

SNABBA LANDTRANSPORTER POTENTIALSTUDIE OCH JÄMFÖRELSE



FÖRFATTARE:

LUCAS GLASARE, EMMA LINDVALL, JOAKIM AHLBERG, CHARLOTTE SÖDERBERG, OLA OLSSON OCH LARS DRAGERYD

SNABBA LANDTRANSPORTER POTENTIALSTUDIE OCH JÄMFÖRELSE

Projektnamn **Snabba landtransporter i en nordisk kontext**
Projekt nr **1320047391**
Mottagare **Trafikverket**
Typ av dokument **Rapport**
Version **1.2**
Datum **2021-10-19**
Författare **Lucas Glasare, Emma Lindvall, Joakim Ahlberg, Charlotte Söderberg, Ola Olsson och Lars Drageryd**

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Bakgrund	10
1.1	Inledning	10
1.2	Syfte	10
1.3	Metod och disposition	10
1.4	Avgränsningar	12
2.	Teknikerna	13
2.1	Överblick	13
2.2	Jämförelse mellan teknikerna	15
2.3	Sammanfattande jämförelse	33
3.	Transportpolitisk målbild	35
3.1	Överblick	35
3.2	Europeiska unionen	35
3.3	Transportpolitiska mål	36
3.4	Regionplanering	36
3.5	Kommunal planering	37
4.	Stråkstudie	39
4.1	Inledning	39
4.2	Antaganden	39
4.3	Osäkerheter	45
4.4	Nuläge	46
4.5	Nollalternativ	48
4.6	HSR	50
4.7	Magnettåg	53
4.8	Hyperloop	54
5.	Ekonomiska effekter	56
5.1	Samhällsekonomisk kalkyl	56
5.2	Wider Economic Impacts (Indirekta effekter på sekundära marknader)	64
6.	Sociala effekter	71
6.1	Definition av sociala effekter	71
6.2	Ökad mobilitet – för vem?	72
6.3	Ökad tillgänglighet?	75
6.4	Förändrat landskap	77
6.5	Sammantagen analys	77
7.	Slutsats	78
7.1	Besvarande av forskningsfrågor	78
7.2	Förslag på vidare studier	80
8.	Referenser	82

Sammanfattning

Denna studie behandlar samhällseffekter av investering i snabba landtransporter med fokus på tre tekniker: höghastighetståg på järnväg (HSR), magnetåg och hyperloop. Målsättningen är att utvärdera potential till måluppfyllnad för respektive teknik och därmed teknikernas framtidsutsikter i en svensk kontext. På så vis kan studien stödja beslutsfattare när framtida inriktningsbeslut för forskning och investering kopplat till teknikerna ska tas.

Studiens delar inkluderar:

- Bakgrund till teknikerna och jämförelse dem emellan.
- Genomgång av transportpolitisk målbild och skillnad i uttolkning på olika beslutsnivåer.
- En stråkstudie för att kontextualisera de olika teknikernas för- och nackdelar.
- En utvärdering av ekonomiska nyttor för de olika utredningsalternativen.
- En utvärdering av sociala nyttor för de olika utredningsalternativen.
- Slutsatser och återkoppling till frågeställningar.

Litteraturstudie har varit den huvudsakliga vetenskapliga metoden, och detta genomsyrar alla delar. Litteraturstudien har kompletterats med intervjuer för att erhålla en djupare förståelse för de olika teknikerna, skillnader dem emellan och förespråkares syn på möjliga nyttor. Beräkning och analys har också varit viktiga delar, som förutsättning till stråkstudie och metod för samhällsekonomisk kalkyl.

Jämförelsen mellan teknikerna är svår, på grund av stora osäkerheter och motstridig information. Det finns stora luckor i den akademiska litteraturen särskilt avseende hyperloop, men även till viss del magnetåg. Mycket information kommer från tidningsartiklar, utvecklare och entreprenörer. De jämförelser som finns mellan teknikerna är ofta tydligt tesdrivande och tenderar att sakna substantiella underlag. Skillnaden i hur beprövade teknikerna är har stor betydelse i sammanhanget – från järnväg med mer än hundra års beprövad erfarenhet till hyperloop som ännu befinner sig på teststadium, med osäkerhet om det alls kommer att fungera.

Några huvudpoänger i jämförelsen mellan teknikerna:

- Det är tydligt att potentialen för högre maxhastighet är större för magnetåg och hyperloop än HSR, men det är inte nödvändigtvis tekniken i sig som sätter gränser. Högre operativ hastighet leder till många och stora följdproblem – spårgeometri, landskapsintrång, bullereffekter, energiförbrukning, med mera. Detta gäller oavsett vald teknik. Följdproblemen av att köra snabbare överskuggar ofta nyttorna.
- HSR har en unik fördel tack vare integreringen i det befintliga systemet. Möjligheten att utnyttja befintliga banor (järnvägsspår) ger förutsättningar för bättre kapacitetsutnyttjande, mer effektiv trafikering, positiva synergieffekter med befintlig trafik med mera.
- Allt talar för att hyperloop är väsentligt dyrare än de andra teknikerna, hur mycket dyrare är dock svårt att säga. I jämförelsen mellan magnetåg och järnväg är prisskillnaden osäker, i det allmänna fallet. Helt avgörande för både investerings- och driftskostnader är den dimensionerande hastigheten. En högre dimensionerande hastighet innebär väsentligt högre kostnader.

Stråkstudien använder Stockholm – Oslo som case, med olika dimensionerande hastigheter för de olika teknikerna. Stråkstudien ska inte betraktas som en förstudie, den tjänar endast till att kontextualisera teknikerna. Två saker sticker ut i caset:

- Magnetåg och HSR trafikerar mellanliggande städer i stråket (Västerås, Örebro, Karlstad), medan hyperloop endast trafikerar ändpunkterna Stockholm och Oslo. Det tar så lång tid att accelerera och bromsa in till de höga hastigheterna att mycket av restidsnyttan för hyperloop försvinner om det är allt för tätt mellan stationerna.

- HSR kräver mycket mindre nyinvestering. Till stor del kan befintlig infrastruktur utnyttjas/rustas upp och endast två helt nya länkar behöver byggas. Magnetåg och hyperloop kräver ny infrastruktur hela vägen.

Stråkstudien visar på störst totalt resande för magnetåget, eftersom det trafikerar alla städer men är snabbare än HSR. Detta innefattar dock endast resor med de "nya" tågen. Påverkan på regionalt resande och godstrafik är inte inkluderat, dessa tågs trafikering skulle gynnas klart mest av HSR-alternativet.

Alla alternativ skulle medföra en stor överflyttning av resor, särskilt från flygtrafiken. I fallet för magnetåg och hyperloop är analysen att flygtrafiken på sträckan skulle kunna konkurreras ut. Det baseras på antagandet att tidigare erfarenhet för HSR också kan tillämpas på magnetåg och hyperloop.

Den ekonomiska kalkylen visar på störst samhällsekonomiska nyttor för hyperloop, följt av magnetåg och därefter HSR. Kalkylförutsättningarna missgynnar dock HSR eftersom de flesta parametrar som inte kvantifierats i kalkylen talar till HSRs fördel. Man bör särskilt anmärka att investeringskostnaden inte finns med i kalkylen. Allt talar för att denna skulle vara klart lägst för HSR-alternativet, eftersom befintlig infrastruktur i hög grad kan utnyttjas och eftersom alternativet dimensioneras för en mycket lägre hastighet. Vår bedömning är att HSR hade varit det mest lönsamma alternativet, om dessa felkällor hade kunnat inkluderas i kalkylen.

Snabba lantransporter kan också ha effekter på sekundära marknader, så kallade *Wider Economic Impacts*. Dessa effekter kan kategoriseras som inducerade investeringar, sysselsättningseffekter och agglomerationseffekter. Om dessa effekter uppstår kan det innebära ett starkare bidrag för ekonomisk utveckling i en region. Det finns exempel på där denna typ av effekter har uppstått till följd av HSR-investering, men också exempel på där sådana effekter uteblivit. Dessa effekter tycks vara kontextberoende och svåra att förutse. Vi har inte kunnat identifiera någon teknik som är särskilt sannolik att ge upphov till dessa effekter.

Nyttor från snabba landtransporter tenderar att fördelas ojämnt och det är ofta redan starka grupper som gynnas. Människor som bor i större städer gynnas mer än de som bor i mindre städer eller på landsbygd. Socioekonomiskt starka grupper tenderar att i högre grad ta del av nyttor. Män tenderar att gynnas mer än kvinnor. Alla dessa effekter är mer påtagliga vid högre operativ hastighet, vilket innebär att den ökande ojämligheten blir störst för hyperloop och minst för HSR så som alternativen är definierade i stråkstudien. De som reser snabbt och långt får störst nyttoeffekter, medan negativa effekter kan drabba helt andra grupper. Detta inkluderar exempelvis barriäreffekter, bullereffekter och lanskapsintrång.

Snabba landtransporter blir också ett tydligt bidrag till en samhällsutveckling där längre vardagsresor blir norm. Detta kan ha positiva effekter för individer, men skapa negativa tillgänglighetseffekter på systemnivån. Ökat resande riskerar exempelvis att utarma lokalt närings- och föreningsliv och försvaga graden av samhörighet för människor där de bor.

Vi bedömer att HSR är den av de tre teknikerna som har störst potential för måluppfyllnad i generell mening, men att de andra teknikerna kan fylla ett syfte som nischtekniker eller komplement. HSRs fördel ligger i hög grad i möjligheten till integrering med befintligt system och de alternativa teknikerna har därmed större konkurrenskraft i stråk där denna aspekt är mindre framträdande.

Summary

This study discusses possible societal effects from investing in fast land transport, focusing on three techniques: high-speed-rail (HSR), maglev-trains and hyperloop. The aim of the study is to evaluate fulfillment of transport related goals for said techniques and thereby future prospects for them in a Swedish context. Hence, the study can be used to support long term decision-making for future research and investment.

The study includes the following parts:

- Background to the techniques, technical review and comparison.
- Walkthrough of political goals for transport.
- A case-study aiming to contextualize pros and cons for the techniques.
- An evaluation of economic effects for each case.
- An evaluation of social effects for each case.
- Concluding remarks

The primary academic methodology consists of literature review, this is included in all parts of the study. In addition, interviews have been held to achieve greater and more specific knowledge of the techniques. The interviews also serve to gather advocates views on possible benefits. Calculation and analysis have also been important, in order to complete the case-study and the economic benefit-analysis.

Comparison between the techniques has proven difficult, as a consequence of great uncertainties and contrarious information. There are gaps in the academic literature especially concerning hyperloop but also, in part, maglev-trains. Most accessible information origin from periodicals, developers and entrepreneurs. Previous attempts to compare the techniques tends to have a clear agenda, often with lack of data and substantial references. The difference in the techniques level of testing complicates the comparison further. Railways have been in use for well more than a century, in contrast to hyperloop where severe doubts can be raised whether the technique will ever reach commercial status.

Some major points in the comparison are:

- The potential for higher max-speeds for maglev-trains and hyperloop in relation to HSR is evident, but the technique in itself is not necessarily the limiting factor. Many complicating factors follow higher operating speeds – track geometry, landscape intrusion, noise-effects, energy-consumption and more. This goes for all techniques. In practice, these complications with faster speeds often over-shadow potential gains.
- System integration is a unique advantage for the HSR-alternative. The possibility to use existing tracks give major benefits in terms of capacity, scheduling, synergetic effects with existing traffic and more.
- Investment-costs for hyperloop is evidently a lot more than the competing techniques. What costs for maglev-trains in relation till HSR might be, in general, is difficult to conclude. Deciding for both investment and operating costs is operative speed. Higher operating speed leads to much higher costs.

The case-study is conducted between Stockholm and Oslo, with differing operative speeds for the techniques. The case-study is not to be viewed as a preliminary study for investment at this particular place, but rather as a way to make things more concrete. Two things should be noted in the case build-up:

- The maglev-trains and HSR-options have planned stops at intermediate stations between the bigger cities (Västerås, Örebro, Karlstad), while hyperloop only have included stops at Stockholm and Oslo. The reasoning behind this is that travel-time-gains is significantly

reduced when planning for intermediate stops. Hyperloop takes a long time to accelerate and brake, hence, tight stops would mean travelling at top speed very briefly, if at all.

- The HSR-option requires a lot less of infrastructure investment. Existing tracks and stations can be used/perfected for the most part, while maglev-trains and hyperloop requires new infrastructure from start to end.

The magnet-train attracts the most travelers in the case, because of having the same number of stops as HSR, but going faster. Hyperloop misses out due to the fact that only Oslo and Stockholm is included. This calculation does not include local/regional travelling and cargo, however. These traffic-types are likely to benefit from the HSR-alternative the most.

All alternatives would cause lots of mode shifting from other modes, especially flight. In the case of maglev-trains and hyperloop it is reasonable to believe that flight-lines would be completely outrivalled, while the HSR-option suggests that some flight-travelling would still occur.

Hyperloop have the most benefits in the economic benefit-analysis, followed by maglev-trains and HSR. HSR is disfavored by the premises of the calculation, though, as most parameters not quantified tends to be in favor of HSR. Most relevant is the exclusion of costs in the calculation, when HSR would be the cheapest option by far. This can be concluded from the fact that existing infrastructure can be used for HSR, as well as the large costs for higher operating speeds in the other alternatives. Our view in the case is that HSR would be the most economically beneficial alternative, could all relevant factors be included in the calculation.

Fast land transport could have effects on secondary markets, also known as *Wider Economic Impacts*. These effects can be categorized as induced investments, employment-effects and agglomeration. These effects can contribute to stronger economic development for the region in which the investment is implemented. There are examples where *Wider Economic Impacts* have been discovered as a result of HSR, but also cases where they have not. This seem to be dependent on context and hard to predict. None of the techniques have been identified as more likely to contribute to these effects.

Benefits from fast land transport tend to be distributed unevenly, often to the gain of already strong groups. People in bigger tend to see more gain than people in smaller cities and rural areas. Economically stronger groups tend to get more benefits and men tend to see more gains than women. All these effects are more visible with higher operative speeds, which means the biggest contribution to inequality from hyperloop and the least from HSR as the cases have been defined. Benefits gain people travelling fast and far the most, while negative effects might effect other groups. These effects include, for instance, barriers, noise and landscape intrusion.

Fast land transport contributes to a societal development with longer every-day-trips. This can have positive effects on individual level but could also have negative accessibility-effects on system-level. Increased travel endanger local markets and guilds, risking to contribute negatively on local communities.

Our evaluation indicates HSR as the technique with most potential of goal contribution in general terms, while the other techniques could serve as niche-techniques and complements. The big advantage of HSR is the possibility to integrate with existing infrastructure, indicating maglev trains and hyperloop to be more competitive where this potential is less evident.

FÖRORD

Denna rapport redovisar en potentialstudie för snabba landtransporter med fokus på tre tekniker: höghastighetståg på järnväg, magnetåg och hyperloop. Studien har finansierats av Trafikverket och Ramboll. Kontaktperson på Trafikverket har varit Einar Tufvesson. Projektgruppen har bestått av Joakim Ahlberg, Lucas Glasare, Emma Lindvall, Charlotte Söderberg, Ola Olsson och Lars Drageryd.

