

Thesis 353



En hållbar resa mot framtiden

EN JÄMFÖRELSESTUDIE MELLAN SNABBA LANDTRANSPORTER PÅ STRÄCKAN OSLO-STOCKHOLM

SAMIR HAMMAD

Trafik och Väg

Institutionen för Teknik och Samhälle

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet

2020



Copyright © Samir Hammad

LTH, Institutionen för Teknik och Samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5320)/1-61/2020
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2020

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5320)/1-
61/2020

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och Samhälle,
Trafik och väg, 353

ISSN 1653-1922

Author: Samir Hammad
Title: En hållbar resa mot framtiden; En jämförelsestudie mellan snabba landtransporter på sträckan Oslo – Stockholm.
English title: A sustainable journey towards the future; A comparison study between high-speed land transportation on Oslo – Stockholm line.
Language Svenska/Swedish
Year: 2020
Keywords: Höghastighetståg; MagLev; Hyperloop; Kapacitetsanalys; Restid; Trafikupplägg; Järnväg; Transportsystem; Agenda 2030; Transportpolitiska mål; Hållbarhetsarbete; Kollektivtrafik; Oslo; Stockholm;
Citation: Samir Hammad, En hållbar resa mot framtiden. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2020. Thesis. 353

Abstract:

The purpose of this master thesis is to analyze possible traffic arrangements for high-speed land transportation; high-speed train, MagLev and Hyperloop by concretizing their relationship to each other on Oslo-Stockholm line. The thesis also aims to find out how high-speed land transportation links to the sustainability goals.

This thesis studies two different scenarios, where the first scenario includes stops at intermediate stations and the second scenario concerns a direct journey between Oslo and Stockholm. The calculations include runtime calculations, capacity calculations and calculation of the increased travel demand due to shorter travel time.

In a scatter plot, it can be observed that the relationship between the capacity of railway infrastructure and the speed of the transport system is approximately linear. This means that it is possible to choose the capacity that meets the travel demands and thus determine the speed of the transport system. Similarly, it is possible to choose the suitable system based on maximum hours' travel demand.

Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds Universitet
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads
Department of Technology and Society
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Förord

Detta examensarbete har utförts som slutmoment i utbildningen till civilingenjör inom väg- och vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och har utförts under våren 2020 i samarbete med avdelningen för Smart Mobility på Ramboll Sverige AB.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare på Lunds Tekniska Högskola, Carl-William Palmqvist som har hjälpt mig under hela arbetsprocessen. Hans positiva och konstruktiva kommentarer har hjälpt mig förbättra arbetet.

Jag vill även rikta ett stort tack till Joakim Ahlberg, Erik Hedman, Lars Brummer, Anders Sjöholm, Lucas Glasare, Ola Olsson och Pontus Karlsson från konsultföretaget Ramboll Sverige AB som var mycket hjälpsamma. Tack för de engagerade möten och den tid ni lagt för att stödja arbetet.

Sist men inte minst vill jag tacka min familj för all hjälp och stöd jag fått.

Lund, juni 2020

Samir Hammad

Sammanfattning

Frågor som handlar om hållbarhet och klimatförändringar är avgörande såväl globalt som i Sverige. Arbetets syfte är att analysera möjliga trafikupplägg för snabba landtransporter; höghastighetståg, Maglev och Hyperloop genom att konkretisera trafikslagens förhållande till varandra på sträckan Oslo–Stockholm. Arbetet syftar dessutom till att ta reda på hur snabba landtransporter anknyter till hållbarhetsmålen samt utgöra ett underlag för vidare studier på temat snabba landtransporter.

På grund av tidsmässiga begränsningar avgränsas arbetet till att omfatta enbart de aspekter som behövs för att besvara frågeställningarna. Arbetet studerar två olika scenarier, där det första scenariot inkluderar uppehåll vid samtliga mellanstationer; Arvika, Karlstad, Örebro och Västerås. Det andra scenariot avser en direktresa mellan huvudstäderna. Båda scenarier baseras på att samtliga trafikslag har samma förutsättningar. Beräkningarna omfattar gångtidsberäkningar, kapacitetsberäkningar samt beräkning av den ökade reseefterfrågan till följd av kortare restid.

I scenariot med uppehåll erbjuder MagLev snabbaste resor, då Hyperloop-system bedöms inte vara konkurrenskraftigt vid kortväga resor. I scenariot utan uppehåll beräknas Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h erbjuda den snabbaste resa. Kapacitet av varje studerade trafikslag jämförs med dagens och maxtimmens reseefterfråga inkluderat antalet nytillkomna resenärer. Beräkningarna visar att samtliga studerade trafikslag, förutom höghastighetståg, kommer att erbjuda lägre kapacitet jämfört med den konventionella järnvägen.

I ett spridningsdiagram kan man konstatera att sambandet mellan banans kapacitet och transportsystemets hastighet är ungefär linjärt. Detta innebär att man har möjlighet att välja den kapacitet som uppfyller resebehovet och därmed bestämma transportsystemets hastighet. Det är dock viktigt att notera att interpolationen kan ske på det sätt som passar transportsystemets övriga egenskaper. På liknande sätt har man möjlighet att välja det lämpligaste systemet efter antalet resenärer som ska transporteras

I allmänhet kan man säga att alla alternativ innefattar förbättringar i transportsystem, vilket bidrar till ökad attraktivitet hos kollektivtrafiken och resulterar i sin tur i minskad miljöpåverkan, buller och trängsel. Att förbättra förutsättningarna för människor gör att fler väljer resa med tåg vilket är ett hållbart transportsätt och bidrar till att de hållbarhetsmålen uppnås.

Summary

Issues related to sustainability and climate change are crucial both globally and in Sweden. The purpose of this master thesis is to analyze possible traffic arrangements for high-speed land transportation; high-speed train, MagLev and Hyperloop by concretizing their relationship to each other on the Oslo-Stockholm line. This thesis also aims to find out how high-speed land transportation links to the sustainability goals. Finally, this thesis should be a basis for further studies on the topic related to high-speed land transportation.

Due to time constraints, work is limited to covering only the aspects needed to answer the questions. This thesis studies two different scenarios, where the first scenario includes stops at all intermediate stations: Arvika, Karlstad, Örebro and Västerås. The second scenario concerns a direct journey between Oslo and Stockholm. Both scenarios are based on that all types of traffic have the same conditions. The calculations include runtime calculations, capacity calculations and calculation of the increased travel demand due to shorter travel time.

In multiple-stop's scenario, MagLev offers the fastest journeys since Hyperloop systems are not considered to be competitive in short-haul journeys. In direct journey's scenario, Hyperloop with a maximum speed of 1220 km/h, is estimated to offer the fastest journey. The capacity of each type of transportation system studied in this thesis is compared to today's and maximum hours' travel demand, including the expected travelers. The calculations show that all studied types of transportation, except high-speed trains, will offer lower capacity compared to the conventional railway.

In a scatter plot, it can be observed that the relationship between the capacity of railway infrastructure and the speed of the transport system is approximately linear. This means that it is possible to choose the capacity that meets the travel demands and thus determine the speed of the transport system. Similarly, it is possible to choose the suitable system based on maximum hours' travel demand.

In general, it can be said that all alternatives include improvements in transport systems, which contribute to increased attractiveness of public transport, that results in its turn reduced environmental impact, noise and congestion. Improving the conditions for the passengers means that more people choose to travel using public transport, which is sustainable and contributes to achieving the sustainability goals.

Terminologi

- ✓ **Gångtidstillägg** är den extra tid som läggs på tågets gångtid för att kompensera för små förseningar, variationer i förarbeteende och andra omständigheter.
- ✓ **Uppehållstiden** avser den tid som tillbringas vid de stationer där tågen stannar.
- ✓ **Accelerationssträckan** är den sträcka som ett tåg behöver för att accelerera från stillastående till sin maximala hastighet och beror på tågets accelerationsförmåga.
- ✓ **Inbromsningssträckan** är den sträcka som ett tåg behöver för att bromsa från sin aktuella hastighet till stopp och beror på tågets bromsförmåga.
- ✓ **Blocksträckan** anger sträckan mellan två signaler på linjen mellan två stationer.
- ✓ **Headway** definieras som ett tidsavstånd som anger hur tätt två tåg kan trafikera ett spår utan att det efterföljande tåget får restriktivt signalbesked.
- ✓ **Korglutning** är endast avsedd för att förbättra passagerarnas komfort och innebär att vagnarna lutar inåt i kurvorna.
- ✓ **Mjuka boggier** innebär att hjulaxlarna kan röra sig för att anpassa sig efter kurvradien vid färd genom kurvorna, vilket minskar hjul- och spårslitage

Innehållsförteckning

Förord

Sammanfattning

Summary

Terminologi

1. Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Frågeställningar	2
1.3 Avgränsning	2
1.4 Metod	3
1.5 Rapportens disposition.....	4
2. Bakgrund.....	5
2.1 Hållbarhetsarbete.....	5
2.1.1 De transportpolitiska målen.....	5
2.1.2 Agenda 2030.....	6
2.1.3 Europeiska kommissionens färdplan.....	7
2.2 Nulägesbeskrivning.....	8
2.2.1 Fallstudie Oslo - Stockholm	8
2.2.2 Dagens järnväg	9
2.2.3 Flyg.....	11
2.3 Snabba landtransporter.....	11
2.3.1 Höghastighetsjärnväg	12
2.3.2 MagLev	13
2.3.3 Hyperloop	14
3. Metodik	16
3.1 Gångtidsberäkningar	16
3.2 Reseefterfrågan	18
3.3 Kapacitetsberäkningar.....	18
4. Analys	20
4.1 Den konventionella järnvägen.....	20
4.2 Höghastighetståg.....	22
4.3 MagLev	24

4.4 Hyperloop	25
5. Resultat.....	28
5.1 Restider.....	28
5.1.1 Scenariot med uppehåll vid Arvika, Karlstad, Örebro och Västerås.....	28
5.1.2 Scenariot utan uppehåll	29
5.2 Reseefterfrågan	30
5.3 Kapacitet.....	32
5.4 Relation mellan restider och transportkapacitet	34
5.5 Relation mellan systemets hastighet och banans kapacitet	35
6. Diskussion och slutsatser.....	36
6.1 Trafikupplägg.....	36
6.2 Anknytning till hållbarhetsmål	37
6.3 Metoddiskussion	38
6.4 Förslag på vidare studier	40
7. Bilaga	42
8. Figurförteckning	43
9. Källförteckning.....	44

1. Inledning

Frågor som handlar om hållbarhet och klimatförändringar är avgörande såväl globalt som i Sverige. För att visa vägen som krävs för att uppnå en globalt hållbar utveckling samt möta de utmaningar som världen står inför har världssamfundet antagit *Agenda 2030*. De globala målen i Agenda 2030 ska fungera som referensmål fram till 2030 (FN, 2019).

Sverige har sedan 2009 presenterat sina mål för framtidens resor och transporter *transportpolitiska mål*. De målen syftar till att skapa ett långsiktigt hållbart och konkurrenskraftigt transportsystem, där klimatutmaningen möts (Prop. 2008/09:93). Utöver de transportpolitiska målen satsar Trafikverket på innovationsupphandling som ger alla aktörer möjlighet att utveckla smarta lösningar så att hållbarhetsmålen uppnås (Trafikverket, 2019).

Befolkningsökningen medför ett ökat behov av bostäder, effektivare infrastruktur och ett hållbart transportsystem. Den ökande efterfrågan på det hållbara transportsystemet ställer krav på de olika aktörerna för att utveckla transportsystemet och öka kapaciteten antingen genom att bygga ut det befintliga transportsystemet eller genom att investera i nya anläggningar (Karlsson, Bergqvist och Brigelius, 2014). Detta kräver dock utvärdering för att säkerställa att det miljömässigt, socialt och ekonomiskt bästa alternativet väljs för implementering, då Trafikverket inte vill investera på de alternativ som ligger i konflikt med de nya globala målen (Trafikverket, 2018).

När ett infrastrukturprojekt ska analyseras jämförs de olika möjliga alternativ mot ett jämförelsealternativ utan någon investering. Sedan jämförs de olika alternativen sinsemellan för att konkretisera de studerade trafikslagens förhållande till varandra.

I denna rapport skall höghastighetståg, MagLev-tåg och Hyperloop jämföras med dagens infrastruktur och flygtrafiken. För att kunna jämföra de olika trafikslagen behövs en gemensam sträcka som väljs i detta fall till Oslo - Stockholm. Det valda stråket har en stor betydelse med tanke på de två expansiva huvudstadsregioner och de växande arbetsmarknadsregioner som stråket kopplar samman.

1.1 Syfte

Rapporten syftar i första hand till att analysera möjliga trafikupplägg för snabba landtransporter, genom att analysera sträckan Oslo-Stockholm. Analysen omfattar persontrafik i ett långsiktigt framtidsscenario med fortsatt teknikutveckling, där teknikerna höghastighetståg, Hyperloop och MagLev jämförs med dagens järnvägssystem och flyg. Rapportens syfte är alltså inte att genomföra en förstudie till sträckan Oslo- Stockholm, utan konkretisera de studerade trafikslagens förhållande till varandra.

Rapporten syftar dessutom till att ta reda på hur snabba landtransporter anknyter till Agenda 2030 och de transportpolitiska målen. Till sist skall rapporten utgöra ett underlag för vidare studier på temat snabba landtransporter samt för de studier som undersöker nyttor som förväntas uppstå om en ny teknik tillkommer i regionen.

1.2 Frågeställningar

- **Trafikupplägg:** Vad har höghastighetståg, MagLev och Hyperloop för restid och transportkapacitet?
- **Anknytning till hållbarhetsmål:** Hur anknyter snabba landtransporter till Agenda 2030 och de transportpolitiska målen?

1.3 Avgränsning

Det finns många aspekter som påverkar transportsystemet och behöver därmed vara med för att kunna implementera ett hållbart transportsystem. Tidsmässiga begränsningar har dock satt ramar för de aspekter som kan undersökas. Därför avgränsas arbetet till att omfatta enbart de aspekter som behövs för att kunna besvara frågeställningarna. Ingen hänsyn tas till varken de sociala effekter som förväntas uppstå om en ny teknik tillkommer i regionen eller till de kulturella aspekterna.

Investering i ett nytt transportsystem medför ekonomiska effekter, vilka är bland annat de nyttor som förväntas uppstå om en ny teknik tillkommer i regionen. Dessutom kräver en fullständig samhällsekonomisk analys utförliga kostnadsberäkningar. Kostnads- och

nyttoberäkningar tas dock inte med i det här arbetet, då det finns stora osäkerheter i hur stora de framtida kostnaderna och intäkterna kan bli, speciellt när det gäller Hyperloop.

