eftersom detta projekt är en totalentreprenad finns två masshanteringsplaner att tillgå. En masshanteringsplan tas fram i ett tidigt skede och görs först av Trafikverket för att säkerställa teknisk byggbarhet, och sedan görs en andra av entreprenören för att visa hur man tänkt hantera massorna. Då denna rapport togs fram i samarbete med Trafikverket valdes deras masshanteringsplan som huvudsakligt underlag.

Ett platsbesök gjordes även på omlastningsytorna vid Horred station och Östra Derome. Syftet med besöket var att få se och uppleva hur arbetet ser ut i praktiken, samt studera vilka eventuella praktiska och mer specifika problem som kan uppstå på plats kopplat till masshantering.

Med hjälp av insikter från platsbesöket och indata togs en grund fram för att visa massorna längst sträckan. Med hjälp av denna grund kunde informationen sedan bearbetas på olika sätt för att ta fram nyckeltal och klassificering av massorna. Nyckeltalen och klassificeringen kunde därefter visualiseras i olika diagram och tabeller, som i denna rapport benämns visualiseringar. Under hela processen gjordes olika antaganden för att underlätta arbetet, framför allt användning av schablonvärden angivna av Trafikverket.

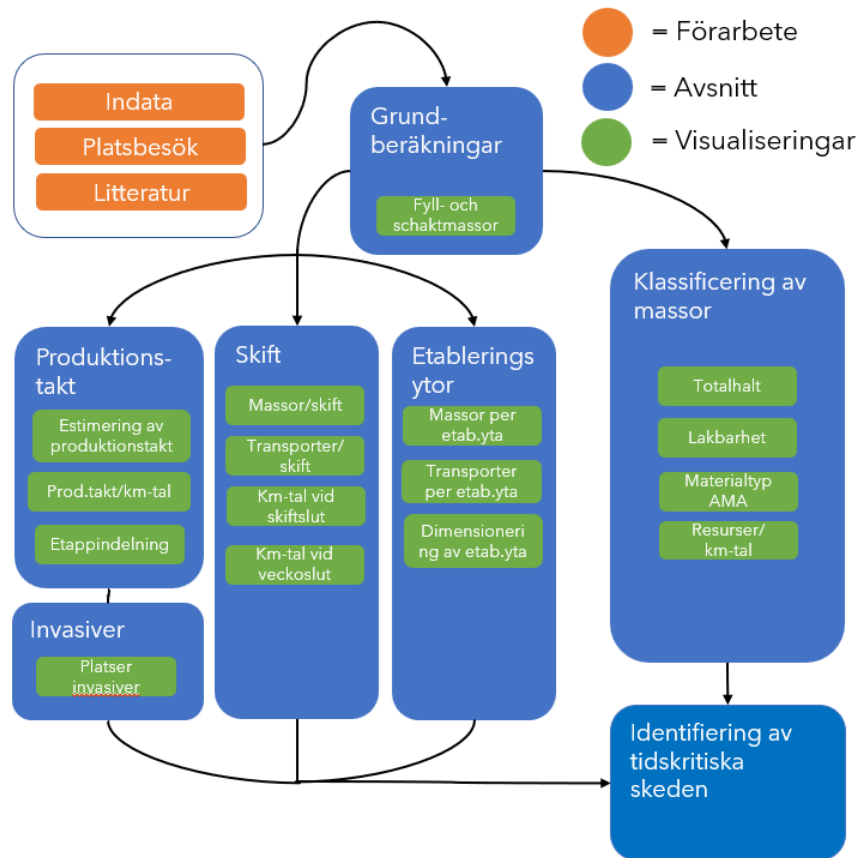
Klassificeringen gjordes utifrån två huvudkategorier, miljöteknisk klassning och teknisk byggbarhet, som sedan delas in i olika klasser. Med hjälp av dessa kunde andelen massor som kan anses vara en resurs tas fram. Visualiseringsdelen för nyckeltalen består främst av olika diagramtyper som är baserade på framtagna tabeller. Nyckeltalen delas in i fyra kategorier; produktionstakt, skift, omlastningsytor och invasiva arter.

Alla data behandlas i Excel för att säkerställa användarvänlighet. Tabellerna och diagrammen som utgör visualiseringarna för både nyckeltal och klassning gjordes också i Excel med Excels egna diagramtyper.

Genom att studera klassificeringen och nyckeltalen kunde sedan tidskritiska skeden i projektet identifieras. Under hela projektet användes annan litteratur, särskilt dokument från Trafikverket, som stöd. Regelbunden kontakt och konsultation har funnits med handledare från Chalmers tekniska högskola samt aktörer från Trafikverket. Flödesschemat i figur 1 visar schematiskt hur projektet genomfördes.

**Figur 1.**

*Flödesschema över arbetsprocessen*



*Kommentar. Schematisk bild över projektets olika delar. Indata bearbetas i grundberäkningarna, som sedan ligger till grund för de olika visualiseringarna av nyckeltal och klassning. Med hjälp av dessa kan sedan tidskritiska skeden identifieras.*

## 5. Resultat

För att kunna identifiera anläggningsprojektets tidskritiska skeden studeras indata och bryts ner i olika nyckeltal. Dessa nyckeltal kan sedan visualiseras och utgör tillsammans med klassificering ett bra underlag för att bedöma var de tidskritiska skedena kommer att uppstå. Visualiseringarna som presenteras är indelade i fyra kategorier; produktionstakt, skift, omlastningsytor och invasiva arter. I denna rapport har informationen om massorna tagits från Trafikverkets masshanteringsplan för anläggningsprojektet (2019b).

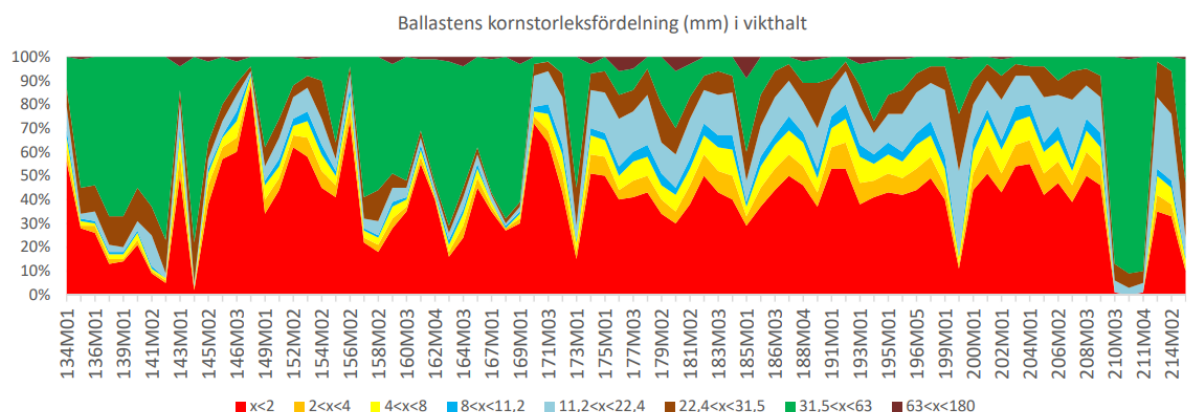
### 5.1 Grundberäkningar

Grunden för visualiseringen utgörs av schaktmassor och fyllnadsmassor, det vill säga massor som ska tillföras till projektet och massor som ska ut ur projektet. Fyllnadsmassorna består av ballast som tillförs till projektet för att ersätta den borttagna ballasten samt för justeringar av spåret. Dessa massor har en kornstorlek på 32 - 64 mm. Schaktmassorna är förorenade massor som har en mindre kornstorlek på 0 - 22,4 mm. Massorna bör studeras i ton, eftersom det är så man kontrollerar transporterna och det är så de hanteras på mottagningsanläggningarna.

För att visualiseringen ska vara någorlunda precis bör massorna studeras per kilometer, det vill säga mängd massor i ton per kilometer. För att uppnå detta används siktanalysen ihop med data om uppskattade massor över vissa intervall för att ta fram information om fyll- och schaktmassor per kilometer-tal. Siktanalysen är genomförd av Sweco men fås ur Trafikverkets masshanteringsplan (2019b), se figur 2. Data om uppskattade massor över vissa intervall fås ur tabell 3.1 i Trafikverkets masshanteringsplan (2019b). Intervallen är av varierande längd och massinnehåll.

Figur 2.

Kornstorleksfördelning från siktanalys



Kommentar. Fördelning i procent för olika kornstorlekar. Analys gjord av Sweco, hämtad från Trafikverkets masshanteringsplan (2019b).

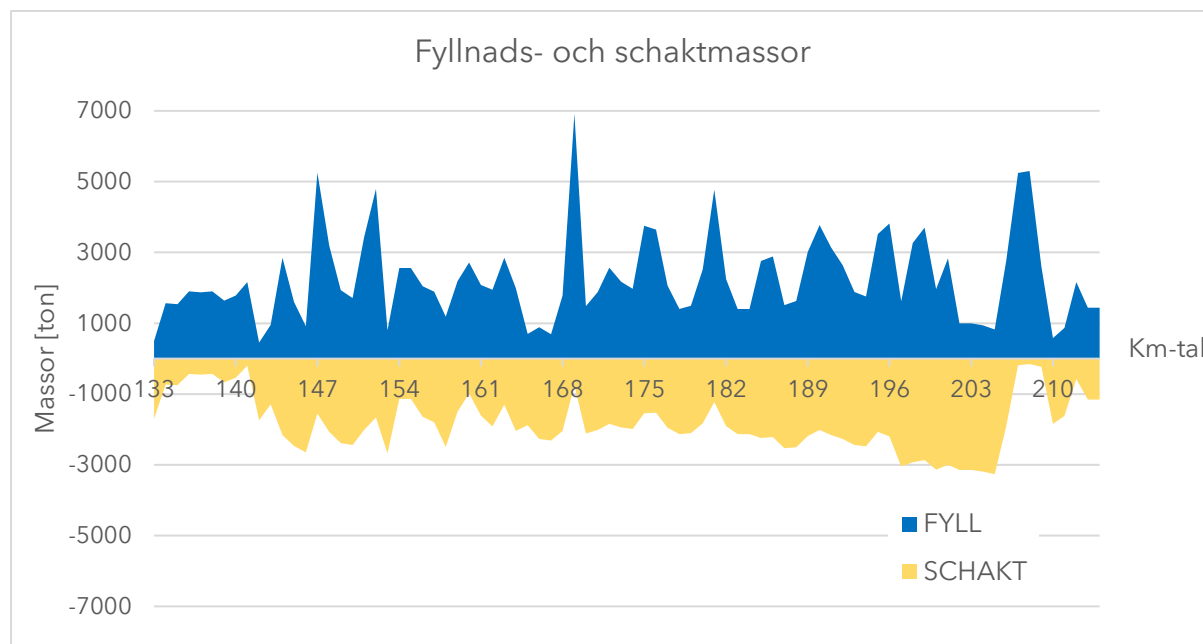
Då intervallen varierar i storlek, se bilaga 1, måste procenten för fraktionerna (som fås per km) matematiskt kopplas till massorna (som fås per intervall). För att göra detta används följande ekvation:

$$\frac{\% \text{ aktuell km}}{\Sigma \% \text{ aktuellt intervall}} * \text{massor intervall (m}^3\text{)} = \text{utgående massor per aktuell km (m}^3\text{)}$$

Med hjälp av formeln ovan tas fyll- och schaktmassor fram för varje kilometer. I masshanteringsplanen redovisas massorna i teoretiska fasta kubikmeter, och måste således räknas om till ton med hjälp av densiteten (Trafikverket, 2019b). Masshanteringsplanen anger att inkommande massor har en densitet på 1,4 ton/m<sup>3</sup>, och att massorna med kornstorlek på 0–22,4 mm (det vill säga schaktmassorna) har en densitet på 1,65 ton/m<sup>3</sup>. Utöver detta måste även en svällfaktor på 1,2 tas hänsyn till för schaktmassorna. Dessa beräkningar genomförs för både fyll- och schaktmassor och visualiseras i figur 3.

**Figur 3.**

*Fyll och schaktmassor per km-tal*



*Kommentar. Fyll och schaktmassor som behöver tilläggas eller som uppstår vid varje kilometer i ton.*

Figur 3 ger en tydlig bild av vilka delar av projektet som kan vara särskilt utmanande, eftersom hantering av stora massor på en mindre yta kan leda till logistiska problem om man inte förutser dessa delar i förväg.

Omfattande masshantering är en av de viktigaste faktorerna för att identifiera tidskritiska skeden. Det finns däremot även andra parametrar som är viktiga att ta hänsyn till och som presenteras fortsättningsvis.

## 5.2 Klassificering och visualisering av olika klasser

I denna rapport utgår klassificeringen från både miljötekniska och byggnadstekniska krav. Den miljötekniska delen består utav lakbarhet och totalhalt, vilket även Trafikverket har använt sig av i masshanteringsplanen (Trafikverket, 2019b). Till skillnad från masshanteringsplanen har även den byggnadstekniska aspekten analyserats med hjälp utav AMA:s materialtyper.

För att klassificera massorna gör Trafikverket en markteknisk undersökningsrapport som omfattar både geoteknik och markmiljö (Trafikverket, 2019a). När det gäller totalhalt har det i denna rapport gjorts utifrån de klasser som Trafikverket använt sig av i projektet, dessa är:

- Över MKM: över gränsen för Mindre Känslig Mark
- KM-MKM: mellan Känslig Mark och Mindre Känslig Mark

- Mindre än KM: under gränsen för Känslig Mark

På den aktuella sträckan förekommer inget farligt avfall och massorna klassas därmed som antingen inerta eller som icke-farligt avfall (Trafikverket, 2019b). I Trafikverkets masshanteringsplan (Trafikverket, 2019b) anges i tabell 3.1 totalhalten för massorna för valda intervall samt lakbarheten, se bilaga 1. Visualiseringarna i denna rapport som innehåller klassificering utav massorna grundar sig på dessa värden.

Den byggtkniska klassningen i denna rapport grundar sig på AMA, Allmän material- och arbetsbeskrivning. Vid klassificeringen har tabell VV CB/1 ur en rapport från Vägverket (2008) använts. I denna AMA tabell klassas materialtyper utifrån andelen finjord, ler eller organisk jord, den innehåller även exempel på några material samt tjälfarlighetsklass. Även kulkvarnsvärde som är ett mått på nötningsbenägenhet är inkluderat. Denna information saknas i dagsläget på den aktuella sträckan. Eftersom massornas innehåll utav olika jord- och bergtyper är okänd har klassningen endast gjorts utifrån kornstorleksfördelningen vid varje kilometer. Vid den genomförda siktanalysen har endast en sortering ner till fraktioner med en kornstorlek mindre än 2 mm gjorts. Detta leder till att det finns en hög osäkerhet i den byggtkniska klassningen och den bör ses som ett exempel på hur det kan se ut. Om denna typ av klassning ska användas i framtiden bör noggrannare skiktanalyser genomföras för att kunna analysera finmaterialet.

Utifrån tillgängliga data från sträckan Borås – Varberg har tre klasser identifierats och använts vid visualiseringen, se tabell 1.

**Tabell 1.**

*Materialtyp, AMA CB/1*

Material typ	Berg typ	Kulkvarns värde	Halten av [vikts-%] x/y			Exempel på jordarter	Tjälfarlighet sklass
			Finjord 0,063/63mm	Ler 0,002/0,063mm	Organisk jord %/63mm		
<b>1</b>	1 2	≤ 18 19-30	< 10		≤ 2		1
⋮							
<b>5B</b>					3-6	gyCl, gySi	3
<b>6A</b>					7-20	clGy, siDy	1

*Kommentar. Påträffade materialtyper utmed sträckan enligt AMA:s materialtyper.*

I Trafikverkets masshanteringsplan har man antagit att alla föroreningsnivåer under riktvärden för KM ska kunna återanvändas så länge det finns teknisk användning av materialet (Trafikverket, 2019b). I samråd med aktörer från Trafikverket har gränserna för de massor som är lämpliga för återanvändning satts till (Winterås & Claesson, 2022):

- Totalhalt som inte överskrider riktvärden för MKM, Mindre Känslig Markanvändning.
- Lakbarhet som uppfyller kraven för inerta massor.

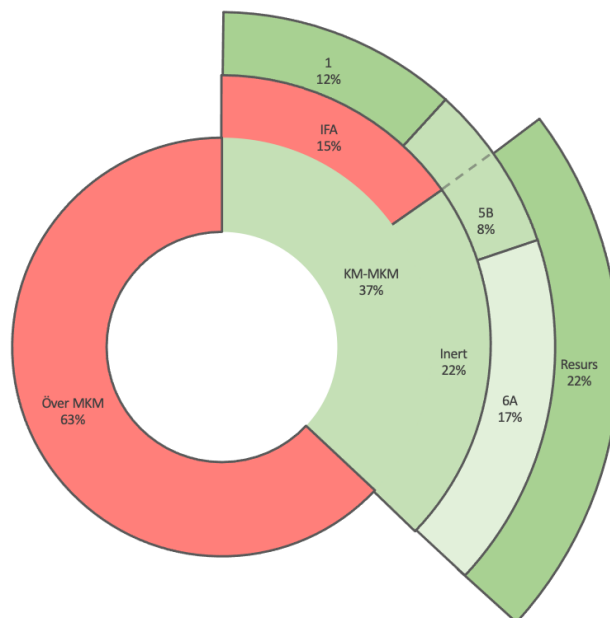
Ett aktivt val har gjorts att inte sätta några krav på teknisk byggbarhet då ytterligare tester krävs för att kunna dra några slutsatser. Ett annat antagande som gjorts är att alla massor som uppstår i projektet har en säkerställd avsättning.

När klassificeringen utav projektets massor är komplett och det är bestämt vilka delar som bedöms vara lämpliga för återanvändning görs flera olika visualiseringar. Syftet med dessa visualiseringar är att ta fram en övergripande bild över hela sträckan för att kunna planera arbetet i större utsträckning. Utifrån klasserna kan det även finnas olika användningsområden som är optimala för massan beroende på hur den tekniska byggbarheten ser ut. Det är därför relevant att ta fram en visualisering som visar hur klasserna är fördelade längs med sträckan.

I figur 4 visas i den yttersta cirkeln hur stor procentsats som kan ses som resurs. De inre cirklarna visar i sin tur hur stor procentsats av resurserna som tillhör vardera klass. De två innersta innehåller den miljötekniska klassningen medan den tredje beskriver den byggtekniska klassningen utifrån AMA. Denna visualisering är tänkt att ge en överblick av projektets förhållanden samt att ett sätt att kunna identifiera inom vilka områden de återvunna massorna kan användas.