Projektgruppen vill tacka Lars Westin, Umeå Universitet, för granskningen. Tack även till referensgruppen bestående av Christer Löfving (Trafikverket), Karin Winter (KTH) och Jonas Westin (Umeå universitet). Ett tack riktas också till personerna som intervjuades angående teknikerna i studien, dessa var Björn Sandén (Chalmers), Mats Berg (KTH), Fredrik Larsson (Skandinaviska magnetågsgruppen), Melanie Beek och Job ter Kuile (TU Delft). Ett sista tack till David Solvin (Ramboll) för språkgranskning.

Stockholm, december 2020

Joakim Ahlberg
Projektledare

KVALITETSGRANSKNING

Rapporten har kvalitetsgranskats av Lars Westin, professor inom regional ekonomi på Umeå Universitet. Ett separat granskningsseminarium har genomförts den 7 december 2020. Författarna har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis Rambolls uppfattning.

1. BAKGRUND

1.1 Inledning

Detta projekt har sin utgångspunkt i Rambolls studie om hyperloop och dess potential i transportsystemet (Ramboll, 2018).

Hyperloop är bara ett exempel på framtida system med potential att driva på en global utveckling mot allt snabbare landtransporter. Huruvida hyperloop som system kommer att kunna realiseras återstår att se, i dagsläget har ingen aktör uppvisat exempel på de tänkta hastigheterna, än mindre utvecklat ett kommersiellt gångbart system som kan hantera alla teknikutmaningar.

Om man däremot tittar på det konkurrerande alternativet med magnetåg finns gott om exempel på testanläggningar och fullt fungerande system, dock i mindre skala. Det första storskaliga projektet med magnetåg håller för tillfället på att byggas i Japan, den så kallade Chuo Shinkansen. Samtidigt planeras och byggs infrastruktur för höghastighetsjärnväg på många platser i världen, Sverige inkluderat. En trend mot allt snabbare landtransporter kan därmed sägas vara tydlig.

I Rambolls tidigare studie utvärderades hyperloop och de konkurrerande teknikerna på en övergripande nivå. Detta inkluderade bland annat en enklare multikriterieanalys för olika scenarion på sträckan Stockholm – Helsingfors. Syftet var att synliggöra de olika alternativens förhållande till varandra. Studien fokuserade till viss del på genomförbarhet, men i högre grad på samhällseffekter vid genomförande.

Den tidigare studien kan beskrivas som en första ansats till att möta ett större behov som finns inom transportforskning, nämligen frågan om hur dessa storskaliga projekt kan påverka samhället. Denna fortsättningsstudie tar avstamp i denna observation och gräver djupare i denna fråga och fördjupar kunskapen avseende teknikerna och deras potentiella långsiktiga samhällseffekter.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att analysera snabba landtransporter för persontrafik i ett långsiktigt framtidsscenario med fortsatt teknikutveckling. Med utgångspunkt i teknikerna hyperloop, magnetåg och HSR analyserar projektet i vilken mån ny infrastruktur för snabba landtransporter kan bidra till måluppfyllelse, i huvudsak med utgångspunkt i de transportpolitiska målen.

Syftet har sammanfattats i tre forskningsfrågor:

I vilken mån bedöms snabba landtransporter ha potential att bidra till måluppfyllelse i enlighet med de transportpolitiska målen?

Vilken av teknikerna hyperloop, magnetåg och HSR har bäst potential för måluppfyllelse i en nordisk kontext och under vilka förutsättningar?

Är nyttopotentialen ur ett samhällsperspektiv för magnetåg och/eller hyperloopteknik i Norden så pass stor att teknikerna är värda att utreda för investering om/när de är tekniskt redo?

1.3 Metod och disposition

Projektet är uppdelat i sex delar. Genomgång av teknikerna, sammanställning av transportpolitisk målbild, stråkstudie, ekonomiska effekter, sociala effekter och slutsatser. Forskningsmetoderna är

litteraturgenomgång, intervjuer och beräkningar baserat på antaganden, statistik och praxis. Nedan följer en kort beskrivning av samtliga delar.

Teknikerna

Kapitlet om teknikerna syftar till att ge en grundläggande förståelse för hur de olika teknikerna ser ut och hur de skiljer sig åt. Kapitlet är inte avsett för att betrakta varje teknik i detalj, utan bara att ge nödvändigt underlag för att kunna genomföra stråkstudie och analyser. Kapitlet grundar sig på intervjuer med förespråkare för respektive teknik och litteraturgenomgång.

Transportpolitisk målbild

Kapitlet om transportpolitisk målbild syftar till att bryta ned de nationella transportpolitiska målen och se hur intressenter på olika nivåer tolkar dessa. Syftet är att synliggöra målkonflikter och skillnader i prioritering mellan olika offentliga aktörer. Kapitlet grundar sig på plan- och måldokument från EU, Trafikverket, kommuner och regioner.

Stråkstudie

Stråkstudien behandlar Stockholm – Oslo som en teststräcka för utvärdering av snabba landtransporter. På sträckan byggs scenarion upp för hur de olika teknikerna skulle kunna tillämpas i stråket. Scenariona bedöms därefter med avseende på resandeefterfrågan, kapacitet, med mera. Stråkstudien har genomförts med hjälp av beräkningar, litteraturgenomgång, intervjuer och antaganden.

Ekonomiska effekter

En ansats har gjorts till att göra en första bedömning av tänkbara ekonomiska effekter av respektive utredningsalternativ i stråket. Denna analys görs via samhällsekonomisk nyttoanalys, där konsekvenser av respektive alternativ värderas kvantitativt. Kalkylen grundas på Trafikverkets analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden i ASEK. Den samhällsekonomiska kalkylen kompletteras därefter med kvalitativa bedömningar och analys av indirekta effekter som går under namnet Wider Economic Impacts.

Sociala effekter

En analys har gjorts av de olika utredningsalternativens sociala effekter. Denna analys har gjorts helt kvalitativt med stöd av litteraturgenomgång. De sociala effekterna i vår studie syftar i första hand på en jämlikhetsanalys, där olika specifika grupper påverkan från investeringen hanteras.

Att de sociala effekterna inte kvantifieras i vår bedömning ska inte tolkas som att de är mindre prioriterade. Det tycks råda en växande konsensus både inom akademi och praktik om frågans betydelse och de negativa effekter som riskerar att uppstå om frågan inte tas på allvar (Karlsson & Söderberg, 2017). Eller med Jones och Lucas (2012) ord:

[B]y overlooking the social impacts and social equity implications of transport decision-making at every level of the decision-making process, we are fundamentally undermining quality of life and social well-being in our towns, cities and rural settlements.

(Jones & Lucas, 2012)

Slutsats

Utifrån stråkstudien och följdanalyserna av denna görs en ansats till att besvara studiens frågeställningar.

1.4 Avgränsningar

Studien har ett holistiskt perspektiv på en komplex fråga och resonemang har i allmänhet behövt föras på en övergripande teoretisk nivå, snarare än att gå in på detaljer. Följaktligen finns många avgränsningar och perspektiv som med fördel hade kunnat fördjupas. Nedan beskrivs några särskilt essentiella perspektiv som avgränsats bort.

Ekologiska effekter

Både ekonomiska och sociala effekter hanteras i studien, men ekologiska effekter har avgränsats bort. Utsläppseffekter av investeringen i drift har kvantifierats i den samhällsekonomiska kalkylen, men perspektivet hade kunnat hanteras mer utförligt. Denna avgränsning förklaras av följande skäl:

- Många miljö- och klimataffekter kan väntas uppstå under byggskede och är i hög grad beroende av linjens exakta dragning för respektive teknik. Eftersom inga exakta linjer har pekats ut löper analyser av dessa effekter större risk att bli spekulativa.
- Det finns begränsat forskningsunderlag avseende utsläpp och energiförbrukning för magnetåg och hyperloop.
- Projektgruppen saknar specialistkompetens avseende ekologisk hållbarhet.

Kostnader

Prisfrågan för respektive teknik är en på många sätt avgörande faktor när investeringsbeslut ska tas. Kostnader kommenteras i rapporten, men inga kalkyler eller uppskattningar görs. Denna avgränsning förklaras av följande skäl:

- Prisuppskattningar är känsliga och skiljer sig väldigt mycket beroende på källa.
- Teknikerna lämpar sig särskilt dåligt för jämförelse i denna aspekt, eftersom de befinner sig på helt olika plats i sin tekniska utveckling. Exempelvis är ex-post-studier för europeisk järnväg inte nödvändigtvis jämförbara med förstudier för magnetåg i Kina eller uppgifter från entreprenörer för hyperloop.
- Kostnader är helt beroende av den exakta linjedragningen – utan att åtminstone ha korridorer och stationslägen klart för sig blir kostnadsuppskattningar mycket svåra att göra.

Regional trafik och godstrafik

Påverkans effekter på regional persontrafik och godstrafik har endast hanterats överblickande i studien, trots att dessa effekter kan väntas ha stor påverkan på de olika alternativens möjliga nyttor. Denna avgränsning förklaras av följande skäl:

- Både vad avser nuläge och framtida analys skulle denna typ av trafik kräva helt annat underlag än det som har använts för långväga personresor. Att ta med detta skulle således innebära en substantiell utökning av studien, vilket inte har hunnits med.
- I båda fallen kan sekundärnyttor väntas vara dominerande och det blir därför svårare att på ett trovärdigt sätt beräkna dessa nyttor.
- Den tillgängliga litteraturen för magnetåg och hyperloop har generellt ett större fokus på långväga personresor, därav är underlaget för övriga resor för dessa tekniker ännu tunnare.

2. TEKNIKERNA

2.1 Överblick

Här följer en kort redogörelse för de utvärderade teknikerna.

2.1.1 Höghastighetståg på järnväg, HSR

När man pratar om höghastighetståg syftar man vanligen på snabba tåg på järnväg. Men även magnetståg och möjligen hyperloop skulle kunna klassas som höghastighetståg – därför är det viktigt att göra en distinktion. I denna studie använder vi begreppen "höghastighetståg på järnväg" eller den engelska förkortningen HSR ("High-speed-rail") för att beskriva tåg och infrastruktur.

Fundamentalt utgår järnvägstekniken från samma grundelement som varit gällande sen den fick sitt genombrott under 1800-talet. Tekniken var då tåg med hjul av stål mot en räls av stål – detta gäller fortfarande (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018).

Vad som ger järnvägen sin särskilda karaktär är att tågen styrs av rälsen, snarare än av en förare som i fallet med till exempel bil eller cykel. Detta möjliggör bland annat höga hastigheter och hög kapacitet, men också en begränsad flexibilitet då tåget är bundet till rälsen (ibid.).

Genom historien har flera alternativa tekniker för tågssystem gjort anspråk på att utmana järnvägstekniken. I denna rapport diskuteras magnetståg och hyperloop, men det finns fler exempel. Temperton (2018) lyfter fram historien om hovertrain, en slags föregångare till dagens magnetståg. Hovertrain spåddes slå igenom stort på slutet av 60-talet, med löften om höga hastigheter. I början av 00-talet var det istället *Personal Rapid Transit*, så kallad spårtaxi, som skulle revolutionera transportsystemet. Trots substantiell finansiering för utveckling och testbanor lyckades ingen av teknikerna få något genombrott och glömdes sedermera bort (Sempler, 2006). Istället fortsätter alltjämt järnvägen att dominera. Idag står järnväg för mer än 99 % av transportvolymen för transporter med infrastrukturell styrning (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018). Detta inkluderar alla världens befintliga storskaliga system för höghastighetståg.

Var skillnaden går mellan HSR och vanliga tåg är inte solklar. De första höghastighetstågen i Japan, de så kallade Shinkansen-tågen, hade en operativ hastighet på över 200 km/h - vilket då klassificerades som HSR. Sedan dess har tekniken spridit sig till bland annat Kina, Frankrike, Spanien, Italien och Tyskland. Men även Sverige. De svenska X2000-tågen kan klassificeras som HSR, eftersom även de har en operativ hastighet på över 200 km/h (Givoni, 2006). EU:s definition är att den operativa hastigheten behöver vara åtminstone 250 km/h för att tåget ska klassificeras som HSR, på nya banor. På äldre banor kan undantag göras beroende på lokala omständigheter (Scordamaglia, 2015).

Även om HSR idag klarar hastigheter på nästan 600 km/h har det visat sig svårt att motivera en operativ hastighet på över 350 km/h med hänsyn till de följdproblem som högre hastigheter ger. Dessa problem redogörs för under flera delkapitel i jämförelsen mellan teknikerna, se kapitel 2.2. När man diskuterar ny infrastruktur för HSR i Sverige har operativa hastigheter mellan 250 och 320 km/h diskuterats.

2.1.2 Magnetståg

Ett av huvudalternativen till att köra tåg på järnväg är att använda sig av tåg som istället för att rulla längs ett spår svävar över en bana med hjälp av elektromagnetism, så kallad maglev-teknik.

Tanken är att elimineringen av friktion mot rälsen ska ge en mängd fördelar och därigenom göra tekniken konkurrenskraftig.

Tekniken har testats sedan 1970-talet men har hittills bara förverkligats på testanläggningar och stadsbanor (Givoni, 2006). Just nu byggs dock världens första storskaliga magnetågssystem i Japan, den så kallade Chuo Shinkansen, som är tänkt att på sikt sammankoppla Tokyo och Osaka (Andersen, 2019).

Det finns flera olika magnetågssystem med lite olika tekniska förutsättningar. Särskilt två av de tekniska tillämpningarna är intressanta att studera vidare inom ramen för denna utredning - den japanska tekniken SCMaglev som används för Chuo Shinkansen och E-maglev som används av tyska Transrapid, då dessa två är de mest lämpade för höga hastigheter (Larsson F. , 2020).

SCMaglev har hastighetsrekordet för högsta maxhastighet bland alla världens tåg, med en topphastighet på 603 km/h (McCurry, 2015). Tekniken används endast på en japansk testbana än så länge, men är den teknik som planeras användas för tidigare nämnda Chuo Shinkansen, som med stor sannolikhet kommer bli världens första storskaliga magnetågssystem. Tekniken har också utretts på andra platser, även utanför Japan, exempelvis mellan Baltimore och Washington (U.S. Department of Transportation, 2018).

Transrapid började utvecklas i Tyskland runt 1970 med målsättningen att bygga en magnetågsbana mellan Hamburg och Berlin. Utredningen gick långt, men i slutändan blev det ingen magnetågsbana då man kom fram till att priset blev för högt. Istället valde man att bygga sträckan för HSR (Vuchic & Casello, 2002).

Även efter att projektet med magnetåg mellan Berlin och Hamburg lagts ner har fler möjliga sträckor utvärderats i Tyskland, i Ruhr och i München (Vuchic & Casello, 2002). Man byggde en testbana för Transrapid i Emsland i början av 1980-talet (The International Maglev Board, 2021), men efter en dödsolycka på testbanan pausades pågående projekt. Även om nya etapper alltså har diskuterats så har inga tyska satsningar på magnetågsbanor realiserats. Testbanan i Emsland lades ner 2011 (The Local, 2016).