Satsning på transportinfrastruktur är viktig med hänsyn till såväl person- som godstransport. Analysen i detta uppdrag har dock fokuserat helt på persontransporter. Dessutom kan geotekniska aspekter inte beaktas, dels på grund av att linjedragningen inte är bestämt än dels på grund av att det inte varit möjligt att genomföra inventering på plats i detta skede.

En av frågeställningarna i detta arbete syftar till att bedöma vad höghastighetståg, MagLev och Hyperloop har för potential för att bidra till måluppfyllelse i enlighet med Agenda 2030 och de transportpolitiska målen. Endast de mål som bedömts vara mest relevanta kommer att utvärderas.

1.4 Metod

För att kunna utföra arbetet har två olika scenarier utgå ifrån skapats. Båda scenarier baseras på att samtliga studerade trafikslag; Höghastighetståg, MagLev och Hyperloop har samma förutsättningar. Trafikslagets förhållande till varandra samt till den konventionella järnväg som baseras på dagens järnväg har undersökts. Fallet Oslo – Stockholm används som underlag för avståndsmätning av möjliga framtida korridorer.

Jämförelsestudien omfattar huvudsakligen två typer av beräkningar; gångtidsberäkningar och kapacitetsberäkningar. För att kunna beräkna tågets gångtid har avståndet mellan studerade stationerna; Oslo, Arvika, Karlstad, Örebro, Västerås och Stockholm mätts. Den maximala hastigheten sätts i beräkningarna till 85% av den planerade hastigheten.

Första steget i kapacitetsberäkningarna omfattar beräkning av avståndet mellan två tåg, där beräkningarna görs med två blocksträckor. Kapaciteten jämförs till sist med reseefterfrågan inkluderat de nytillkomna resenärer som förväntas till följd av kortare restid.

1.5 Rapportens disposition

Denna rapport är uppbyggd av sex kapitel följda av bilaga, figurförteckning och källförteckning.

Det andra kapitlet innehåller nulägesbeskrivning samt en kort bakgrund om hållbarhetsarbete såväl globalt som i Sverige och de snabba landtransporter; höghastighetståg, MagLev och Hyperloop. Det tredje kapitlet innehåller en genomgång av de metoder som legat till grund för genomförandet. I kapitel fyra analyseras de olika trafikslag utifrån tre aspekter; komfort, restid och kapacitet. Resultaten presenteras och de studerade trafikslagen jämföras sinsemellan i kapitel fem. I det sista kapitlet diskuteras den använda metoden och presenteras de dragna slutsatserna och rekommendationer för fortsatt arbete.

2. Bakgrund

2.1 Hållbarhetsarbete

2.1.1 De transportpolitiska målen

Sveriges transportpolitiska mål presenterades först i regeringens proposition *Mål för framtidens resor och transporter* år 2008. Ett år senare antogs de transportpolitiska målen av Riksdagen med syfte att vara en utgångspunkt för regionala och lokala målformuleringar. De målen ska också uppmuntra till transportpolitiskt engagemang bland olika aktörer i kommuner, regioner och i näringslivet (Prop. 2008/09:93). Målen består av ett övergripande mål, ett funktionsmål och ett hänsynsmål, vilka är formulerade i regeringens proposition:

”Det övergripande målet för transportpolitiken är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet” (Prop. 2008/09:93).

Funktionsmålet avser tillgänglighet i trafiken och är formulerat enligt: *”Transportsystemets utformning, funktion och användning ska medverka till att ge alla en grundläggande tillgänglighet med god kvalitet och användbarhet samt bidra till utvecklingskraft i hela landet. Transportsystemet ska vara jämställt, dvs. likvärdigt svara mot kvinnors respektive mäns transportbehov”* (Prop. 2008/09:93).

Hänsynsmålet beaktar säkerheten, miljön och hälsan och är formulerat enligt: *”Transportsystemets utformning, funktion och användning ska anpassas till att ingen ska dödas eller skadas allvarligt samt bidra till att det övergripande generationsmålet för miljö och miljö kvalitetsmålen nås samt bidra till ökad hälsa”* (Prop. 2008/09:93).

Miljö kvalitetsmålen är grunden för den svenska miljöpolitiken och preciserar den miljömässiga dimensionen av politiken för en hållbar utveckling. Miljö kvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan* som syftar till att minska halten av växthusgaser i atmosfären nås enligt propositionen genom en stegvis ökad energieffektivitet i transportsystemet och ett brutet beroende av fossila drivmedel. Transportsystemet ska dessutom utformas så att *”rese- och transportbehovet kan tillgodoses på ett sätt som*

stimulerar till och skapar goda förutsättningar för klimatsmartare, energieffektivare och säkrare lösningar” (Prop. 2008/09:93).

Enligt Trafa (2017) verkar det finnas en relativt god överensstämmelse mellan de aspekter som finns i de nationella transportpolitiska preciseringarna och de som finns i globala målen i Agenda 2030. Analyser som gjordes på uppdrag av regeringen har dock visat att det kan finnas anledning att utveckla de nationella transportpolitiska målen.

2.1.2 Agenda 2030

Agenda 2030 är en handlingsplan som antogs av världssamfundet år 2015 efter en lång process. Den agendan omfattar 17 mål och 169 delmål för hållbar utveckling, fattigdomsminskning och implementering av de mänskliga rättigheterna (FN, 2019). Endast några av de mål som handlar om hållbar utveckling och bedömts vara mest relevanta har utvärderats.

Huvudmål 9 handlar om att bygga hållbar infrastruktur, industri samt främja innovation som är nyckeln till att finna hållbara lösningar. Förutsättningar för en hållbar utveckling skapas genom effektivare resursanvändning samt ökad användning av rena och miljövänliga tekniker och industriella processer. Enligt delmål 9.1 ska tillförlitlig, hållbar och motståndskraftig infrastruktur av hög kvalitet byggas ut. Dessutom ska den ekonomiska utvecklingen stödjas (FN, 2019).

Huvudmål 11 handlar om att göra städer och samhällen hållbara. Hållbar stadsutveckling omfattar allt från tekniska frågor som bostäder och transport till miljöfrågor som gäller grönområden, luftkvalitet, avfallshantering och de frågor som rör samhället. Enligt Delmål 11.2 ska tillgång till säkra och hållbara transportsystem tillhandahållas genom att förbättra trafiksäkerheten, vilket kan göras genom att bygga ut kollektivtrafiken på det sätt som uppfyller allas behov, särskilt äldre och funktionsnedsatta personer (FN, 2019).

2.1.3 Europeiska kommissionens färdplan

De flesta målen i Agenda 2030 är formulerade som övergripande mål eller breda effektmål, som kan betraktas som inriktningsmål (VINNOVA, 2018). Därför har Europeiska Kommissionens färdplan som antogs år 2011 granskats och ett fåtal mål identifierats som kvantifierade och tidsbestämda. De flesta kvantifierade och tidsbestämda målen inom transporter faller under huvudmål 9 och huvudmål 11.

Mål som finns i färdplanen och kan kopplas till huvudmål 9 föreslår en tidplan för höghastighetståg i Europa. Enligt tidplanen ska tredubbla den nuvarande sträckningen av nätet för höghastighetståg färdigställas fram till 2030 och det hela fram till 2050. Dessutom ska alla flygplatser och hamnar vara anslutna till höghastighetsbana fram till 2050 (Europeiska Kommissionen, 2011).

Ett annat exempel på de tidsbestämda mål som kan kopplas till huvudmål 9 är de mål som handlar om användning av effektiva och miljövänliga transportkorridorer för att flytta 30% av de vägtransporter som är längre än 300 km till andra transportmedel såsom järnväg fram till 2030. Vidare ska andelen överflyttade vägtransporter ökas till mer än 50 % fram till 2050 och flertalet av passagerartransporterna på medellånga sträckor ske med tåg (Europeiska Kommissionen, 2011).

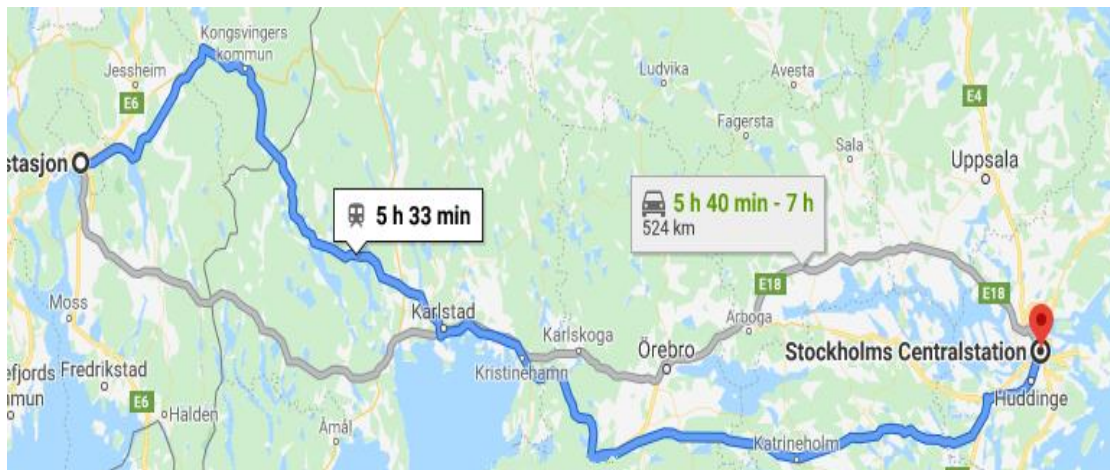
I den färdplanen finns dessutom mål som kan kopplas till huvudmål 11 i Agenda 2030, vilka syftar till att öka transporter och förbättra rörlighet samtidigt som utsläpp orsakas av transport minskas. Detta kan uppnås om användningen av fordon som drivs med konventionella drivmedel halveras fram till 2030. Dessutom ska dessa fordon fasa ut i städerna fram till 2050 (Europeiska Kommissionen, 2011).

2.2 Nulägesbeskrivning

2.2.1 Fallstudie Oslo - Stockholm

Stråket kopplar Norges huvudstad Oslo med Sveriges huvudstad Stockholm. Förutom de två expansiva huvudstadsregioner som stråket kopplar, går stråket genom tre mellanliggande växande arbetsmarknadsregioner; Karlstad, Örebro och Västerås. Stråket Oslo - Stockholm är angivet som utpekad brist i förslag till nationell plan för transportsystemet 2018–2029 samt finns omnämnt i Sveriges nationella transportplan för åren 2014–2025 (Trafikverket, 2017a).

Det finns två olika vägar för att ta sig från Oslo till Stockholm och omvänt som har valts visas i Figur 1 för att senare i rapporten vara underlag för avståndsmätning av möjliga framtida korridorer. Den första vägen (blåmarkerad i Figur 1) är en 570 kilometer lång järnväg och följer långa omvägar utan att passera genom Örebro eller Västerås. Den andra vägen (gråmarkerad i Figur 1) är en 524 kilometer lång bilväg och följer det gena E18 som går genom Örebro och Västerås.



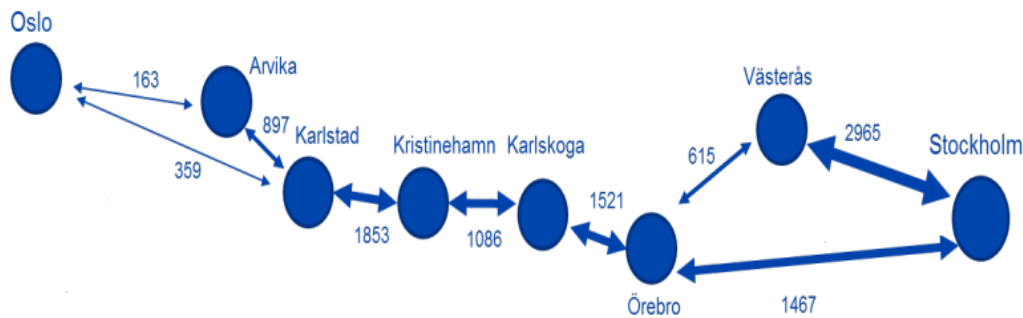
Figur 1 Sträckan Oslo-Stockholm. (Källa: Google Maps, 2020)

Användning av tåget för resor mellan Oslo och Stockholm är inte så attraktiv för många resenärer på grund av de brister som finns i dagens infrastruktur. De allra flesta väljer istället att använda flyg mellan huvudstäderna, vilket dominerar i antal avgångar, restid och antal resenärer (Trafikverket, 2017a).

Stockholm är Sveriges största tätort med ungefär 1,5 miljoner invånare, medan hela Storstockholmsområdet har drygt 2,3 miljoner. På den norska sidan har tätorten Oslo

ett invånarantal på över en miljon invånare. Till det kommer ytterligare en halv miljon invånare i Oslos närområde. I Karlstad, Örebro och Västerås bor sammanlagt 320 000 personer (SCB, 2018/a).

Arbetspendlingen mellan orterna har vuxit under de senaste åren, något som lyfter behovet av en förbättrad förbindelse längs med stråket. Bättre förutsättningar skapar ett nytt hållbart resande samt ökar antalet resenärer som pendlar dagligen mellan de orter som ligger längs stråket. Enligt pendlingsstatistik hämtat från Statistiska Centralbyrån i Sverige, SCB, (2018/b) och Statistiska Sentralbyrå i Norge, SSB, (2018), pendlar cirka 3 000 personer mellan Stockholm och Västerås, cirka 1 500 mellan Stockholm och Örebro och 350 mellan Oslo och Karlstad.



Figur 2 Ett urval av relationer med antal dagliga pendlare (sammanlagt för båda riktningarna). (Källa: Trafikverket, 2017a)

2.2.2 Dagens järnväg

Dagens järnvägssträckning som går mellan Oslo och Stockholm är ungefär 570 kilometer lång, varav drygt 170 kilometer redan idag har modernt dubbelspår. Värmlandsbanan och Kongsvingerbanan är enkelspåriga banor med sträckor av lägre standard, något som påverkar flödet på hela sträckan (Trafikverket, 2017a).

Resebolaget SJ trafikerar nuförtiden sträckan med tågtyp InterCity och erbjuder två dubbelturer per dag, medan sträckan Karlstad – Stockholm trafikerats med snabbtåg X2000. Hela sträckan Oslo – Stockholm har dock trafikerats med snabbtågen X2000 och ska därför undersökas i detta arbete. X2000-tågen köptes enligt SJ in för att kunna

köras med höga hastigheter på det befintliga spåret. Detta innebär att det är möjligt att köra upp till 200 km/h på de gamla, kurviga järnvägarna (SJ, 2020b).