**Figur 4.**

*Klassning av projektets massor.*



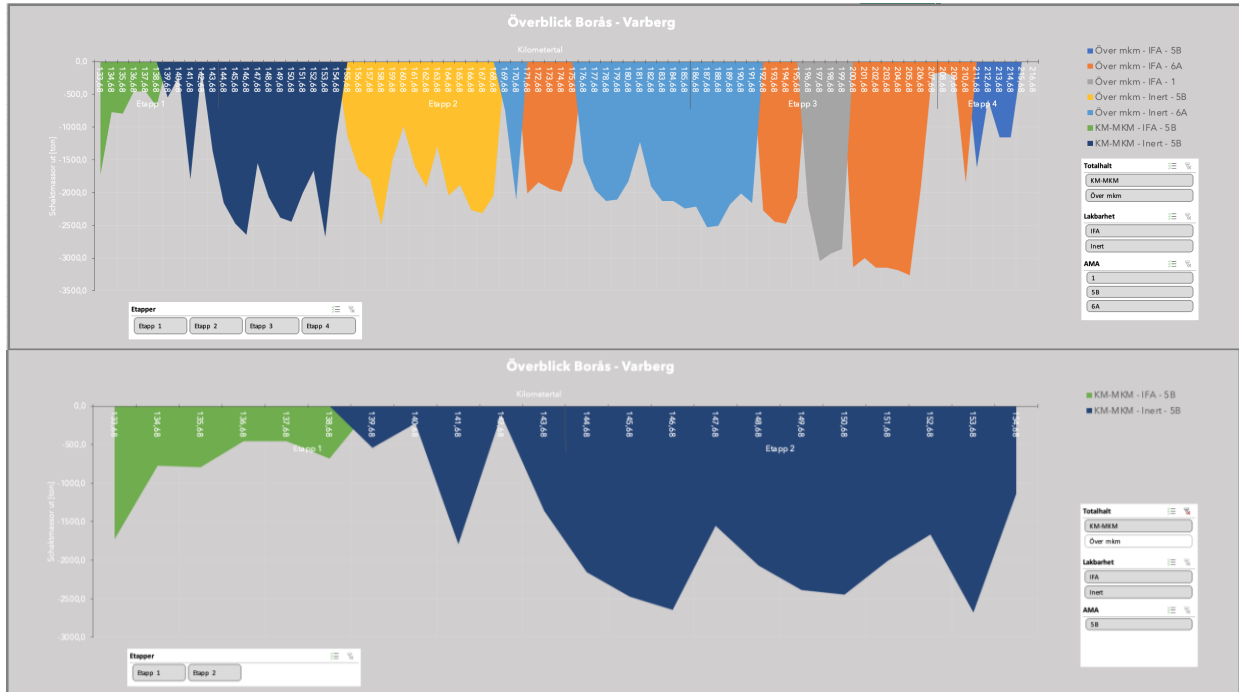
*Massorna för hela projektet klassificerade, där resurserna visas i den yttersta cirkeln. Den miljötekniska klassningen i de två innersta cirklarna, totalhalt innerst följt av lakbarhet. Den tredje cirkeln består utav den byggtekniska klassningen.*

Det anses även gynnsamt att ta fram en visualisering som tydligt visar vart på sträckan de olika klasserna förekommer samt hur de förhåller sig till varandra. Detta eftersom man på så sätt kan vara förbered på vilka massor som ska hanteras under framtida skift. Det blir även ett sätt att identifiera vart på sträckan de massor som eventuellt går att återanvända befinner sig. Utifrån samma data som använts tidigare från Trafikverkets masshanteringsplan i kombination med klassningen som gjorts för varje kilometertal går det att ta fram ett flertal olika visualiseringar. För att kunna sammanställa klassningarna i en visualisering har ett diagram med möjlighet till filtrering tagits fram, se figur 5. Detta genom att märka varje kilometertal och dess schaktmassa med specifikt klass utifrån de olika klassningssystemen samt gruppera sträckan i etapper. Filtrena ger användaren möjlighet att till exempel välja vilka etapper man vill titta närmare på alternativt vilka kombinationer utav klasser. Med hjälp utav filtrering kan diagrammet anpassas

på olika sätt för att visualisera den data som anses intressant. Det blir på så vis ett enkelt verktyg för att identifiera massorna längs med sträckan.

Figur 5.

Klassning av projektets massor längs med sträckan.

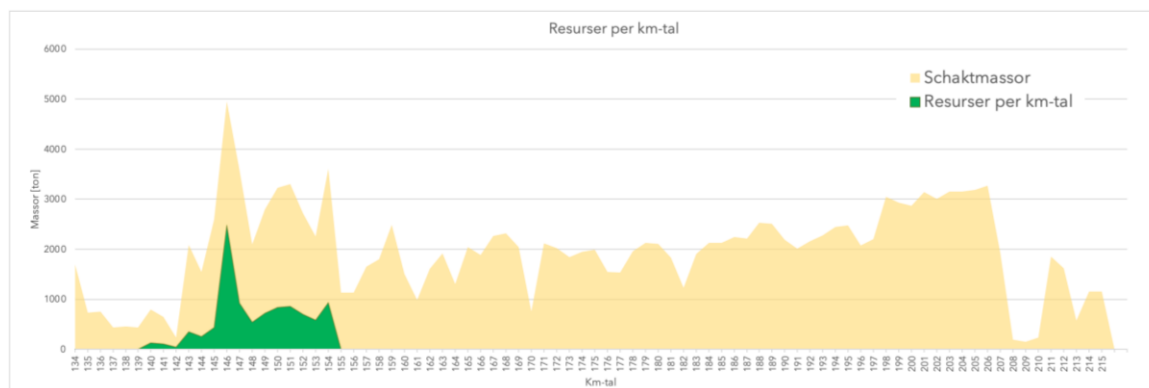


Massorna för hela projektet klassificerade längs med sträckan. Det övre diagrammet visar massorna för hela sträckan indelade i sju grupper efter klassning. Sträckan är även indelad i etapper utefter indelning som görs i avsnitt 4.3.2. Det undre diagrammet visar den sträckan som innehåller massor som har en totalhalt motsvarande KM-MKM. Denna tas fram genom att klicka i rutan med titeln "Totalhalt".

En tredje visualisering med klassningen i centrum har tagits fram. Syftet är att på ett enkelt sätt visa både vart på sträckan massorna som anses vara lämpliga för återvinning finns och mängden massor per kilometer, se figur 6. De gröna schaktmassorna uppfyller kraven om en totalhalt som är lägre än riktvärdena för MKM samt är inerta.

**Figur 6.**

*Massorna som klassats som resurs längs sträckan.*



*Grafen visar massorna längs med sträckan. Massorna markerade i grönt klassas som resurser enligt kraven för rapporten. Alltså massor som uppfyller en totalhalt som inte överskrider kraven för MKM samt är klassade som inerta.*

### 5.3 Produktionstakt

I denna rapport har produktionstakten estimerats utifrån utgående massor per km-tal. Därefter har en etappindelning gjorts utifrån likartade förhållanden längs sträckan. Efter samråd med delprojektledare för spårbytet, som även har erfarenhet från andra liknande projekt, togs schablonvärden fram för produktionstakten, se tabell 2 (Winterås, 2022).

**Tabell 2.**

*Schablonvärden för produktionstakt*

Snabb	200 m/h
Medel	175 m/h
Långsam	150 m/h

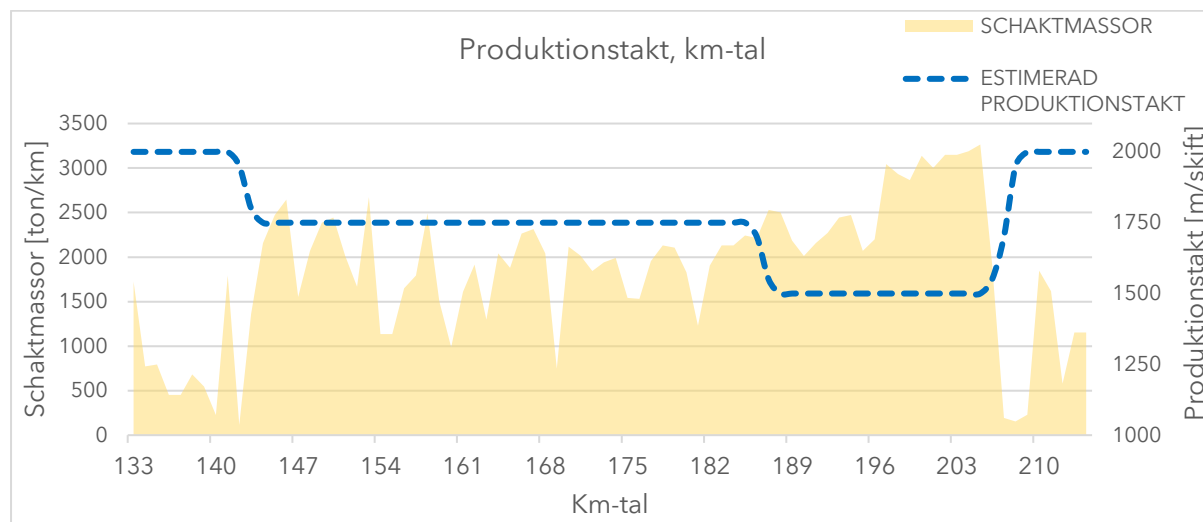
*Kommentar. Schablonvärden för produktionstakt framtagna i samråd med delprojektledare.*

Genom att titta på hur mycket utgående massor som behöver hanteras uppskattas produktionstakten utifrån schablonvärdena ovan, se figur 7.



**Figur 7.**

*Estimerad produktionstakt*

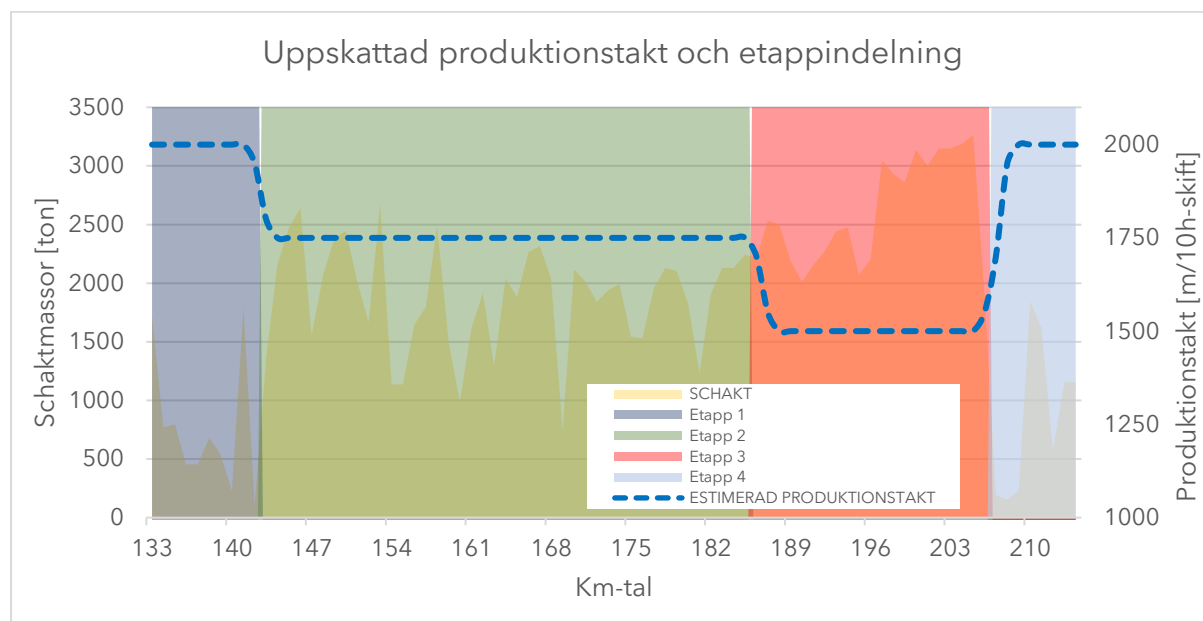


*Kommentar. Estimerad produktionstakt längs med sträckan.*

Det kan även vara av intresses att dela in projektet i etapper där man kan förvänta sig homogena förutsättningar. Dessa etapper kan vara ett sätt att översiktligt se på olika delar av projektet där man vet att man bör kunna tillämpa samma arbets sätt. Etapperna kan på så sätt även ge information om vilka utmaningar som kan finnas under en etapp, eftersom produktionstakten måste matchas med omlastningsytornas storlek och avståndet mellan dem. I figur 8 visas hur detta anläggningsprojekt skulle kunna delas in i fyra etapper utifrån förutsättningar och estimerad produktionstakt.

**Figur 8.**

*Etappindelning längs sträckan*



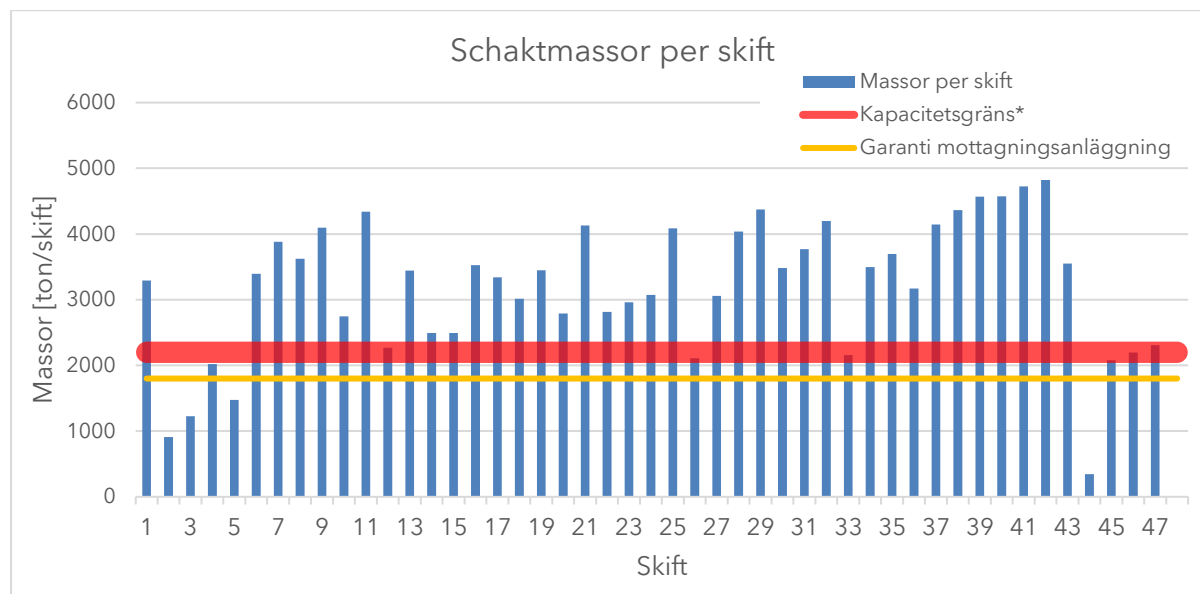
*Kommentar. Etappindelning utifrån estimerad produktionstakt och förutsättningar.*

## 5.4 Indelning efter skift

Det är även av intresse att studera hur produktionstakten påverkar antalet skift som kommer att krävas för att färdigställa projektet. Detta kan tas fram med hjälp av den estimerade produktionstakten för varje km-tal. Detta resulterar i 48 10-timmars skift. Genom att titta på vid vilka km-tal skiften sker kan man ta fram ungefär hur mycket massor som uppstår vid varje skift, se figur 9.

**Figur 9.**

*Schaktmassor per skift*



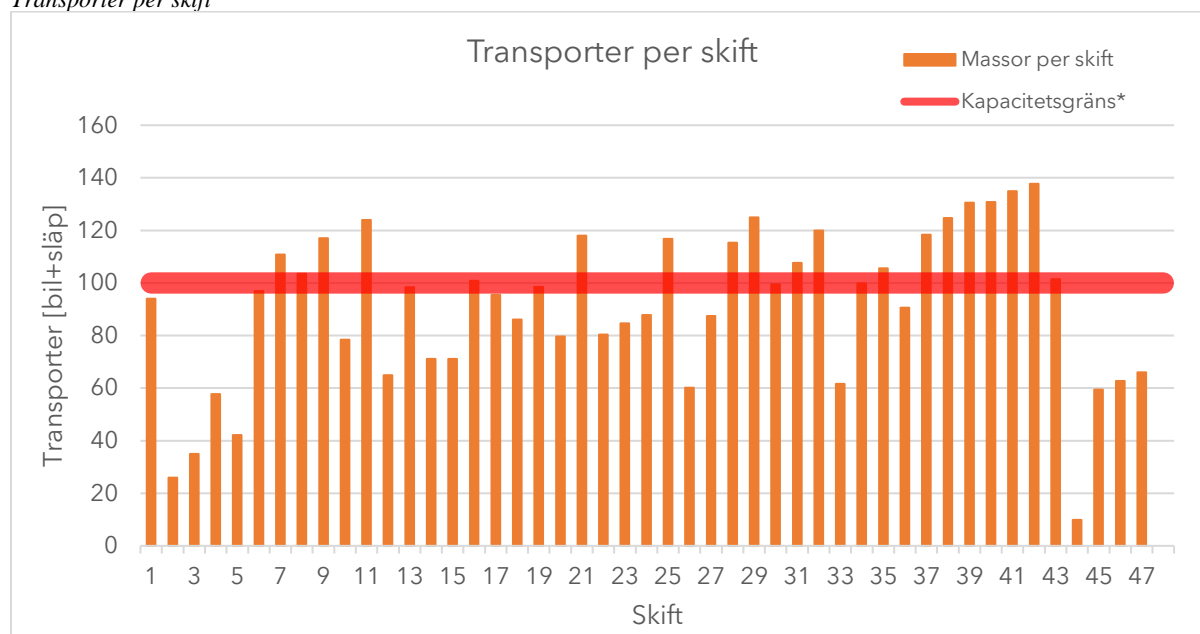
*Kommentar. Schaktmassor som förväntas uppstå vid varje skift. Orange linje markerar garanterad kapacitet hos en mottagningsanläggning (1800 ton/dag). Den röda linjen visar en ungefärlig övre gräns för en mottagningsanläggning (ca 2200 ton/dag).*

Massorna som uppstår vid varje skift kan likställas med massorna som uppstår vid en dag, då dessa visualiseringar är baserade på 10-timmarsskift. I figur 9 finns två markeringar som är viktiga gränser att förhålla sig till. Den orangea linjen markerar den garanterade kapaciteten för en mottagningsanläggning, vilket är 1800 ton/dag. Den övre linjen i rött markerar en ungefärlig övre gräns för det som mottagningsanläggningen klarar av, vilket är cirka 2200 ton/dag. Dessa värden är väldigt viktiga att förhålla sig till eftersom detta kan ge upphov till ”flaskhalsar” hos mottagningsanläggningarna. Man kan direkt notera att det kommer att krävas tillgång till mer än en mottagningsanläggning under stora delar av projektet.

En annan viktig aspekt till detta är transportererna som kommer att krävas för att transportera massorna från projektet till mottagningsanläggningarna. Efter samråd med handledare bestämdes att en kapacitet på 35 ton/transport (bil+släp) skulle användas i beräkningarna, då detta är en vanlig kapacitet för denna typ av transporter (Claesson, 2022). Antalet transporter för varje skift visas i figur 10.