Ett Transrapid-system har dock realiserats i Kina, där man har byggt en 30 kilometer lång magnetågsbana öppen för kommersiell drift i Shanghai (Brown, 2003). Sedan Transrapid-banan i Shanghai öppnade 2002 har inga fler magnetågsprojekt med transrapid-teknik förverkligats. Framtida magnetågssystem med Transrapids teknik diskuteras, men för närvarande är det inget som har kommit till byggfas.

Det är värt att påpeka att det finns ytterligare en relevant magnetågsteknik, som används på Linimo-banan i Japan, men denna kommer inte diskuteras närmare inom ramen för denna utredning. Detta eftersom detta system hittills bara tillämpats för stadstrafik och därav är mindre intressant för långväga transporter. Skillnaden mellan de tre nämnda teknikerna på komponentnivå kommer inte heller diskuteras.

2.1.3 Hyperloop

Modern debatt om hyperloop kan sägas vara sprungen ur den idé som Elon Musk presenterade i ett white paper 2013. I detta presenterade han konceptet hyperloop som en möjlig transportlösning mellan Los Angeles och San Fransisco. Idén är, kort sammanfattat, ett tåg eller en pod som rör sig i lågt lufttryck genom ett stålrör (Musk, 2013).

Att idén från början skulle vara Musks är dock inte sant. Hyperloopidén existerar i en idétradition som sträcker sig hela vägen tillbaka till sent 1700-tal. Den som krediteras för att först ha myntat idén om ett vakuumbåg är Robert Goddard 1910, som då föreslog ett tåg som skulle gå genom vakuum mellan Boston och New York på 12 minuter – genom vakuum och flytande på magneter. Denna idé realiserades dock aldrig (Garfield, 2018).

Sedan Musk (2013) tog upp idén och ompaketerade den som hyperloop har den dock fått en hel del medialt utrymme och finansiering. Idag finns många aktörer som arbetar med olika aspekter av hyperloopkonceptet. Allt ifrån fordonsutveckling, till lagstiftning, standardisering och affärsmodeller. Det finns testbanor, men ännu inget kommersiellt system för hyperloop.

Det är oklart hur pass tekniskt redo hyperloop är, och om tekniken kan hålla vad den lovar. Som exempelvis RSSB (2017) har visat befinner sig hyperloop fortfarande i ett utvecklingsstadium där det återstår att bevisa att ett kommersiellt system är möjligt att bygga. Avseende detta råder fortfarande stor skepsis bland många aktörer och det är tydligt att många tekniska utmaningar kvarstår. Om tekniken går att förverkliga blir nästa problem att visa huruvida hyperloop lever upp till vad som systemet påstås klara avseende exempelvis hastighet, säkerhet, lönsamhet och kapacitet.

Dessa stora utmaningar till trots sker fortsatt utveckling och satsning på tekniken. I Indien planeras det för hyperloop mellan Mumbai och Pune (Agrawal & Prasad, 2019) och även i Sverige har hyperloop föreslagits som alternativ teknik för nya stambanor, istället för HSR (Dahlgren, Windh, Hohenthal, & Casselbrant, 2020).

2.2 Jämförelse mellan teknikerna

Även om denna utredning inte i första hand strävar efter att värdera de olika teknikerna i sig, är det ofrånkomligt att försöka utreda skillnader teknikerna emellan för att på ett rättvist sätt kunna göra en scenarioanalys i nästa steg. En sådan jämförelse är inte enkel att göra, eftersom den täcker många olika aspekter med stor komplexitet. Detta gäller alla tekniker, men i olika grad.

I fallet för järnväg kan man ta hjälp av många års beprövad erfarenhet av stor- och småskaliga system, i Sverige och utomlands, vilket gör att det är lättare att göra bedömningar. I fallet med magnetåg finns internationella exempel, men ännu inget i stor skala. Analyser måste därför delvis grundas på teoretiska resonemang och förstudier. I fallet med hyperloop handlar bedömningen om en ofärdig teknik med fundamentala tekniska utmaningar kvar att lösa. Här måste bedömningen nästan helt baseras på teoretiska resonemang och uppgifter från entreprenörer. Denna diskrepans avseende vilken information som finns tillgänglig gör det ännu svårare att göra en rättvis jämförelse.

Denna del av rapporten går följaktligen in på de delar som har bedömts som mest relevanta, och gör en ansats till att utvärdera dessa så noggrant som möjligt utan att fördjupa sig i teknikerna på komponentnivå. Resultatet blir en övergripande, indikativ bedömning som kan användas som stöd vid scenarioanalys.


2.2.1 Energieffektivitet

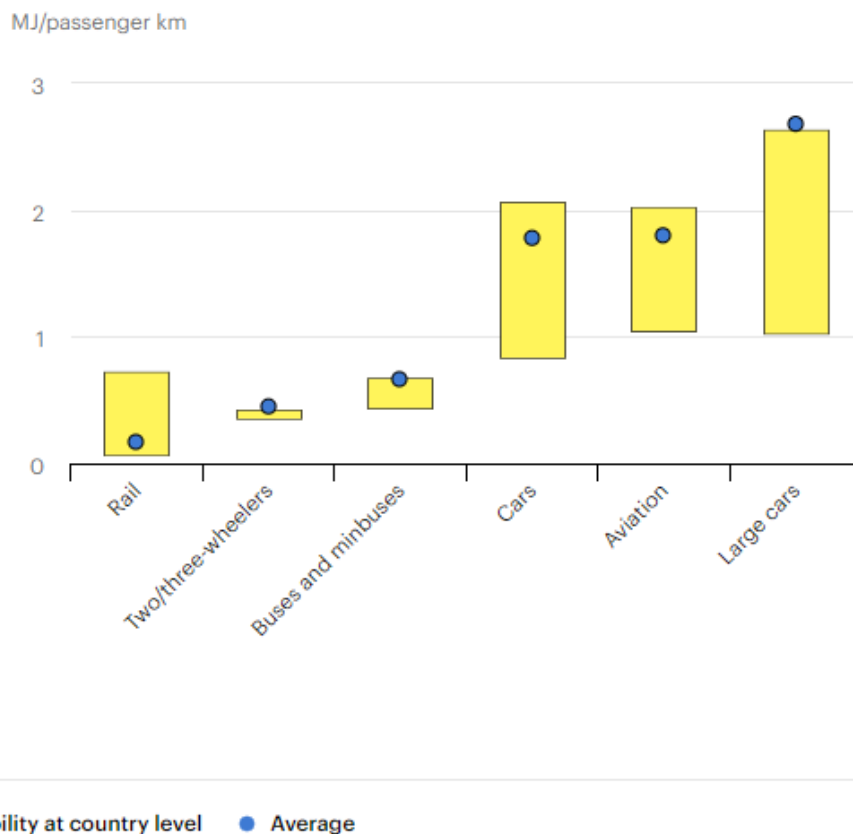
2.2.1.1 HSR

I början av år 2020 annonserade SJ via ett pressmeddelande att de döper om sitt välkända snabbtåg X 2000 till X 40000 för att synliggöra det faktum att en flygresa mellan Stockholm och Göteborg motsvarar 40000 tågresor på samma sträcka i utsläpp (SJ, 2020).

SJ (2020) påpekar att en viktig anledning till denna stora skillnad är att snabbtågen drivs till 100% av förnybar el, vilket är ett mycket mer utsläppseffektivt bränsle än flygbränsle, men detta är bara en del av förklaringen. Enligt IEA (2018) är järnväg det mest energieffektiva motortransportmedlet. Hur stor skillnad det är i energieffektivitet mellan transportslagen varierar stort mellan fordon och länder men IEA har tagit fram ett indikativt diagram. Magnetåg och hyperloop finns inte med i IEAs jämförelse.

Energy intensity of passenger transport modes, 2018

Open 



Figur 1 Skillnad i energieffektivitet mellan färdmedel (IEA, 2018).

Järnvägens energieffektivitet beror av de krafter som påverkar ett rullande fordon: rullmotstånd och luftmotstånd (Rez, 2017).

Rullmotstånd:

$$f = \mu_{rr}Mg$$

μ_{rr} = Rullmotståndskoefficient

M = (fordonets) Massa

g = Tyngdaccelerationen ($9,82 \text{ m/s}^2$)

Luftmotstånd:

$$F = \frac{1}{2}c_dA\rho v^2$$

c_d = Dragkoefficienten

A = (fordonets) Frontalarea

$\rho = \text{Luftdensitet}$

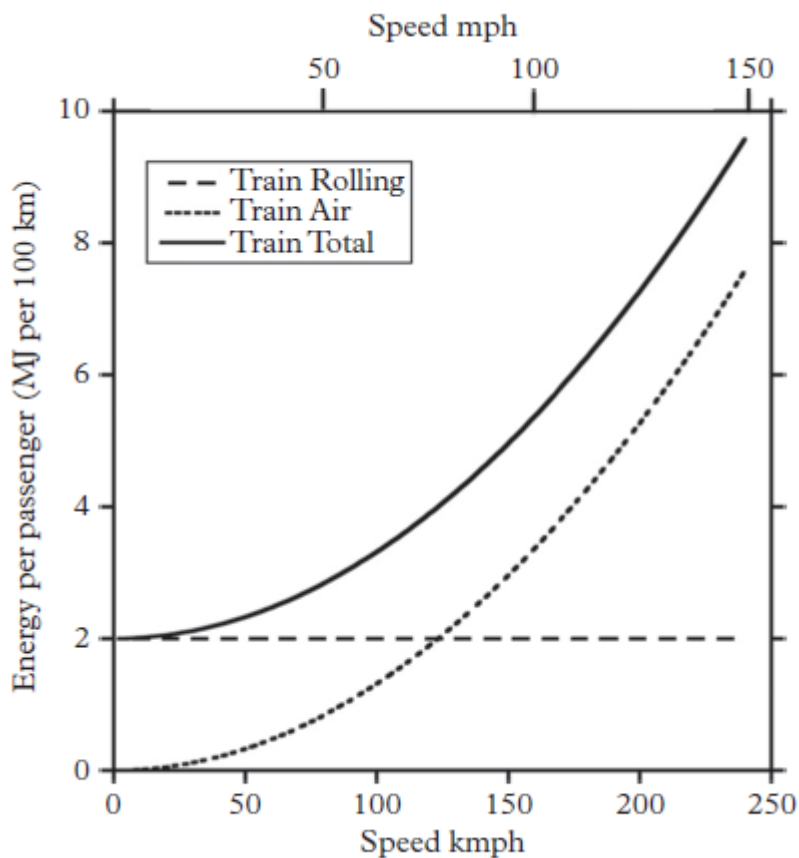
$v = \text{Hastighet}$

Dessa är de krafter som saktar in ett rullande fordon. Om man för tillfället förutsätter att fordonet rullar på plan yta (ej i lutning) behövs således en lika stor motriktad kraft för att bibehålla hastigheten. Från detta kan vi göra några intressanta slutsatser.

- De variabler hos själva fordonet som avgör hur mycket energi det förbrukar är massan (M), rullmotståndskoefficienten (μ_{rr}) och frontalarean (A).
- Eftersom rullmotståndet är oberoende av hastighet hade det totala arbetet för att flytta ett fordon mellan två godtyckliga punkter varit samma oavsett hastighet, om luftmotståndet vore noll ($W = Fx$).
- Rullmotståndet är ett linjärt samband, luftmotståndet är exponentiellt. Detta innebär att rullmotståndet dominerar vid låga hastigheter men luftmotståndet dominerar vid höga.

Om vi lämnar det allmänna och återgår till tågen har vi här stor del av förklaringen till varför energieffektiviteten för tåg är så pass god (Rez, 2017).

- Frontalarean för ett tåg är ofta väldigt liten i relation till fordonets storlek och vikt, eftersom tåg är långa och smala. Detta innebär ett relativt sett lågt luftmotstånd.
- Rullmotståndskoefficienten för ett tåg är väsentligt lägre än för andra fordon, 0,002 för tåg, 0,010 för bil. Detta innebär en femtedel så högt rullmotstånd.
- I en exempelberäkning som Rez (2017) gör börjar luftmotståndet för tåg dominera en bit efter 100 km/h och står för ungefär dubbelt så stort motstånd som rullmotstånd vid 250 km/h.



Figur 2 Energiförbrukning för att flytta en passagerare 100 km i ett höghastighetståg på järnväg (Rez, 2017)

I praktiken tillkommer dock ytterligare komplicerande faktorer. Tågvarnarnas vikt relativt deras storlek, energieffektivitet i framdriftssystem, energieffektivitet i bromssystem, energiåtgång vid anläggning och underhåll av infrastrukturen, topografins påverkan med mera.

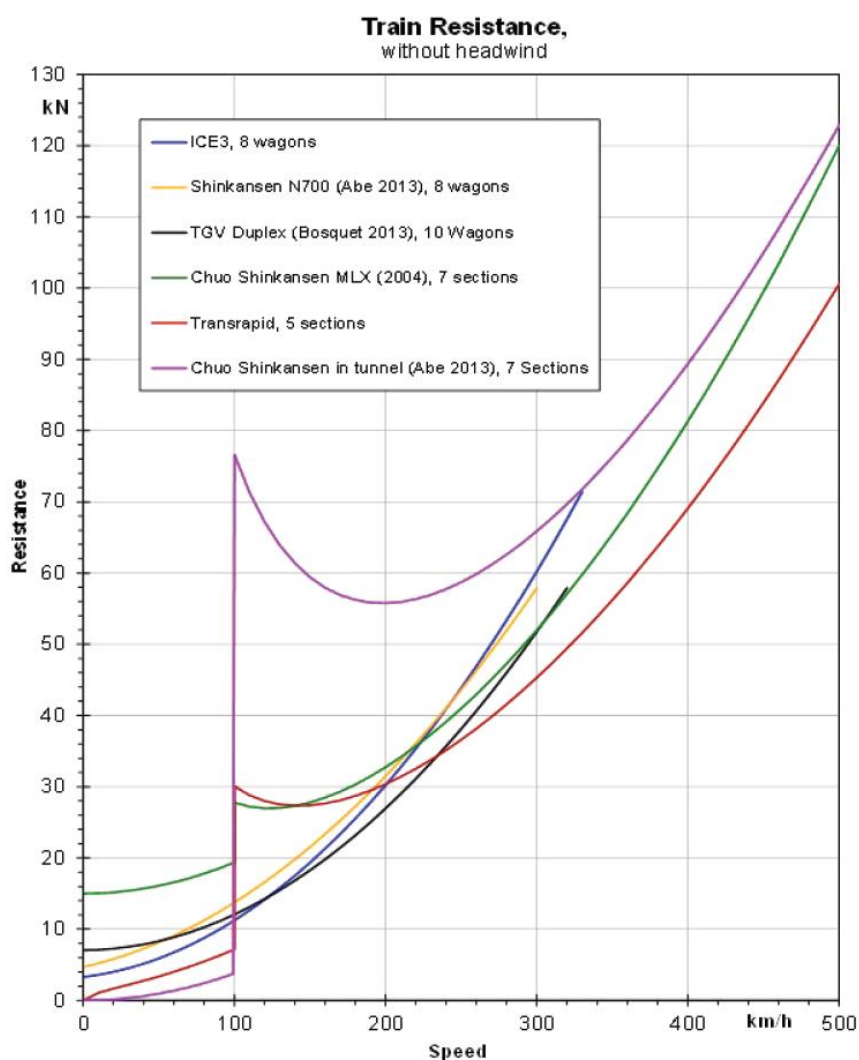
2.2.1.2 Magnettåg

Magnettåg kan potentiellt vara mer energieffektivt än HSR. Eftersom magnettåg svävar över banan kan friktion elimineras och därmed krävs lägre kraft för framdrift. Detta innebär i teorin högre möjlig maxhastighet med lägre motstånd och bättre accelerationsförmåga, särskilt vid låga hastigheter där friktionen är den dominerande motkraften. Larsson (2020) menar också att Transrapid-tågen är lättare än HSR-tåg, vilket också bidrar till bättre energieffektivitet.