För att X2000-tåg ska kunna färdas med hög hastighet på befintliga spåren utan att påverka komforten krävs mjuka boggier och korglutning (Järnväg, 2020). Korglutningen aktiveras när tågets hastighet överstiger 80 km/h och regleras aktivt. När vagnarna lutar med ungefär 6,5 grader känner passagerarna endast 30 % av sidokrafterna jämfört med ett olutat tåg vid samma hastighet, vilket innebär att med hjälp av korglutningen kompenseras passagerarna för en stor del av sidoaccelerationer (TechWorld, 2008).

En direkt resa tar i dagsläget ungefär fem och en halv timme och kostar mellan 235 och 695 kr (SJ, 2020b). Kartan nedan visar att tågtrafiken som passerar genom Mälardalen, Närke, Värmland och Osloreionen följer långa omvägar, vilket betyder en betydligt längre restid jämfört med det gena E18-stråket.



Figur 3. Dagens järnväg i stråket Oslo-Stockholm. (Källa: Oslo-Sthlm 2.55, 2020)

Enligt Trafikverkets åtgärdsvalsstudie som genomfördes år 2017 lider den befintliga järnvägsinfrastrukturen av ett flertal brister. Låg tillgänglighet, bristande punktlighet för personresor samt bristande trafiksäkerhet och framkomlighet är bara några exempel. Kapacitetsbrister finns främst på Mälardalen Västerås – Örebro, Värmlandsbanan Kristinehamn – Kil och Svealandsbanan Folkesta – Rekarne (Trafikverket, 2017a).

2.2.3 Flyg

Det är även relevant att referera till flyg i denna jämförelsestudie, då de snabba landtransporter förväntas konkurrera med flyg. Enligt Trafikverket (2017a) väljer cirka 1,4 miljoner resenärer varje år (av totalt 1,7 miljoner) att använda flygtrafik för resor mellan huvudstäderna Oslo och Stockholm. Idag är det tre flygbolag som flyger mellan Oslo och Stockholm och erbjuder åtta dubbelturer per dag. Resan tar mellan 55 och 70 minuter och kostar mellan 395 och 670 kr (Google Flights, 2020).

Även om man räknar från stadskärnan till stadskärnan är det snabbare att resa med flygtrafik jämfört med dagens järnväg. Det snabbaste alternativet för att ta sig från flygplatsen Arlanda till Stockholm Centralstation är att använda snabbtåget Arlanda Express som tar 18 minuter och kostar 299 kr (Arlanda Express, 2020). En resa mellan Oslo Centralstation och Oslo flygplatsen tar 23 minuter och kostar 105 kr (VY, 2020). Detta innebär att hela resan inkluderat anslutningsresor kan göras på ungefär tre och en halv timme och kostar mellan 799 och 1074 kr. Den totala restiden tar hänsyn till incheckning, bagageavlämning, säkerhetskontrollen, väntetider och bytestider.

Flygtrafiken har stor påverkan på miljön därför har flyget och miljön varit ett fokusområde i regeringens nationella flygstrategi. Regeringens syftar till att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning genom en högre andel kollektivtrafik och en dämpad tillväxt för flygtrafiken. Regeringen ska i linje med Agenda 2030 ta avgörande steg, som exempelvis införandet av flygskatt, för att miljömålen ska nås (Regeringskansliet, 2016).

2.3 Snabba landtransporter

Det finns flera olika alternativ för att skapa en attraktiv förbindelse mellan huvudstäderna Oslo och Stockholm. Satsningar på dagens infrastruktur kan vara en lösning. Sådana satsningar kan göra höghastighetståget möjligt samt leda till kortare res- och väntetider. Omfattande förändringar i infrastrukturen som omfattar satsningar på en hel ny teknik såsom MagLev-teknik och Hyperloop kan också vara en lösning.

2.3.1 Höghastighetsjärnväg

Det finns ett antal olika definitioner för höghastighetsjärnväg som används över hela världen. Den internationella järnvägsunionen (UIC) definierar höghastighetståg som trafik av fordon med hastigheter som överstiger 250 km/h vid bygget av nya spår, eller 200 km/h på befintliga spår. Lägre hastigheter kan dock krävas till följd av lokala begränsningar (UIC, 2018). Ett framtida tåg bör, liksom dagens X2000, ha korglutning och vagnarna bör vara trycktröga, vilket innebär att obehag förorsakat av plötsliga tryckvariationer, vid till exempel tunnelpassager elimineras för bättre komfort (Fröidh, 2010).

Världens första höghastighetsjärnväg invigdes i Japan och då gick den mellan Tokyo, Nagoya och Osaka. Tågets maxhastighet uppgick till 270 km/h (Sjunnesson och Helldorff, 2012). För att förverkliga höghastighetståget mellan Oslo och Stockholm har bolaget Oslo-Sthlm 2.55 bildats. Namnet pekar på den planerade restiden mellan huvudstäderna Oslo och Stockholm som är två timmar och 55 minuter. Bolaget ägs av Karlstads kommun, Örebro kommun och Västerås stad samt Region Värmland, Region Örebro län och Region Västmanland (Oslo-Sthlm 2.55, 2020).

I Sverige utfördes dessutom ett branschgemensamt fordonsforskningsprogram *Gröna Tåget* som fokuserar på framtidens persontåg för hastigheter på 250 km/h och däröver. Programmet som startades av Banverket år 2005 i samarbete med Bombardier, KTH och representanter från järnvägssektorn syftar till att ta fram kunskap om framtida höghastighetståg anpassade för svenska/nordiska förhållanden (GrönaTåget, 2020).

Programmet har analyserat flera möjliga tågtyper med olika prestanda. Gröna tåget av typ S250 undersöks i detta arbete, där 250 hänvisar till tågets maximala hastighet.



Figur 4 Det framtida gröna tåget (Källa: gronataget.se)

2.3.2 MagLev

MagLev som är en förkortning av det engelska ordet Magnetic Levitation betyder magnetisk upplyftning. Metoden baseras i princip på att hålla ett objekt uppe i luften utan annat stöd än magnetfältet. Vidare ska de magnetiska krafter utnyttjas för att övervinna gravitationskrafterna som verkar på objektet och på så sätt få objektet att sväva fram. (Wahl, 2004).

I slutet av 1940-talet utvecklades den första fullt fungerande modellen av de linjära induktionsmotorer (Blow, 2018) som sedan blev lämpliga att användas på avancerade MagLev-system. Nuförtiden är det bara tre magnetsvävartåg som är igång, ett i Kina, ett i Japan och det sista i Sydkorea. Det kinesiska tåget kommer under färden upp i maxhastigheten 431 km/h och klarar en 30 kilometer lång sträcka mellan Pudong flygplats och Longyang metrostation på drygt 7 minuter (Coates, 2005).

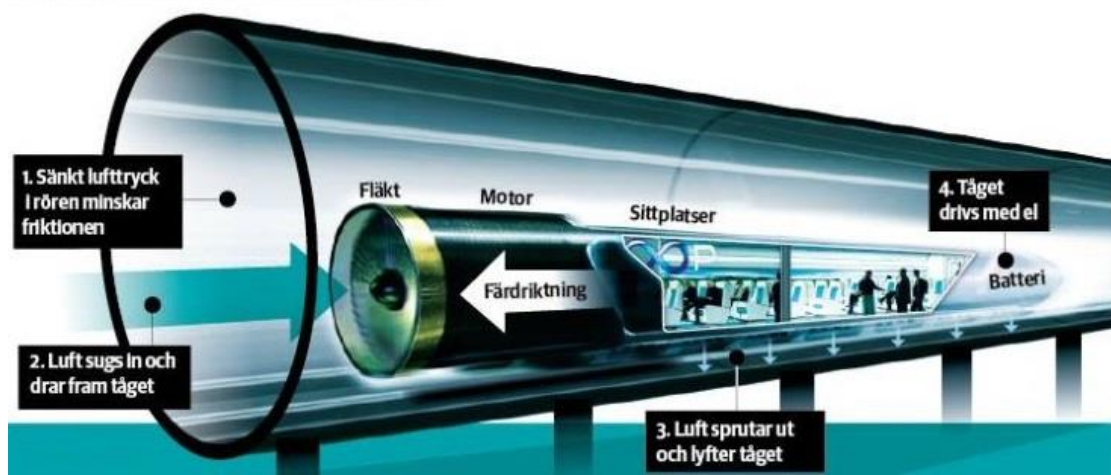


Figur 5. Magnettåg i Shanghai. (Källa: Eugene Hoshiko)

År 2017 började Japan bygga en Maglevlinje mellan Tokyo och Nagoya, med planer för utbyggnad till Osaka. Det japanska MagLevtåget *Chūō Shinkansen* som planeras att trafikera den 286 kilometer lång sträckan har en maxhastighet på 505 km/h (JR Tokai, 2019). I dagsläget är det bara ett fåtal modeller som är tillgängliga över världen, såsom Transrapid TR09, ICE3, SC-MagLev MLX01 och Shinkansen N700A. Den tyska modellen *Transrapid TR09* är ett självkörande tåg (Steriner & Steinert, 2006) och valdes för denna studie.

2.3.3 Hyperloop

Hyperloop-konceptet bygger på att skicka speciella kapslar genom ett stålrör byggt över eller under marken med lågt lufttryck för att minska luftmotståndet som påverkar på kapslarna. Hyperloop kan ses som en utveckling av Maglev, då linjära induktionsmotorer används i den här tekniken för att dra och bromsa kapslarna. Att hålla kapslarna uppe i luften minskar rullfriktion. Minskning eller till och med eliminering av luftmotstånd och rullmotstånd förväntas tillåta snabbare hastigheter än vanliga Maglev (Musk, 2013). Principen redovisas i Figur 6 nedan.



Figur 6 Konceptet med Hyperloop-teknik (Källa: KSF MEDIA, TT NYHETSBYRÅN, 2017)

I dagsläget har ingen Hyperloop-linje kommit i drift. Däremot finns det flera planerade projekt runtom i hela världen, där flera företag såsom Virgin Hyperloop One, Hyperloop Transportation Technologies (HTT), SpaceX, och Hardt Global Mobility håller på att utveckla Hyperloop-tekniken som är avsett att transportera passagerare och gods med höga hastigheter. Hyperloop-kapseln reser med höga hastigheter inom smala och fönsterlösa tunnlar, något som skapar höga ljudnivåer och påverkar passagerarkomfort. Det är dock tekniskt möjligt att hantera den negativa effekten och därmed göra resan relativt bekvämt. För att öka komforten och förbättra hela upplevelsen föreslås att ersätta vanliga fönster med stora digitala skärmar, där resenärarna väljer den miljö de tycker om att befinna sig i (HyperloopTT, 2020).

I Sverige har det varit mycket begränsat intresse för Hyperloopkonceptet. Det mest framstående arbetet i Sverige är FS-Links som arbetar för att förverkliga Hyperloop-systemet i Norden. Virgin Hyperloop One tillsammans med konsultföretagen KPMG och Ramboll samt advokatbyrån Setterwalls genomfördes en studie som undersökte möjligheterna att implementera en Hyperloop-linje mellan Stockholm och Helsingfors under Östersjön (Ramboll, 2016).



Figur 7 De möjliga sträckningarna för Hyperloop mellan Stockholm och Helsingfors (Källa: KPMG 2016)

3. Metodik

Utöver insamlade data var det nödvändigt att göra antaganden, dels för att Hyperloop-teknik fortfarande är under utveckling, dels på grund av att linjedragningen inte är bestämd än. För att kunna jämföra trafikslagen sinsemellan behöver liknande förutsättningar antas. Förutsättningarna är enligt följande:

- Sträckan trafikeras av samma tågtyper (lika långa tåg med lika hastighet)
- Tåg stannar endast på de studerade stationer
- Tåget kan hålla en jämn hastighet hela vägen efter att det accelererat till den maximala hastigheten. Tidstillägg ska dock tas med i beräkningarna.

Detta kan göras, då det inte är en förstudie till sträckan Oslo – Stockholm, linjedragningen är inte bestämd och aspekter såsom geologi, kurvradier, avstånd mellan mötesdriftplatser kan inte beaktas.

3.1 Gångtidsberäkningar

Första steget för att kunna beräkna tågets gångtid är att beräkna Accelerationstiden t_{Acc} , Accelerationssträckan S_{Acc} , Bromstiden t_{Brom} och Inbromsningssträckan S_{Brom} . Där a är acceleration, r är retardation, v_0 är begynnelsehastighet och v är den maximala hastigheten och sätts i beräkningarna till 85% av den planerade hastigheten.

$$t_{Acc} = \frac{v}{a}; \quad S_{Acc} = \frac{v^2}{2 * a}; \quad t_{Brom} = \frac{v_0}{r}; \quad S_{Brom} = \frac{v_0^2}{2 * r}$$

Därefter mäts avståndet mellan de studerade stationerna. Detta görs med hjälp av avståndsmättningsfunktion som finns på *Google Maps* (2020), där hela sträckan S_{Hela} dels upp i korta delsträckor vilka mäts och samlas ihop. Sträcka respektive tid som tåget kör med maxhastighet betecknas med S_{Max} respektive t_{Max} och ges enligt följande ekvationer:

$$S_{Max} = S_{Hela} - S_{Acc} - S_{Brom} = S_{Hela} - \frac{v^2}{2 * a} - \frac{v_0^2}{2 * r}$$

Den totala gångtiden t_{TOT} beräknas enligt nedanstående ekvation innan ett gångtidstillägg läggs på:

$$t_{TOT} = t_{Acc} + t_{Brom} + t_{Max} = \frac{v}{a} + \frac{v_0}{r} + \frac{S_{Max}}{v}$$

Gångtidstillägg tar först och främst hänsyn till felkällor som inträffar med en relativt hög sannolikhet, men får måttliga konsekvenser. Tidstilläggen omfattar exempelvis nedsatt adhesion (spårhalka), små tekniska fel och marginaler som ska ge tåget möjlighet att återhämta förseningar. Tidstilläggen tar dessutom hänsyn till mänskligt beteende som hanterar skillnader mellan hur olika förare kör tågen. Tilläggens storlek ligger för närvarande mellan 11 och 13 % (Palmqvist, 2014). Den internationella järnvägsorganisationen UIC kräver dock bara att internationella tåg med prestanda motsvarande snabbtåget X2000 har gångtidstillägg på minst 5 % (UIC, 2000). Den exakta hastighetsprofilen är inte känd i detta skede därför ska ett extra tidstillägg antas för att kompensera för hastighetsminskning som uppstår till följd av till exempel kurvradier, växelval eller när tågen passerar mellanliggande stationer, där tågen inte planeras stanna. Det totala tidstillägget som används i beräkningarna blir i så fall 15%. Enligt Palmqvist (2014) bör tilläggen placeras jämnt över hela sträckan ifall information gällande var förseningarna uppstår saknas. Detta ska i detta arbete göras genom att schablonmässigt sänka tågets största tillåtna hastighet.