**Figur 10.**

Transporter per skift

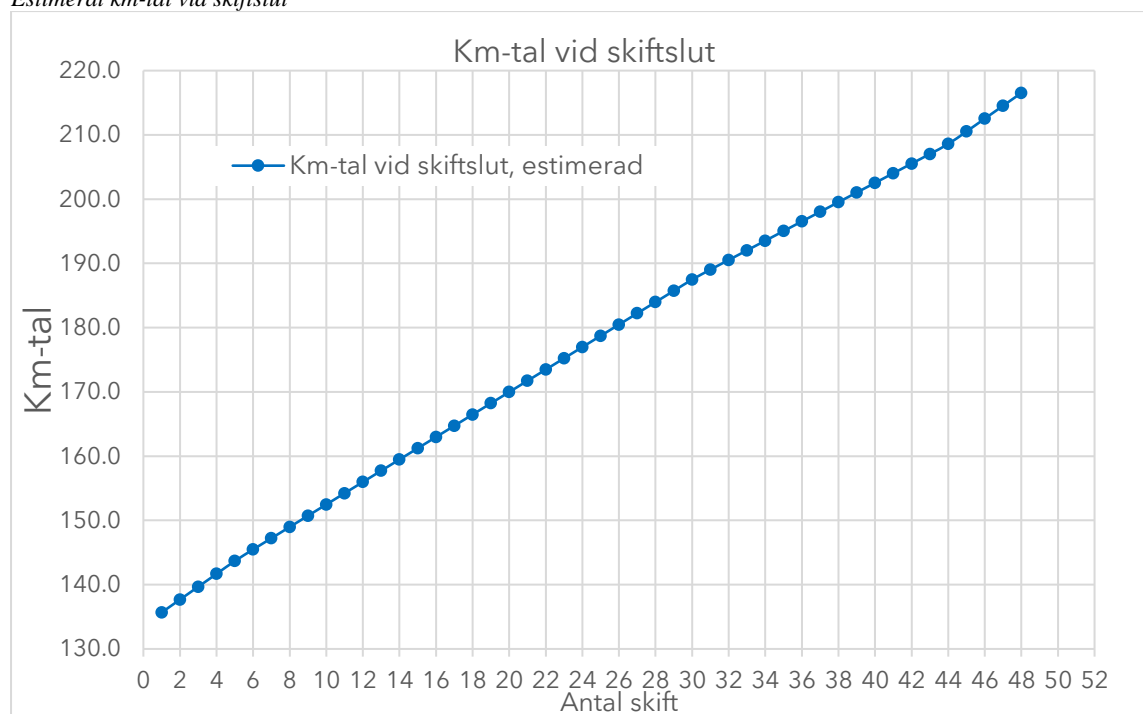


Kommentar. Transporter som kommer att krävas för varje skift med kapacitetsgräns för en mottagningsanläggning i rött.

Eftersom man har en estimerad produktionstakt och vet hur många skift som krävs för att genomföra arbetet, kan man ta fram ett diagram som visar vid vilket km-tal man förväntas vara vid på slutet av varje skift, se figur 11.

**Figur 11.**

Estimerat km-tal vid skiftslut

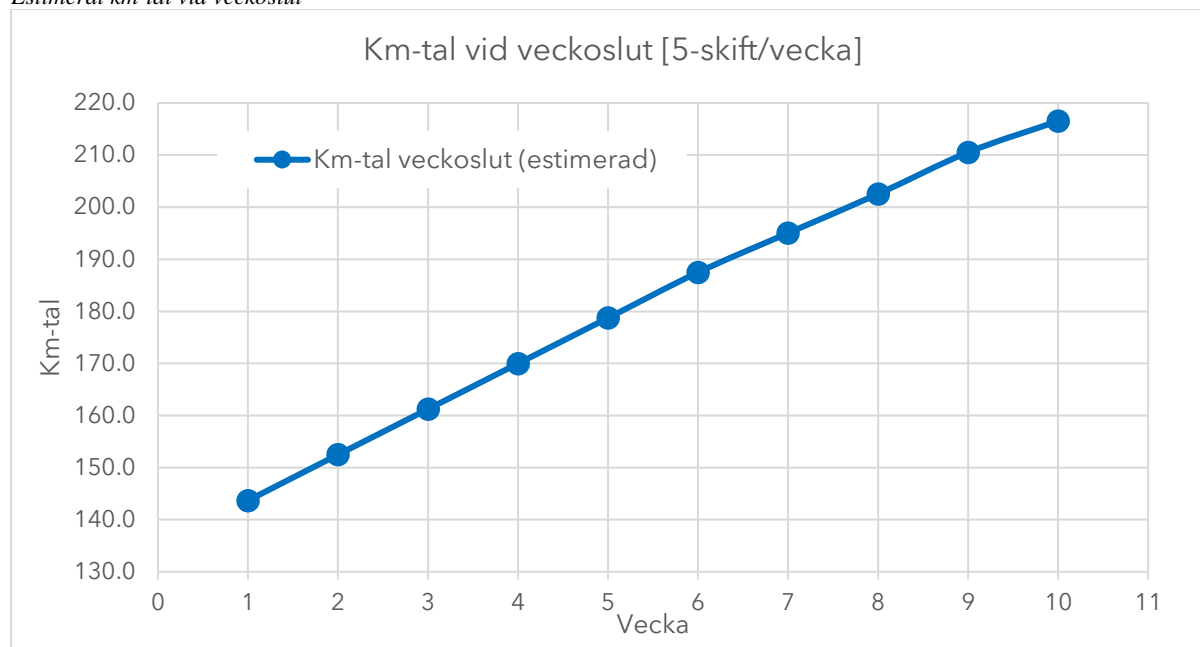


Kommentar. Uppskattat km-tal vid skiftslut. Varje punkt kan kopplas till ett skift i x-axeln, och på y-axeln kan man läsa av vid vilket km-tal man förväntas vara vid slutet av skiftet.

Detta kan göras på liknande sätt för andra tidsspann. I figur 12 nedan visas hur det skulle kunna se ut om man i stället tittar var man förväntas vara vid varje veckoslut. Här har man antagit att en arbetsvecka innefattar fem skift. Man skulle även kunna använda detta nyckeltal i produktion och på så sätt kunna jämföra den estimerade platsen med den verkliga.

**Figur 12.**

*Estimerat km-tal vid veckoslut*



*Kommentar. Uppskattat km-tal vid veckoslut. Varje punkt kan kopplas till en vecka i x-axeln, och på y-axeln kan man läsa av vid vilket km-tal man förväntas vara vid slutet av veckan.*

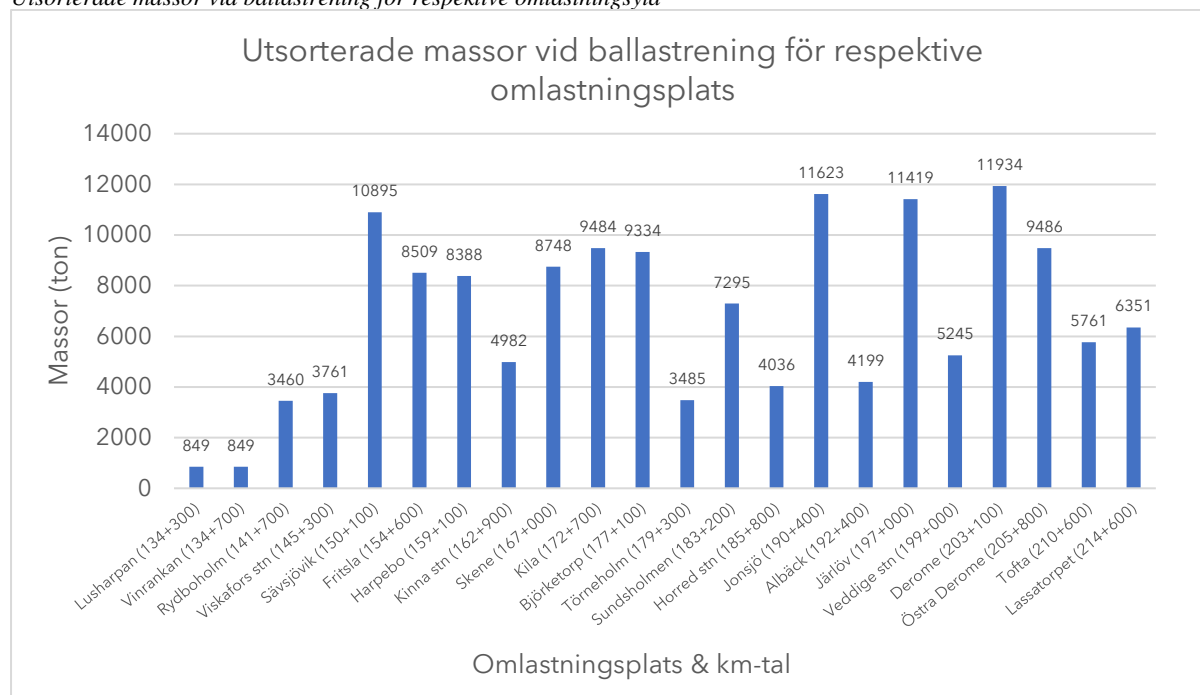
## 5.5 Omlastningsytor

Omlastningsytornas placering är en viktig faktor som bör planeras väl i ett tidigt skede. Det är viktigt att avstånden mellan omlastningsytorna och storleken på dem kan hantera de massor som förväntas uppstå. I denna rapport har platserna för omlastningsytorna valts enligt entreprenörens PM om etableringsytor, med totalt 22 platser (Trafikverket, 2021b). Storleken på dessa ytor har dimensionerats utifrån mängden massor som kommer hanteras på platsen samt inom vilken tidsram de uppkommer, och varierar därmed beroende på placering längs sträckan. Genom att studera figur 3 med schaktmassorna för varje km-tal och platserna för de planerade omlastningsytorna kan massorna som totalt sett kommer att hanteras på varje yta tas fram.

I figur 13 nedan presenteras de utgående massorna som kommer hanteras för respektive omlastningsyta, dessa massor i kombination med produktionstakten ligger till grund för dimensioneringen av arean för respektive yta.

**Figur 13.**

*Utsorterade massor vid ballastrening för respektive omlastningsyta*

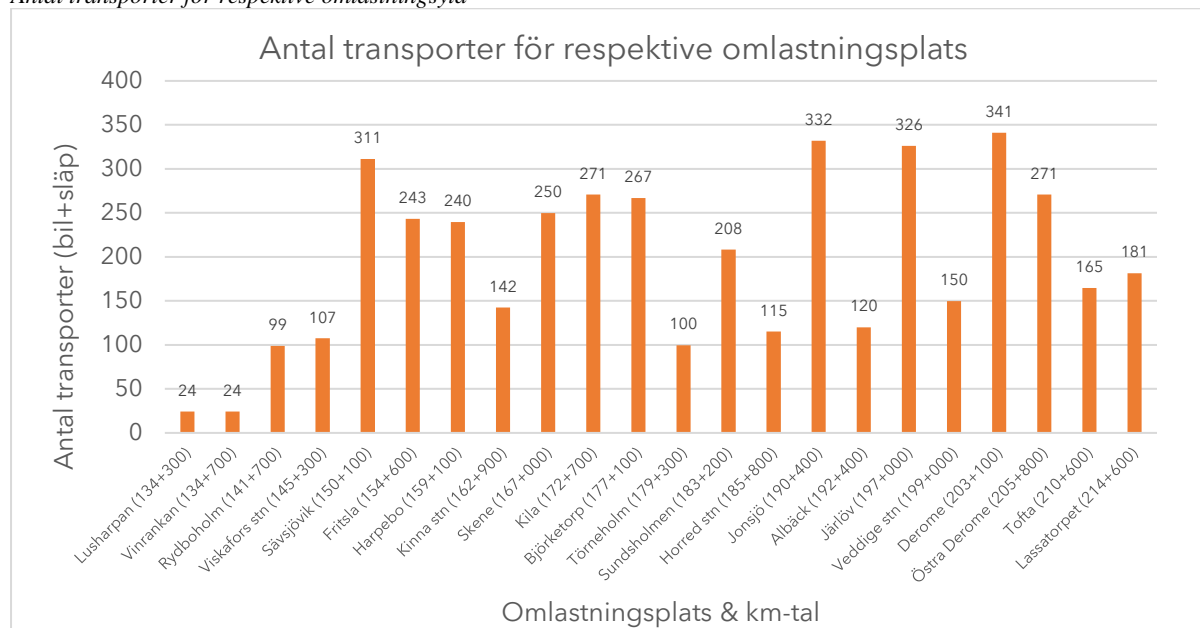


*Kommentar. Utgående massor från ballastrening för respektive omlastningsplats.*

En annan viktig aspekt att titta på är även hur många transporter som kommer krävas för att transportera massorna. Med samma antagande som tidigare om en kapacitet för bil+släp på 35 ton/transport fås figur 14 nedan som visar hur många transporter som totalt kommer krävas för att transportera alla massor som hanteras vid varje omlastningsyta.

**Figur 14.**

*Antal transporter för respektive omlastningsyta*



*Kommentar. Antal transporter som kommer att krävas för att transportera bort de massor som hanteras vid varje omlastningsyta. Antagande görs om kapacitet på 35 ton/transport.*

Vid dimensionering av ytorna tas det hänsyn till bland annat bottenarea på högarna, rasvinklar, svällfaktor samt buffertkapacitet. Genom att anta en höjd för högarna på 6 meter och en rasvinkel på ca 18 grader (1:3), fås en bottenarea på 1022 m<sup>2</sup> per hög samt en vikt på 2812 ton/hög. På ytorna måste man även ha i åtanke att det krävs plats för att kunna arbeta när man exempelvis behöver flytta massor. Efter samråd med handledare väljs en nyttjandegrad på 60 % (Winterås & Claesson, 2022). I verkligheten varierar denna nyttjandegrad då man kan ha olika många in- och utfartplatser för varje omlastningsyta. Man slipper då kanske plats för vändradie och kan ha en högre nyttjandegrad.

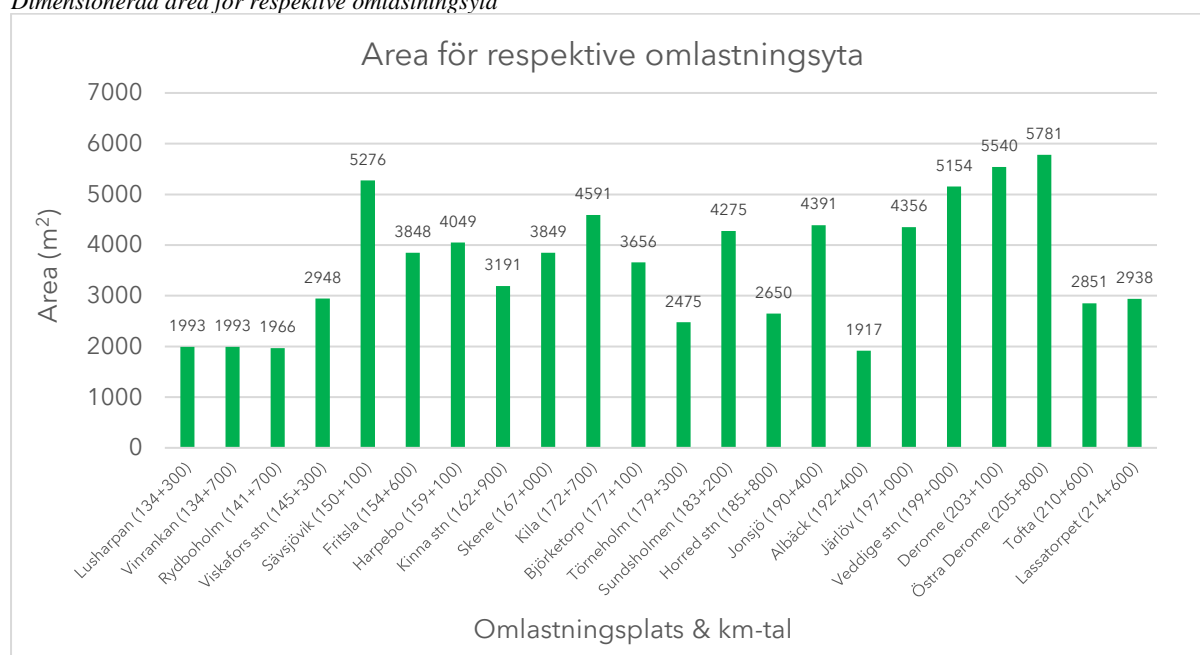
Genom att titta på vilka skift som bidrar till vilka omlastningsytor, se bilaga 3, kan man avgöra vilket skift som kommer att ge mest upphov till massor på ytan. Man tänker sig att transporterna av massorna sker *just in time*, alltså att massorna som plockas upp vid ett skift inte ligger kvar när nästa skift börjar. I verkligheten är det dessvärre inte så, och massor kan ligga kvar på en omlastningsyta och ta upp plats när nästa skift börjar. För att ta hänsyn till detta dimensioneras ytan efter de två ”största” skiften (de som ger mest massor). Först räknas massorna per skift om till högar per skift, efter de standardvärden som presenteras i stycket ovan. Antalet högar för de två största skiften adderas och en bottenarea för dessa högar räknas fram. Detta delas sedan med nyttjandegraden på 60 % för att få fram en slutgiltig area för omlastningsytan:

$$\text{Dimensionerande area} = \frac{\text{Bottenarea för antal högar för de två största skiften [m}^2]}{\text{Nyttjande grad [-]}} \quad [\text{m}^2]$$

Genom att räkna på detta sätt klarar varje omlastningsyta att ta hand om alla massor för det största skiftet och har även en buffert på minst ett skift. Resultaten av beräkningarna för alla omlastningsytor presenteras i figur 15 nedan. Det bör understrykas att denna dimensionering endast är utförd ur ett logistiskt perspektiv, och tar alltså inte hänsyn till de geotekniska egenskaperna i området. För att säkerställa bygghänsynen på platserna krävs vidare geotekniska undersökningar.

**Figur 15.**

*Dimensionerad area för respektive omlastningsyta*



*Kommentar. Beräknad area för respektive omlastningsplats med hänsyn till utgående massor.*

Vid dimensioneringen av dessa platser är det viktigt att inte endast undersöka mängden massor som hanteras utan även under hur långt tid det sker. Vid jämförelse av figur 13 och figur 15 ovan framgår det att till exempel omlastningsplatserna Derome samt Östra Derome kräver ungefär lika stor yta, trots att Derome kommer hantera näst intill dubbelt så mycket massor. Detta beror på att massorna som hanteras vid Östra Derome hanteras under ett kortare tidsintervall och kräver därav lika stor yta. Detta innebär att den planerade produktionstakten även ligger till grund för dimensioneringen av omlastningsytorna.

En felmarginal är förväntad då dimensioneringen är delvis uppbyggd av den estimerade produktionstakten. Detta innebär att den verkliga ytan som krävs med stor sannolikhet kommer skilja sig från den dimensionerande ytan då den exakta produktionstakten är svår att uppskatta.

Om ytorna är inkorrekt dimensionerande eller om de överlastas av produktionsarbetare kan det leda till stora konsekvenser. Nedan i figur 16 visas ett exempel på vad som kan ske om det läggs för mycket massor på en omlastningsplats.

**Figur 16.**



*Kommentar. Överlastad omlastningsplats vid Östra Derome.*

Bilden är tagen på ett platsbesök vid Östra Derome där omlastningsplatsen var överlastad och sjönk ihop över en natt. Den högra sidan har sjunkit ner och därmed tryckt upp den vänstra sidan av ytan. En sådan incident har betydande ekonomiska konsekvenser då det kräver återställningsarbete, utökad period av markhyra till markägaren samt eventuella böter. Denna incident illustrerar även riskerna med att placera omlastningsplatser i så nära anslutning till spåret: om marken till höger om gropen hade tryckts upp i stället hade det krävts ännu mer betydande och kostsamt arbete för att korrigera misstaget.

## 5.6 Invasiva arter

En annan viktig faktor vid anläggningsprojekt är hanteringen av invasiva arter längs sträckan. Invasiva arter får inte spridas och ger vanligtvis inte upphov till så stora massor. Trots det är det viktigt att ha inventerat området för projektet så att man i förväg kan lägga upp en plan för hur dessa växter ska hanteras. Detta är en faktor som lätt kan leda till förseningar om man

upptäcker invasiva arter under produktionen. När det gäller invasiva arter studeras inte några nyckeltal, utan endast platserna för var de förekommer.