Detta gäller dock vid motsvarande hastighet. Som konstaterat ovan dominerar luftmotståndet vid högre hastighet vilket innebär att snabbare tåg har exponentiellt högre energiförbrukning. Wigblad (2018) menar att magnettåget har ungefär 30 % lägre energiförbrukning vid samma hastighet som HSR och ungefär 40 % högre energiförbrukning vid hastigheter på 500+ km/h jämfört med 300 km/h för HSR. Detta påstående står i kontrast till de japanska forskare som har anmärkt att det nya magnettåget Chuo Shinkansen med maxhastighet 505 km/h förväntas förbruka fyra till fem gånger så mycket energi som befintliga HSR med maxhastighet på 285 km/h (Hidezaku & Nobuo, 2017). Detta gäller den japanska magnettågstekniken. Wigblad (2018) redogör inte för vilken teknik han avser.

Blow et al. (2018) har studerat magnetstågens energiförbrukning i relation till järnvägståg. Deras studie visar på mycket liten skillnad i energiförbrukning mellan magnetståg och järnväg vid en operativ hastighet på 330 km/h, men att magnetståg har en fördel i detta avseende vid högre hastigheter. Med detta sagt kan man konstatera att motkraften för magnetstågen vid 500 km/h blir ungefär dubbelt så stort när man ökar hastigheten från 330 till 500 km/h, beroende av teknik och miljö. Jämför man med 250 km/h blir faktorn snarare 2,5 – 3.

Magnetståg kräver också energi för själva svävningstekniken, inte bara för framdrift. Hur energikrävande detta är i sammanhanget är oklart.



Figur 3 Sammanvägt motstånd vid framdrift för magnetståg och järnväg vid olika hastigheter (Blow, Fritz, Kircher, Klühspies, & Witt, 2018)

2.2.1.3 Hyperloop

Problematiken med luftmotstånd är ett grundfundament i hyperloop-idén, där tanken är att sänka lufttrycket i röret och därmed luftmotståndet. Detta är tänkt att kombineras med maglevteknik eller på annat sätt åstadkomma framdrift utan friktion från underlaget. Teoretiskt sett innebär detta tillsammans en betydligt högre energieffektivitet. Ter Kuile och Beek (2020) menar också att just möjligheten till energieffektiv sammankoppling mellan städer är hyperloops främsta existensberättigande.

Den teoretiska potentialen finns där, men Hyperloops eventuella energieffektivitet utmanas av stor osäkerhet. Energieffektiviteten i slutändan beror på faktorer som ännu inte är besvarade, till exempel: Hur mycket energi krävs för att underhålla det sänka lufttrycket i röret? Hur mycket klarar man egentligen av att sänka lufttrycket? Luftmotstånd kommer finnas kvar så länge röret inte har totalt vakuum. Hur stor del av sträckan kan hyperloop köras i dimensionerad maxhastighet?

2.2.2 Kapacitet

2.2.2.1 HSR

Ett enda spår kan ta lika stora resandeströmmar i städernas rusningstrafik som upp till 15 filer med personbilar, i fjärrtrafik 4–5 gånger flera resande än en vägfil. Ett snabbtåg kan ta 5–7 gånger fler passagerare än ett normalt flygplan. Ett normalt godståg kan ta lika mycket last som 40 lastbilar.

(Andersson, Berg, Nelldal, & Stichel, 2020)

Om man definierar järnvägens kapacitet som hur tätt man kan köra mellan tåg beror kapaciteten förenklat av följande variabler:

- Antalet spår
- Skillnaden i hastighet mellan tåg
- Tågens bromssträcka
- Tekniska begränsningar och säkerhetsmarginal

Att antalet spår har betydelse för kapaciteten säger sig självt. På dubbelspår, med ett spår i varje riktning, blir den kapacitetsbegränsande faktorn i första hand skillnaden i hastighet mellan tåg. Om tåg har olika hastigheter innebär det en risk att snabba tåg hamnar bakom långsammare tåg och således inte kan utnyttja sin fulla hastighet fram till dess att det långsammare tåget kan köras ut på ett förbigångsspår. Detta problem kan i sin tur minskas genom fyrspår, med två spår i varje riktning.

I det fall där hastigheten är lika för alla tåg blir istället bromssträckorna begränsande. Eftersom tåg är snabba och har låg friktion (se 2.2.1) innebär det att bromssträckorna blir långa, ett tåg som kör i 200 km/h har en bromssträcka på 2800 meter. Eftersom detta är långt längre än vad en förare klarar av att se krävs stödjande system för att förhindra olyckor. Idag hanteras detta med blocksträckor och signalsystem. Allt detta sammantaget ger en teoretisk turtäthet på ungefär en minut. För att kunna hantera störningar och ha säkerhetsmarginal innebär detta i praktiken en maximal turtäthet på ca två minuter (Nelldal, 2019).

Det faktum att befintlig järnväg har väldigt blandad trafik och därmed bristande kapacitet är ett av de främsta argumenten för att bygga nya stambanor. Genom att låta snabb persontågstrafik gå på nya separerade banor blir trafikeringen mer homogen både på dessa banor och på befintliga spår. I detta perspektiv bör godstrafik nämnas. Långsamma godståg har idag svårt att "få plats" på befintliga banor, eftersom de riskerar att hindra snabba bakomvarande persontåg. Berg (2020) lyfter fram detta som ett av de främsta skälen för att investera i ny spårinfrastruktur.

En notering bör göras för att antalet tåg inte är den enda faktorn för hur mycket eller hur många som kan transporteras på infrastrukturen. Det beror också på hur mycket ett enskilt tåg kan transportera, vilket i sin tur beror på vagnarnas antal, utformning och storlek.

2.2.2.2 **Magnettåg**

Principiellt har magnettåg samma kapacitetsmässiga begränsningar som HSR. En stor skillnad är dock att magnettågen inte har möjlighet att använda sig av befintliga spår, eftersom de bygger på en annan teknik. Detta får till följd att tågen per definition får egna banor, vilket bör leda till god kapacitet under förutsättning att de nya tågen har jämn eller förhållandevis jämn trafikering. Därutöver påpekar Larsson (2020) att magnettågen i Kina har haft mycket hög punktlighet, vilket innebär att marginaler kan trimmas ner något och därav ytterligare höja kapaciteten.

Berg (2020) påpekar att högre dimensionerade hastighet för magnettåg innebär att man måste ha längre mellan tågen, om man ska använda sig av samma system med säkerhetsavstånd som för järnvägen. Han påpekar också att det faktum att magnettåg använder sig av helt separat infrastruktur innebär en begränsning för systemets störningskänslighet och redundans. Vid eventuella problem på ett framtida nät för HSR skulle man exempelvis kunna flytta över trafik till befintliga stambanor.

Berg (2020) är också skeptisk till att punktligheten skulle skilja sig särskilt mellan de olika teknikerna i sig. Hög punktlighet för magnettåg kan delvis förklaras med lägre grad av trafikering och homogen trafik. Men punktligheten påverkas också av störningar och underhåll. Detta menar Larsson (2020) talar till magnettågens fördel, på grund av lägre underhållsbehov.

Det japanska magnettåget Chuo Shinkansen (SCMaglev) har kritiserats för att vara kapacitetssvagt. Chuo Shinkansen planeras för ett turintervall på tio minuter, vilket är betydligt lägre än det turintervall på tre minuter som järnvägståget Tokaido Shinkansen på samma sträcka har idag (Barrow, 2019).

Andersen (2019) menar att detta låga turintervall beror på att det inte går att åstadkomma mycket bättre med denna teknik, eftersom det tar längre tid att växla mellan spår. Längre växlingstid innebär i sin tur att det dröjer längre innan man kan ta in ett nytt tåg på samma plattform som föregående, vilket blir ett hinder för turtäthet.

Although JR Central (tågoperatör och infrastrukturägare för Chuo Shinkansen red. anm) prefers not to disclose the figures, there are sufficient signs to suggest that the time to switch the points in a turnout is 10 times higher in SCMaglev technology compared to proven wheel-on-rail technology.
(Andersen, 2019)

Det går att ifrågasätta vilka *tydliga tecken* som Andersen syftar på, men om teorin stämmer innebär det en stor brist avseende maglevsystemets möjliga kapacitet. Förslaget för Chuo Shinkansen är 5 tåg i timmen, att jämföra med de 16 tåg som föreslagits för Tokaido Shinkansen för 2020.

Detta gäller dock SCMaglev-tekniken. Växling på Transrapid-banorna är betydligt snabbare, på magnettåget i Shanghai kan man växla på 30 sekunder, påpekar Larsson (2020). Wigblad (2018) menar att växlingen går ännu snabbare, på 5-15 sekunder, men hänvisar i detta fall till Linimo-tekniken i Japan.

2.2.2.3 **Hyperloop**

Samma invändningar som görs för magnettåg avseende kapacitet kan göras för hyperloop, men i högre grad. Vid hastigheter på 1000 km/h blir det maximala antalet tåg per timme betydligt lägre än vid exempelvis 300 km/h, om man ska följa järnvägens logik med säkerhetsavstånd mellan

tåg. Ter Kuile och Beek (2020) menar dock att denna effekt kan lindras av att eliminera den mänskliga faktorn. Hyperloopsystemet ska från början vara designat för autonom drift, och ter Kuile menar att det är en fördel. Om detta stämmer och i hur hög grad det påverkar går dock att ifrågasätta.

Ett till problem för hyperloop ur kapacitetssynpunkt är storleken på tågen. I fallet för hyperloop diskuterar man ofta snarare poddar än tåg, med ungefär 50 platser per pod, vilket innebär en betydligt lägre total kapacitet (ter Kuile & Beek, 2020).

Kapaciteten beror också på växlarnas funktion, vilket är en utmaning eftersom fungerande växelsystem för hyperloop inte finns idag utan är under utveckling (ter Kuile & Beek, 2020). Hur dessa ska fungera och deras påverkan på kapaciteten är följaktligen totalt ovisst i nuläget.

2.2.3 Hastighet

2.2.3.1 HSR

Världens snabbaste tåg idag är magnetståget SCMaglev i Japan, som har uppnått en maxhastighet på 603 km/h (McCurry, 2015), på andra plats finner vi franska TGV som går på höghastighetsjärnväg. TGV har ett hastighetsrekord på 575 km/h (Edmond, 2017).

Med dessa siffror som bakgrund kan det initialt vara svårt att förstå varför exempelvis debatten i Sverige har varit huruvida nya höghastighetsbanor ska dimensioneras för 250 km/h eller 320 km/h (Larsson F. , 2020), varför nöja sig med så låga hastigheter när hastigheter upp emot 600 km/h är möjliga?

Det enkla svaret på den frågan är helt enkelt att det sällan är tågens möjliga maxhastighet som är begränsande, utan helt andra faktorer. Några exempel på faktorer som spelar in är buller, vibrationer, energieffektivitet, trafiksäkerhet, kapacitetsfrågor och passagerarkomfort.

Många av dessa faktorer är överkomliga på ett teoretiskt plan, särskilt om man förutsätter fortsatt teknikutveckling. Den svåraste nöten att knäcka är möjligen passagerarkomforten, eftersom denna är en mycket begränsande faktor för möjlig spårgeometri och för teoretiska start- och bromssträckor. En människa som utsätts för acceleration i olika riktningar riskerar helt enkelt att uppleva obehag eller drabbas av åksjuka. Särskilt om acceleration i flera olika led sammanfaller (Persson, 2008).

Eftersom sambandet mellan acceleration och hastighet är exponentiellt blir följden att acceleration och inbromsning kräver exponentiellt längre sträcka ju högre hastigheten är, vilket ställer krav på hur långt det måste vara mellan stationer för att rättfärdiga höga hastigheter. Men även acceleration i sidled är en avgörande faktor. Ett fordon som rör sig i en kurva skapar en sidoacceleration som också förhåller sig till hastigheten i kvadrat. Detta innebär att kurvradien måste vara väldigt flack för att undvika att passagerare slungas åt sidan i kurvorna. Till detta tillkommer samma resonemang för rörelse i höjdlid (Brümmer, Ahlberg, Kusoffsky, Krause, & Glasare, 2018).

Att sätta ett generellt mått på hur stor acceleration som är lämplig och vilka kurvradier som är möjliga i en viss hastighet är svårt att göra, men det är inte så svårt att illustrera skillnaden mellan olika möjliga hastigheter. Om man exempelvis antar att 1,5 m/s² är en godtagbar acceleration både åt sidan och i längsgående riktning och med detta som grund gör en jämförelse med HSR i 320 km/h och hastighetsrekordet för järnväg på 575 km/h får man följande skillnad:

$$v = 320 \text{ km/h} = 89 \text{ m/s}$$

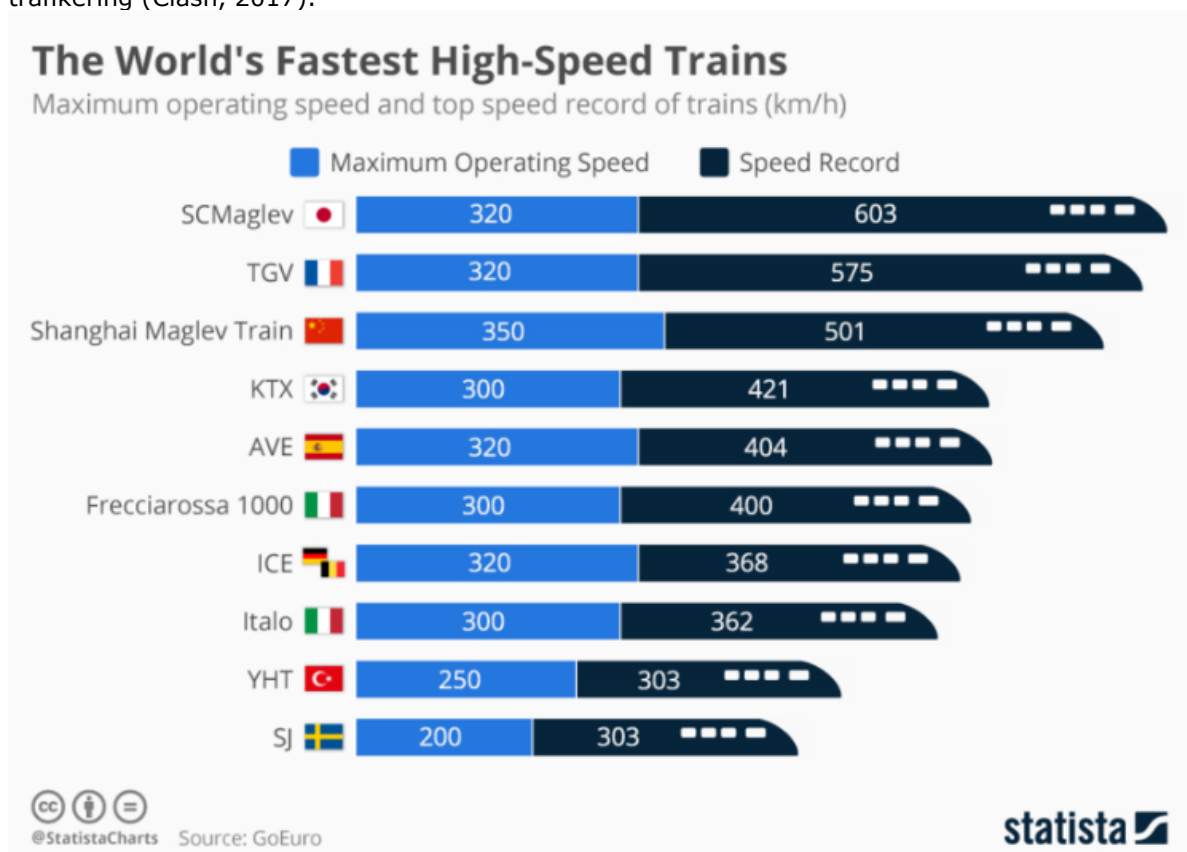
$$s = \frac{v^2}{a} = \frac{89^2}{1,5} = 5267 \text{ m} \approx 5,3 \text{ km}$$