Till sist läggs uppehållstiden till för att få de totala restiderna. Upehållstiden varierar beroende av antalet resenärer som påverkas i sin tur av stationens storlek och trafikslags kapacitet. Upehållstiden sätts till tre minuter för samtliga trafikslag förutom Hyperloop där uppehållstiden sätts till två minuter istället beroende av antalet resenärer som kan transporteras på en gång.

3.2 Reseefterfrågan

Antalet nytillkomna resenärer beror på restidselasticitet och turelasticitet. Beräkningarna tar dock endast hänsyn till restidsminskning som bedöms vara en huvudanledning till efterfrågeförändring. De nytillkomna resenärer $r_{Nyttillkomna}$ som förväntas till följd av kortare restid beräknas enligt följande ekvation:

$$r_{Nyttillkomna} = e * \Delta r * r_{Befintliga}$$

Där restidselasticiteten e definieras som förhållandet mellan de procentuella förändringarna i efterfrågan och restid och sätts i beräkningarna till -0,4, vilket innebär att en reduktion av restiden på 10 procent ger 4 procent fler resenärer (Nilsson et al., 2017). Den relativa tidsskillnaden Δr är lika med tidsskillnaden Δt delad på den ursprungliga restiden t och ges enligt nedan:

$$\Delta r = \frac{\Delta t}{t}$$

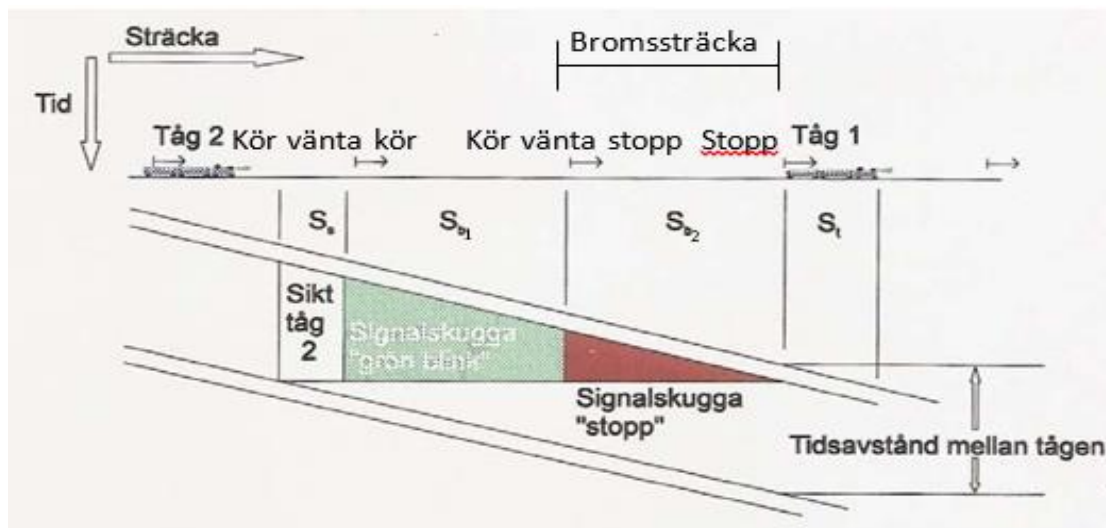
Beräkningarna utförs i två steg och omfattar endast resenärer mellan huvudstäderna Oslo och Stockholm, då detta scenario omfattar även de trafikslag som endast går mellan ändpunkterna. Det första steget tar hänsyn till de befintliga resenärer som reser med tåg och den ursprungliga restid som dagens tåg tar och ligger på fem timmar och 33 minuter. Det andra steget omfattar de resenärer som reser med flygtrafik, då snabba landtransporter antas kunna konkurrera med flygtrafik. Restiden som används i beräkningarna avser en resa från stadskärna till stadskärna och sätts till tre och en halv timme. Därefter summeras antalet nytillkomna resenärer med dagens efterfrågan för att få den totala reseefterfrågan. Till sist jämförs reseefterfrågan med transportkapaciteten som var och en av de studerade trafikslagen förväntas klara av.

3.3 Kapacitetsberäkningar

Järnvägskapacitet är inget begrepp som kan tolkas på ett sätt, utan har flera betydelser. I en bemärkelse definieras kapaciteten som antal tåglägen som kan trafikera en järnvägssträcka per tidsenhet och påverkas av ett antal faktorer. För att kunna beräkna kapaciteten behöver avståndet mellan två tåg S beräknas. Avståndet betecknas med S_{2B}

eftersom beräkningarna görs med två blocksträckor för samtliga trafikslag. Principen redovisas i Figur 8 och avståndet mellan två tåg S beräknas med följande ekvation:

$$S = S_S + S_{b1} + S_{b2} + S_t$$



Figur 8 Avstånd mellan tåg (Källa: Nordpers, 2006)

Där S_S är siktsträckan när föraren ser optisk signal (sätts i beräkningarna till 300 m), S_{b1} är blocksträckan för signalkugga "kör vänta kör", S_{b2} är blocksträckan för signalkugga "kör vänta stopp" (från tåget framför) och S_t är första tågets längd. Avståndet ska dock minst vara lika med minsta tillåtna förbeskedsavstånd vid målhastighet (km/h) enligt Trafikverkets Normaltabell för kodad lutning 0 ‰.

Järnvägskapaciteten K mätt i antal tåg per timme beräknas med följande ekvationer:

$$K_{2B} = \frac{3600}{t_g + (S_{2B}/v_0)}$$

Där K_{2B} hänvisar till att beräkningarna gjordes med två blocksträckor. t_g är en extra tidsmarginal mellan tåg (sätts i beräkningarna till 30 sekunder). Därefter multipliceras järnvägskapaciteten med vagnens/kapselns kapacitet för att få antalet resenärer som kan transporteras på maxtimmen.

4. Analys

4.1 Den konventionella järnvägen

Beräkningarna som avser den konventionella järnvägen baseras på dagens järnväg, där den befintliga sträckningen samt tågtyp X2000 som var planerad att trafikera sträckan använts. Dagens järnvägssträckning som går mellan Oslo och Stockholm mäts till ungefär 553 kilometer. Snabbtåget X2000 har en maxhastighet 200 km/h och behöver enligt SJ (2020) 3:41 minuter (221 sekunder) för att accelerera från 0 till 200 km/h (55,55 m/s), vilket motsvarar en acceleration på 0,25 m/s². Retardationen antas vara konstant under hela inbromsningsförloppet och motsvarar 0,6 m/s².

Gångtidsberäkningarna görs för två olika scenarier och redovisas i Tabell 1 nedan. Det första scenariot inkluderar uppehåll vid alla planerade mellanstationer; Arvika, Karlstad, Örebro och Västerås. Det andra scenariot avser en direktresa mellan huvudstäderna där järnvägen antas kunna följa den direkta väg som mäts till ungefär 420 kilometer och visas i Figur 9 nedan. I båda scenarier beräknas gångtiderna med ett tidstillägg på 15% av den maximala hastigheten och restiderna avrundas till en hel minut. Upphållstid vid stationer för på- och avstigning sätts till tre minuter i båda fallen.



Figur 9 Den kortaste möjliga sträckningen mellan huvudstäderna Oslo och Stockholm. (Källa: Google Maps, 2020)

Tabell 1 De beräknade restiderna för den konventionella järnvägen

Delsträcka	Avstånd [Km]	Beräknade restider med tågtyp X2000 [hh:mm]	Direktresa (420 km) [hh:mm]
Oslo	0	00:00	00:00
Arvika	160	00:59	-
Karlstad	219	01:26	-
Örebro	361	02:22	-
Västerås	453	03:00	-
Stockholm	553	03:41	02:31

De beräknade restider presenterats i tabell 1 ovan skiljer sig från verkliga restider på grund av två huvudanledningar. Å ena sidan har tågtyp InterCity som idag trafikerar sträckan en maxhastighet på 160 km/h, medan snabbtåg X2000 har en maxhastighet på 200 km/h. Dessutom har X2000 möjlighet att färdas 15 % snabbare genom kurvor än konventionella loktåg. Idag stannar SJ-tågen vid nio mellanliggande stationer jämfört med fyra i det studerade scenariot. En resa mellan Oslo och Stockholm beräknas ta 3:41 timmar jämfört med 5:33 timmar i bästa fall (dvs. utan några störningar) i verkligheten. I dagsläget går det inte att resa varken Oslo – Örebro eller Oslo – Västerås utan att göra minst ett byte vid Hallsberg station. I så fall tar resan Oslo – Örebro mellan 4:39 och 4:48 timmar och 5:51 timmar för Oslo – Västerås.

Å andra sidan är det, i verkligheten, omöjligt för tåg att hålla jämn hastighet speciellt när de passerar stationer även om tåget inte ska stanna, vilket beror på växlarna. Högre växelhastighet medger att ett tåg kan avvika snabbare från huvudspåret och frigöra kapacitet till andra tåg. Val av växelhastighet och växeltyp påverkar tågets hastighet. För att möjliggöra högre hastighet in mot en station och ut på linjen bör växlar för hög hastighet placeras i de yttre ändarna av stationen. Hastigheten begränsas dessutom till följd av kurvradier. I kurvor går det i många fall inte att hålla den högsta möjliga hastigheten på grund av kurvans radie, övergångskurvans längd eller rälsförhöjningens storlek. Det är som bestämmer tillåten hastighet genom kurvor är resekomfort och en säkerhetsmarginal mot urspårning (Trafikverket, 2019).

För att kunna beräkna kapaciteten har den tid som snabbtåget X2000 behöver för att stanna beräknats. Bromstiden beräknas till ungefär en minut och bromssträckan beräknas till 1 858m. Minsta tillåtna förbeskedavstånd för målhastigheten 0 km/h är 2 600 meter enligt Trafikverket (2009). Därför sätts blocksträckslängden till 2 600 meter. Minsta tillåtna avståndet mellan två tåg inkluderat två blocksträckor, siktsträcka (300 meter) och X2000s längd (165 meter) blir 5 665 m. Antalet tåg som kan trafikera sträckan på maxtimmen beräknas till 12 tåg per timme och riktning, vilket innebär ett tåg var 2,5 minut. Tåget av typ X2000 rymmer 309 sittplatser i ett sexvagnarståg (SJ, 2020), vilket innebär att antalet resenärer per timme och riktning blir 3 708.

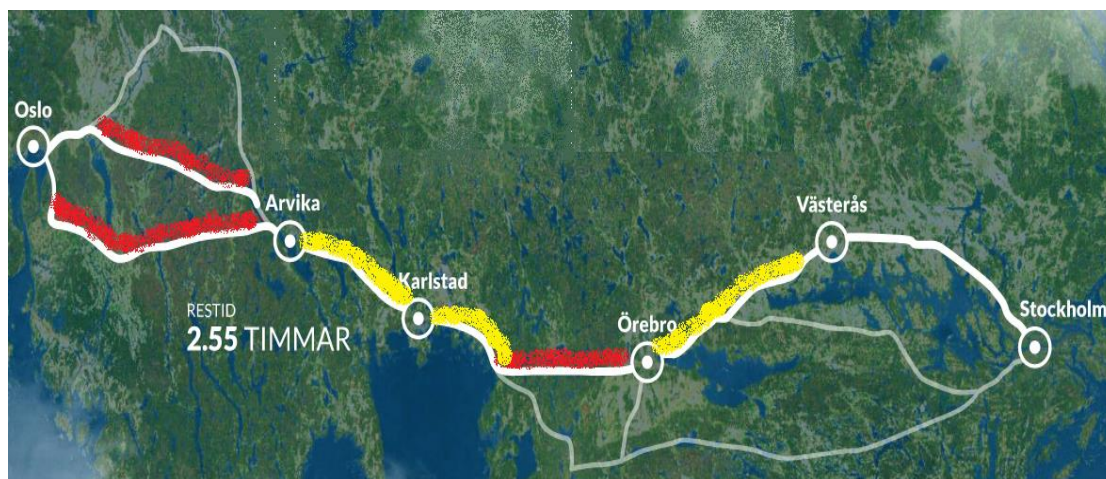
4.2 Höghastighetståg

Programmet *Gröna Tåget* har analyserat flera tågtyper, där accelerationen och retardationen ligger i intervallet $0,48 - 1 \text{ m/s}^2$ respektive $0,6 - 0,8 \text{ m/s}^2$. En likformig retardation om $0,6 \text{ m/s}^2$ är komfortkravet, då en kraftigare retardation skulle under delar av inbromsningen upplevas som obekvämt av resenärerna eftersom den i praktiken varierar och har högre toppvärden. Den skulle dock kunna användas vid nödbromsning samt för att hämta in förseningar (Fröidh, 2010). Beräkningar i detta arbete görs för *Gröna Tåget* med en konstant acceleration och retardation motsvarande $0,6 \text{ m/s}^2$.

Trafikverket har redovisat kostnader och trafikering för en bana med en ballastfri betongkonstruktion för banöverbyggnad med fixerade spår, där den största tillåtna hastigheten föreslås vara 320 km/h (Sverigeförhandlingen, 2014). Trafikverket har å andra sidan redovisat ett annat förslag som utgörs av spår med ballast och medför lägre kostnader. I detta beslutsunderlag föreslås ett höghastighetssystem med dimensionerande hastighet 250 km/h (Trafikverket, 2018).

Beräkningar i detta arbete utförs för det höghastighetssystem som har dimensionerande hastighet 250 km/h eftersom tanken med höghastighetsbanan är att genom satsningar i dagens järnvägsinfrastruktur möjliggöra snabbare och mer robusta och attraktiva resor. Satsningarna omfattar kompletteringar i den befintliga infrastrukturen för att skapa genare dragningar på två delsträckor längs linjen. Genom nya dragningar

(rödmarkerade i Figur 10) förkortas sträckan med knappt 80 kilometer jämfört med idag och blir då kortare än E18. Dessutom ska kapaciteten ökas genom en fullständig dubbelspårsutbyggnad på Värmlandsbanan och fler dubbelspår på Mälärbanan (gulmarkerade i Figur 10) (Oslo-Sthlm 2.55, 2020).