I det aktuella projektet förekommer flertalet invasiva arter längsmed sträckan: kanadensiskt gullris, blomsterlupin, jätteloka samt parkslide. Då förhållningssättet till invasiva arter vid infrastrukturprojekt är under diskussion och finns det inte något färdigt tillvägagångssätt för hur de ska hanteras. Det skiljer sig beroende på art hur man har valt att hantera massorna. Enligt Trafikverket (2019b) anses det inte vara ekonomiskt försvarbart att göra några särskilda insatser mot kanadensiskt gullris då det finns i stora partier av sträckan. Man rekommenderar att en inventering av de tre övriga arterna görs innan entreprenaden påbörjas.

I Trafikverkets masshanteringsplan belyser man hur man ska se på massor innehållande invasiva arter: *”Massor med förekomst av invasiva arter får ej återföras området och säkerhetsåtgärder ska vidtas för att förhindra spridning av arterna via frön eller rotdeklar vid hantering, transport och omhändertagande av massor ska vidtas”* (Trafikverket, 2019b, s.16). Trafikverkets främsta mål är att inte sprida de invasiva arterna vidare, men då det i fallet med exempelvis parkslide saknas nationell kunskap kring hantering och bekämpning av arten väljer man att lämna dessa massor där de uppkommit, se figur 17. Detta görs i samråd med Länsstyrelsen som måste godkänna hanteringen.

**Figur 17.**

*Jordhög innehållande parkslide*

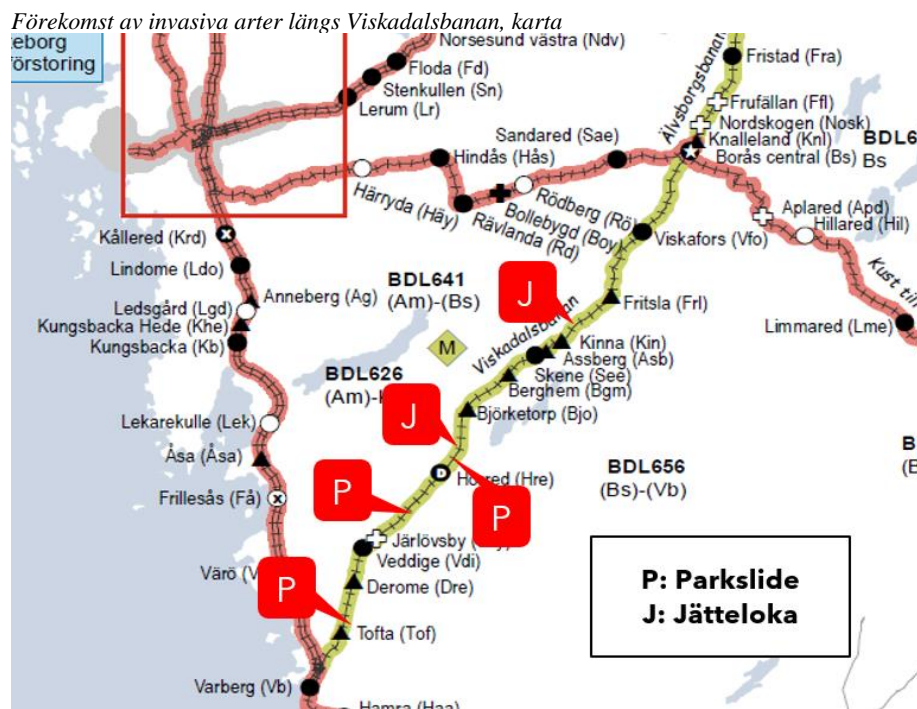


*Kommentar. En jordhög innehållande parkslide som lämnats intill järnvägsbanken vid Järlöv.*

I denna rapport behandlas endast parkslide och jätteloka eftersom de är de mest frekvent förekommande invasiverna i projektet. Figuren 18 och 19 nedan visar var dessa invasiva arter förekommer längs sträckan. Invasiverna förväntas inte bidra till de tidskritiska skedena i projektet.



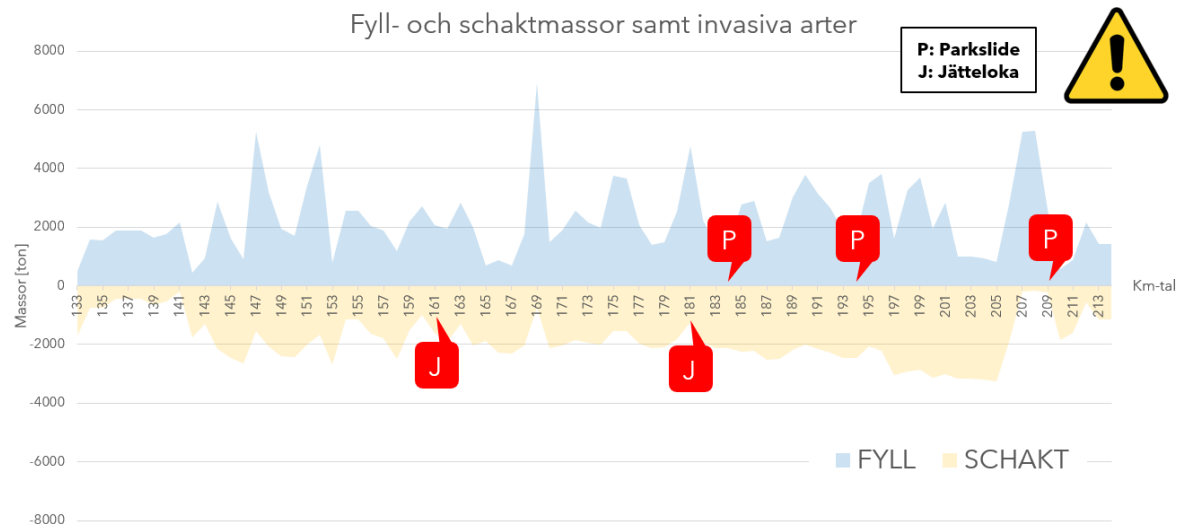
Figur 18.



Kommentar. Översiktlig karta över Viskadalsbanan mellan Borås och Varberg. Platser där de invasiva arterna parkslide och jätteloka förekommer markeras med röda rutor. Kartbild från Trafikverket.

Figur 19.

Förekomst av invasiva arter längs Viskadalsbanan, km-tal med fyll- och schaktmassor



Kommentar. Förekomst av de invasiva arterna parkslide och jätteloka utmarkerade med röda rutor vid km-tal. Fyll- och schaktmassor finns med i bakgrunden.

## 5.7 Identifiering av tidskritiska skeden

Målet med de föreslagna visualiseringarna är att de ska ge information som kan hjälpa till att identifiera de tidskritiska skedena i projektet. Målet med att identifiera dessa är att kunna förbereda sig för de sträckor som kräver extra arbete. På dessa delar krävs noggrann och tidig

planering för att kunna hålla tidplanen, undvika förseningar och således ytterligare kostnader för projektet. Att bestämma dessa skeden kan vara komplext, då problem kan uppstå på olika steg i masshanteringsprocessen.

Genom att studera figur 7 med estimerad produktionstakt får man direkt en idé om vilka delar av projektet där arbetet kommer att gå långsammare, på grund av hantering av särskilt stora massor. Andra aspekter i projektet planeras dessutom efter produktionstakten. Mer konkret ser man att sträckan mellan km-tal 186-207 är en sträcka där stora mängder massor behöver hanteras jämfört med resten av sträckan. Detta innebär, som figur 7 visar, en sänkt produktionstakt och innebär att omlastningsytorna vid den sträckan måste planeras väl på grund av de stora massorna som förväntas hanteras där. Förseningar i transportererna på en sådan massintensiv sträcka kan leda till att det blir trångt på omlastningsytorna eftersom man har flera stora, massintensiva kilometer efter varandra, vilket kan ses i figur 7.

De första och sista kilometrarna, benämnda Etapp 1 och Etapp 4 i figur 8, är mindre intensiva sträckor där ett högre tempo kan hållas på ballastrenaren. Den långa sträckan som kallas Etapp 2 har ett varierande uttag av massor per km-tal och därför kan ett ”medeltempo” hållas på 175 m/h. Med denna information kan man dra slutsatsen att det som kallas Etapp 3 är den mest massintensiva sträckan med avseende produktionstakt, det vill säga den sträckan som har mest utgående massor per skift. På denna sträcka kommer noggrann planering krävas för att säkerställa att masshanteringen kan genomföras enligt planeringen.

Arbetet som sker vid varje enskilt skift är också viktigt att studera, eftersom det ger en idé om hur lång tid projektet förväntas ta, samt om eventuella kapacitetsproblem uppstår. Massorna per skift är ett av de viktigaste nyckeltalen i rapporten eftersom det kan kopplas till mottagningsanläggningarnas förmåga att hantera massorna. Det framgår tydligt i figur 9 att man under stora delar av projektet kommer att ta upp mer massor per skift än vad en enskild mottagningsanläggning klarar av. Detta innebär att man i ett tidigt skede måste etablera en dialog med mottagningsanläggningarna och säkerställa att de kan hantera massorna. Om man inte gör det finns det risk att man hamnar i en situation där anläggningarna inte kan ta emot mer massor, vilket leder till att transportererna måste minskas, omlastningsytorna blir fulla och produktionstakten måste sänkas. En flaskhals kan alltså uppstå vid mottagningsanläggningarna, trots att omlastningsytorna kanske är välplanerade och väldimensionerade.

Grafen för antalet transporter per skift, figur 10, följer samma mönster som massor per skift, men kan ge indikationer på en annan flaskhals. Antalet transportfordon är naturligtvis inte obegränsad, och då man på en bra dag hinner med ca 10 laster i timmen, går kapacitetsgränsen någonstans vid 100 laster per skift, enligt delprojektledare för projektet (Winterås, 2022). I figur 10 ser man att denna gräns passeras för flera skift. Detta innebär alltså att en flaskhals skulle kunna uppstå på grund av transportererna, trots att man dimensionerat omlastningsytorna väl och säkerställt att mottagningsanläggningarna kan hantera massorna. Rent konkret är det samma sträcka som nämns tidigare, Etapp 3, som är den mest kritiska, då man har flera massintensiva skift efter varandra.

Omlastningsytorna utgör också en väldigt viktig del av planeringsprocessen eftersom avståndet mellan dem och storleken på dem har väldigt stor påverkan på möjligheten att hantera massorna. Figur 13 och 14 som anger massor och transporter per omlastningsyta kan ge en idé om vilka ytor som kommer användas mest med avseende på massor och transporter. Där ser man att tre särskilt stora omlastningsytor förväntas inom Etapp 3, vilket kräver noggrann planering på den sträckan. Man kan däremot inte dra några direkta slutsatser om vilka ytor som

blir mest kritiska, eftersom man inte intuitivt ser avståndet mellan ytorna eller om de måste ta hand om särskilt massintensiva skift.

Dimensioneringen av omlastningsytorna tar hänsyn till dessa två aspekter, och utgör ett av de viktigaste nyckeltalen i rapporten. Detta eftersom det är här man kan bestämma hur stor buffert man vill ha. Återigen framstår etapp 3 som särskilt utmanande eftersom omlastningsytorna vid Veddice station, Derome och Östra Derome är tre av de största i hela projektet. De kommer dessutom direkt efter varandra vilket innebär att denna del utgör ett särskilt tidskritiskt skede, på grund av risken för kapacitetsbrist.

Klassificeringen av massorna har också en påverkan på tidskritiska skeden, eftersom massornas egenskaper avgör vilka mottagningsanläggningar som kan ta emot massorna. I denna rapport studeras inte denna aspekt, utan endast hur stor andel av massorna som kan utgöra en resurs.

Sammanfattningsvis identifieras sträckan mellan kilometertal 186 - 207 (etapp 3) som mest tidskritisk i projektet. Det framgår tydligt genom de olika visualiseringarna att denna sträcka kommer behöva hantera stora massor kontinuerligt. Detta innebär stora omlastningsytor, mycket transporter och hög belastning på mottagningsanläggningar. Etapp 2 innehåller också sträckor som kommer behöva hantera stora massor, men de kommer inte efter varandra på samma sätt som i Etapp 3, och utgör därför inte lika allvarliga tidskritiska skeden.

## 6. Diskussion

De tidskritiska skedena i projektet utgör ett problem för entreprenören och måste hanteras med hjälp av olika åtgärder. Den planerade produktionstakten spelar en viktig roll i detta, och måste följas så att man håller sig till den givna tidsramen och budgeten. Produktionstakten beror på ballastrenarens kapacitet, som beror på massornas kornstorleksfördelning, och utgör därav en grund för andra viktiga nyckeltal. Detta innebär att man inte bör införa åtgärder som påverkar produktionstakten, utan på andra delar av masshanteringsprocessen.

Ett sätt att hantera de tidskritiska skedena är att se över platserna för omlastningsytorna. I denna rapport valdes som sagt entreprenörens platser för ytorna. Detta gjordes som ett antagande för att kunna förankra analysen i verkligheten. Valet av plats för en omlastningsyta kan vara svårt, eftersom det i vissa områden kan vara svårt att få tag på mark att hyra. Marken måste även ha lämpliga geotekniska egenskaper, vilket inte tas hänsyn till i denna rapport. Genom att ta entreprenörens platser förutses ytorna vara lämpliga och tillgängliga, vilket gör analysen mer relevant. På vissa delar av sträckan, särskilt vid etapp 3, ser man att omlastningsytorna ligger på gränsen för att klara schaktmassorna.

I etapp 3 som utgör ett tidskritiskt skede skulle man exempelvis kanske vilja lägga omlastningsytorna tätare eller öka buffertkapaciteten (arean), för att undvika att ytorna fylls upp. Genom att samtidigt använda fler fordon och se till att mottagningsanläggningarna kan hantera massorna, kan man minimera risken för förseningar. I teorin skulle detta fungera väl, men det är inte säkert att man i verkligheten kan få tag på lämpliga ytor. Utöver detta kan man även arbeta flera och längre skift för att hinna genomföra arbetet inom den satta tidsramen.

Här beskrivs endast åtgärder som kan behövas utifrån resultaten i denna rapport. I verkligheten kan problem uppstå om produktionstakten förändras på grund av att man stöter på kablar eller liknande i marken. En sänkt produktionstakt påverkar resten av processen tidsmässigt, eftersom planeringen av transporter och mottagning av massorna görs efter produktionstakten. Problem som dessa kan vara svåra att förutse och är svåra att ta höjd för i projektet. Däremot ger god planering och utökade buffertar bättre marginaler att hinna med i projektet om sådana problem skulle uppstå.

### 6.1 Begränsningar i analysen

De nyckeltal som har att göra med skiften, *massor per skift* och *transporter per skift*, är två viktiga nyckeltal som kan visa om det finns risk för kapacitetsproblem vid transporterna och/eller mottagningsanläggningarna. Skiftindelningen har däremot en relativt stor felmarginal, eftersom indelningen i skift som tidigare nämnt är baserad på en estimerad produktionstakt. Denna estimerade produktionstakt är framtagen med erfarenhetsmässiga värden givna av delprojektledare för projektet (Winterås, 2022). Skulle det visa sig att man måste sänka produktionstakten resulterar det i fler, men mindre massintensiva, skift. Det skulle ge mindre massor per skift, men stora logistiska problem.

Utöver AMA:s materialklassning finns ytterligare parametrar som kan användas som underlag för att klassa massorna. Man skulle exempelvis kunna studera kornstorlek och sensitivitet. För att utreda dessa skulle ytterligare provtagningar krävas.

Visionen för framtiden är att en utgående massa med en säkerställd kvalitet både ur ett hälso- och miljöperspektiv men också ur ett byggtekniskt perspektiv samt en säkerställd avsättning ska kunna klassas som en resurs.

Vid dimensioneringen av omlastningsytorna togs både storleken på massorna och skiften som de hanteras i beaktning. Genom att grunda dimensioneringarna på dessa parametrar säkerställs ytans kapacitet att hantera massorna.

Metoden som används för att beräkna omlastningsytornas area är väldigt förenklad och stämmer endast delvis överens med verkligheten. I metoden antogs alla massor staplas på homogena högar som var konformade och 6 meter höga med en rasvinkel på 1:3. Detta gjordes för att underlätta dimensionering och inte behöva ta hänsyn till uppdelningen av masstyper mellan högar. I verkligheten kan ett större antal högar behövas på grund av massor med olika föroreningsgrad, vilket påverkar arean. Standardstorlek på högarna kan också variera, både i höjd och rasvinkel, dels för att olika material har olika egenskaper, men även för att olika omlastningsytor har olika geotekniska egenskaper. På vissa platser kan exempelvis högarnas höjd begränsas till maximalt 4 meter, om egenskaperna i marken under inte tillåter mer än så. Dessa typer av begränsningar måste avgöras med hjälp av geotekniska utredningar på de olika platserna.

## 6.2 Metodiken som stöd i projekteringsskedet

Detta sätt att analysera masshantering, med olika nyckeltal, kan vara ett användbart verktyg i tidig projektering vid spårbytesprojekt. Utifrån den information som redan idag tas fram i en masshanteringsplan, kan nyckeltalen tas fram och analyseras som i denna rapport. Detta kan ge en tydlig bild tidigt i projekteringen på vilka sträckor som riskerar att bli särskilt problematiska på grund av stora massor och allt som det leder till. Man kan då förbereda sig på det innan man bestämmer plats och storlek på omlastningsytorna, och på så sätt undvika onödiga förseningar när man redan kommit i gång med projektet. Metodiken syftar till en mer välutvecklad visualisering av masshanteringen, vilket kan göra masshanteringsplanerna mer utförliga. Detta är av intresse för både Trafikverket och entreprenörer eftersom visualiseringen så ger mer information och missförstånd kan således undvikas.

Metodiken som beskrivs i denna rapport bygger på en linjär arbetsgång, med en start- och en slutpunkt, där man har ett antal utgående massor som sker vid en plats (km-tal). I andra liknande projekt där man arbetar med järnvägsspår skulle samma metodik förmodligen fungera väl. Arbetssättet skulle eventuellt även kunna fungera ganska bra vid vägprojekt där man arbetar någorlunda linjärt.

## 6.3 Säkerställd avsättning och resursmassor

Masshantering vid stora infrastrukturprojekt innebär stora logistiska utmaningar, eftersom massorna måste hanteras som avfall. Genom att klassificera massorna utifrån miljötekniska egenskaper och teknisk byggbarhet kan man säkerställa att delar av de utgående massorna kan ses som en användbar resurs. I figur 6 visas vilka massor som i detta projekt kan klassas som resurser och var de uppkommer längs sträckan. För att man ska kunna klassa dessa massor som en resurs måste man först säkerställa ett användningsområde inom en rimlig tidsrymd, detta innebär att verksamhetsutövaren behöver visa att det finns ett behov, en marknad samt en efterfrågan på massorna i fråga (Naturvårdsverket, 2022). Det är viktigt att notera att man i detta projekt antagit att alla utgående massor kan ses som en resurs utifrån klassningen för teknisk byggbarhet. Analysen av resursmassor i detta projekt är därmed endast grovt uppskattad och ger inte en verklig bild av hur mycket som kan ses som resurs.

Att identifiera resursmassor i ett projekt sparar både pengar och är bra ur ett miljöperspektiv. Om massorna som hanteras i projekt kan återanvändas för till exempel vägbreddning i stället

för deponi innebär det en mer effektiv resursanvändning. Åtgärder och arbetssätt som detta är viktiga i stora infrastrukturprojekt, där stora mängder material och resurser används.