$$v = 575 \text{ km/h} = 160 \text{ m/s}$$

$$s = \frac{v^2}{a} = \frac{160^2}{1,5} \approx 17,0 \text{ km}$$

En knapp fördubbling av hastigheten ger mer än en tredubbling av möjlig accelerations- och bromssträcka. Eftersom godtagbar sidoacceleration i detta exempel är den samma som godtagbar längsgående acceleration innebär det att möjlig kurvradie i maxhastighet blir den samma som accelerationshastigheten. Det säger sig självt att en järnväg med en kurvradie på 17 kilometer är väsentligt svårare att planera för, än en järnväg med en kurvradie på 5,3 kilometer. Följaktligen innebär detta ett större intrång i landskapet och ett högre anläggningspris.

Detta är sannolikt ett av de främsta skälen till att få eller inga persontåg i praktiken kör snabbare än 350 km/h idag. Oberoende av teknik finns idag inga tåg som har en högre medelhastighet än 350 km/h, även om det förekommer exempel med högre topphastighet (Edmond, 2017). I fallet för Shanghais magnetåg når tåget vid en punkt en hastighet på 431 km/h, även vid normal trafikering (Clash, 2017).



Figur 4 Världens snabbaste tåg (Edmond, 2017).

2.2.3.2 Magnetåg

Möjligheten att köra med högre dimensionerande hastighet är större med magnetåg än med HSR. Dels framgår det av att världens snabbaste tåg idag är magnetåg, både i hastighetsrekord och i drift. Det lägre motståndet är en aspekt till detta, men det finns fler perspektiv att väga in.

Magnettåg har den tekniska förmågan att klara kraftigare lutning och snävare kurvor än järnvägståg, vilket är till hjälp vid höga hastigheter (Lee, Kim, & Lee, 2006). Magnettågen bullrar mindre, vilket också det underlättar vid praktisk planering (Chen, Tang, Huang, & Wang, 2007).

Att magnettågen klarar snävare kurvor och brantare lutning lyfter också Larsson (2020) fram som ett tydligt argument till varför magnettågen passar bra just i Skandinavien, där terrängen är mer kuperad. I Frankrike, där det är plattare än i Sverige, har konventionella tåg en bättre konkurrenssituation menar han. Problemet med passagerarkomfort kan lösas genom kurvdosering, där sidokrafterna motverkas genom att luta banan. Även i detta avseende klarar magnettåg mer än konventionella tåg. Transrapid klarar upp till 16 % lutning i kurvorna.

Ett problem med hög grad av kurvdosering är dock att det förutsätter jämn trafikering. Om olika tåg passerar en kurva i olika hastighet kräver det också olika lutning. Detta är ett skäl till att vara försiktig med kurvdosering, vilket man har varit i Sverige. I Japan finns det upp till 8 graders lutning i kurvorna på järnvägen, i Sverige betydligt mindre. Det finns alltså möjlighet till högre grad av dosering i Sverige som inte utnyttjas. Dessutom finns möjlighet att förstärka lutningen med hjälp av tåget, vilket är vad man gjort med X2000 i Sverige (Berg, 2020).

Lutande tåg har också problematiken att kunna bidra till åksjuka (Persson, 2007). Detta bör rimligen gälla oavsett om lutningen kommer från tåget eller infrastrukturen.

Som tidigare nämnt ökar också sidokrafterna, och därmed kraven på rak linjedragning, exponentiellt med hastigheten. Det är rimligt att anta att magnettågen är enklare att anpassa för terrängen än HSR för motsvarande dimensionerande hastighet, men att det skulle vara det också för betydligt högre hastigheter förefaller osannolikt. Högre dimensionerande hastighet leder ofrånkomligen till en spårgeometri som blir svårare, och därmed dyrare, att planera för.

I fallet för magnettåget Chuo Shinkansen (SCMaglev), som planeras för en operativ hastighet på 500 km/h, har man i vilket fall tagit hänsyn till detta. Följaktligen byggs banan väldigt rakt och således till 90 % i tunnel (Temperton, 2018). Som resultat blir magnettågsbanan mycket dyrare än tidigare byggd höghastighetsjärnväg, kilometerpriset landar på ungefär 290 miljoner amerikanska dollar, ungefär 5-20 gånger dyrare än vad HSR tidigare har kostat runt om i världen. Jämförelse med tidigare HSR i Japan visar att tågbanan Chuo Shinkansen är väldigt dyr också med japanska mått (Brümmer, Ahlberg, Kusoffsky, Krause, & Glasare, 2018).

2.2.3.3 Hyperloop

Hyperloops dimensionerande hastighet är en avgörande del för dess existensberättigande. Precis som med magnettåg är det lätt att förstå den principiella förklaringen för de höga teoretiska hastigheterna. Hyperlooptekniken delar magnettågsteknikens eliminering av friktion mot underlaget, men är också tänkt att genom sänkt lufttryck minska stor del av luftmotståndet. Eftersom luftmotståndet är den primärt begränsande faktorn vid höga hastigheter är det lätt att förstå att den möjliga topphastigheten skulle förbättras väsentligt om luftmotståndet helt eller delvis kan elimineras.

Vilka möjliga hastigheter som går att räkna med är ännu mycket osäkert. Elon Musk (2013) föreslog i sitt *white paper* 1220 km/h. KPMG, Setterwalls och Ramboll (2016) föreslog en designhastighet på 1080 km/h. Ter Kuile och Beek (2020) diskuterar en hastighet på "up to around 1000 km/h". Allt detta återstår att bevisa. Hastighetsrekordet för hyperloop idag ligger på 463 km/h, vilket uppnåtts på testbana (Porter, 2019). Detta, kan man anmärka, är alltså lägre än hastighetsrekorden både för HSR och magnettåg. Å andra sidan kan detta delvis förklaras av att

testbanorna idag är för korta för att poddarna ska kunna komma upp i sin maximala hastighet (ter Kuile & Beek, 2020).

De höga teoretiska hastigheterna ställer väldigt höga krav på anläggningen och trafikeringen med avseende på passagerarkomfort. Om man dimensionerar för hastigheter upp till 1000 km/h kräver det väldigt vida kurvradier och långt mellan stoppen. Ter Kuile och Beek (2020) bekräftar denna bild och tillägger att det är viktigt att utnyttja maxhastigheten för att det ska löna sig med hyperloop.

Hyperloop allows for travelling up to around 1000km/h and to reach this speed you need a bit of distance to not accelerate to fast and thus make it uncomfortable for passengers. [...] The distance between stations is very important and must allow for maintaining a speed of 1000 km/h on a continuous part. If the speed is lowered below 1000 km/h the benefits of HL is less apparent. Hyperloop then becomes just like a more expensive version of high-speed rail.
(ter Kuile & Beek, 2020)

En följd av detta är att hyperloop enligt ter Kuile och Beek (2020) inte lämpar sig för samma typ av trafikering som man i vanliga fall ser på höghastighetståg, man behöver ha färre eller inga mellanstopp. I den skandinaviska kontexten verkar ett system som endast sammanbinder huvudstäderna exempelvis vara en tänkbar lösning. Hyperloop som system utformas i första hand för att konkurrera med flyg.

The stations would be in the major cities and wouldn't allow for in-between stops like for an ordinary rail system.
(ter Kuile & Beek, 2020)

2.2.4 Buller, barriäreffekter och intrång

Det finns många perspektiv värda att ta in när man väger tekniker mot varandra. Alla dessa kan inte hanteras på djupet inom ramen för denna rapport, men behöver ändå omnämnas. Berg (2020) tar i sin intervju upp buller, barriäreffekter och intrång som viktiga aspekter. Han nämner särskilt buller som en potentiellt begränsande faktor för HSR. Givoni (2006) bekräftar detta och beskriver buller som den största lokala miljöeffekten som HSR skapar i drift.

Den dominerande faktorn för bullret vid låga hastigheter är rullningsbuller som uppstår vid friktion mot underlaget. Aerodynamiskt buller blir inte en relevant faktor förrän 250 km/h och uppåt, konstaterar Berg (2020). Från 300 km/h och uppåt är det dock det aerodynamiska bullret som dominerar (Givoni, 2006). Berg (2020) ger några exempel på hur detta kan vara begränsande:

Då får man gå ner i hastighet och en massa åtgärder runtomkring. Där är ju en utmaning, även om man jobbar med tysta tåg, kanske bygga ner i tunnlar.
(Berg, 2020)

Intressant att konstatera i detta sammanhang är att magnetåg och hyperloop borde bullra mindre än tåg på räls, eftersom de rör sig utan friktion mot underlaget. Att magnetåg är tystare än tåg på järnväg i motsvarande hastighet bekräftas också i en kinesisk studie (Chen, Tang, Huang, & Wang, 2007). Hur förhållandet ser ut om hastigheterna skiljer sig åt är dock en annan fråga, där finns en påtaglig risk att ett snabbare magnetåg bullrar mer än ett långsammare järnvägståg, med hänsyn till det snabbt tilltagande aerodynamiska bullret.

I fallet för hyperloop är det som alltid en fråga om förhållandet mellan teori och verklighet. I teorin bör avsaknaden av friktion mot underlaget i kombination med minskat luftmotstånd i ett tätt rör leda till lägre buller. Å andra sidan bör den höga hastigheten leda till stor risk för buller och för den delen vibrationer. Virgin Hyperloop One (2020) är optimistiska:

Based on the physics of the system -- non-contact motion through a steel tube -- we anticipate the noise you'd hear from the outside the tube as the pod goes by at more than 500 mph would be equivalent to the sound of a truck with no wheels and no engine going 65 mph down a freeway. In other words, just a big whoosh.
(Virgin Hyperloop One, 2020)

Ter Kuile och Beek (2020) är inne på samma spår, men är mer försiktiga och konstaterar att inga tester gjorts i Delft.

Hyperloop pods travel through a sealed tube which does not make as much noise as an open railway. We have not made any noise tests, but it would probably be less noisy than other systems. There might be vibrations that give noise.
(ter Kuile & Beek, 2020)

There are studies being done on how the noise and vibrations of HL. But there are no conclusions of how a real system will perform because there are no tubes long enough for the pods to reach the targeted operating speeds of HL. This question will need to be answered before implementation.
(ter Kuile & Beek, 2020)

Vad gäller barriäreffekter och intrång har magnetåg också en fördel mot järnvägståg då de klarar svårare spårgeometriska förutsättningar, men även det gäller för samma dimensionerande hastighet. Vid högre dimensionerande hastighet ställs också högre krav på geometrin, vilket ökar risken för intrång i känsliga miljöer. Magnetåg föreslås ofta byggas på upphöjd bana på pelare, vilket kan minska barriäreffekten, men också vara ett visuellt intrång.

Snabbare transporter kommer behöva gå i tunnel i högre grad, vilket kan innebära ett mindre visuellt intrång och en mindre barriäreffekt, men istället bidra till geotekniska svårigheter och uppdriven kostnad.

2.2.5 Byggtid

Både i fallet för magnetåg (Wigblad, 2020) och hyperloop (KPMG, Setterwalls, Ramboll, 2016) har det hävdats att man kan uppnå substantiellt kortare byggtid med dessa tekniker än vad som är fallet för HSR.

I fallet för magnetåg hänvisar man primärt detta till det faktum att infrastrukturen kan byggas med prefabricerade element, på en företrädesvis upphöjd bana på pelare (Wigblad, 2018). Att arbeta med prefabricerade element hade man i princip kunnat göra vid ett järnvägsbygge också, konstaterar Berg (2020), särskilt om man arbetar med betongunderbyggnad snarare än ballast, så kallad "slab track".

Larsson (2020) menar att magnetåg är betydligt lättare att bygga på pelare än höghastighetsjärnväg för att elementen väger mindre, men Berg (2020) menar tvärtom att man behöver antingen väldigt styva eller väldigt korta element, eftersom E-maglev (Transrapid) är känslig för deformationer.

Varför hyperloop skulle gå så snabbt att bygga framgår inte av KPMG, Setterwalls och Rambolls (2016) presentation. Dessutom motsägs det av ter Kuile och Beek (2020), som tvärtom menar att den komplicerade teknik som det innebär att bygga en kontrollerad miljö med sänkt lufttryck, i kombination med det faktum att man behöver mycket broar och tunnlar, gör att man får räkna med en längre byggtid för hyperloop än HSR.

Ord står följaktligen i högsta grad mot ord i frågan. Vad man i sammanhanget bör tillföra är en poäng som Stichel, Andersson och Berg (2019) gör i en debattartikel för *Svenska Dagbladet*, nämligen att ledtiderna för att bygga infrastruktur är mycket långa oavsett vad det gäller. Den svenska byggprocessen består till stor del av faktorer som rör planering, juridik, demokrati och politik. Allt detta sammantaget innebär att infrastrukturprojekt tar lång tid.

Man kan exemplifiera detta med att titta till exempel på Ostlänken, som är en del av höghastighetsjärnvägen som finns med i nationell plan. Förstudier för Ostlänken inleddes 2001, men den första byggstarten kunde inte göras förrän 2017. För stora delar av sträckan återstår fortfarande mycket planering, beslut och eventuella överklaganden (Trafikverket, 2020b).

Ostlänkens tidplan



Figur 5 Ostlänkens tidplan (Trafikverket, 2020b)

Ett annat exempel är projektet Förbifart Stockholm, som i grunden bygger på förstudier publicerade 2001. Förbifart Stockholm hade byggstart 2016 och förväntas kunna öppna för trafik år 2030 (Trafikverket, 2019).

Minst hälften av byggprocessen har i dessa exempel gått åt till planering, beslut och förankring. Att byta inriktning riskerar således innebära fördröjning av ett byggprojekt, även om själva byggnationen skulle gå snabbare.