Figur 10 Den planerade sträckningen för höghastighetsbana Oslo – Stockholm (Källa: Oslo-Sthlm 2.55, 2020)

Avståndet mellan Oslo och Stockholm, inkluderat alla planerade stationer, mäts till ungefär 441 kilometer, då kortaste avstånd mellan stationerna antas. För en direktresa mellan huvudstäderna antas järnvägen kunna följa en direkt väg på ungefär 420 kilometer, då de mellanliggande stationerna inte behöver inkluderas. De beräknade restiderna för en direktresa samt en resa med uppehåll vid alla planerade mellanstationer; Arvika, Karlstad, Örebro och Västerås redovisas i Tabell 2.

Tabell 2 De beräknade restiderna med höghastighetståg

Delsträcka	Avstånd [Km]	Beräknade restider med Gröna Tåget [hh:mm]	Direktresa (420 km) [hh:mm]
Oslo	0	00:00	00:00
Arvika	108	00:33	-
Karlstad	167	00:55	-
Örebro	265	01:28	-
Västerås	349	01:57	-
Stockholm	441	02:28	02:01

Ett brett tåg rymmer 25 - 30 % flera sittplatser i samma vagnskorg jämfört med normalbredd eller kontinental korgprofil. Det är därför möjligt att rymma knappt 300 sittplatser i ett brett tåg med fyra vagnar. Sittkomforten i det framtida *Gröna Tåget* dimensioneras för restider på upp till 5 timmar, vilket innebär max 2,7 sittplatser per meter tåglängd (Fröidh, 2010). Detta innebär att det tåg som rymmer 300 resenärer ska minst vara 112 meter långt, därför görs beräkningarna just med denna tåglängd. Flera sittplatser och ett värde på upp till 3,1 sittplatser per meter tåglängd i ett brett tåg är möjligt, men det skulle minska resenärernas komfort och öka risken för förseningar vid uppehåll (Fröidh, 2010).

Bromstiden beräknas till ungefär en minut och 40 sekunder, då bromssträckan beräknas till ungefär 2 900 m. Beräkningarna visar att ett tåg kan trafikera sträckan var 2,3 minut, vilket betyder att hela sträckan som maximalt kan trafikeras med 13 tåg per timme och riktning. Fyrvagnståg som rymmer 300 passagerare antas användas i trafik och transporterar därmed 3 900 per timme och riktning.

4.3 MagLev

Magnettåg accelererar bättre, kommer snabbt upp i marschfart inom en kort distans och bromsar snabbare jämfört med höghastighetståg. Dess nuvarande tillämpning-färdiga versionen, *Transrapid 09*, har möjlighet att accelerera med 1 m/s^2 . Magnettåget har nämligen mycket kortare bromsningssträcka och retardationen ligger också på cirka 1 m/s^2 . Åkkomforten påverkas inte när ett fordon passerar ett annat eftersom fordonets karosseri är trycktät (Transrapid International, 2004). I denna analys ska accelerationen och retardationen dock begränsas till komfortkravet som ligger på $0,6 \text{ m/s}^2$, då en kraftigare acceleration och retardation kan påverka passagerarkomforten.

Beroende på att MagLev-tåg flyter fram i luften, utan kontakt med banan, kan tågtyp *Transrapid TR09* uppnå en maxhastighet 430 km/h under färden (Shuichiro, 2008). Med acceleration och retardation presenterats ovan kan accelerationssträcka och bromsningssträcka beräknas. Dessutom har kortaste avstånd mellan stationerna antagits

för att få den totala restiden. De beräknade restiderna mellan orterna som beräknats med 85% av tågets maxhastighet redovisas i Tabell 3 nedan. En direktresa antas kunna följa den kortaste vägen mellan huvudstäderna vilken mäts till ungefär 420 km.

Tabell 3 De beräknade restiderna med MagLev

Delsträcka	Avstånd [Km]	Beräknade restider med tågtyp TR09 [hh:mm]	Direktresa (420 km) [hh:mm]
Oslo	0	00:00	00:00
Arvika	108	00:21	-
Karlstad	167	00:37	-
Örebro	265	00:59	-
Västerås	349	01:19	-
Stockholm	441	01:40	01:12

Enligt kapacitetsberäkningarna skulle totalt 18 tåg per timme (nio tåg per timme och riktning) kunna trafikera banan, vilket innebär ett tåg var 3,3 minut. Beräkningarna utfördes med två blocksträckor. Beräkningarna tar även hänsyn till passagerarkomfort som begränsar MagLevs retardationsförmåga. Ett MagLev-tåg av typen *Transrapid TR09* rymmer 156 sittplatser i 3-vagnarsMagLevståg. Den totala kapaciteten beräknas då till 1 404 resenärer per timme och riktning.

4.4 Hyperloop

Hyperloop förväntas kunna nå höga hastigheter som liknar, eller till och med överstiger flygresors hastigheter. Däremot är passagerarkomfort en potentiell utmaning för Hyperloop-teknik, då resorna sker i ett nära-vakuüm rör (Nikitas et al., 2017). *HyperloopTT* har en acceleration på 1 m/s^2 (HyperloopTT, 2020). De företag som utvecklar tekniken förklarar att deras syfte är att leverera Hyperloop med tillräckligt god passagerarkomfort som kan jämföras med flygresor när det gäller accelerationer och vibrationer. Det krävs dock en noggrann testning för att verifiera systemets komfortprestanda (Arup et al., 2017), därför begränsas accelerationen och retardationen till $0,6 \text{ m/s}^2$ i beräkningarna, vilket är minimikravet med tanke på passagerarkomforten.

Hastigheten för en fullt fungerande Hyperloop uppskattas till 480 km/h nära urbana områden samt genom kurvorna, medan den uppskattas nå hastigheter upp till 1220 km/h vid övriga delar (Werner et al., 2016). Enligt Yang et. al. (2017) som genomförde en serie simuleringar och tester är sådana höga hastigheter möjliga och kan uppnås med tanke på föreslagna förutsättningar. Dock bör det nämnas, att det är fortfarande en lång bit mellan den teoretiska hastigheten som ligger på 1220 km/h och den ”verkliga” världsrekordet som uppnåddes förra året (2019-07-21) av det tyska teamet *TUM* och då låg på 463 km/h (NyTeknik, 2019).

Rambolls studie om Hyperloop ifrågasätter dock Hyperloops nytta i relation till pris vid kortväga resor trots att även de kortare resorna förväntas gå snabbare med hyperloop-teknik (Ramboll, 2018). Enligt James (2016) går Hyperloop-kapslarna endast mellan ändpunkterna, det vill säga resorna med Hyperloop sker från var man är till vart man ska utan någon stopp i mellanliggande stationer. Beräkning av accelerations- och inbromsningssträckorna visar att de är så pass långa att Hyperloop inte hinner uppnå sin maxhastighet (1220 km/h) om tekniken används med tätare stationer. Däremot har en Hyperloop med maxhastighet 463 km/h möjlighet att uppnå sin maxhastighet vid resor mellan de stationer som inkluderar i denna studie.

Baseras på Rambolls slutsatser, hur James (2016) förklarar tekniken och de beräknade acceleration- och inbromsningssträckorna så bedöms tekniken inte vara lämplig för kortväga resor. Därför har restider med Hyperloop beräknats endast mellan huvudstäderna Oslo och Stockholm, vilket betyder att Hyperloop kan hålla jämn hastighet under hela resan, utan att tappa tid för att bromsa och accelerera igen. Det kortaste avståndet mellan huvudstäderna som mäts till ungefär 420 km används vid gångtidsberäkning. De gångtider som beräknats med både den teoretiska och den högst uppmätta hastigheten redovisas i Tabell 4.

Tabell 4 De beräknade restiderna med Hyperloop

Delsträcka	Avstånd [Km]	Beräknade restid (maxhastighet 463 km/h) [hh:mm]	Beräknade restid (maxhastighet 1220 km/h) [hh:mm]
Oslo	0	00:00	00:00
Stockholm	420	01:08	00:33

Enligt James (2016) klarar systemet en resa var 10:e sekund, enligt Decker et al. (2017) var 30:e sekund, enligt HyperloopTT (2020) var 40:e sekund och enligt Alpha-papperet ligger avgångsintervall på mindre än två minuter (Werner et al., 2016). Kapacitetsberäkningar som gjordes med hänsyn till komfort för maxhastighet 463 km/h visar dock att en Hyperlopp-kapsel kan, som högst, trafikera sträckan var 3,75 minut, vilket innebär åtta tåg per timme och riktning. Den totala kapaciteten för en Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h beräknas till sju tåg per timme (3,5 tåg per timme och riktning).

HyperloopTT-kapslar är konstruerade och utformade för att skapa en säker och harmonisk miljö för passageraren, med anpassade interiörer för den bästa möjliga upplevelsen. Varje kapsel är 30 meter lång och kan bära 28 till 50 passagerare (HyperloopTT, 2020). Kapaciteten för ett fullt fungerande system dvs. med maxhastighet 1220 km/h ligger på 98 resenärer per timme och riktning beräknat med den kapsel som rymmer till 28 passagerare. Hyperloop-systemet kan beroende av kapacitetsbehov transportera ungefär dubbelt så många resenärer om beräkningarna istället görs med 50 resenärer per kapsel. Resultatet redovisas i Tabell 5 på nästa sida.

Tabell 5 Hyperloops kapacitet för olika kombinationer

	Antal tåg per timme och riktning	Antal resenärer per timme och riktning (28 resenärer per kapsel)	Antal resenärer per timme och riktning (50 resenärer per kapsel)
Maxhastighet 1220 km/h	3,5	98	175
Maxhastighet 463 km/h	8	224	400

5. Resultat

5.1 Restider

5.1.1 Scenariot med uppehåll vid Arvika, Karlstad, Örebro och Västerås

I detta scenario där de studerade trafikslagen stannar vid samtliga mellanliggande stationer erbjuder MagLev snabbast resor, då Hyperloop-system inte bedöms vara konkurrenskraftigt vid kortväga resor. MagLev beräknas då kunna minska restiden mellan huvudstäderna med drygt två timmar jämfört med den konventionella järnvägen. Vid de kortare resorna beräknas höghastighetståget minska restiderna till hälften jämfört med den konventionella järnvägen. Till exempel beräknas en resa från Oslo till Arvika ta ungefär en timme med den konventionella järnvägen jämfört med en halv timme med höghastighetståg och 21 minuter med MagLev. På den svenska sidan, där samma sträckningar används för samtliga färdmedel beräknas en resa mellan Stockholm och Västerås ta 41, 31 respektive 21 minuter med den konventionella järnvägen, höghastighetståget respektive MagLev-tåget. De beräknade restiderna för detta scenario sammanställs i Tabell 6 och visas grafiskt i Diagram 1 nedan.

Tabell 6 Restider för scenariot med uppehåll vid mellanliggande stationer

Delsträcka	Beräknade restider (konventionell järnväg) [hh:mm]	Beräknade restider (Höghastighetståg) [hh:mm]	Beräknade restider (MagLev) [hh:mm]
Oslo	00:00	00:00	00:00
Arvika	00:59	00:33	00:21
Karlstad	01:26	00:55	00:37
Örebro	02:22	01:28	00:59
Västerås	03:00	01:57	01:19
Stockholm	03:41	02:28	01:40

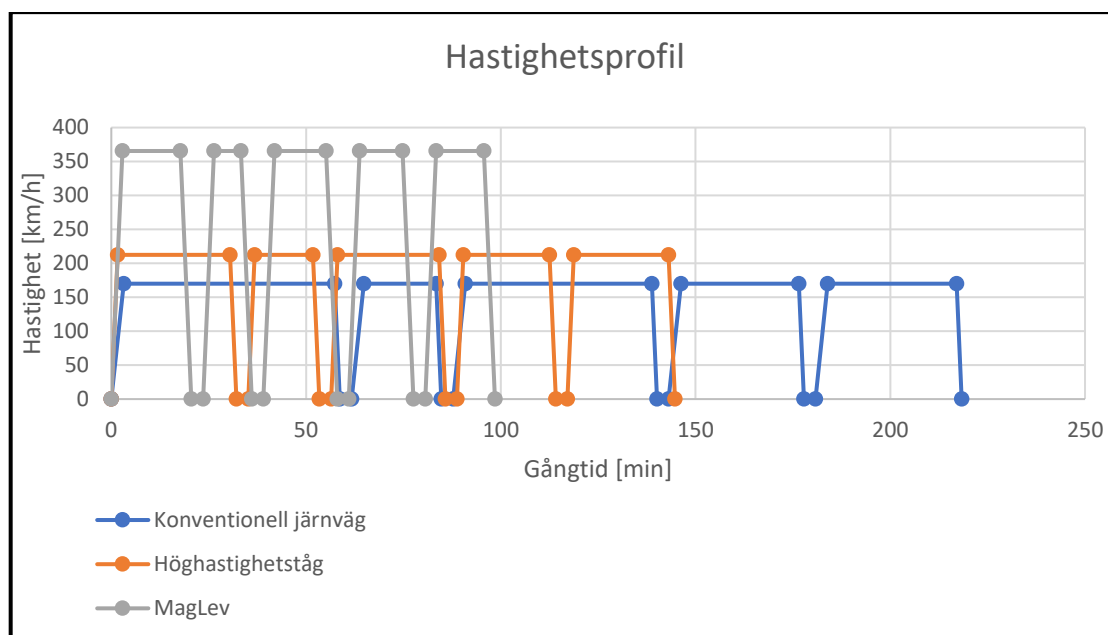


Diagram 1 Restider för scenariot med uppehåll vid samtliga stationer: Oslo-Arvika-Karlstad-Örebro-Västerås-Stockholm

5.1.2 Scenariot utan uppehåll

I ett scenario med en direktresa mellan huvudstäderna beräknas Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h erbjuda den snabbaste resan som är ungefär fem gånger snabbare än den konventionella järnvägen, fyra gånger snabbare än höghastighetståget och två gånger snabbare än Hyperloop med maxhastighet 463 km/h och MagLev. De beräknade restiderna för detta scenario sammanställs i Tabell 7 och visas grafiskt i Diagram 2 nedan.