#### 6.4 Framtida arbete och utveckling

Då ett välgjort bakgrundsarbete kring masshantering är något som minimerar riskerna för förseningar och således extra kostnader vid infrastrukturprojekt är det av stort intresse att utveckla arbetet vidare. I projekt likt detta är potentialen för dessa typer av visualiseringar enorm, då det finns utrymme för fortsatt utveckling och anpassning i modellerna.

Då visualisering utav masshantering inte är en central del utav planeringen i nuläget borde de mest grundläggande delarna av denna rapport vara av värde. Figur 3 där fyll- och schaktmassor per kilometertal redovisas ger en överblick av sträckan och det kan redan då vara möjligt att identifiera vilka områden på sträckan som kommer att vara problematiska. Då intervallen som massorna delas in efter i Trafikverkets masshanteringsplan är så pass varierande i storlek leder det till att en klar överblick av sträckan inte presenteras och tabellen kan bli missvisande (Trafikverket, 2019b). En visualisering likt figur 3 är ett väldigt simpelt sätt att tillgodose det behovet.

En central del utav det fortsatta arbetet bör vara återkoppling där man tar lärdom utav tidigare projekt och erfarenheter. Även här anses det vara gynnsamt att använda visualisering av faktorer som produktionstakt som ett verktyg för analys. Detta kan göras när projektet är avslutat för att få en överblick om vilka delar som fungerade bra och vart det finns potential för utveckling. Visualiseringen kan också användas under projektets gång för att på ett enkelt sätt kunna uppskatta hur man ligger till och hur projektet bör fortgå. Ett utmärkt tillfälle att erfarenhetsåterkoppla är vid estimering utav produktionstakt då man kan göra en återblick på tidigare projekt med liknande förutsättningar.

I samråd med aktörer från Trafikverket har en metodik kring estimering utav produktionstakt tagits fram (Claesson, 2022). Tanken är att man i samband med genomförandet av siktanalysen tar bilder på spåret vid varje kilometer, se figur 20. Bilderna visar hur materialet under spåret ser ut, och ger en indikation om det är grov- eller finkornigt. Dessa bilder analyseras sedan av Trafikverket där erfarenhet kring spårbyte och ballastrening finns för att kunna få en tydligare bild av förhållandena kring spåret. För varje kilometer som avverkas under projektet görs en uppföljning där man dokumenterar den verkliga produktionstakten och eventuella kommentarer. På så sätt kan man erfarenhetsåterkoppla till nya projekt med liknande förutsättningar och göra bättre estimeringar. Något liknande görs inte idag och man förlorar därmed tid och resurser på att behöva starta om för varje nytt projekt som påbörjas.

**Figur 20.**

*Metodik för estimering av produktionstakt*

Km-tal	Bild	Estimerad produktionstakt [m/skift]	Verklig produktionstakt [m/skift]
201		1500	
159		1750	
135		2000	

*Kommentar. Metodik framtagen med aktörer från Trafikverket för att erfarenhetsmässigt estimeras en produktionstakt (Claesson, 2022).*

Metoden som beskrivs ovan där bilder tas vid varje kilometertal är ett enkelt men värdefullt sätt att erfarenhetsåterkoppla och skulle kunna vara ett första steg i rätt riktning. Bara detta moment kan vara till stor hjälp i framtida projekt då det inte görs något liknande alls i nuläget. Att sedan följa upp bilderna med den verkliga produktionstakten på sträckan gör att man har konkreta erfarenheter att luta sig tillbaka mot och slipper att börja processen på nytt vid varje projekt.

Bakgrundsinformationen till de visualiseringar som gjorts i denna rapport är endast den information som hämtats från bilaga 1 och siktanalysen i masshanteringsplanen (Trafikverket, 2019b). Trots denna begränsade information har tidskritiska skeden identifierats vilket indikerar en stor potential hos visualiseringarna och analyserna bör kunna utföras med en större säkerhet om det finns tillgång till en större mängd data. Vid framtida arbete bör även ytterligare provtagningar kunna genomföras för att kunna addera ytterligare faktorer till visualiseringen. Ett exempel på utvecklingsområde är de siktanalyser som genomförs för varje kilometertal i dagsläget. Här anses det vara fördelaktigt att ytterligare analysera finmaterialets kornstorleksfördelning för att på så sätt kunna klassificera massorna enligt AMA på ett precist sätt. Det blir med vidare provtagning möjligt att ta fram ytterligare egenskaper hos massorna som till exempel sensitivitet eller kulkvarnsvärde utefter vad som anses lämpligt beroende på projekt.

Vid klassning utav massor hade branschen gynnats utav en standardiserad metod som underlättar i arbetet kring att återanvända massorna. Även inom detta område bör återkoppling vara en del utav arbetet då man kan se vilka typer utav massor som uppkommit och hur de har hanterats tidigare. En analys utav möjliga återanvändningsområden för massor vid aktuellt projekt anses även vara gynnsamt. Om återanvändningsområdet redan är känt blir valet kring vilka byggtekniska parametrar man väljer att utvärdera simplare.

Under projektets gång har en del problem uppkommit kring omlastningsytorna med avseende på över/under-dimensionering samt placering. Omlastningsytornas dimensionering och placeringen bestäms mycket utifrån erfarenhet och bearbetas på olika sätt hos olika entreprenörer där ytorna vanligtvis placeras med ett avstånd på ca 5 km. Vid dimensioneringen av ytornas area tas det sällan hänsyn till inom vilket tidsspänn som massorna hanteras, detta kan leda till stora problem då ytor som hanterar en stor mängd massor inte nödvändigtvis kräver en stor yta och vice versa. Ett exempel på detta återfinns i kap. 4.5 där två omlastningsytor (Derome och Östra Derome) gav upphov till lika stor area, även fast den ena platsen hanterar näst intill dubbelt så mycket massor som den andra.

Genom att ta hänsyn till tidsaspekten vid dimensioneringen av omlastningsytorna i framtida arbeten kan riskerna som uppkommer med en underdimensionerad yta undvikas, samt de extra kostnaderna som uppkommer vid en överdimensionerad yta besparas.

## 6.5 Slutsatser

Att i ett tidigt skede identifiera tidskritiska skeden i ett projekt är komplext då många olika parametrar spelar roll. Genom att ta fram relevanta nyckeltal och visualisera dessa kan man få en relativt genomgående förståelse för hur projektets massor bör hanteras. Olika antaganden måste göras för att ta fram nyckeltalen som visualiseringarna bygger på. Det är gynnsamt att använda kunskap från tidigare projekt för att minimera felmarginerna i antagandena. Utifrån visualiseringarna är etapp 3 (km-tal 186 - 207) i projektet mest tidskritiskt, på grund av att sträckan är massintensiv och kräver omfattande planering av omlastningsytor och transporter.

Klassificeringen av massorna har stor potential och kan bidra till högre grad av cirkularitet genom återanvändning av massor. Vidare utveckling krävs för att kunna klassificera massorna på ett mer standardiserat och lättillgängligt sätt. I det studerade projektet kan man inte förlita sig på andelen av massorna som kan ses som en resurs, eftersom övergripande antaganden har gjorts om massornas tekniska byggbarhet och avsättning.

Genom att identifiera tidskritiska skeden tidigt i projekteringen kan man undvika oförutsedda förseningar och kostnader i anläggningsprojekt i större utsträckning. Detta bidrar till ett mer hållbart och effektivt arbetssätt kring masshantering.



## Källförteckning

- Berggren, E. (2009). *Railway Track Stiffness - Dynamic Measurements and Evaluation for Efficient Maintenance*.
- Borga. (u.å.). *ALLMÄN MATERIAL- OCH ARBETS BESKRIVNING (AMA)*.  
<https://www.borga.se/faq/allman-material-och-arbetsbeskrivning-ama/>
- Boverket. (2021). *Transporter*.
- Claesson, J. (2022). *Personlig kommunikation*. 14/3/2022
- Edvardsson, K., & Hedström, R. (2015). *Bankonstruktionens egenskaper och deras påverkansgrad på nedbrytningen av spårfunktionen: Statens väg och transportforskningsinstitut, VTI*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A822399&dswid=9151>
- Järnväg.net. (u.å.). *Varberg - Borås, Viskadalsbanan*.  
<https://www.jarnvag.net/banguide/varberg-boras>
- Karlsson, M. (2012). *TDOK 2015:0198 Typsektioner för banan*.
- Länsstyrelsen Västra Götalands Län. (2018). *Hantering av massor - kort information om olika hanteringssätt*.  
<https://www.lansstyrelsen.se/download/18.3da1c377162bd90d9ee134f9/1528882614751/2016-55.pdf>
- Länsstyrelsen Västra Götalands Län. (2021). *Invasiva främmande arter*.  
<https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/djur/invasiva-frammande-arter.html>
- Miljödepartementet. (1998). *Miljöbalk (1998:808)*.  
<https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=1998:808>
- Miljödepartementet. (2001). *Förordning (2001:512) om deponering av avfall*.  
<https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=2001:512>
- Naturvårdsverket. (2009). *Riktvärden för förorenad mark*.  
<https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/5900/riktvarden-for-foro-renad-mark/>
- Naturvårdsverket. (2016). *Hantering av massor i infrastrukturprojekt*.  
<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/vagledning/avfall-och-kretslopp/atervinning-av-avfall-anlaggningsarbeten/vagledn-hantering-massor-infrastrukturproj.pdf>
- Naturvårdsverket. (2018). *Avfallsmängder i Sverige*.
- Naturvårdsverket. (2022a). *Invasiva främmande arter*.  
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/invasiva-frammande-arter/>
- Naturvårdsverket. (2022b). *Masshantering och användning av massor i anläggningsarbete*.  
<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/atervinning-av-avfall-i-anlaggningsarbeten/>
- Riksrevisionen. (2012). *Trafikverkets upphandling av vägar och järnvägar – leder den till hög produktivitet?* <https://data.riksdagen.se/fil/EB537564-E599-4F91-9224-AD0371D7C881>
- Sundvall, M. (2005). *Finjordsfläckar i överballast*. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1032402/FULLTEXT01.pdf>
- Svensk Byggtjänst. (2020). *AMA Anläggning 20*.
- Trafikverket. (2015). *Kontraktsanalys basunderhåll järnväg – slutrapport*. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1363571/FULLTEXT01.pdf>
- Trafikverket. (2018). *Så funkar ett spårbyte*.  
<https://www.youtube.com/watch?v=u0NmMb1lhxU>
- Trafikverket. (2019a). *Markteknisk undersökningsrapport*. 166014-12-081-4000.
- Trafikverket. (2019b). *PM Masshanteringsplan*. 166014-00-025-5000.

- Trafikverket. (2020). *Invasiva arter*. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Norrbotten/natur-och-kultur/invasiva-arter/>
- Trafikverket. (2021a). *Spår- och kontaktledningsbyte Borås-Varberg*. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/vi-bygger-och-forbatttrar/upprustning-och-modernisering-av-jarnvagen-i-borasområdet/spar--och-kontaktledningsbyte-boras-varberg/>
- Trafikverket. (2021b). *Spår- och kontaktledningsbyte Borås-Varberg*. 166014-01-025-656-133\_215-7001.
- Vägverket. (2008). *VV AMA Anläggning 07 Rev.1*. [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10822/RelatedFiles/2008\\_88\\_vv\\_anlaggning\\_ama\\_07\\_revidering\\_1.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10822/RelatedFiles/2008_88_vv_anlaggning_ama_07_revidering_1.pdf)
- Winterås, F. (2022). *Personlig kommunikation*. 6/4/2022
- Winterås, F., & Claesson, J. (2022). *Personlig kommunikation*. 6/4/2022

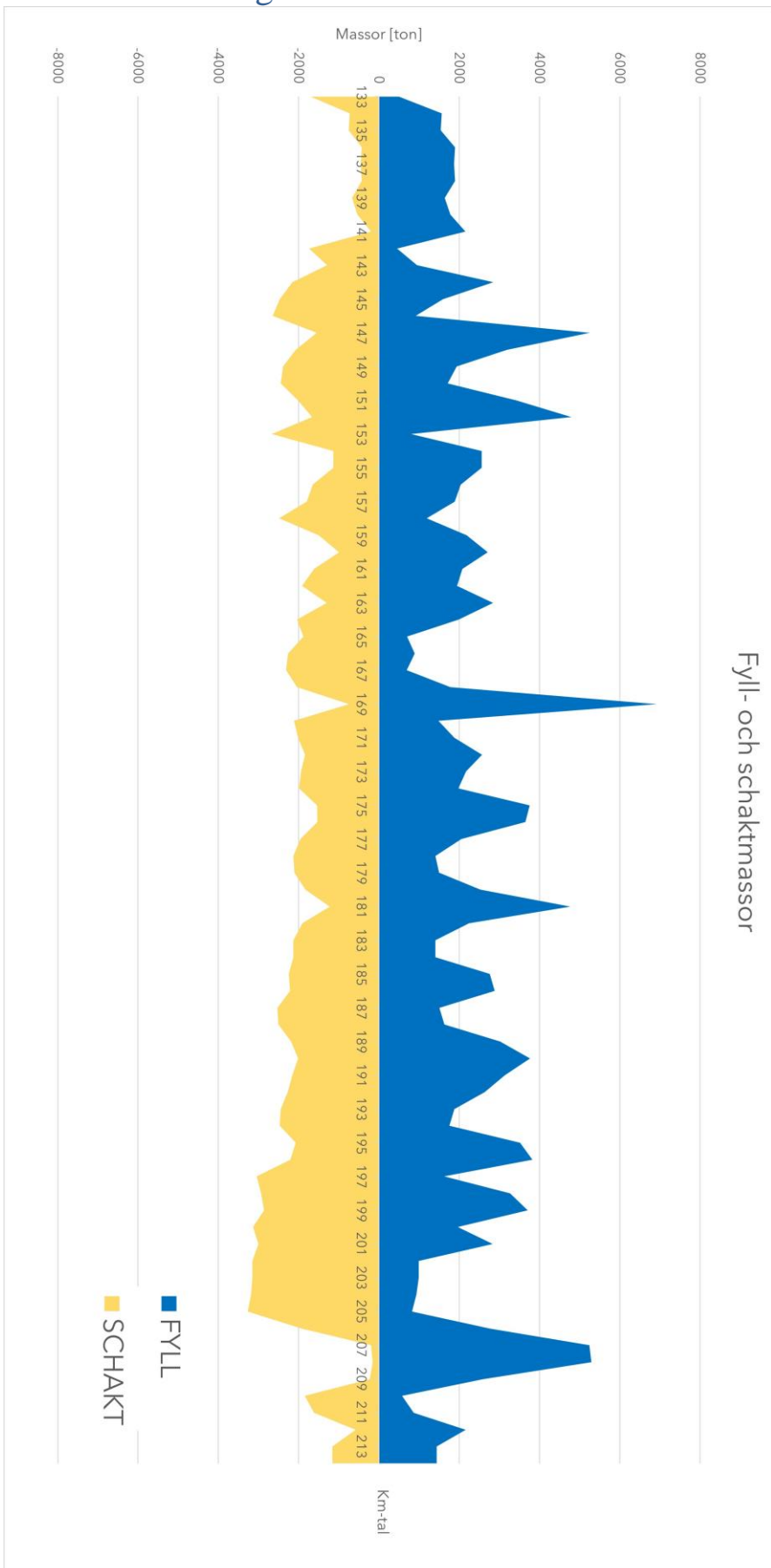
# Bilaga 1. Ballastreningsmassor

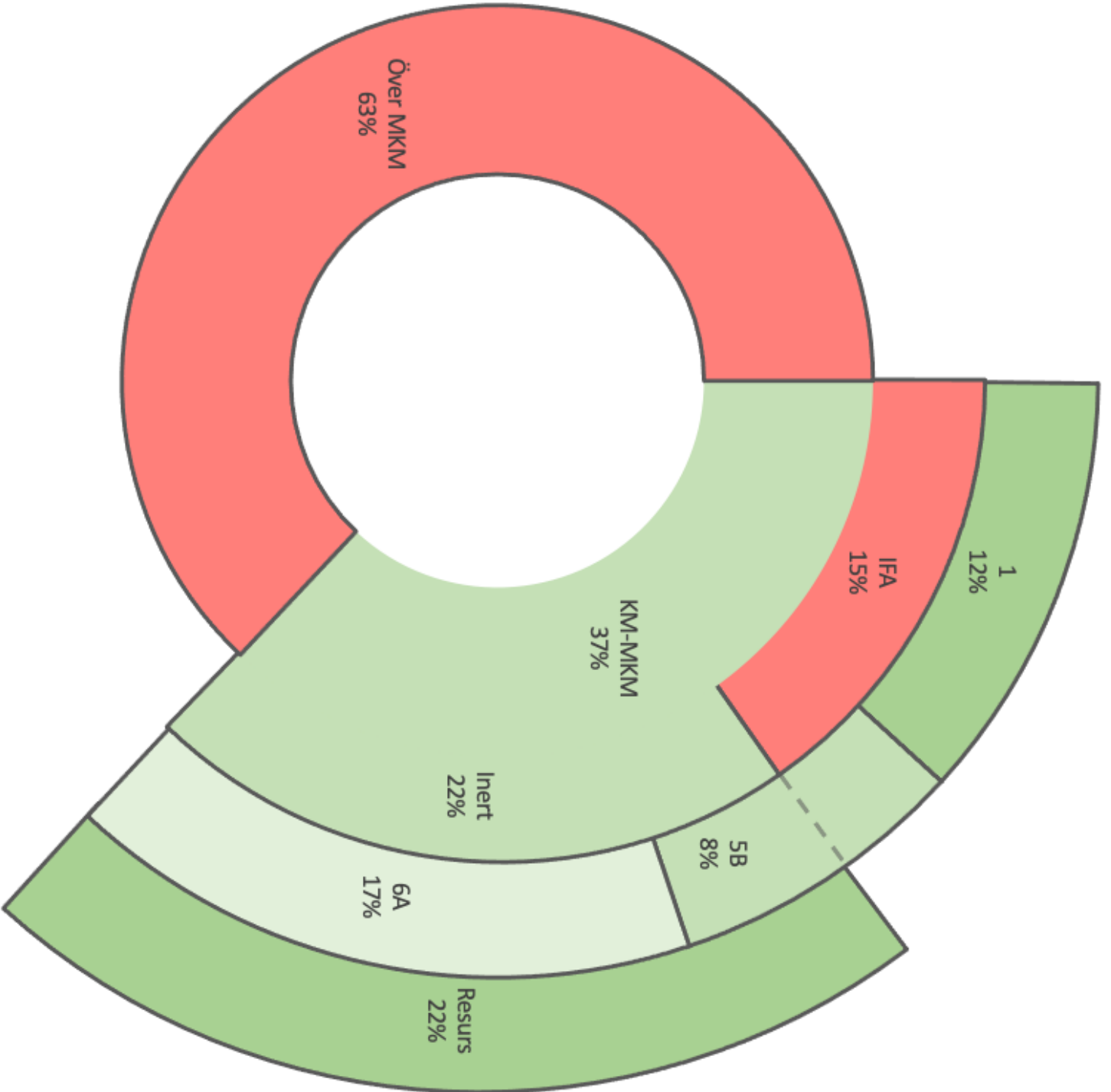
## Hämtade från Trafikverkets masshanteringsplan.