2.2.6 Integrering

En stor svårighet med att introducera ny teknik är integreringen med det befintliga transportsystemet. HSR har i detta avseende en fördel, eftersom det kan integreras med den befintliga järnvägen.

Detta möjliggör att nya tåg kan utnyttja befintliga system där de behöver. Ett bra exempel på detta är projektet med nya stambanor i Sverige, där man inte planerar att bygga hela vägen in till storstäderna Göteborg, Malmö och Stockholm (Trafikverket, 2015).

Berg (2020) konstaterar att man längs dessa sträckor tänker sig att tågen ska använda sig av befintliga spår eller spår som byggs ut inom ramen för andra projekt, exempelvis frigör Västlänken i Göteborg och andra förstärkningsåtgärder i Malmö/Lund-regionen för en utökad kapacitet som höghastighetstågen kan nyttja.

Att nya tåg kan använda gamla spår innebär ett mer robust system, där driftsproblem på de nya spåren kan hanteras genom att flytta trafik till de gamla spåren och köra där med reducerad hastighet (se 2.2.2.2). Integrering på stationer kan bli lättare, eftersom stationsområdena inte behöver hantera olika typer av tekniker parallellt (Berg, 2020).

Ett problem med att delvis använda sig av befintliga spår är att man inte får den totalt separerade infrastruktur som är central för att säkerställa hög kapacitet och höga hastigheter. Wigblad (2018) menar att det faktum att dessa delar inte finns med indikerar att Trafikverket försöker mörka kostnaderna för detta.

Varför vill Trafikverket inte bygga höghastighetståget fram till centralstationerna i Stockholm, Göteborg och Malmö? Svaret tycks vara att kostnaderna är så höga att de inte tål att presenteras för allmänheten.
(Wigblad, 2018)

Om detta stämmer är det en väldigt långsiktig strategi från Trafikverkets sida. Sträckningen för Götalandsbanan, den del av höghastighetsbanan som sammanbinder Stockholm med Göteborg, har diskuterats sedan 80-talet och är i stort sett helt oförändrad åtminstone sedan den statliga offentliga utredningen om höghastighetsbanor som utgavs 2009. Redan i en idéstudie från 2003 påpekas att det lämpliga vore att börja med sträckorna Järna – Linköping (Ostlänken) och Göteborg – Borås (Statens Offentliga Utredningar, 2009).

Europabanan, den andra delen av höghastighetsbanan som är tänkt att sammanbinda Jönköping med Malmö, har förändrat sin sträckning sedan den statliga offentliga utredningen, men den stora skillnaden är att man inte längre tänker sig att ansluta till Helsingborg, vilket var den ursprungliga idén. Utredningen konstaterar dock att man då var i ett betydligt tidigare skede med planeringen av denna del av banan (Statens Offentliga Utredningar, 2009).

Att projektet med höghastighetsbanorna tar slut i Järna, Almedal och Lund snarare än Stockholm, Göteborg och Malmö förklaras rimligen av att de i dessa punkter ansluter till befintliga järnvägsnoder. I Järna ansluter Södra Stambanan till Västra Stambanan, vilket innebär att spårkapaciteten i denna punkt ökar från enkelspår (Södra Stambanan) till fyrspår (Västra Stambanan norrut). Denna kapacitetsbrist söderut är uppenbart förklaringen till varför Ostlänken ses som ett viktigt projekt, oberoende av planerna för HSR. I Lund ansluter Västkustbanan till Södra stambanan, vilket innebär en högre belastning. Denna högre belastning innebär att man nu bygger ut till fyrspår på sträckan mellan Malmö och Lund, ett projekt som initierades på sent 90-tal (Trafikverket, 2020a). En liknande situation finner vi i Göteborg, där byggandet av Västlänken är tänkt att hantera den kapacitetsbrist som uppstår där Kust- till Kustbanan ansluter till Västkustbanan och på sikt Götalandsbanan, det vill säga höghastighetstågen (Banverket, 2006). Även detta projekt initierades på sent 90-tal.

Att höghastighetsbanorna inte är planerade hela vägen fram till slutstationerna kan alltså åtminstone delvis förklaras av att de är del av ett större system som också inkluderar andra åtgärder. Höghastighetsbanorna kan utnyttja kapacitetsförstärkningar som görs eller har gjorts tidigare, i vissa fall har kapacitetsförstärkningarna redan från början delvis motiverats av framtida höghastighetståg. Denna möjlighet finns inte för de konkurrerande teknikerna.

Detta betyder inte att den delvis integrerade trafiken är oproblematiske. I någon mån kommer kapaciteten bli lidande. Dessutom kan höghastighetstågens tillkomst leda till ett behov av ytterligare förstärkningar framöver. Berg (2020) menar att de förstärkningar som planeras i

Malmö och Göteborg är tillräckliga för att upprätthålla tillräcklig kapacitet, men att mer kan behövas i Stockholmsområdet.

Trafikverket (2017) konstaterar själva att förstärkningar närmare storstäderna behövs, och har utrett ett antal långsiktiga investeringar som de menar kommer krävas närmare storstäderna. Intressant att notera är dock att de menar på att samtliga av dessa förändringar kommer behövas oavsett om nya stambanor byggs eller ej.

2.2.7 Investeringskostnad

2.2.7.1 Järnväg

Frågan om vad tåginfrastruktur egentligen kostar är en mycket känslig och i hög grad politisk fråga. Det råder också oenighet om hur man ska räkna och vad kostnaden blir. Om man till exempel tar priset för nya stambanor för tåg i Sverige har Trafikverket uppskattat priset för till 256 miljarder kronor (Andersson, Berg, Nelldal, & Stichel, 2020).

Detta skiljer sig avsevärt från en uppskattning som Stockholms handelskammare har gjort, där de bedömer priset till 400 miljarder kronor (Corfitsen, 2019). Wigblad (2018) går i sin rapport för den svenska magnetstågsgruppen ännu längre och gör en prognos för ett slutpris på totalt 500 miljarder, där han även har räknat in 70-90 miljarder extra för anslutning till storstädernas huvudstationer och 30-60 miljarder extra för broar/viadukter av miljöhänsyn. Detta gäller planering för 320 km/h. Skulle man planera för 250 km/h menar Wigblad (2018) att slutnotan bör hamna runt 426 miljarder kronor.

I kontrast till detta hävdar SJs VD att de nya höghastighetsbanorna "kan bli billigare" än den prognos som Trafikverket har satt, även om han inte ger sig på att göra några kostnadsuppskattningar (Fritzson, 2019).

Att kostnaderna för HSR är svåra att uppskatta är lätt att förstå. En överblick av priser för ett antal höghastighetsbanor på järnväg som byggts i Europa och Kina under 2000-talet visar stor skillnad i pris och dessutom skillnader mellan olika källor, antagligen med hänvisning till olikartade beräkningsmetoder. Lokala förutsättningar gör stor skillnad, som topografi och känslighet för jordbävningar. Men också saker som grad av integrering, beslutsprocess och finansieringsmodell har påverkan (Albalet & Bel, 2012). Tabell 1 visar diskrepansen mellan olika banor. Siffrorna behöver beaktas med viss varsamhet, med hänsyn till att priserna räknats om med indexreglering och nu gällande växelkurser. Men mönstret med stora skillnader i pris mellan projekt är tydlig.

Tabell 1 Sammanställning av kostnader för ett antal HSR-projekt, 2018 års prisnivå. Indexjustering och växelkurser hanterade av författarna till denna rapport.

	Öppnad för trafik	Kostnad/km, mUSD (Albalet & Bel, 2012)	Kostnad/km, mUSD (Ollivier, Sondhi, & Zhou, 2014)
Rom - Neapel	2006	41	
Bologna - Florens	2009	111	
Nurnberg - Ingolstadt	2006	70	
Köln - Frankfurt	2002	59	
Cordoba - Malaga	2007	28	31
Madrid - Barcelona	2008	21	33
Madrid - Valladolid	2007	38	44
LGV East	2007	17	35

Shijiazhuang - Zhengzhou	2012		20
Guiyang - Guangzhou	2014		17
Jilin- Hunchun	2014		17
Zhangjiakou – Hohhot	2017		18

2.2.7.2 Magnettåg

Även vad gäller priset för magnettåg råder stor oenighet. Wigblad (2018) menar att magnettåg i Sverige skulle kosta ungefär 180 miljarder kronor att bygga i 2017 års prisnivå, inklusive anslutning hela vägen till storstädernas centralstationer. Detta verkar baseras på en uträkning som Wigblad gjort utifrån priset på magnettågsbanan i Shanghai, som enligt en uppgift från leverantören ska ha varit ca 240 miljoner kronor per kilometer, inklusive stationer, depåer och tåg. Beräkningen som Wigblad och den svenska magnettågsgruppen gjort saknar uppgift om dimensionerande hastighet, vilket även gäller originalkällan, en debattartikel i Göteborgs-Posten (2017).

I kontrast till denna prisberäkning menar Améen och Nelldal (2020) att svenska magnetbanor mellan de tre storstäderna skulle kosta ungefär 1000 miljarder, om prisbilden motsvarar den för det japanska magnettåget (SCMaglev) mellan Tokyo och Nagoya, det vill säga tidigare nämnda Chuo Shinkansen. Wigblad (2018) menar att detta är en orättvis jämförelse, eftersom det japanska magnettåget (SCMaglev) använder en annorlunda teknik än det magnettåg som den svenska magnettågsgruppen föreslagit (E-maglev) och eftersom den japanska topografin ser annorlunda ut.

Den bästa källan för att bedöma en ungefärlig prisbild för SCMaglev är av allt att döma det japanska Chuo Shinkansen-projektet. Att detta beräknas bli väldigt dyrt bekräftas i flera källor. Hidezaku och Nobou (2017) konstaterar exempelvis att kilometerpriset för Chuo Shinkansen är 5,5 eller 11,3 gånger dyrare än Tokaido Shinkansen, höghastighetståget som trafikerar samma ändpunkter idag, beroende på hur man indexreglerar.

Men även E-maglev tycks vara en dyrare teknik. Priset för Shanghais Transrapid-bana är inte lika lätt att hitta trovärdiga källor på som Chuo Shinkansen, men en källa pekar på att magnettågsbanan ska ha kostat 1,3 miljarder USD för 30 kilometer bana, när den byggdes 2001, huruvida detta inkluderar omkostnader som tåg, stationer och depåer är oklart (Brown, 2003).

Om man indexreglerar denna siffra till 2018 efter svenska NPI (nettoprisindex), räknar om till kilometerpris och växlar till svenska kronor enligt nu gällande växelkurs (2020-06-17) får man ett kilometerpris på 530 miljoner per kilometer, se Tabell 2.

Tabell 2 Prissammanställning för Shanghais magnettågsbana

	Kostnad/km, 2001 (mUSD)	Kostnad/km, 2018 (mUSD)	Kostnad/km, 2001 (mSKR)	Kostnad/km, 2018 (mSKR)
Totalpris	1200	1700	11232	15913
Kilometerpris	40	57	374	530

Det är möjligt att en bättre prisuppskattning hade kunnat göras genom att använda sig av kinesisk eller amerikansk indexering och valutaeffekten är inte försumbar. Men det är intressant

att notera att priset är mer än dubbelt så högt som det Wigblad (2018) anför. Även utan indexreglering är prisskillnaden stor.

Att jämföra prisbilden för magnetstågsbanan i Shanghai med nya höghastighetståg med magnetteknik i Sverige är dock vanskligt. Magnetståget i Shanghai är en enskild, kort bana i ett förhållandevis isolerat system. Svenska höghastighetståg ska byggas över en längre sträcka och i högre grad integreras med det befintliga järnvägssystemet. Topografi har som tidigare nämnt en stor påverkan. Magnetståget i Shanghai går till stor del genom tätortsmiljö, de svenska höghastighetstågen ska i hög grad gå genom landsbygd. Hur teknikutvecklingen för magnetståg har varit de senaste tjugo åren påverkar med all säkerhet också kostnadsbilden.

De stora skillnaderna mellan hur man hanterar infrastrukturutbyggnad mellan länderna har också betydelse i sammanhanget. En mer demokratisk besluts- och planprocess kan innebära en annorlunda kostnadsbild. Annorlunda riktlinjer för exempelvis miljöhänsyn och buller spelar in. Upphandlingsprocess och finansieringsmodeller ser annorlunda ut. Kostnad för arbete skiljer sig åt. Bara för att nämna några saker.

Relevanta jämförelser är följaktligen svåra att göra. Vad man kan säga är att 40 miljoner USD per kilometer (Shanghais magnetbanas pris, utan indexreglering) hade varit ett högt pris för Kina, även om det vore idag. En studie från världsbanken konstaterar att kinesiska HSR har kostat ungefär hälften av detta, mellan 17-21 miljoner USD per kilometer. Denna studie framför även att kinesiska HSR har varit betydligt billigare att bygga än de europeiska. (Ollivier, Sondhi, & Zhou, 2014). Det samma kan tänkas gälla för magnetståg.

China HSR with a maximum speed of 350 km/h has a typical infrastructure unit cost of about USD 17-21m [...] The cost of HSR construction in Europe, having design speed of 300 km/h or above is estimated to be of the order of USD 25-39 m per km.
(Ollivier, Sondhi, & Zhou, 2014)

En till aspekt som man bör ta med i jämförelsen mellan Shanghais magnetståg och möjliga höghastighetståg på magnetbana i Sverige är skillnaden i dimensionerande hastighet. Magnetstågsbanan i Shanghai har visserligen en topphastighet i drift på 431 km/h, men huvuddelen av tiden är hastigheten betydligt lägre än så. Både Wigblad (2018) och Larsson (2020) diskuterar magnetståg med en dimensionerande hastighet på 500 km/h. Att under längre sträckor köra i 500 km/h ställer helt andra krav på en anläggning än att momentant nå en bit över 400, för att sedan bromsa in. Skulle snabba landtransporter över en längre sträcka byggas i Sverige för magnetståg är det inte osannolikt att det skulle innebära en 100 km/h högre medelhastighet än vad som är fallet för magnetståget i Shanghai. Att detta är väldigt kostnadsdrivande har diskuterats under tidigare rubriker, se exempelvis 2.2.3 och 2.2.4.

Den jämförelse mellan magnetståg och järnväg som Vuchic och Casello (2002) gjorde pekar också på att magnetståg är dyrare än HSR. De hänvisar bland annat till det faktum att man valde HSR framför magnetståg (Transrapid) på sträckan Hamburg – Berlin av ekonomiska skäl. Mot bakgrund av detta resonemang tycks påståendet att magnetståg skulle vara väsentligt billigare än HSR i Sverige som avvikande, särskilt med utgångspunkten att den dimensionerande hastigheten ska vara 500 km/h.

2.2.7.3 Hyperloop

Hyperloop är den anläggning som tveklöst erbjuder den största osäkerheten när det gäller slutgiltigt pris. Elon Musk skissade i sitt white paper på en anläggning mellan Los Angeles och San Fransisco som skulle kosta 6 miljarder USD, vilket i så fall skulle ge ett kilometerpris på ungefär 11 miljoner USD (Musk, 2013).