Tabell 7 Restider för scenariot utan uppehåll

Sträcka	Beräknade restider (konventionell järnväg) [hh:mm]	Beräknade restider (Höghastighetståg) [hh:mm]	Beräknade restider (MagLev) [hh:mm]	Beräknade restider (Hyperloop 463) [hh:mm]	Beräknade restider (Hyperloop 1220) [hh:mm]
Oslo	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
Stockholm	02:31	02:01	01:12	01:08	00:33

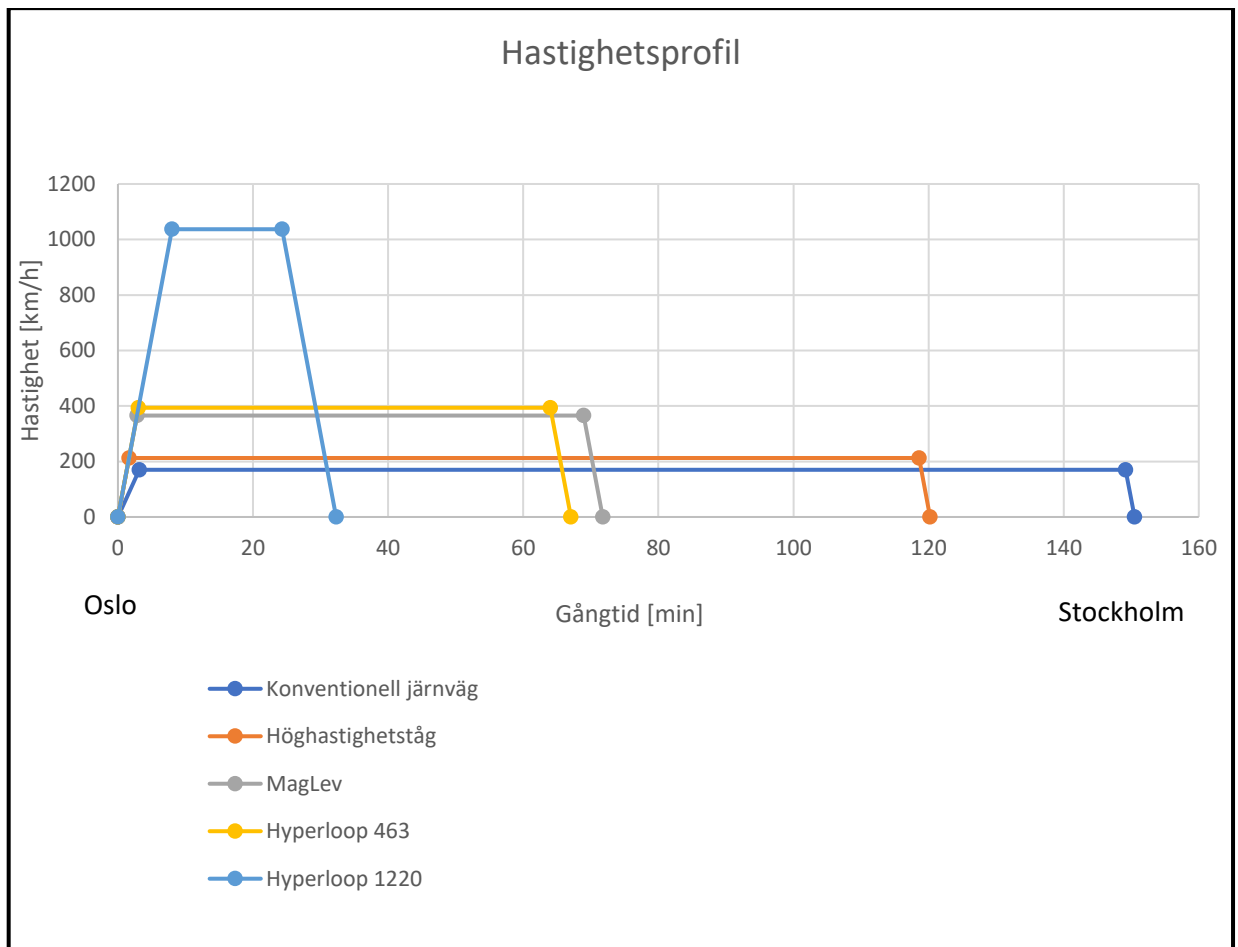


Diagram 2 Restider för en direktresa mellan ändpunkterna Oslo – Stockholm

5.2 Reseefterfrågan

Reseefterfrågan beräknas med hänsyn till restidselasticitet och omfattar endast scenariot med en direkt resa mellan huvudstäderna, då snabba landtransporter antas kunna konkurrera med flygtrafik. Detta innebär att kapacitet av varje studerade trafikslag ska jämföras med antalet resenärer mellan huvudstäderna inkluderat flygresenärer. Årligen reser ungefär 300 000 mellan huvudstäderna med tåg vilket motsvarar 1 000 resenärer per dag. Om man inkluderar de som reser med flyg blir antalet resenärer 1 700 000 vilket motsvarar 4 657 resenärer per dag.

Efterfrågan på kollektivresor är inte jämnt fördelad över hela dagen, utan varierar oerhört mycket, dels över året dels under dygnet. Kollektivresandet är störst under vintern, då många gående och cyklister reser kollektivt under vintern. När det gäller resor under dygnet är resandet störst under morgonrusningen mellan kl. 07:00 och 08:00, där ungefär 15% av alla resor sker. Den maximala efterfrågan är något mer utspridd under eftermiddagen. Den stora variationen i resandet skapar ett stort problem för planering av kollektivtrafiken. Systemet måste dimensioneras efter morgonrusningen under vintern (Holmberg, 2008). Dagens samt maxtimmens reseefterfråga för var och en av studerade trafikslag presenteras i Diagram 3 nedan.

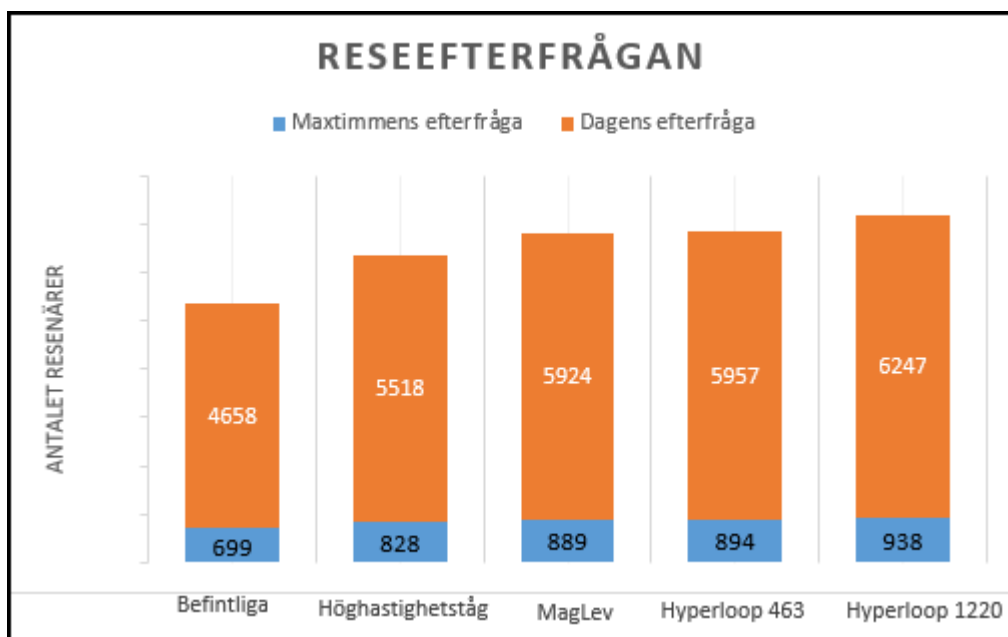


Diagram 3 Reseefterfrågan till följd av kortare restider. (Observera att resultaten avser scenariot utan uppehåll).

Med tanke på att dagens tåg rymmer till 309 resenärer behövs minst åtta dubbelturer per dag för att ta emot flygresenärer. Vid implementering av höghastighetståg beräknas antalet resenärer uppgå till 5 518 resenärer per dag, vilket innebär minst nio dubbelturer per dag. MagLev beräknas öka antalet resenärer till ungefär 6 000 per dag, vilket krävs 19 dubbelturer per dag. Hyperloop som har den lägsta kapaciteten förväntas generera det högsta antalet resenärer, då Hyperloop erbjuder de kortaste restiderna. För att kunna klara att uppfylla den ökade efterfrågan kräver Hyperloop med maxhastighet 463 km/h

minst 60 dubbelturer per dag motsvarande 3,3 turer per timme och riktning. Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h genererar ännu mer resande och kräver därför minst 63 dubbelturer per dag motsvarande 3,5 turer per timme och riktning. Resultatet sammanställs i Tabell 8.

Tabell 8 Antal dubbelturer som behövs för att klara dagens efterfråga

	Konvent- ionell järnväg	Höghastighe- ts-tåg	Maglev	Hyperloop 463 km/h	Hyperloop 1220/h
Modell	X2000	Gröna Tåget S250	Transrapid TR09	HyperloopTT 463km/h	HyperloopTT 1220km/h
Antal vagnar	6	4	3	1	1
Antal sittplatser	309	300	156	50	50
Resefter- frågan per dag	4 658	5 518	5 924	5 957	6 247
Antal dubbelturer som behövs	8	9	19	60	63

5.3 Kapacitet

Beräkningarna visar att samtliga studerade trafikslag, förutom höghastighetståg, kommer att erbjuda lägre kapacitet jämfört med den konventionella järnvägen. Höghastighetstågens kapacitet kan bli ännu högre om antalet vagnar ökas till sex istället för fyra. Däremot kommer alla andra trafikslag att erbjuda lägre kapacitet jämfört med den konventionella järnvägen även om antalet vagnar ökas till sex.

För att kunna bedöma om kapaciteten blir tillräckligt i framtiden har reseefterfrågan inkluderat antalet nytillkomna resenärer som förväntas till följd av kortare restider beräknats. Den dagliga efterfrågan jämförs med den dagliga kapaciteten som beräknats för trafikering i 18 timmar per dag, då alla resorna sker mellan kl. 05:00 och 23:00

enligt Holmberg (2008, sid.261). Efterfrågan per maxtimmen som, enligt Holmberg (2008, sid 261), motsvarar 15% av den dagliga efterfrågan jämförs med den maximala kapacitet som de studerade trafikslagen klarar varje timme. (Kollektivtrafikbarometern finns i bilagan).

Den beräknade kapaciteten som var och en de studerade trafikslag förväntas erbjuda sammanställs i Tabell 9. Kapaciteten omfattar dels antalet tåg som kan trafikera sträckan per timme och riktning, dels antalet resenärer per timme och riktning dels antalet resenärer per dag.

Tabell 9 Den beräknade kapaciteten

	Konventionell järnväg	Höghastighetståg	Maglev	Hyperloop 463 km/h	Hyperloop 1220 km/h
Kapacitet [dubbelturer /timme]	12	13	9	8	3,5
Kapacitet [resenärer /timme]	7 416	7 800	2 808	800	350
Resefterfrågan per maxtimmen (15%)	699	828	889	894	938
Kapacitet [resenärer /dag] (18 timmar)	133 488	140 400	50 544	14 400	6 300
Resefterfrågan per dag	4 658	5 518	5 924	5 957	6 247

Ur Tabell 9 kan utläsas att trafikslag; konventionell järnväg, höghastighetståg, MagLev och Hyperloop med maxhastighet 463 km/h förväntas kunna tillgodose reseefterfrågan per dag med stora marginaler. Detta innebär att tågen inte behöver utnyttja hela möjliga

kapaciteten, utan det kan räkna med antal turer presenterat i Tabell 8. Däremot beräknas Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h erbjuda den kapacitet som precis motsvarar dagens reseefterfråga, vilket innebär att hela kapaciteten behöver utnyttjas för att klara efterfrågan per dag. Dock beräknas varken Hyperloop med maxhastighet 463 km/h eller Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h kunna klara maxtimmens reseefterfråga.

5.4 Relation mellan restider och transportkapacitet

Beräkningarna visar att trafikslaget med den kortaste restiden medförde den lägsta transportkapaciteten, vilket innebär att om man vill ta vidare åtgärd för att till exempel minska restiden kan denna åtgärd minska antalet resenärer som kan transporteras per timme. Relationen visas i Diagram 4 nedan.

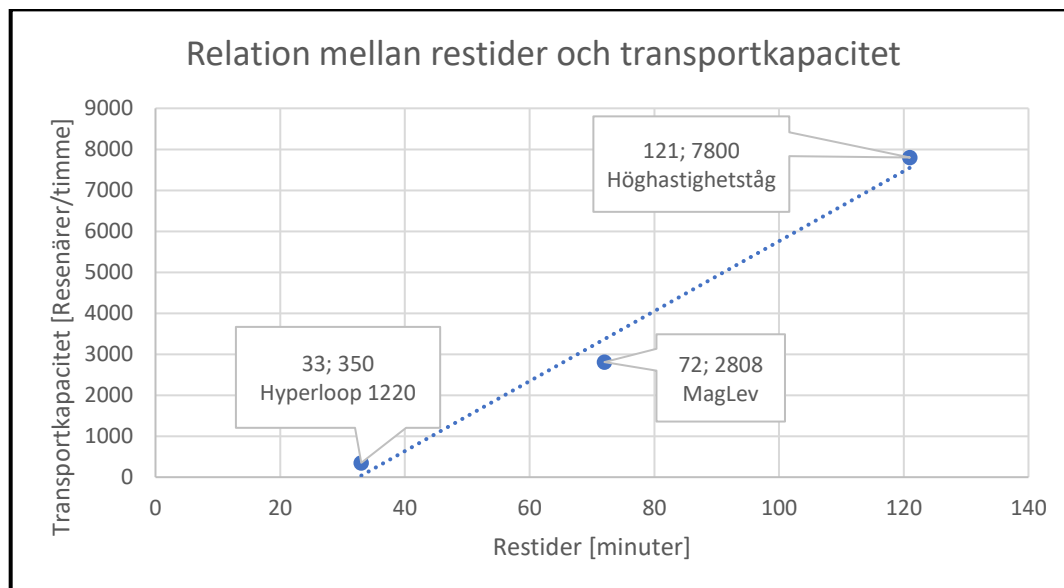


Diagram 4 Relation mellan restider och kapacitet för samtliga snabba landtransporter; Höghastighetståg, MagLev och Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h. (Observera att Hyperloop med maxhastighet 463 km/h inte har tagits med, då den erbjuder ungefär samma restid som MagLev med betydligt lägre kapacitet).

Det som kan utläsas ur diagrammet ovan är det ungefärligt linjära sambandet mellan restiden och transportkapaciteten. Med andra ord minskar kapaciteten linjärt till följd av kortare restider. På så sätt har man möjlighet att välja den transportkapacitet som uppfyller resebehovet och därmed bestämma det system som bedöms vara lämpligast för den önskade kapaciteten.