Tabell 3.1. Ballastreningsmassor

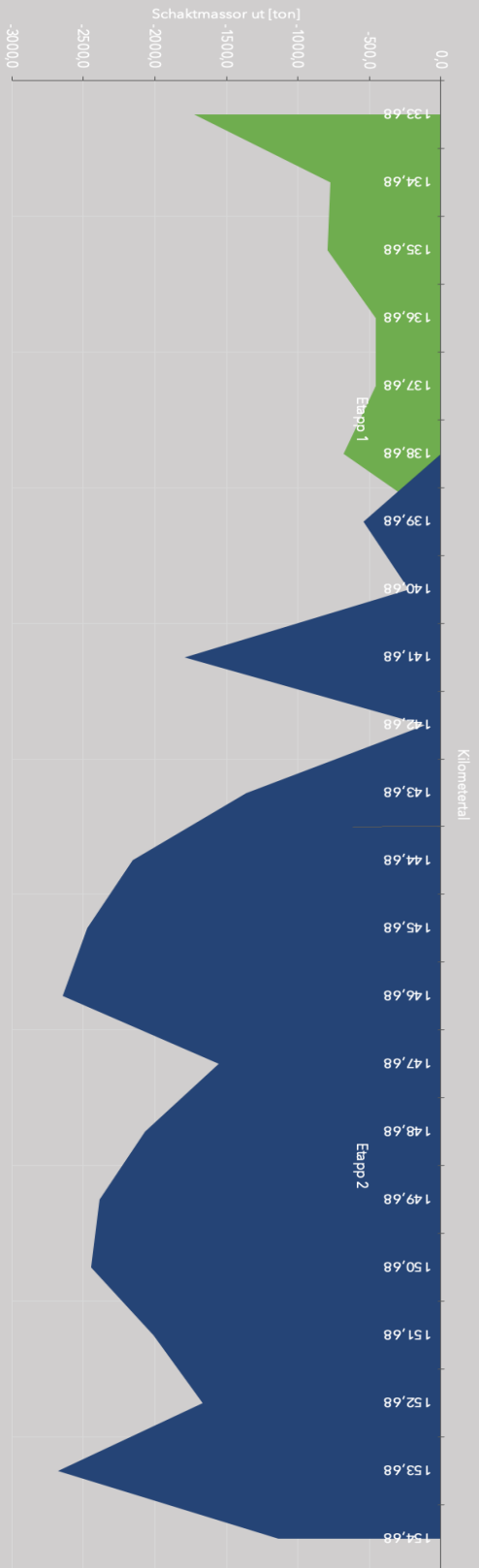
Ort	Spår	Start	Slut	Längd	Fraktion 0-4 mm (m <sup>3</sup> )	Fraktion 4-22,4 mm (m <sup>3</sup> )	Fraktion 0-22,4 mm (m <sup>3</sup> )	Över MKM (m <sup>3</sup> )	KM-MKM (m <sup>3</sup> )	Mindre än KM (m <sup>3</sup> )	Avfallstyp	Atergående makadam till spåret 22,4-64 mm (m <sup>3</sup> )	Makadam-komplettering Tillkommande nytt 32-64 mm (m <sup>3</sup> )
Bs-Vfo	E	134+295	144+980	1085	3892	1513	5405	4324	1081	0	lcke-farligt avfall till km 138+250, därefter inert avfall	11175	11605
Vfo	E	144+980	145+492	512	506	121	627	0	627	0	Inert avfall	473	607
Vfo	2	144+980	145+492	512	184	44	228	0	228	0	Inert avfall	172	128
Vfo	1	145+132	145+365	233	156	184	340	0	340	0	Inert avfall	0	300
Vfo-Fri	E	145+492	154+709	9 217	9746	2439	12184	7920	4265	0	Inert avfall	3796	17884
Fri	E	154+709	154+778	69	89	32	121	121	0	0	Inert avfall	59	106
Fri-Kin	E	154+778	162+835	8 057	5555	1379	6934	6934	0	0	Inert avfall	5156	12034
Kin	E	162+835	162+960	125	368	36	403	403	0	0	Inert avfall	149	162
Kin-Asb	E	162+960	165+130	2 170	1372	576	1948	1948	0	0	Inert avfall	1610	3330
Asb	E	165+130	165+194	64	67	28	94	94	0	0	Inert avfall	136	94
Asb-See	E	165+194	166+257	1 063	943	199	1141	1141	0	0	Inert avfall	825	1421
See	E	166+257	166+772	515	597	103	700	700	0	0	Inert avfall	700	370
See	2	166+257	166+772	515	119	21	140	140	0	0	Inert avfall	140	-20
See	1	166+585	166+703	118	128	172	300	300	0	0	Inert avfall	0	150
See-Bgm	E	166+772	170+457	3 685	2351	390	2741	2741	0	0	Inert avfall till km 170+250, därefter icke-farligt avfall	2909	4941
Bgm	E	170+457	170+520	63	113	26	138	138	0	0	lcke-farligt avfall	12	108
Bgm-Bjo	E	170+520	176+889	6369	5617	2715	8332	8332	0	0	lcke-farligt avfall till km 175+250, därefter inert avfall	1498	12032
Bjo	E	176+889	176+991	102	120	73	193	193	0	0	Inert avfall	58	143
Bjo-Hre	E	176+991	185+730	8739	6428	3843	10271	10271	0	0	Inert avfall	3599	14971
Hre	E	185+730	186+269	539	753	428	1181	1181	0	0	Inert avfall	299	1201
Hre	2	185+730	186+269	539	412	234	646	646	0	0	Inert avfall	164	531
Hre	bv-stick	185+924	186+092	168	155	150	305	305	0	0	Inert avfall	0	150
Hre-Jäy	E	186+269	196+538	10269	8641	4445	13087	13087	0	0	Inert avfall till km 191+000, därefter icke-farligt avfall	3193	18487
Jäy	E	196+538	197+448	910	880	531	1411	1411	0	0	lcke-farligt avfall	249	1751
Jäy-Vdi	E	197+448	198+707	1259	1134	634	1768	1768	0	0	lcke-farligt avfall	232	2138
Vdi	E	198+707	199+231	524	639	556	1195	1195	0	0	lcke-farligt avfall	195	1245
Vdi	2	198+705	199+231	526	339	295	634	634	0	0	lcke-farligt avfall	106	334
Vdi	bv-stick	198+919	199+063	144	85	100	185	185	0	0	lcke-farligt avfall	0	-5
Vdi-Dre	E	199+231	203+188	3957	3265	1954	5219	5219	0	0	lcke-farligt avfall	1501	6819
Dre	E	203+018	203+250	232	202	93	294	294	0	0	lcke-farligt avfall	26	214
Dre-Tof	E	203+250	209+675	6425	5620	3045	8665	8665	0	0	lcke-farligt avfall	1455	11865
Tof	E	209+675	209+739	64	92	49	141	141	0	0	lcke-farligt avfall	29	101
Tof-Vb	E	209+739	215+400	5 661	1990	1999	3989	3989	0	0	lcke-farligt avfall till km 214+000, därefter inert avfall	5871	6489
<b>Totalt</b>				<b>84 030</b>	<b>62 558</b>	<b>28 403</b>	<b>90 961</b>	<b>84 421</b>	<b>6 541</b>	<b>0</b>		<b>45 785</b>	<b>11 605</b>

## Bilaga 2. Alla visualiseringar i fullformat





### Överblick Borås - Varberg



Etapper

Etapp 1

Etapp 2

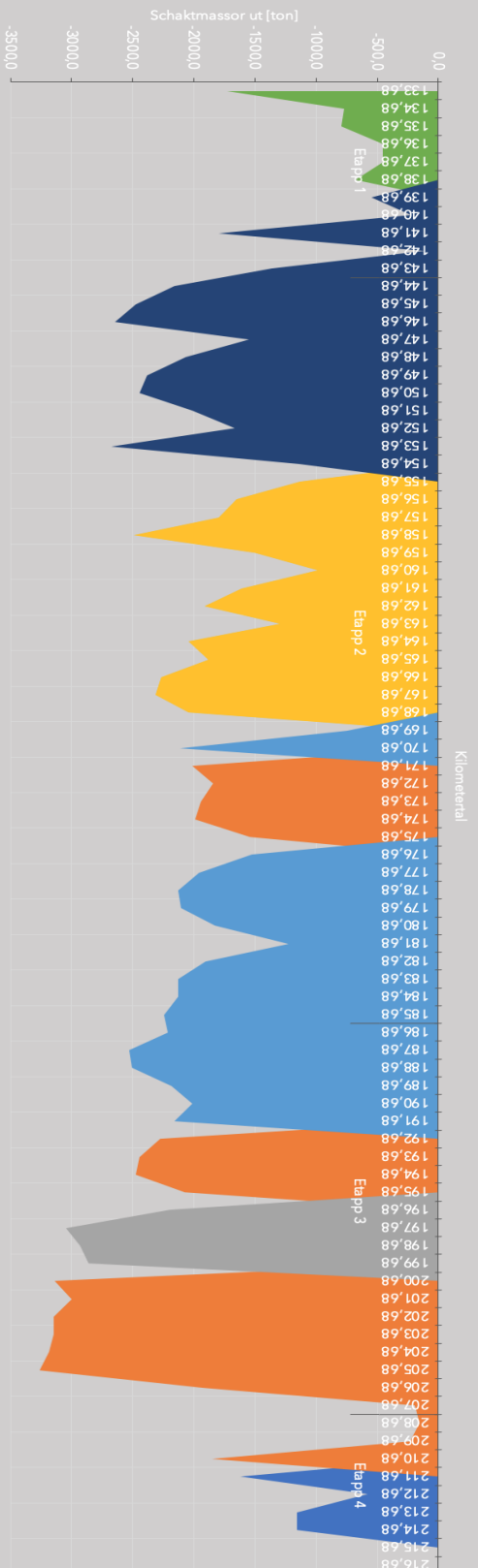
KM-MKM - IFA - 5B  
 KM-MKM - Inert - 5B

Totalhalt  
 KM-MKM  
 Över mkm

Laddenhett  
 IFA  
 Inert  
 AMA

58  
 58

### Överblick Borås - Varberg



Etapper

Etapp 1

Etapp 2

Etapp 3

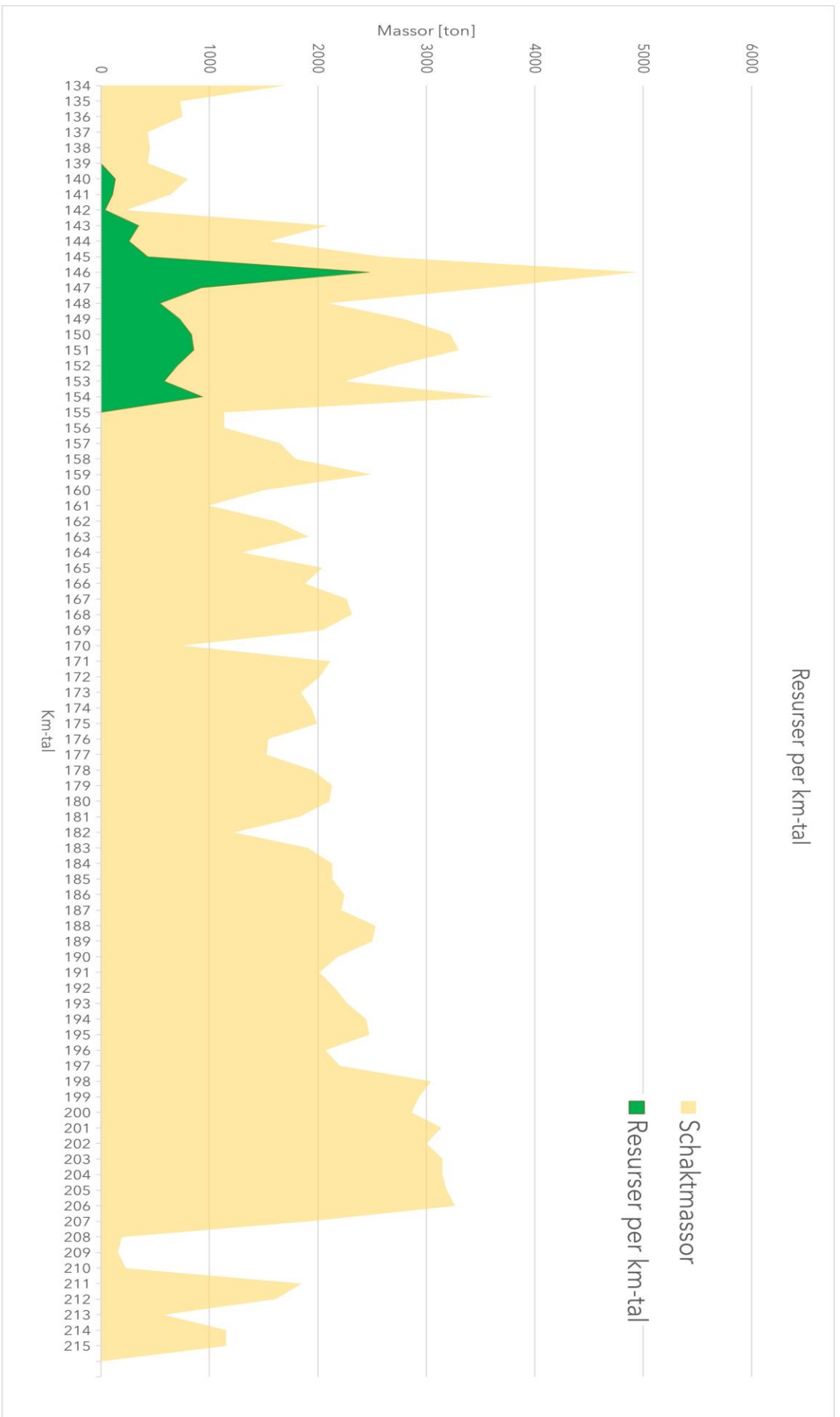
Etapp 4

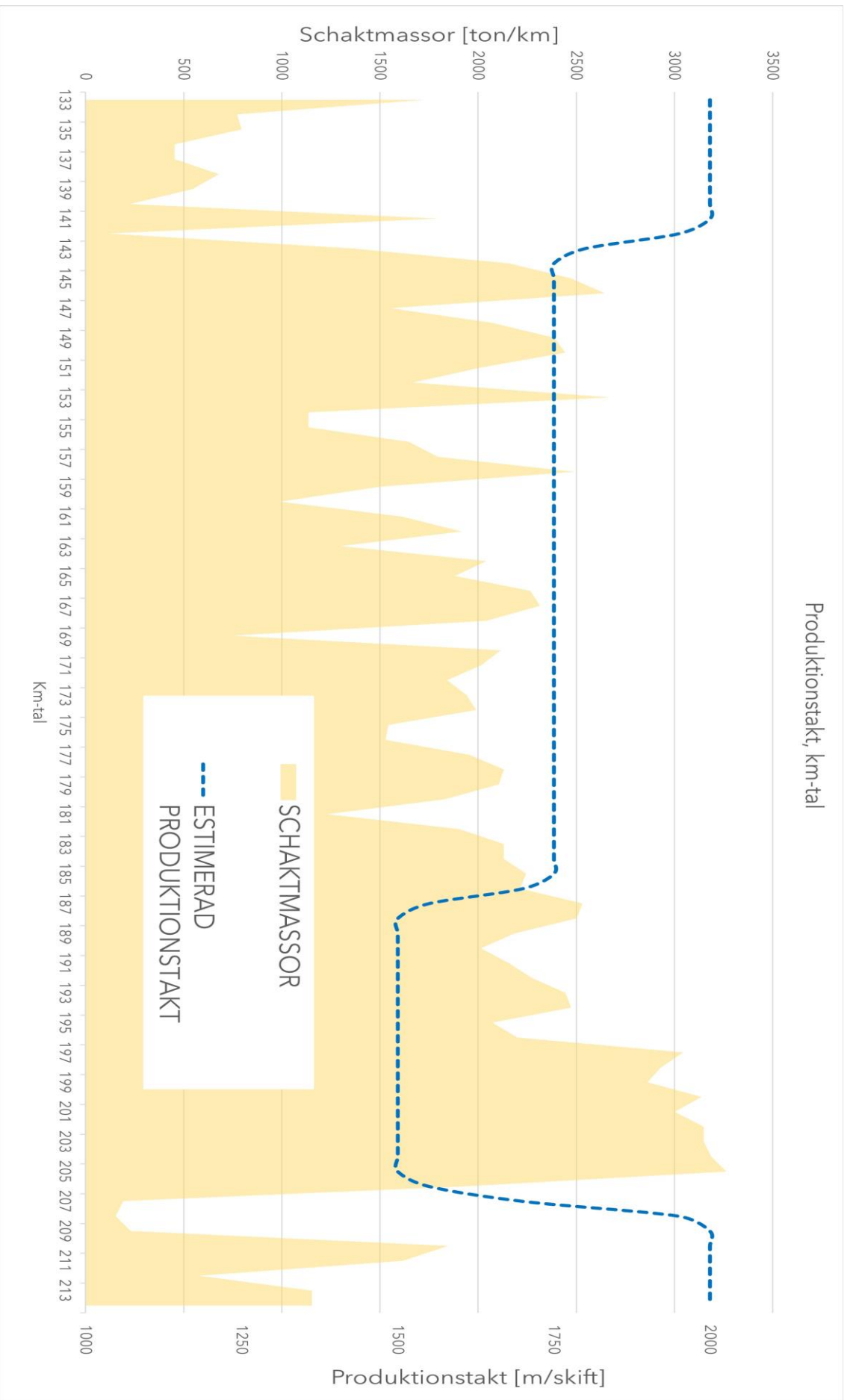
Över mkm - IFA - 5B  
 Över mkm - IFA - 6A  
 Över mkm - IFA - 1  
 Över mkm - Inert - 5B  
 Över mkm - Inert - 6A  
 KM-MKM - IFA - 5B  
 KM-MKM - Inert - 5B