Allt eftersom tekniken utvecklats har dock prisprognoserna skruvats upp. Världens första kommersiella hyperlooplinje som är tänkt att byggas mellan Mumbai och Pune i Indien har fått en prisuppskattning på 8-9 miljarder USD för en sträcka på ca 100 km (Agrawal & Prasad, 2019), vilket skulle innebära 80-90 miljoner USD per km. Därmed har hyperloop gått från en prisbild som betydligt billigare än järnväg och magnetåg, till betydligt dyrare. Denna uppfattning delas av ter Kuile och Beek (2020) som påpekar att investeringskostnaderna för hyperloop är betydligt högre än för de konkurrerande teknikerna.

Att överhuvudtaget spekulera i pris för hyperloop är vanskligt, eftersom det finns så många tekniska problem för tekniken kvar att lösa. Ännu idag är hyperloops uppnådda maxhastighet långt ifrån de 1220 km/h som Elon Musk skissade på i sitt white paper. Därutöver kommer en stor mängd tekniska utmaningar när systemet ska anpassas för kommersiell drift (Brümmer, Ahlberg, Kusoffsky, Krause, & Glasare, 2018). Hur mycket ett kommersiellt system skulle kosta är helt och hållet beroende av huruvida man lyckas klara dessa tekniska utmaningar, och i så fall på vilket sätt.

One of the most interesting aspects of the hyperloop is that we still must prove its feasibility.
(ter Kuile & Beek, 2020)

2.2.8 Underhåll och drift

Flera källor pekar på att magnetågsanläggningar kräver mindre underhåll än järnväg, eftersom det är färre rörliga delar. Detsamma hävdar ter Kuile och Beek (2020) om hyperloop, utifrån samma resonemang. Flera författare stödjer denna tes, se exempelvis Dhingra, Sharma och Salmani (2015).

Vuchic och Casello (2002) medger att detta är en fördel för magnetåg, men tillför att magnetågen är mycket mer känsliga för deformationer och att sådana blir dyra att åtgärda. Dessutom krävs ett komplext underhåll av de elektromagnetiska komponenterna, menar de. De tillför att kostnadsuppskattningar för underhåll av tänkta magnetågsbanor skilde sig med en faktor 10 vid tillfället för deras studie. Även Berg (2020) påpekar både aspekten med deformationer och behovet av underhåll av elektromagnetiska komponenter, men att han är osäker på vad det kan kosta.

De båda teknikerna är också mer energieffektiva i sin framdrift än järnväg, vilket bör innebära lägre driftkostnader. Återigen är detta dock något som bara gäller vid motsvarande hastighet, eftersom ett högre luftmotstånd vid högre hastighet sänker energieffektiviteten (se 2.2.1). Hyperloop bör klara lägre driftkostnader även vid förhållandevis högre hastighet med hänsyn till det nedsatta luftmotståndet. Å andra sidan krävs det energi för att upprätthålla fordonens svävning, både för magnetåg och hyperloop (Vuchic & Casello, 2002). I fallet för hyperloop tillkommer dessutom all den energi som krävs för att upprätthålla det nedsatta lufttrycket inne i röret, exempelvis med vakuumpumpar.

Drift- och underhållskostnader är en viktig kostnadsaspekt, som exempelvis Larsson (2020) och ter Kuile och Beek (2020) påpekar. Även om forskningen talar för att magnetåg och hyperloop

skulle kunna få lägre underhållskostnader, är det svårt att säga något om hur stor besparing detta skulle vara i ett livscykelperspektiv.

2.2.9 Trafiksäkerhet

Trafiksäkerhet är en viktig fråga vid val av teknik. Resande med tåg generellt är mycket säkrare än all typ av vägtrafik, med avseende på skadade och dödade per personkilometer, eftersom infrastrukturen styr fordonen och trafiken är så noga kontrollerad (Andersson, Berg, Stichel, & Casanueva, 2018).

I fallet för magnetåg har dödsolyckan i Emsland 2006 ställt frågor om teknikens säkerhet. Efter olyckan avvecklades den aktuella banan och dåvarande planer för magnetågsbanor i Tyskland för att sedan inte återupptas (The Local, 2016). Samma teknik har dock använts i ett flertal år i Shanghai utan några kända olyckor. Hur säkerheten för magnetåg förhåller sig till säkerheten på järnväg anser vi inte att vi har underlag för att bedöma.

Hyperloop har kritiserats av flera för att vara en osäker teknik, eftersom det tillför flera nya osäkerheter i relation till befintliga tågssystem. Det handlar dels om ökad risk vid kollision eller extern påverkan på grund av de höga hastigheterna, men också om de säkerhetsproblem som uppkommer av att färdas i ett förslutet rör. Några exempel på problem som detta kan ge:

- En läcka i farkosten skulle kunna leda till snabbt sänkt lufttryck och därmed risk för kvävning för passagerare.
- En skada på röret skulle kunna innebära snabbt förhöjt lufttryck i röret och därmed tryckvågor mot farkoster.
- Evakuering blir en mycket svårare fråga att lösa, eftersom passagerare måste ta sig ur röret på ett säkert sätt, utan att kvävas på vägen. Dessutom behöver passagerare vara kvar längre i farkosten med hänsyn till tiden det tar att bromsa farkosten.



Hyperloop-utvecklare arbetar med säkerhetskoncept för att hantera problemen, se exempelvis Delft Hyperloop (2020), men det är uppenbart så att säkerhet är en svårare fråga för hyperloop än de övriga teknikerna.

2.3 Sammanfattande jämförelse

Att jämföra järnväg, magnetåg och hyperloop på ett rättvist sätt är som tidigare nämnt svårt att göra, med tanke på hur stor skillnad det är i hur väl utvecklad och beprövad respektive teknik är. Många faktorer är också i högre grad beroende av den dimensionerande hastigheten än tekniken i sig. Därför blir jämförelsen olika beroende på vilken dimensionerande hastighet som väljs. Det är mycket svårt att med stöd i underlaget för denna studie jämföra teknikerna med kvantitativa mått.

Istället görs nedan en ansats till indikativ jämförelse mellan teknikerna med hjälp av multikriterieanalys. Syftet med denna jämförelse är att försöka visa generella tendenser baserat på undersökt underlag från 2.2. Indikationerna kan betraktas som allmänna och kommer definitivt skilja sig från fall till fall. Indikatorerna förutsätter i fallet för hyperloop att tekniken fungerar.

Tabell 3 Multikriterieanalys för tre tekniker med olika dimensionerande hastighet i det allmänna fallet. Grön indikerar positiv avvikelse, röd indikerar negativ avvikelse.

	Järnväg	Magnetåg	Hyperloop
Dimensionerande hastighet	250	500	1000
Energiförbrukning			

Kapacitet	Grön	Yellow	Röd
Restider	Röd	Yellow	Grön
Buller	Grön	Yellow	Yellow
Barriäreffekter/intrång	Yellow	Yellow	Yellow
Byggtid	Yellow	Yellow	Röd
Integrering	Grön	Röd	Röd
Pris	Grön	Yellow	Röd
Underhåll och drift	Röd	Yellow	Yellow
Trafiksäkerhet	Yellow	Yellow	Röd
Risk	Grön	Yellow	Röd

Tabell 4 Multikriterieanalys för tre tekniker med samma dimensionerande hastighet i det allmänna fallet. Grön indikerar positiv avvikelse, röd indikerar negativ avvikelse.

	Järnväg	Magnettåg	Hyperloop
Dimensionerande hastighet	300	300	300
Energiförbrukning	Yellow	Yellow	Grön
Kapacitet	Grön	Grön	Yellow
Buller	Röd	Yellow	Grön
Barriäreffekter/intrång	Yellow	Grön	Yellow
Byggtid	Yellow	Yellow	Röd
Integrering	Grön	Röd	Röd
Pris	Grön	Yellow	Röd
Underhåll och drift	Röd	Yellow	Yellow
Trafiksäkerhet	Yellow	Yellow	Röd
Risk	Grön	Yellow	Röd

Några anmärkningar:

- Högre hastigheter innebär alltid högre energiförbrukning, lägre kapacitet och mer buller.
- Högre hastigheter innebär flackare kurvor och följaktligen större svårigheter att anpassa sig till miljön. Detta kan dock väntas leda till fler tunnlar och broar, vilket kan minska barriäreffekten, men sannolikt innebär en prisökning.

3. TRANSPORTPOLITISK MÅLBILD

3.1 Överblick

Detta kapitel avser att sammanställa olika instansers syn på mål för transportsystemet. Syftet är att synliggöra likheter och eventuella konflikter, samt att visa hur olika beslutsinstanser tolkar övergripande mål olika och lägger vikt vid olika saker.

En tidig utgångspunkt i arbetet har varit att arbeta med de globala målen i Agenda 2030. Dessa mål och indikatorer har dock vid närmare betraktning visat sig vara för abstrakta för att direkt kunna utvärderas eftersom de är så pass generellt formulerade. Följaktligen kommer inte Agenda 2030 i sig vara underlag för bedömning i denna rapport.

3.2 Europeiska unionen

Utöver Agenda 2030 grundar sig Europeiska unionens transportpolitiska åtaganden på den vitbok man antog 2011. Från denna kan man notera några av Europeiska unionens i sammanhanget viktigaste inspel.

I generella termer ser EU den stora utmaningen som mer effektiv energianvändning och kraftigt minskat oljeberoende med fortsatt ökande mobilitet.

The challenge is to break the transport system's dependence on oil without sacrificing its efficiency and compromising mobility [...] the paramount goal of European transport policy is to help establish a system that underpins European economic progress, enhances competitiveness and offers high quality mobility services while using resources more efficiently. In practice, transport has to use less and cleaner energy, better exploit a modern infrastructure and reduce its negative impact on the environment and key natural assets like water, land and ecosystems.
(Europeiska kommissionen, 2011)

Curbing mobility is not an option.
(Europeiska kommissionen, 2011)

Specifikt anger EU att förändrad färdmedelsfördelning där fler åker tåg och där järnvägen tar ökade marknadsandelar är en önskad utveckling och att det för detta krävs investeringar.

By 2050, complete a European high-speed rail network. Triple the length of the existing high-speed rail network by 2030 and maintain a dense railway network in all Member States. By 2050 the majority of medium-distance passenger transport should go by rail.
(Europeiska kommissionen, 2011)

EU är måna om ett effektivt huvudnät för regionala och internationella transporter. Fokusområdena för detta nätverk är, enligt EU, stora volymer, hög effektivitet och låga utsläpp.

Europe needs a 'core network' of corridors, carrying large and consolidated volumes of freight and passengers traffic with high efficiency and low emissions, thanks to the extensive use of more efficient modes in multimodal combinations and the wide application of advanced technologies and supply infrastructure for clean fuels.
(Europeiska kommissionen, 2011)

3.3 Transportpolitiska mål

Transportpolitikens övergripande mål är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet. Det transportpolitiska målet är uppdelat i ett funktionsmål och ett hänsynsmål där funktionsmålet ”i huvudsak utvecklas inom ramen för hänsynsmålet.”

Funktionsmålet innebär att 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.

Hänsynsmålet innebär att transportsystemets utformning, funktion och användning ska anpassas till att ingen ska dödas eller skadas allvarligt, bidra till att det övergripande generationsmålet för miljö och miljö kvalitetsmålen nås samt bidra till ökad hälsa.

Utöver dessa mål och preciseringar har regeringen definierat etappmål under hänsynsmålet:

Växthusgasutsläppen från inrikes transporter – utom inrikes luftfart som ingår i EU:s utsläppshandelssystem – ska minska med minst 70 procent senast 2030 jämfört med 2010.

Antalet omkomna till följd av trafikolyckor inom vägtrafiken, sjöfarten respektive luftfarten ska halveras till år 2030. Antalet omkomna inom bantrafiken ska halveras till år 2030. Antalet allvarligt skadade inom respektive trafikslag ska till år 2030 minska med minst 25 procent (Regeringskansliet, 2020).

3.4 Regionplanering

På den regionala nivån i Sverige är fokus generellt mer inriktat på lokal och regional trafik än vad som är fallet för de olika strategiska inriktningar som kan observeras på en högre nivå. I de regionala planerna nämns dock ofta storregionala och nationella förbindelser.

Samtliga regionala planer som har utvärderats för denna rapport lyfter fram tågtrafiken och dess underhåll och utbyggnad som en central aspekt för att säkerställa god tillgänglighet i framtiden. Det är dock endast region Stockholm som pratar explicit om järnväg som tågteknik. Region Örebro och Region Värmland lägger också tonvikt vid behovet av en mer sammanknuten arbetsmarknadsregion där människor kan pendla längre sträckor.

Önskvärt läge 2030

Behoven av interregional och storregional järnvägstrafik till 2050 bedöms vara så stora att det behövs ytterligare spårkapacitet på Ostkustbanan mellan Stockholm och Uppsala, på Västra Stambanan mellan Älvsjö och Järna samt på Svealandsbanan mellan Södertälje och Nykvarn.

Genom effektiv regional tågstrafik har vi knutit samman vårt län med Stockholm-Mälarenregionen och drar nytta av huvudstaden som motor i utvecklingen. Restiderna med kollektivtrafik till Stockholm, Oslo och Göteborg har kortats väsentligt. (Stockholms läns landsting, 2018)

Strategisk inriktning

[---] Våra resor går över allt längre sträckor – regionalt, nationellt och internationellt. I takt med det har de lokala arbetsmarknaderna vuxit. Den regionala kollektivtrafiken har stor betydelse för utvecklingen av arbetsmarknadsregioner, både i Värmland och

för sammanbindning med angränsande regioner. Människors vardagsliv och företagsverksamhet skär tvärs över kommungränser, länsgränser och nationsgränser. (Region Värmland, 2014)

Ett intressant tillägg i sammanhanget är att både Örebro och Stockholm ser ett behov av att utöka antalet regionalstågsstationer inom regionen.

I syfte att stärka Stockholmsregionens koppling till östra Mellansverige och på så sätt öka den storregionala tillgängligheten och integrationen pekas möjliga lägen för nya regionalstågsstationer ut i Solna, Barkarby, Älvsjö och Helenelund. Stationerna kan komplettera länets befintliga regionalstågsstationer och bidra till att stärka och öka tillgängligheten till de regionala stadskärnorna. (Stockholms läns landsting, 2018)

Önskvärt läge 2030

[---] Även den regionala pendlingen har stärkts sedan vi fick nya stationslägen längs Nobelbanan. Det är av stor vikt för kompetensförsörjning och näringslivets affärsresor. (Region Örebro län, 2018)

3.5 Kommunal planering

Även kommunerna har synpunkter på hur man ska resonera med den långsiktiga infrastrukturplaneringen. Alla undersökta kommuner lyfter fram fortsatt utbyggnad av järnvägen som en regionalt viktig fråga. Flera tar dessutom ställning för ny tåginfrastruktur mellan Stockholm och Oslo. Årjängs kommun lyfter också fram busstrafiken som en viktig faktor i framtiden. En intressant notering är också att Stockholms stad lyfter fram behovet av en samhällsstruktur som möjliggör korta resor, ett annat perspektiv i jämförelse med till exempel region Värmland som uttryckligen eftersträvar längre resor för att nå regionala mål.