5.5 Relation mellan systemets hastighet och banans kapacitet

Sambandet mellan banans kapacitet och färdmedlens hastighet är också ungefär linjärt, vilket innebär att antalet tåg som kan trafikera sträckan minskar om färdmedlens hastighet ökar. Med hjälp av Diagram 5 nedan har man möjlighet att begränsa systemets hastighet för att öka banans kapacitet. Det är dock viktigt att notera att det inte går att interpolera längs hela trendlinjen eftersom diagrammet innehåller tre olika transportsystem. Interpolationen kan ske på det sätt som passar transportsystemets övriga egenskaper. Exempelvis kan höghastighetstågens hastighet variera mellan till exempel 250 km/h och 320 km/h och interpolationen kan därför göras mellan dessa hastigheter. Sambandet visas i Diagram 5 nedan.

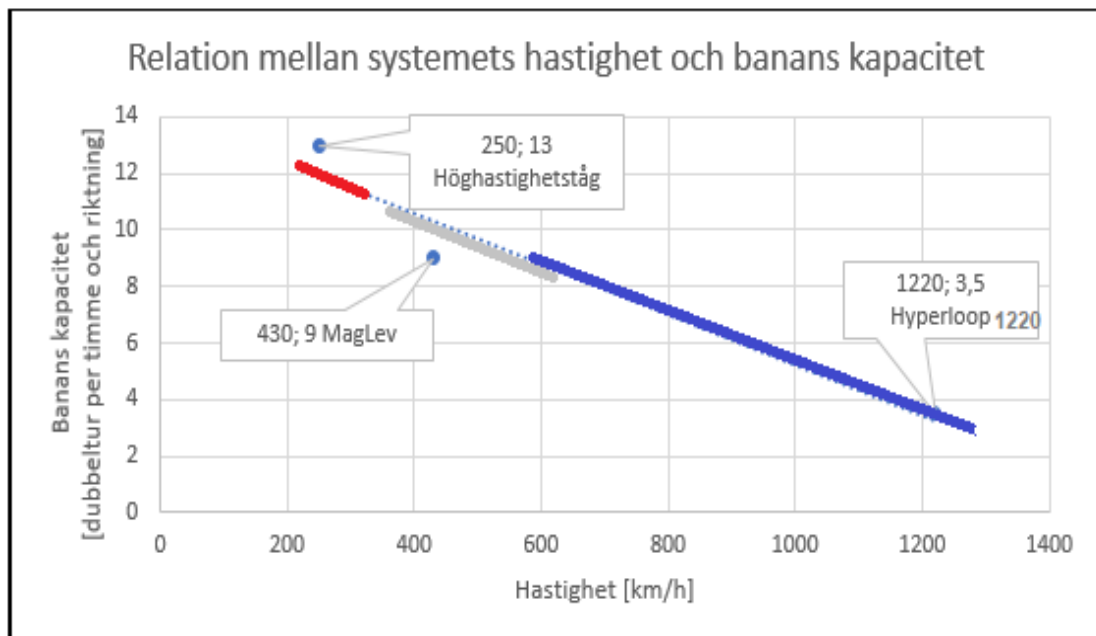


Diagram 5 Relation mellan banans kapacitet och systemets hastighet för samtliga snabba landtransporter; Höghastighetståg, MagLev och Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h. (Observera att de ungefärliga intervallerna som kan användas för höghastighetståg, MagLev respektive Hyperloop markeras med rött, grått respektive blått.

6. Diskussion och slutsatser

6.1 Trafikupplägg

Restid så som kapacitet är väldigt värdefulla i denna jämförelse. Totalt sett är potentialen för minskning av restiderna goda för alla studerade färdmedel, även om de förväntas bidra till olika grader. Förkortning av restiderna ger en tillgänglighetsförbättring för människor som bor och verkar i de två expansiva huvudstadsregioner och de växande arbetsmarknadsregioner som stråket kopplar samman. Att erbjuda snabbare tjänsteresor innebär bättre förutsättningar för arbetspendling på längre sträckor än vad som är möjligt idag.

Ur de studerade aspekterna och enligt beräkningarna är höghastighetståget det enda alternativet, bland de studerade alternativen, som erbjuder både kortare restider och högre kapacitet jämfört med den konventionella järnvägen. Höghastighetstågens kapacitet är störst bland studerade trafikslagen mätt både i antalet tåglägen som kan trafikera en järnvägssträcka på en maxtimme och antalet resenärer som kan transporteras på en maxtimme.

Beräkningarna visar att Hyperloop-system inte kan uppfylla maxtimmens reseefterfråga och bedöms därför inte kunna ersätta järnvägssystemet, utan kan fungera som ett komplement och stöd till densamma. Hyperloop-system kan istället konkurrera med flygtrafiken, då beräkningarna visar att accelerations- och bromsningssträckorna är så pass långa att Hyperloop inte hinner uppnå sin maximala hastighet om tekniken används med tätare stationer. MagLev-tekniken kan däremot konkurrera med järnvägssystemet om man prioriterar restidsminskning framför kapacitetsökning.

Till sist är det viktigt att notera att resultaten och slutsatserna baseras på specifika scenarier och avser speciella förutsättningar och antaganden och kan därför inte ge generella slutsatser. Detta innebär att resultatet kan bli annorlunda med andra förutsättningar och antaganden. Det är också viktigt att notera att de aspekter som inkluderar i denna studie är bara en del av den fullständiga utvärdering som behövs för implementering av ett nytt transportsystem.

6.2 Anknytning till hållbarhetsmål

Med tanke på de transportpolitiska mål presenterats i kapitel 2.1 kan man säga att alla studerade alternativ medför förbättringar i transportsystemet, vilket bidrar till ökad attraktivitet hos kollektivtrafiken och i sin tur resulterar minskad utsläpp av luftföroreningar, buller och trängsel. Detta bidrar i princip till att de transportpolitiska målen uppnås. Det är dock värt att notera att det är svårt att uppskatta hur varje enskilt transportsystem kommer att svara till hållbarhetsmålen. Det är också svårt att uppskatta de referensparametrar som kan användas för att väga systemens påverkan mot varandra.

Ur miljömässig hållbarhetssynpunkt kan Hyperloops påverkan på miljön ifrågasättas. Hyperloop har en låg kapacitet i förhållande till övriga studerade alternativ och kräver därmed betydligt fler dubbelturer per dag. Att köra mer än 60 dubbelturer per dag innebär ungefär sex gånger mer turer än vad som behövs med den konventionella järnvägen och höghastighetståget och fyra gånger mer turer än vad som behövs om MagLev-tekniken används. Hyperloops påverkan på miljön måste, precis liksom alla andra transportsystem, utvärderas på ett djupare sätt för att kunna välja klimatsmartare, energieffektivare och säkrare lösningar.

En investering i något av de studerade transportsystemen förväntas bidra till en mängd positiva effekter såsom minskad restid och ökad säkerhet. Minskad restid leder till att fler bilresenärer flyttar över till tågtrafiken, som är det säkraste transportmedlet. Säkerhetsaspekten har en stor betydelse, och är en förutsättning för ett fungerande transportsystem, och den ingår i de transportpolitiska målen. Enligt Trafikverket (2014b) är det säkert att åka tåg i Sverige, då det är mycket ovanligt att tågpassagerare omkommer i olyckor. Det är dock svårt att bedöma vilket trafikslag som är säkraste bland studerade alternativen, då vidare undersökningar som berör den här aspekten krävs.

Att öka kapaciteten är ett viktigt mål både i Sverige och på europeisk nivå, då en förbättrad kapacitet medför att flera tåg kan trafikera sträckan vilket bidrar till minskade förseningar och ökad pålitlighet. Trots att samtliga studerade trafikslag, förutom höghastighetståg medför en lägre kapacitet jämfört med den konventionella järnvägen kan alla alternativ ses som en kapacitetsökning. Detta eftersom implementering av en

högstastighetsjärnväg frigör kapacitet för godstransport och regional persontrafik på det övriga järnvägsnätet (Trafikverket, 2017b). Detta innebär att en stor del av vägtransporter kan överflyttas till järnväg, något som minskar transporterna på väg och sjö. Dessutom kan flertalet passagerartransporter på medellånga sträckor ske med tåg.

Jämfört med Hyperloop kan Höghastighets- och MagLev-tåg erbjuda högre antal stationsuppehåll och bedöms därför ha en bättre potential att bidra till måluppfyllelse vad gäller Europiska Kommissionens (2011) mål om minskning av bilanvändning fram till 2050. Hyperloop kan i sin tur ha en positiv miljöeffekt förutsatt att tekniken konkurrerar med flygtrafiken och leder till att flygresorna minskas.

Både höghastighets- och Maglev-bana kan även anslutas till Arlanda flygplats och bidrar därmed till Europiska Kommissionens (2011) mål om att alla flygplatser ska vara anslutna till höghastighetsbana fram till 2050. Däremot bedöms Hyperloop inte vara lämplig vid kortväga resor, då hastighetspotentialen inte utnyttjas med så täta stopp.

Vad gäller Europiska Kommissionens (2011) tidplan som handlar om färdigställande av höghastighetsnätet innan 2050 bedöms höghastighetståg ha den bästa potentialen bland de studerade alternativen. Detta eftersom höghastighetståget kan utföras genom satsningar i dagens järnvägsinfrastruktur, till skillnad från MagLev- och Hyperloop-tekniken som kräver omfattande investeringar. Dessutom är Hyperloop-tekniken fortfarande under utveckling och kräver alltså djupare studier.

6.3 Metoddiskussion

I beräkningarna antas att sträckan trafikeras av samma tågtyper. Dessutom har Trafikverkets Normaltabell för kodad lutning 0 ‰ använts. I verkligheten är tågtyperna blandade och det finns lutningar som påverkar accelerations- och inbromsningssträckorna, vilket ger en mycket mer komplex situation. Acceleration och retardation har begränsats till passagerarkomfort som gäller för dagens järnväg, vilket kan ha påverkat kapacitetsberäkningarna något. Det är oklart om man kan använda kraftigare acceleration och retardation utan att försämra komforten.

Beräkningarna i denna rapport utfördes med antagande att varje studerade färdmedel kan utnyttja 85% av sin maximala hastighet, då det är önskvärt att kunna utnyttja så

mycket som möjligt av färdmedels maximala hastighet speciellt vid nybyggnation. För att kontrollera rimligheten i detta antagande har medelhastigheten som gäller dagens järnväg och det planerade höghastighetståget undersökts. Tågtyp X2000 som idag trafikerar sträckan Karlstad – Stockholm färdas med medelhastighet 145 km/h motsvarande 73% av sin maximala hastighet, då underhållsarbete på dagens infrastruktur leder till hastighetsbegränsningar i tågtrafiken (Resrobot, 2020). Beräkningarna som utfördes av TÜV SÜD (2018) och gäller höghastighetståg visar att det framtida tåget kommer att kunna färdas med medelhastighet 200 km/h, vilket motsvarar 80% av höghastighetstågs maximala hastighet.

Metoden som har använts för att beräkna järnvägskapacitet gav headway-tid som stämmer överens med Trafikverkets rekommendationer när det gäller den konventionella järnvägen och höghastighetståget. ”Vid nybyggnation ska headway-tiden vara så kort som möjligt. Tre minuter anses vara ett lämpligt mått, eftersom detta ger en god kapacitet i högre hastigheter” (Trafikverket, 2019). Däremot var skillnaden i headway-tiden relativt stort när det gäller Hyperloop. Headway-tiden för en fullt fungerande Hyperloop med maxhastighet 1220 km/h beräknas uppgå till 10 minuter, medan de företag som utvecklar tekniken uppger att headway-tiden ligger mellan 10 sekunder och 2 minuter. Headway-tider som Hyperloop-företag anger kan vara teoretiska och baserade på systemets förmåga utan någon hänsyn till andra faktorer som begränsar kapaciteten såsom säkerhet och komfort. Skillnaden kan även ha uppstått till följd av att beräkningarna i detta arbete baserats på dagens signalsystem, då ingen tillgänglig information om Hyperloops signalsystem har funnits. I framtiden när en fullt utvecklad version av Hyperloops signalsystem kommit i drift kan förutsättningarna och därmed resultatet förändras.

Beräkning av antalet nytillkomna resenärer utfördes med hänsyn till restidselasticitet utan att beröra turelasticitet, då antalet turer som behövs inte kan bestämmas i detta skede. Dessutom sattes restidselasticitet till -0,4 vilket är ett ungefärligt erfarenhetsvärde och används vid marginella skillnader i restider (Nilsson et al., 2017). Då gångtidsberäkningarna omfattar stora skillnader i restiderna kan förändring i

reseefterfrågan bli svårt att uppskattas. För att minska osäkerheten har alla flyg- och tågresenärer som idag reser mellan huvudstäderna inkluderats.

6.4 Förslag på vidare studier

Fördjupad stråkstudie Oslo – Stockholm

Undersökning av de möjliga sträckningarna längs med stråket med avseende på de geometriska och geotekniska aspekterna. De möjliga korridorerna ska dessutom planeras för minsta möjliga intrång i natur- och kulturmiljöer samt bostadsmiljöer. Denna utredning kan baseras på de scenarier som diskuterats i denna rapport.

Kostnads- och nyttoberäkningar

Kostnader för implementering av var och en av de trafikslagen bör redovisas. Tanken med detta arbete att genomföras när ett Hyperloopsystem har kommit i drift, då har man möjlighet att jämföra med ett verkligt projekt för att minska osäkerheten och få därmed en mer trovärdig analys. Dessutom bör de ekonomiska nyttor som förväntas uppstå vid implementering av en ny teknik undersökas.

Sociala effekter som förväntas uppstå om en ny teknik tillkommer i regionen

Jämförelse mellan snabba landtransporter; höghastighetståg, MagLev och Hyperloop med syfte att utvärdera hur en ny teknik påverkar kommunernas utveckling och det mänskliga beteendet. Med andra ord ska denna jämförelsestudie sikta på de olika teknikernas positiva och negativa konsekvenser för samhället.