Totalhalt  
 KM-MKM  
 Över mkm

Laddenhett  
 IFA  
 Inert  
 AMA

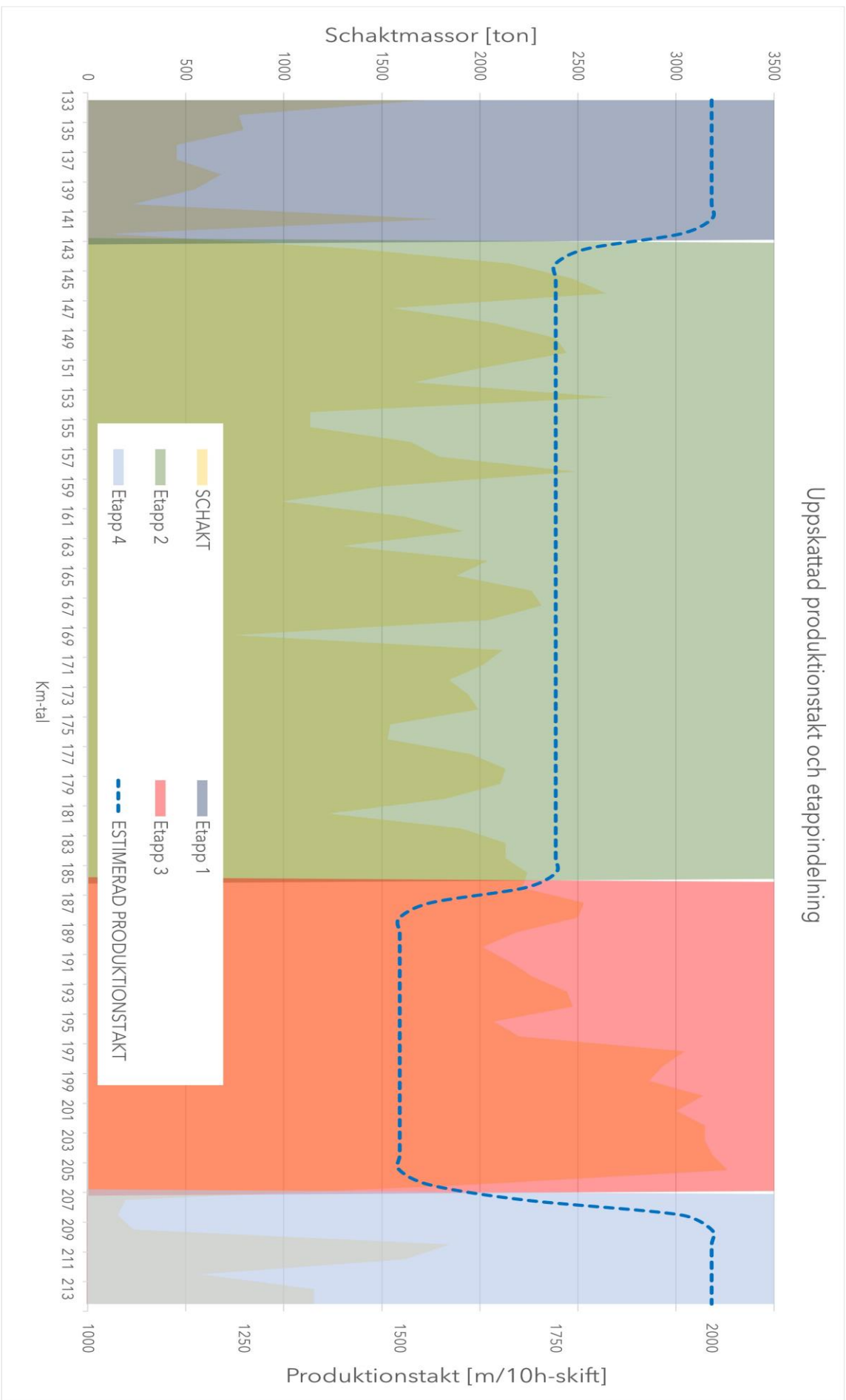
1  
 5B  
 6A



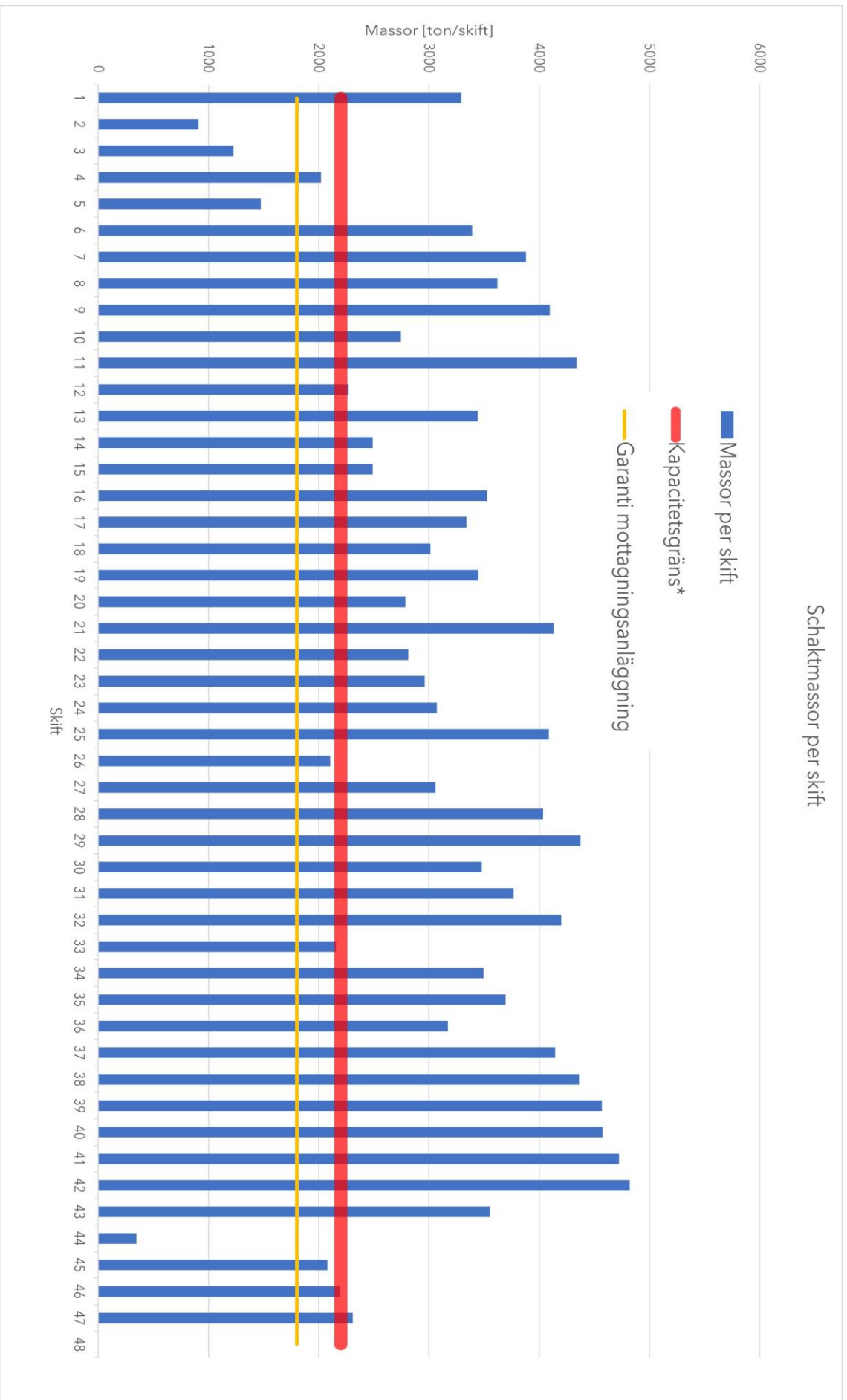


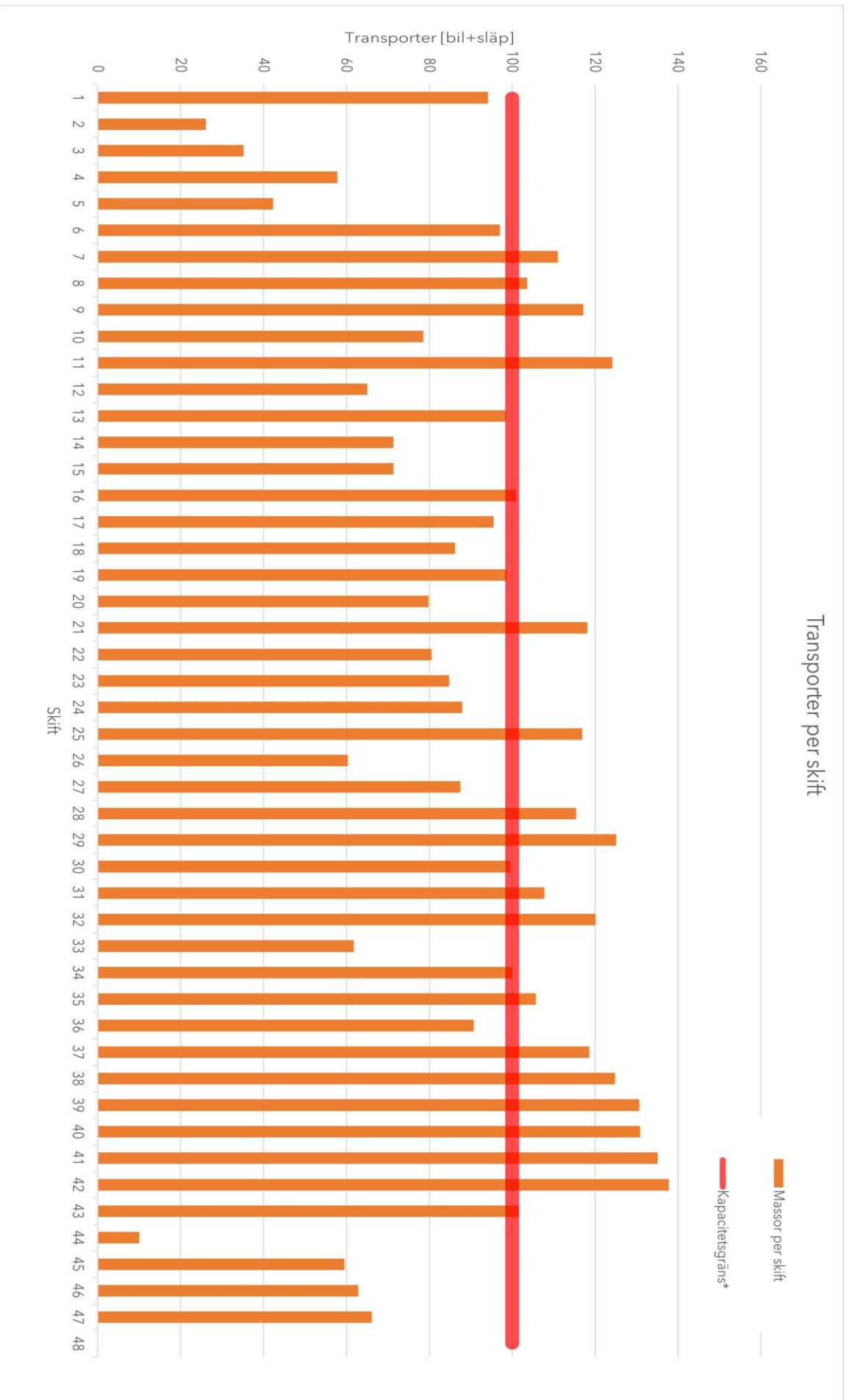


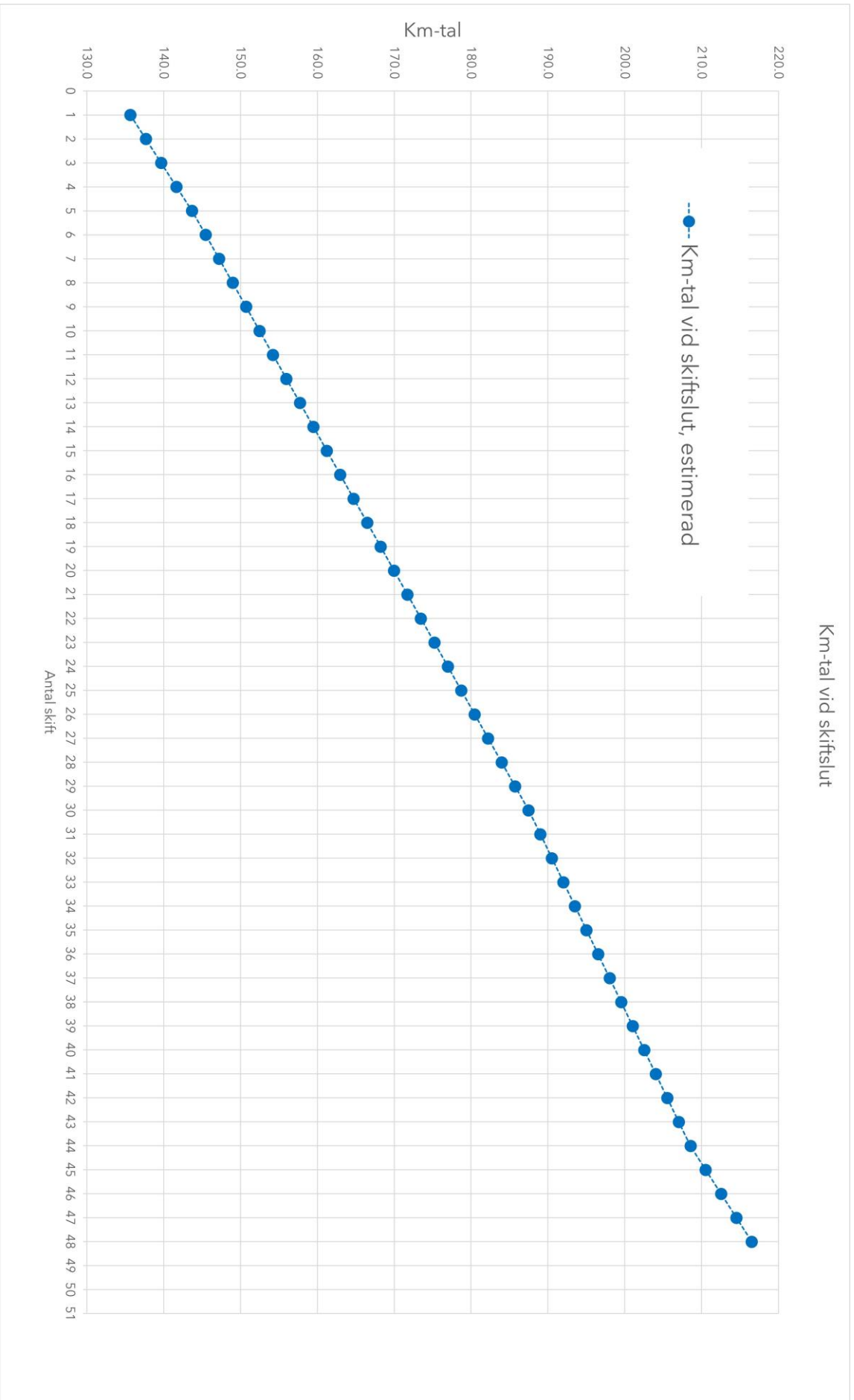
## Uppskattad produktionsstakt och etappindelning



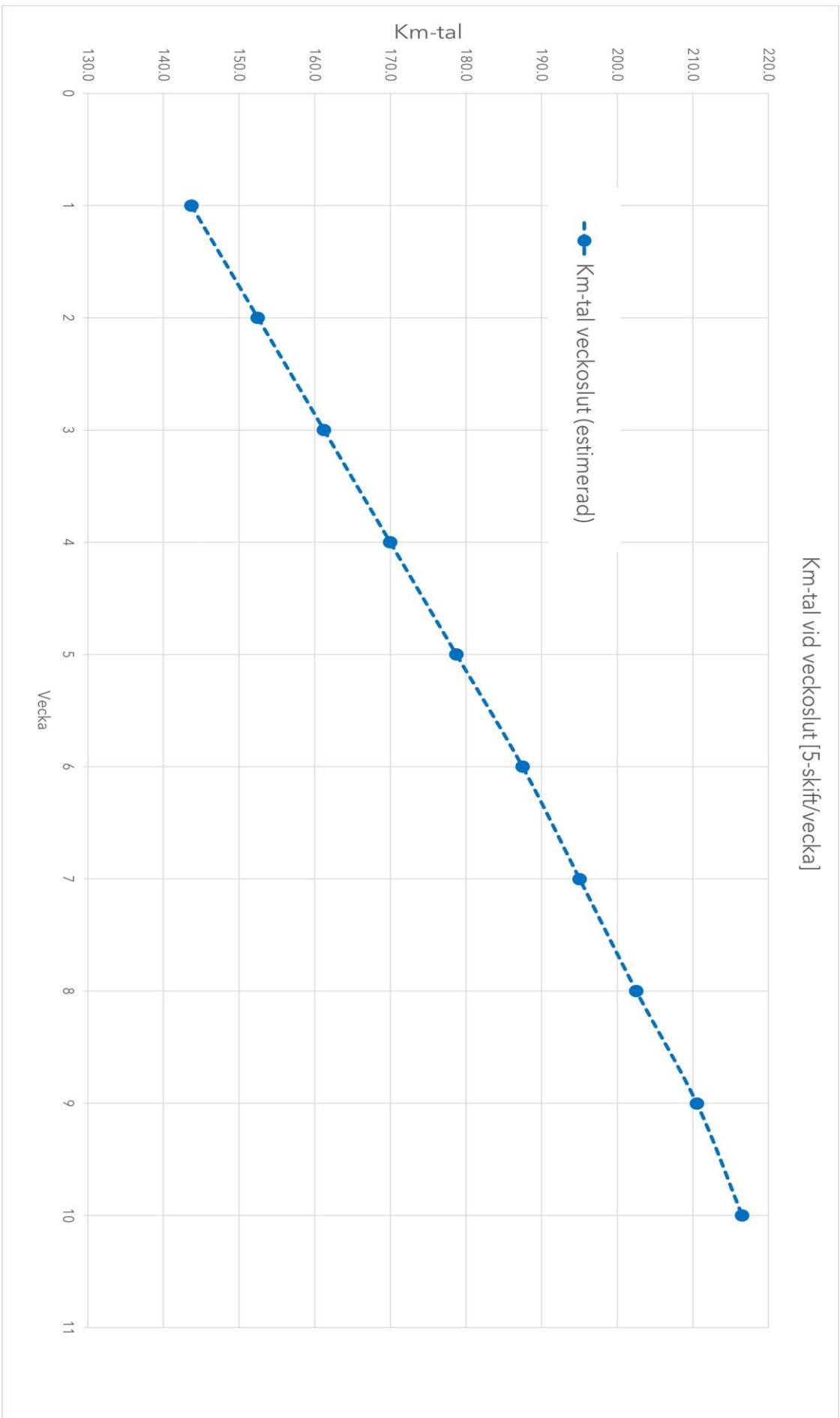
### Schaktmassor per skift



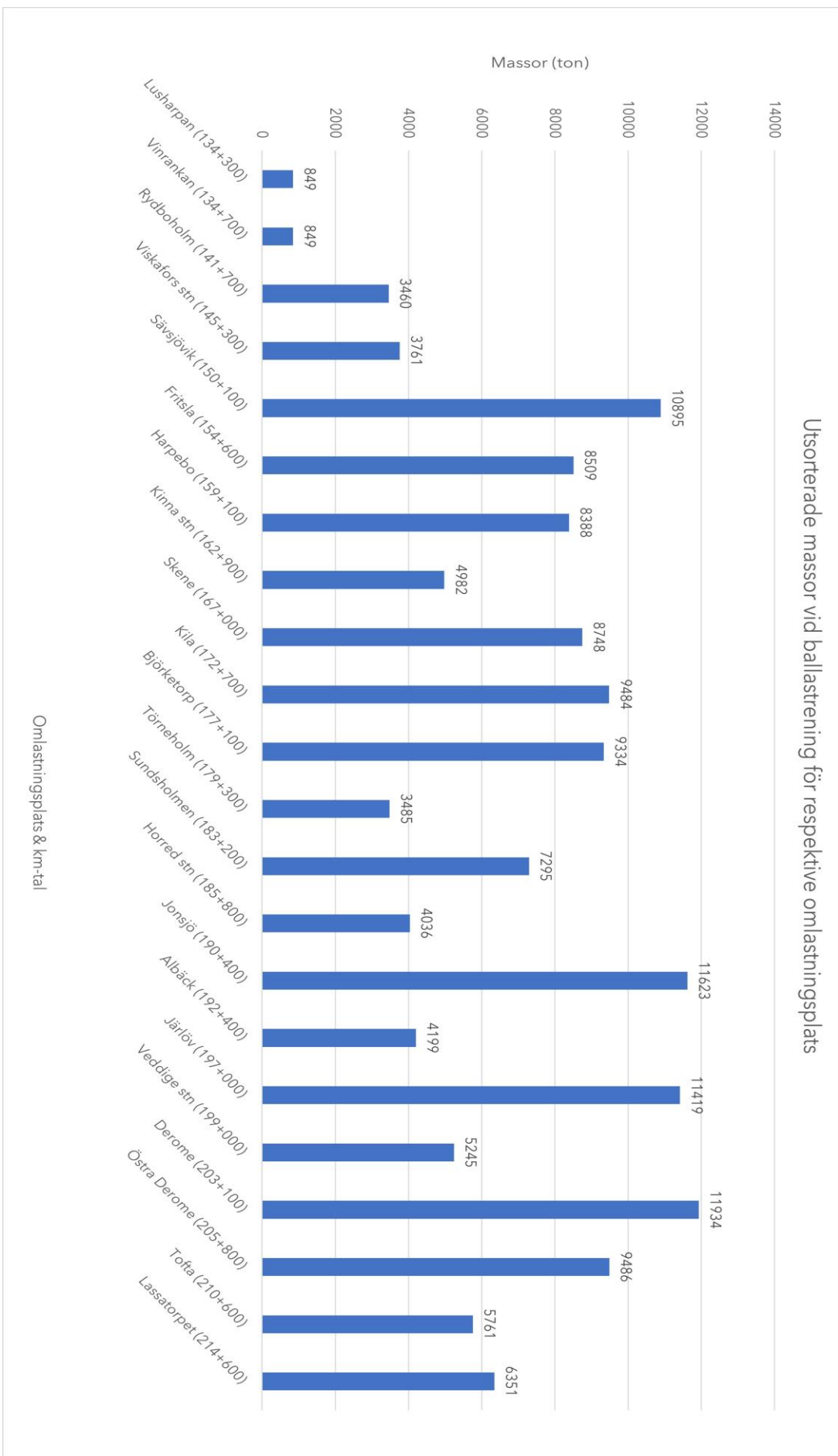




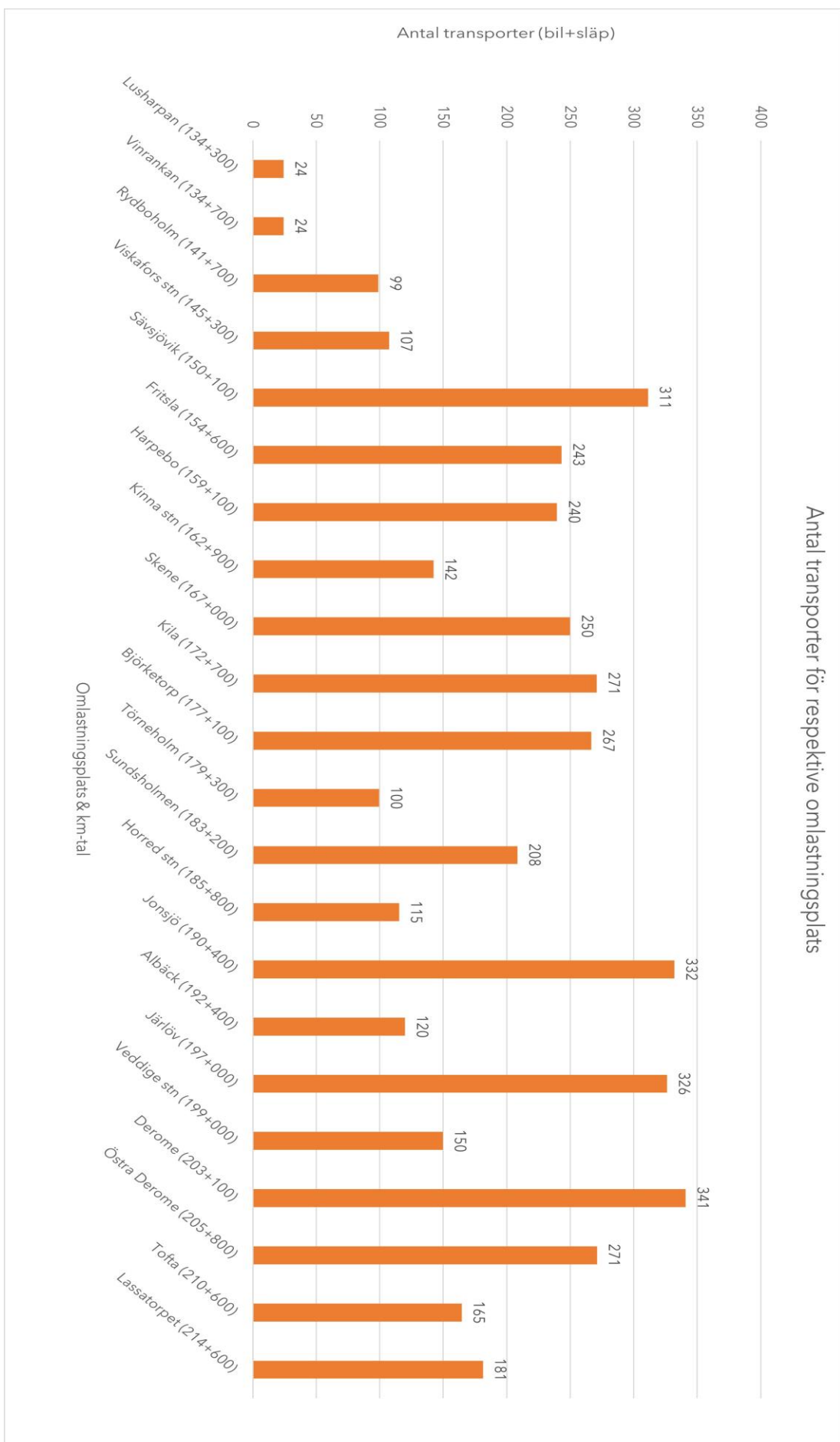
Km-tal vid veckoslut [5-skift/vecka]



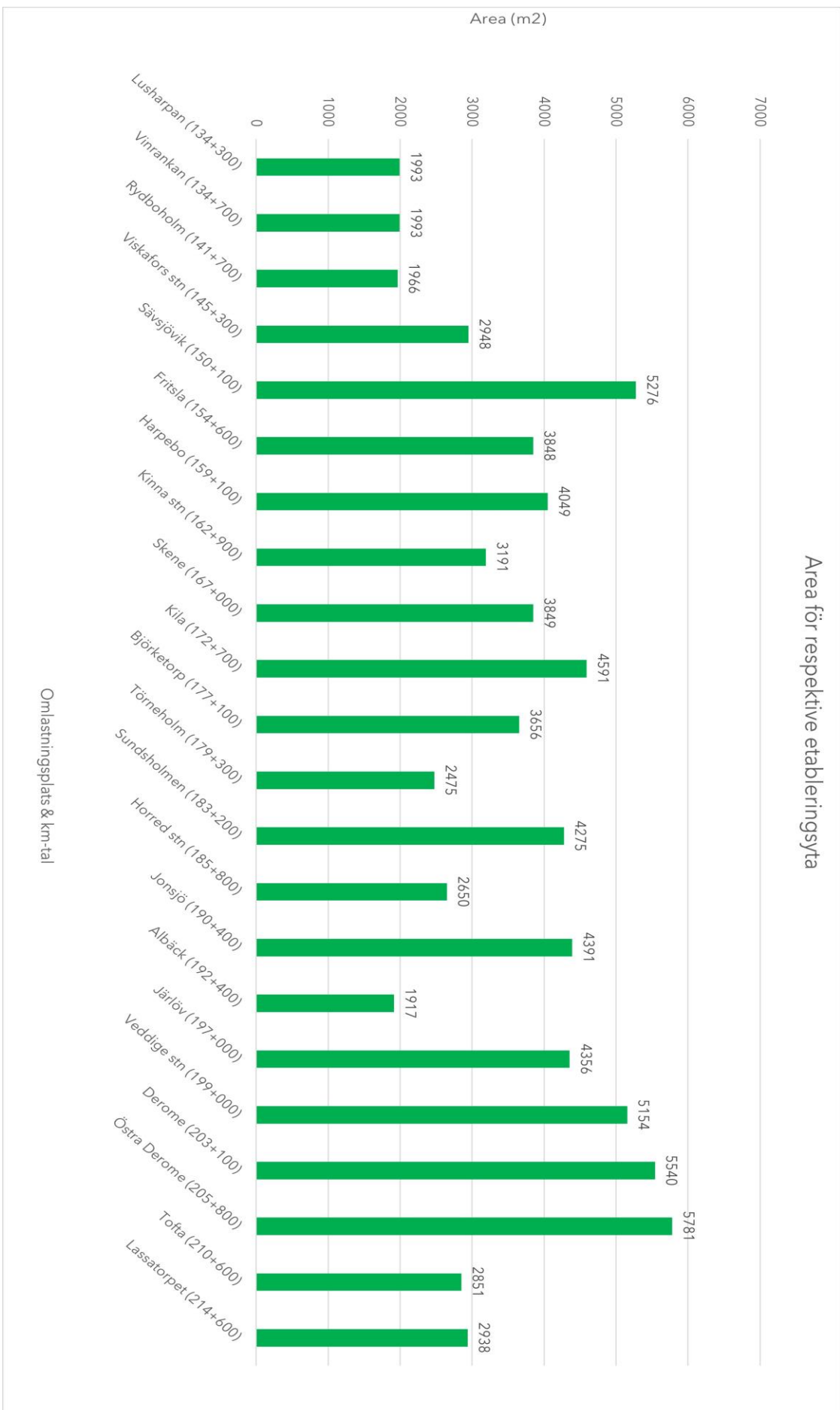
## Utsorterade massor vid ballastrening för respektive omlastningsplats



## Antal transporter för respektive omlastningsplats

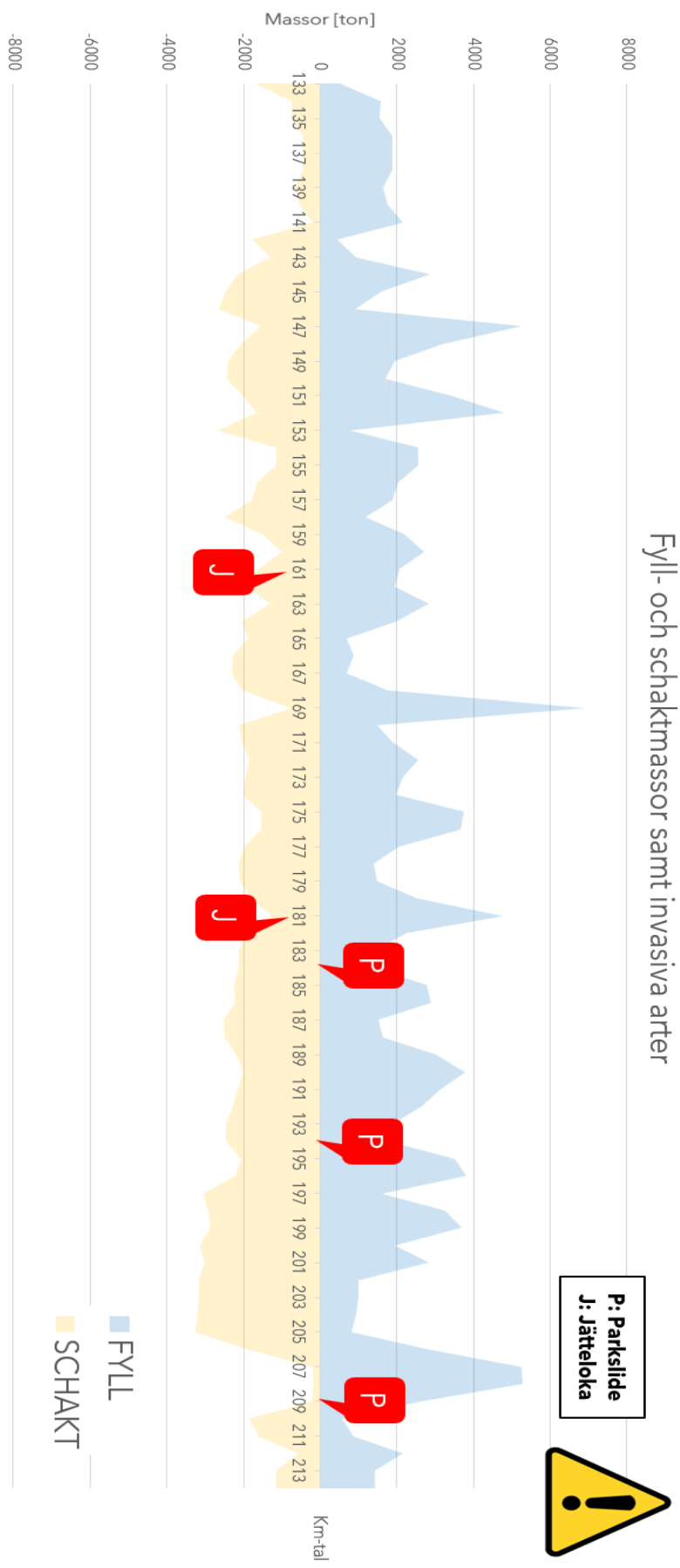


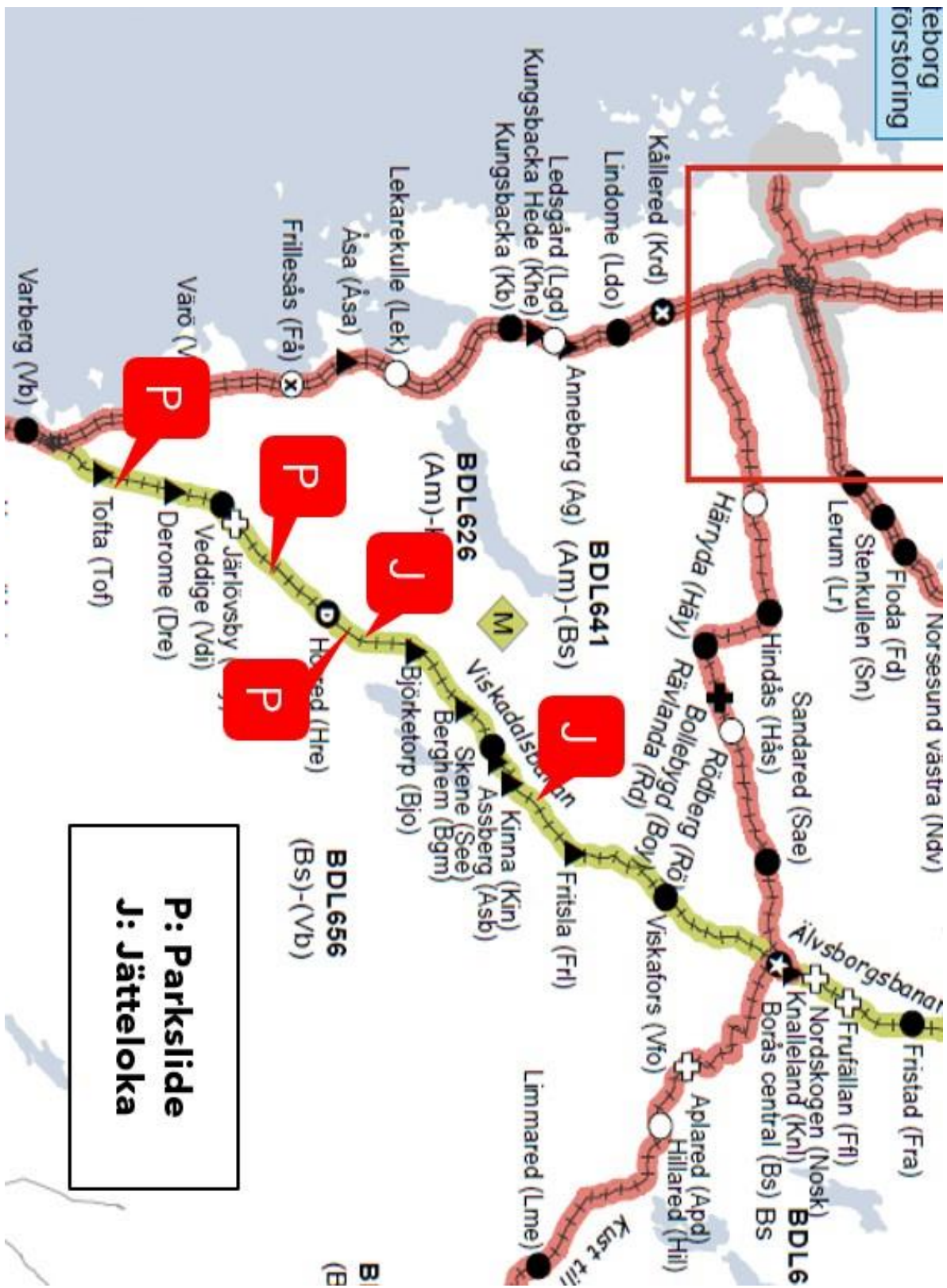
## Area för respektive etableringsyta





### Fyll- och schaktmassor samt invasiva arter





### Bilaga 3. Koppling av skift till omlastningsytor

Skift	Km-tal (estimerad)	Omlastningsyta	Prod.takt per skift	Massor per skift (ton)	Högar per skift
1	135.7	Lusharpan / Vinrankan	1.68	3290	1.2
2	137.7		2.00	908	0.3
3	139.7		2.00	1225	0.4
4	141.7	Rydboholm	2.00	2020	0.7
5	143.7		2.00	1475	0.5
6	145.5	Viskafors stn	1.80	3392	1.2
7	147.2		1.75	3881	1.4
8	149.0		1.75	3622	1.3
9	150.7	Sävsjövik	1.75	4829	1.7
10	152.5		1.75	2846	1.0
11	154.2	Fritsla	1.75	3507	1.2
12	156.0		1.75	2271	0.8
13	157.7		1.75	3443	1.2
14	159.5	Harpebo	1.75	3242	1.2
15	161.2		1.75	1740	0.6
16	163.0	Kinna stn	1.75	3527	1.3
17	164.7		1.75	3340	1.2
18	166.5	Skene	1.75	3014	1.1
19	168.2		1.75	3448	1.2
20	170.0		1.75	2788	1.0
21	171.7	Kila	1.75	4132	1.5
22	173.5		1.75	2813	1.0
23	175.2		1.75	2962	1.1
24	177.0	Björketorp	1.75	3073	1.1
25	178.7	Törneholm	1.75	4086	1.5
26	180.5		1.75	3021	1.1
27	182.2		1.75	2143	0.8
28	184.0	Sundsholmen	1.75	4036	1.4
29	185.7	Horred stn	1.75	4374	1.6
30	187.5		1.75	3480	1.2
31	189.0		1.55	3768	1.3
32	190.5	Jonsjö	1.50	3193	1.1
33	192.0	Albäck	1.50	3164	1.1
34	193.5		1.50	3495	1.2
35	195.0		1.50	3696	1.3
36	196.5	Järlöv	1.50	3171	1.1
37	198.0		1.50	4145	1.5
38	199.5	Veddinge stn	1.50	4363	1.6
39	201.0		1.50	4570	1.6
40	202.5	Derome	1.50	4575	1.6

41	204.0		1.50	4724	1.7
42	205.5	Östra Derome	1.50	4820	1.7
43	207.0		1.50	3553	1.3
44	208.6		1.55	346	0.1
45	210.5	Tofta	1.95	1155	0.4
46	212.5		2.00	2829	1.0
47	214.5	Lassatorpet	2.00	2021	0.7
48	216.5		2.00	577	0.2



**CHALMERS**