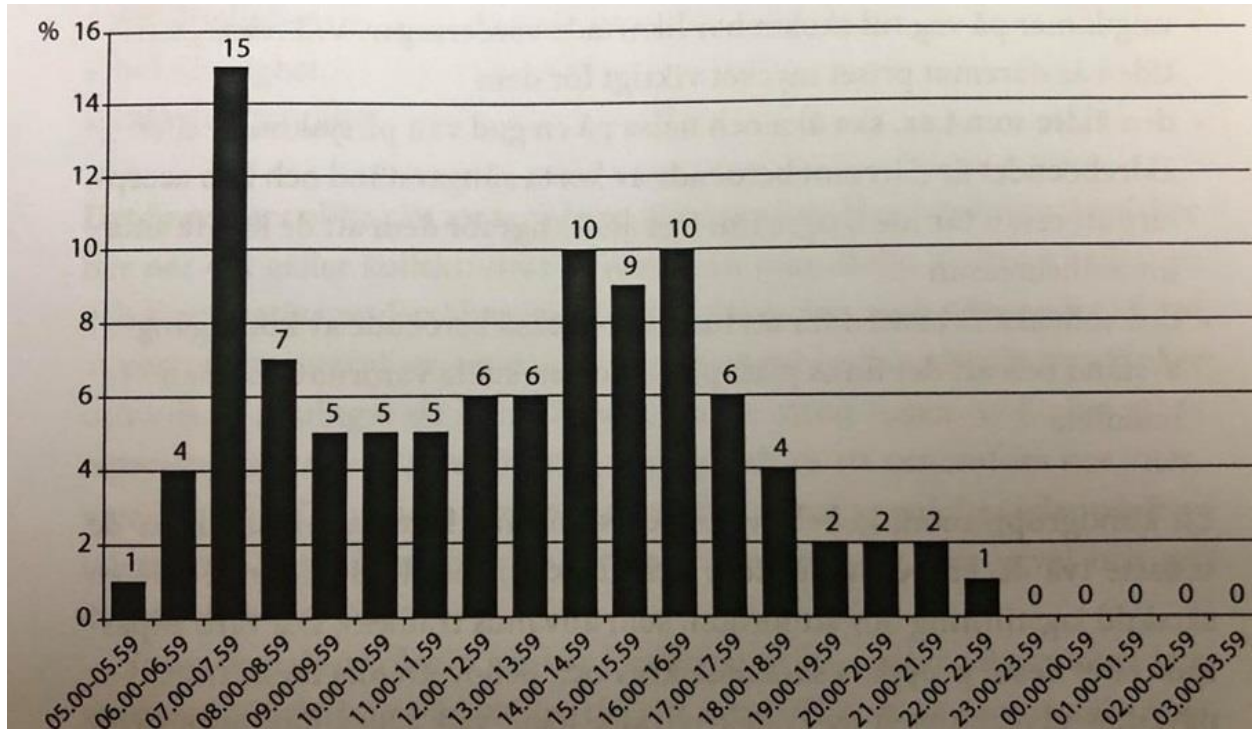
Kapacitetsanalys för Hyperloop

Kapacitetsanalys presenterat i detta arbete baseras på dagens signalsystem, något som kan ha påverkat Hyperloops kapacitet. Tanken med det framtida arbetet att genomföras när Hyperloop-teknik har fullt utvecklat, där man använder Hyperloops signalsystem för att ta reda på hur stort skillnaden blir jämfört med kapacitet beräknat med dagens signalsystem.

Framtida åtgärder för ökad säkerhet

Kapaciteten har begränsats i detta arbete för att öka säkerheten på banan. Kapaciteten kan begränsas ännu mer för att öka säkerheten på insidan. Efter Corona-pandemin blev det angeläget att djupare studera de möjliga åtgärder som kan vidtas för att göra kollektivtrafiken säkrare. Eftersom samtliga trafikslag är fortfarande under utveckling kan skyddsåtgärder för att hindra smittspridning och skydda därmed passagerarna vid framtida utbrott undersökas.

7. Bilaga



Kollektivtrafikbarometern (Källa: Holmberg (2008 sid 261) ur Svenska Lokaltrafikfördelning, bearbetad av LTH)

8. Figurförteckning

Figur 1 Sträckan Oslo-Stockholm. (Källa: Google Maps, 2020)

Figur 2 Ett urval av relationer med antal dagliga pendlare (sammanlagt för båda riktningarna). (Källa: SCB, SSB, 2018)

Figur 3 Dagens järnväg i stråket Oslo-Stockholm. (Källa: Oslo-Sthlm 2.55, 2020)

Figur 4 Det framtida gröna tåget (Källa: gronataget.se)

Figur 5 Magnettåg i Shanghai. (Källa: Eugene Hoshiko).

Figur 6 Konceptet med Hyperloop-teknik (Källa: KSF MEDIA, TT NYHETSBYRÅN, 2017)

Figur 7 De möjliga sträckningarna för Hyperloop mellan Stockholm och Helsingfors (Källa: KPMG 2016)

Figur 8 Avstånd mellan tåg (Källa: Nordpers, Lars-Göran. 2006)

Figur 9 Den kortaste möjliga sträckningen mellan huvudstäderna Oslo och Stockholm. (Källa: Google Maps, 2020)

Figur 10 Den planerade sträckningen för höghastighetsbana Oslo – Stockholm (Källa: Oslo-Sthlm 2.55, 2020)

9. Källförteckning

Arlanda Express, (2020)

<https://www.arlandaexpress.com/>

Restiderna och kostnaderna hämtats den 2020-02-14 och avser perioden (2020-02-15) till (2020-02-28)

Arup et al. (2017). *Main report: Hyperloop in The Netherlands.*

Blow, Laurence. (2018) *Will maglev ever become mainstream?*

<https://www.railway-technology.com/features/will-maglev-ever-become-mainstream/>

[läst 2020-02-12]

Coates, Kevin (2005). *Shanghai's maglev project – levitating beyond transportation theory.*

<http://thetransitcoalition.us/MagLev/MaglevAustraliaEngineeringWorldAprMay05.pdf>

[läst 2020-02-13]

FN – Förenta Nationerna (2019). *Sustainable Development Goals Report.*

Fröidh, Oskar (2010). *Resande och trafik med Gröna tåget.* KTH Järnvägsgruppen Publikation 1001. ISBN 978-91-7415-684-3.

Google Flights, (2020)

https://www.google.se/flights?lite=0#flt=/m/05l64./m/06mxs.2020-02-14*/m/06mxs./m/05l64.2020-02-28;c:SEK;e:1;sd:1;t:f

Restiderna och kostnaderna hämtats den 2020-02-14 och avser perioden (2020-02-15) till (2020-02-28)

Gröna Tåget, (2020). *Gröna Tåget för morgondagens resenärer.*

http://www.gronataget.se/templates/Page_231.aspx [läst 2020-03-07].

Holmberg, B. (2008). Gång- och cykeltrafik. i Hydén, C. (red.), *Trafiken i den hållbara staden*, Studentlitteratur, Lund.

HyperloopTT, (2020). *Technology*

<https://www.hyperlooptt.com/technology#station> [läst 2020-03-10].

International Union of Railways, (2000). *UIC Code 451-1 Timetable Recovery Margins to Guarantee Timekeeping.*

James, Alan (2016). Från seminariet som hölls den 4 juli i Visby, Gotland under evenemanget Almedalsveckan.

Presentationen finns tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=yqxdoC1eZro> [2020-03-11]

JR Tokai, (2019). Den officiella webbsidan av det japanska järnvägsföretaget.
<https://global.jr-central.co.jp/en/company/ir/annualreport/pdf/annualreport2019-07.pdf>
[läst 2020-02-13]

Järnväg.net, (2020) *Sveriges första snabbtåg - X2000*
<https://www.jarnvag.net/vagnguide/x2> [läst 2020-03-08].

Karlsson, H., Bergqvist, R and Brigelius, L., (2014), *Avgifter och regler för godstransporter*, BAS Publishing, ISBN: 978-91-7246-323-3.

Europeiska Kommission, (2011) *VITBOK Färdplan för ett gemensamt europeiskt transportområde – ett konkurrenskraftigt och resurseffektivt transportsystem*. Bryssel den 28.3.2011

Musk, Elon (2013) *Hyperloop Alpha*. SpaceX
https://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha-20130812.pdf
[läst 2020-02-14]

Nikitas, Alexandros et al. (2017). *How Can Autonomous and Connected Vehicles, Electromobility, BRT, Hyperloop, Shared Use Mobility and Mobility-As-A-Service Shape Transport Futures for the Context of Smart Cities?* In: *Urban Science* 1.4.

Nilsson, D. Stjernborg, V. Fredriksson, L. (2017). *Effekter av kollektivtrafiksatsningar*. K2 Working Paper 2017:4.

Nordpers, Lars-Göran (2006). *Simuleringsverktyg som hjälpmedel vid optimering av signalavstånd inom järnväg*. Högskolan Dalarna.

Northeast Maglev, (2018). *Transportation innovation: History of Maglev in the world*.
northeastmaglev.com/2018/09/25/transportation-innovation-history-of-maglev-in-the-world/ [läst 2020-02-13]

NyTeknik, (2019) *De utvecklar en Hyperloop som drivs av sol- och vindkraft*.
<https://www.nyteknik.se/fordon/de-utvecklar-en-hyperloop-som-drivs-av-sol-och-vindkraft-6971668> [läst 2020-03-11].

Oslo-Stockholm 2.55 AB *Om Oss*
<https://www.oslo-sthlm.se/>
[läst 2020-02-20]

Proposition 2008/09:93 *Mål för framtidens resor och transporter*, Stockholm: Näringsdepartement.

TechWorld, (2008). *Korglutningssystemet håller dig bekvämare på spåret*.
<https://techworld.idg.se/2.2524/1.163636/korglutningssystemet-haller-dig-bekvamare-pa-sparet> [läst 2020-03-08].

Ramboll. (2016). *Idéstudie för fast förbindelse mellan Sverige och Finland*. se.ramboll.com/press/rse/2016-idestudie-for-fast-forbindelse-mellan-sverige-och-finland [läst 2020-02-14]

Regeringskansliet. (2016). *Att förändra vår värld: Agenda 2030 för hållbar utveckling*. Regeringskansliet. Stockholm. (Svensk översättning av Förenta Nationernas Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1).

Resrobot, (2020). <https://tagtidtabeller.resrobot.se/> [läst 2020-02-11].

SCB, Statistiska centralbyrån. (2018a). *Folkmängd i riket, län och kommuner 30 september 2019 och befolkningsförändringar 1 juli–30 september 2019*. Senast uppdaterad 2019-11-11

SCB, Statistiska centralbyrån. (2018b) *Antal pendlare per län och kommun, 2018*.

Shuichiro, Daniel Ota (2008). *Assuring safety in high-speed magnetically levitated systems: The need for a system safety approach*. Examensarbete. Massachusetts Institute Of Technology. Massachusetts: Högskolan.

SJ, (2020a). <https://www.sj.se/#/sok/Oslo%2520S/Stockholm%2520Central/enkel/avgang/20200214-1437/avgang/20200214-1500/VU--///0///>

Restiderna och kostnaderna hämtats den 2020-02-14 och avser perioden (2020-02-15) till (2020-02-28)

SJ, (2020b) *En förhandstitt på nya X2000* <https://www.sj.se/sv/om/om-sj/trafik-och-tag/nya-x-2000.html> [läst 2020-03-08].

Sjunnesson, H. och Helldorff, E. (2012). *Boken 100 innovationer; 1 – 50 Antibiotika – läsk*. ISBN: 9 789 157 481 436. Publicerats av Tekniska museet och Bilda Förlag.

SSB, Statistisk sentralbyrå. (2018) *Sysselsatte med bosted og arbeidssted i kommunen - og pendlere inn og ut av kommunen*.

Steiner, F., & Sterinert, W. (2006). *Safety assessment for the maglev vehicle TR09 - an approach based on CENELEC railway standards*. Från den 19:e internationella konferensen om magnetiskt leviterade system och linjära enheter. Dresden, Tyskland.

Sverigeförhandlingen. (2015) *Metoder och redovisning av nyttoberäkningar i Sverigeförhandlingen*. <http://docplayer.se/2606151-Metoder-och-redovisning-av-nyttoberakningar-i-sverigeforhandlingen.html> [läst 2020-02-09]

Svenska Lokaltrafikfördelning, kollektivtrafikbarometern, www.sltf.se

Sweco, (2017). *Oslo-Stockholm Nyttoanalys 2040*. Uppdragsnummer 7 002 339 000

Trafikanalys. (2017). *Ny målstyrning för transportpolitiken*. Rapport 2017:1.

Trafikverket, (2009). BVS 544 98 007 *Förbeskedsavstånd. Grundläggande signaleringskrav*. Version 3.0

Trafikverket. (2017a). *Åtgärdsvalsstudie: Förbättrad tillgänglighet inom stråket Stockholm – Oslo*. TRV 2017/14 854

Trafikverket (2017b) *Klimatpåverkan från höghastighetsjärnväg; Sträckorna Järna-Göteborg och Jönköping-Lund*. ISBN 978-91-7725-156

Trafikverket. (2018). *Trafikverkets Forsknings – och Innovationsplanför åren 2019–2024*. ISBN: 978-91-7725-359-4

Transrapid International, (2004). *High-Tech for "Flying on the Ground"*.
<https://web.archive.org/web/20050707002547/http://transrapid.de/en/index.html> [läst 2020-03-08].

Tüv Süd, (2018) *Höghastighetsbana Oslo – Stockholm/Köpenhamn Möjlighetsstudie till Tentacle projektet*
<http://gkvo.custompublish.com/getfile.php/4233349.1891.kzkmillqku7akl/Final+Oslo+Stockholm+K%C3%B6penhman+120+minuter+2.pdf>
[läst 2020-02-28]

UIC, International Union of Railways. (2018) *High speed rail: Fast track to sustainably mobility*. https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf
[läst 2020-02-11]

Vinnova -Verket för Innovationssystem. (2018) *Kartläggning och analys av politiska mål relaterade till Agenda 2030*. VR 2018:10. ISBN: 978-91-87537-77-6

Virgin Hyperloop One. (2018). *Our Story - Timeline*
<https://hyperloop-one.com/our-story> [läst 2020-02-14]

VY, (2020)
<https://www.vy.no/bestill/velgtogavgang?from=Oslo%20S&fromDisplayName=Oslo%20S&fromType=trainstationname&to=Oslo%20Lufthavn&toDisplayName=Oslo%20Lufthavn&toType=train-station-name&departureDatetime=2020-02-14%2014%3A51&pasCats=1&numPasCats=1>
Restiderna och kostnaderna hämtats den 2020-02-14 och avser perioden (2020-02-15) till (2020-02-28)

Wahl, G. 2004. *The maglev system transrapid - a future oriented technology for track-bound transportation systems*. 18th Intern. Conf. on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, Shanghai, China.

Werner, Max, Klaus Eissing, and Sebastian Langton (2016). *Shared value potential of transporting cargo via hyperloop*. In: *Frontiers in built environment*.

Yang, Yi et al. (2017). *Aerodynamic Simulation of High-Speed Capsule in the Hyperloop System*. från 35e AIAA Applied Aerodynamics Conference.