Förbättrade möjligheter för pendling både inom den befintliga arbetsmarknadsregionen och till angränsande regioner bidrar till en större arbetsmarknad. Tillgången till järnväg och tågtrafik är av stor betydelse för utvecklingen av kommunen och en förutsättning för utveckling och konkurrenskraft. (Arboga kommun, 2018)

Trafikverket påbörjade 2016 en Åtgärdsvalsstudie för förbättrade förbindelser och mellanliggande stopp för passagerare längs sträckan Stockholm – Oslo. Kommunen är positiv till åtgärder längs stråket i syfte att korta restiden och knyta ihop Mälardalens orter. (ibid.)

Grensekomiteen Värmland – Östfold arbetar med en utredning som behandlar utökning av busstrafiken, för att kunna förbättra dörr – dörr resandet. Den andra utredningen gäller höghastighetsbana från Oslo – Stockholm. Norsk bane har genomfört fas 1 och utrett möjligheter för en höghastighetsbana från Oslo via Årjäng till Stockholm. Båda dessa utredningar skulle förenkla den dagliga pendlingen och tillgängligheten för alla i Värmlands län och Norge till och från Årjängs kommun. (Årjängs kommun, 2016)

Transportsystemet har en stor betydelse för en sammanhållen kunskaps- och arbetsmarknadsregion. EU har även pekat ut vikten av ett sammanlänkat

transeuropeiskt transportnät TEN-T. Ett flertal större vägar, stambanor och hamnverksamheter i Stockholm-Mälardalsregionen ingår i detta nätverk.
(Stockholms stad, 2018)

En långsiktigt hållbar tillväxt förutsätter att det ökande resandet sker med kollektiva kommunikationer, där järnvägen utgör stommen i ett storregionalt system. Kollektivtrafiken ska vara snabb och bekväm med hög turtäthet.
(Västerås stad, 2017)

Utbytet mellan Oslo och Stockholm, för framförallt personresor, är ett av de största i Europa. Utbytet sker idag till största delen via flyg vilket medför att mellanmarknaden inte får samma förutsättningar för utveckling, trots att betydande andel av befolkning och näringsliv finns där. Olika utredningar pågår som har som utgångspunkt att järnvägen ska medge restider under tre timmar med stopp i minst nodstäderna. Detta gynnar inte bara utbytet Stockholm - Oslo utan även utbytet mellan städerna i stråket.
(ibid.)

4. STRÅKSTUDIE

4.1 Inledning

Stråkstudien beskriver hur ny infrastruktur för HSR, magnetåg eller hyperloop i stråket Stockholm – Oslo skulle kunna se ut. Kapitlet gör ett försök att besvara följande frågor.

- Vilka städer skulle trafikeras?
- Vilka restider är möjliga?
- Hur skulle kapaciteten bli?
- Hur många skulle resa med respektive teknik?
- Hur skulle befintligt resande påverkas?

Stråkstudien går igenom gjorda antaganden, beräkningar och effekter. Ekonomiska och sociala konsekvenser av effekterna analyseras i nästkommande kapitel.

4.2 Antaganden

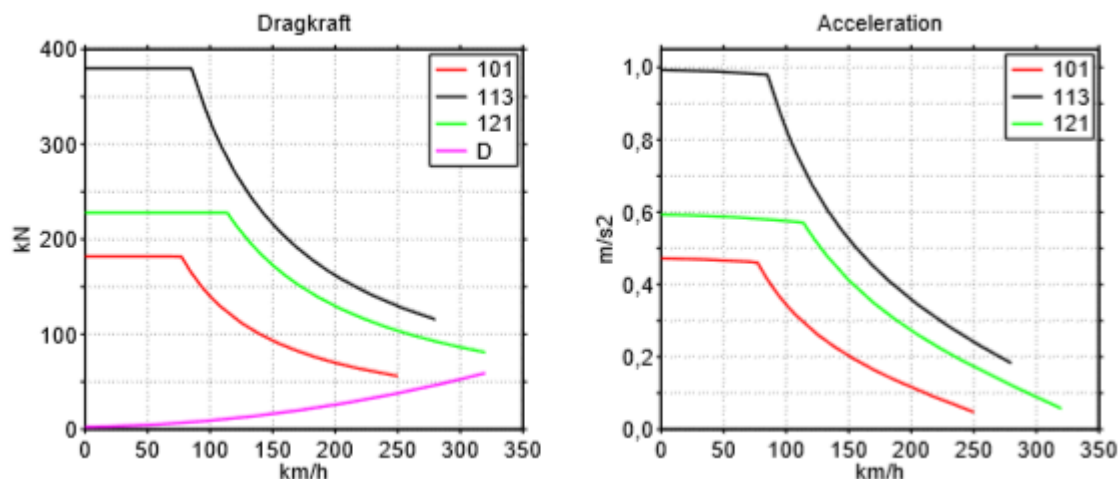
I uppbyggnaden av stråkstudien behöver ett antal antaganden göras för att kunna jämföra teknikerna effektivt. Under denna rubrik presenteras dessa.

4.2.1 Maxhastighet, bromshastighet och acceleration

Det finns redan exempel på HSR med operationell hastighet på 320 km/h, därför antas denna maxhastighet även för stråkstudien. För nya, storskaliga magnetågssystem diskuteras ofta hastigheter på upp till 500 km/h. Redan idag har kinesiska Transrapid i Shanghai en operativ maxhastighet på 431 km/h. Därför antas maxhastigheten för magnetåg till 500 km/h. Många möjliga maxhastigheter har diskuterats för hyperloop, men än så länge har de utlovade topphastigheterna långt ifrån uppnåtts, än mindre prövats praktiskt. Operativ maxhastighet antas till 1000 km/h.

Som noterat i 2.2.3 är den begränsande faktorn för acceleration och inbromsning ofta passagerarkomfort. Idag är så fallet för inbromsning med tåg på järnväg. Fröidh (2010) noterar att $0,6 \text{ m/s}^2$ är ett maxkrav, så kallad "komfortbroms", för att säkerställa passagerarkomfort. Snabbare inbromsning är möjlig och kan användas exempelvis vid nödbromsning, men bör undvikas i normal drift. Samma sak gäller oberoende av teknik.

Vuchic och Casello (2002) påpekar att magnetåget Transrapid har ungefär samma initiala acceleration som HSR på grund av komfortfaktorn, trots att tåget klarar högre acceleration. Eftersom en given effekt ger lägre dragkraft vid högre hastighet blir accelerationen också lägre vid högre hastigheter. Denna effekt förstärks av att luftmotståndet ökar vid höga hastigheter (Sipilä, 2010).



Figur 6 Sipilä (2010) visar hur dragkraften och därmed accelerationen minskar vid högre hastigheter vid given effekt. 101, 113 och 121 illustrerar olika tågtåg i Sipiläs rapport, D illustrerar hur motstånd ökar vid högre hastighet.

Som tidigare konstaterat har magnetåg och hyperloop större accelerationspotential än HSR vid motsvarande hastighet, eftersom motståndet ("D" i Sipiläs graf) blir mindre. Sett över hela accelerationsförloppet är dock risken stor att genomsnittsaccelerationen för magnetåg och hyperloop blir lägre, om maxhastigheten är högre. Detta är en logisk följd av sambandet mellan dragkraft och motoreffekt ($P = F \cdot v$) som innebär att det krävs allt större kraft för att upprätthålla samma acceleration ju högre hastigheten är, även innan man räknat in perspektivet med motkrafter.

Med hänsyn till resonemang ovan anges följande antaganden för acceleration och inbromsning till stråkstudien. Dimensionerande maxhastighet väljs schablonmässigt, baserat på vanlig standard för de olika teknikerna och, i fallet för HSR, tidigare utpekad dimensionerad hastighet i stråket (Trafikverket, 2017):

Tabell 5 Tekniska antaganden för acceleration och inbromsning till stråkstudien

	HSR	Magnetåg	Hyperloop
Dimensionerande maxhastighet	250	500	1000
Acceleration, genomsnitt (m/s²)	0,4	0,4	0,4
Inbromsning (m/s²), drift	0,6	0,6	0,6
Nödbromsning (m/s²)	1	1	1

4.2.2 Stationsplacering

Antalet stationer och var de är placerade har stor effekt på vilken trafikering som är möjlig och i förlängningen vilka effekter som kan observeras. Teknikerna har också olika förutsättningar avseende vilken typ av trafikering som är lämplig. Detta går att härleda till tänkta hastigheter och i fallet för järnväg också hur de befintliga spåren går – eftersom nya tåg till stor del skulle kunna använda dessa.

Frågan om var stationer ska ligga är komplicerad, både ur trafikeringssynpunkt och med avseende på effekter. Vad gäller trafikering kan man konstatera att högre dimensionerande hastighet gör det svårare att motivera fler stopp på vägen. Detta beror på att det tar tid att accelerera till dessa hastigheter, och tid att bromsa in. Om man också lägger till tiden det tar att

uppehålla sig vid en station minskar restidsvinsten snabbt för varje stopp längs vägen. Kombinerad trafik med direkttåg och tåg som stannar flera gånger längs vägen är möjlig, men blir svårt att få till ur kapacitetssynpunkt vid höga operativa hastigheter, då riskerar direkttåg att snabbt hinna upp stannande tåg och tvingas till omkörning, vilket det i så fall behöver finnas spårkapacitet för.

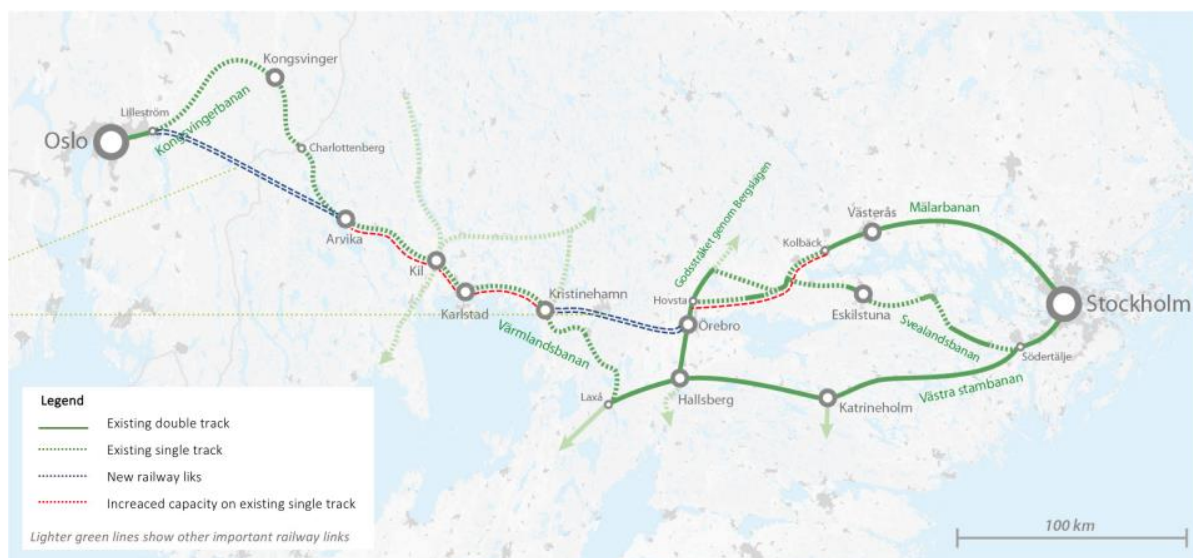
I fallet för hyperloop delar vi ter Kuile och Beeks (2020) analys att tekniken kommer mest till sin rätt om den anpassas för långväga resande utan mellanstopp. Stråkstudien analyserar därför hyperloop utifrån premisen att den byggs enbart för direktresor mellan Stockholm och Oslo.

I fallet för HSR och magnetåg är bedömningen annorlunda. Den lägre maxhastigheten innebär att stopp på mellanmarknader är ett realistiskt och sannolikt bättre alternativ. Här blir istället frågan vilket avstånd mellan stationer som är lämpligt och vilka städer som bör väljas ut.

HSR mellan Stockholm och Oslo är redan idag utrett av bland andra Trafikverket (2017) och den offentliga intresseorganisationen Oslo-Stockholm 2.55 (2019). Dessa utredningar föreslår upprustning av befintlig järnväg i stråket och nya länkar för att knyta ihop delsträckor som saknar järnvägskoppling idag. Detta skulle möjliggöra snabba tåg med stopp i till exempel Västerås, Örebro och Karlstad. Men det skulle också möjliggöra regionala tåg med betydligt tätare stopp, där man kan utnyttja de nya och upprustade järnvägs-länkarna, men stanna på befintliga stationer. Utgångspunkten är en dimensionerande hastighet på 250 km/h för de snabba tågen. I praktiken skulle detta innebära:

- Utbyggnad av dubbelspår mellan Kolbäck och Hovsta
- Ny järnvägs-länk mellan Örebro och Kristinehamn
- Utbyggnad till dubbelspår mellan Kristinehamn och Arvika
- Ny järnvägs-länk mellan Arvika och Oslo

Se Figur 7 för en schematisk skiss över nödvändiga infrastrukturförstärkningar enligt Oslo - Stockholm 2:55 AB (2019).



Figur 7 Schematisk skiss för nödvändiga infrastrukturförstärkningar för att förbereda för höghastighetståg mellan Stockholm och Oslo (Oslo - Stockholm 2.55 AB, 2019).

Vi ser ingen anledning att gå ifrån den grundläggande princip som tidigare utredningar tagit fram, utan väljer samma upplägg i vårt järnvägsalternativ. För järnvägsalternativet väljer vi att ha med stopp för HSR i Stockholm, Västerås, Örebro, Karlstad och Oslo.

Fallet för magnetåg blir annorlunda, eftersom detta likt hyperloop kräver helt ny infrastruktur hela vägen. Till skillnad från hyperloop är det dock lämpligt att planera för mellanliggande stationer, utöver Stockholm och Oslo. Teoretiskt sett hade man kunnat välja helt andra mellanstationer än i fallet för järnvägsalternativet. Vi ser dock inte någon anledning att byta, utan bygger vårt scenario med magnetåg på stopp på samma stationer. Detta underlättar också vid jämförelse.

Alla alternativ antas ha stationer externt i de orter som passeras. I praktiken blir detta en onödigt pessimistisk prognos för järnväg, eftersom det finns befintliga järnvägsstationer att utnyttja. I vissa fall kanske inte stationerna behöver förändras alls. I magnetågs- och hyperloopalternativet krävs helt ny stationsinfrastruktur vid samtliga stopp, vilket innebär en dyrare process och, kan man anta, en större risk att stationerna i slutändan hamnar mer externt. Att alla alternativ ändå får en extern station i analyserna är för att skapa jämförbarhet mellan alternativen och undvika en överskattning av positiva effekter. För att kompensera för osäkerheten finns även ett alternativ med centralt stationsläge med som en känslighetsanalys.

4.2.3 Anslutningsresor

Det vore ett misstag och en orättvis jämförelse att endast ta med restiden mellan stationer för beräkning, när anslutningsresorna vid ändpunkterna i praktiken har stor betydelse för den totala restiden. Därav har antaganden gjorts för genomsnittliga anslutningstider gjorts, se Tabell 6.

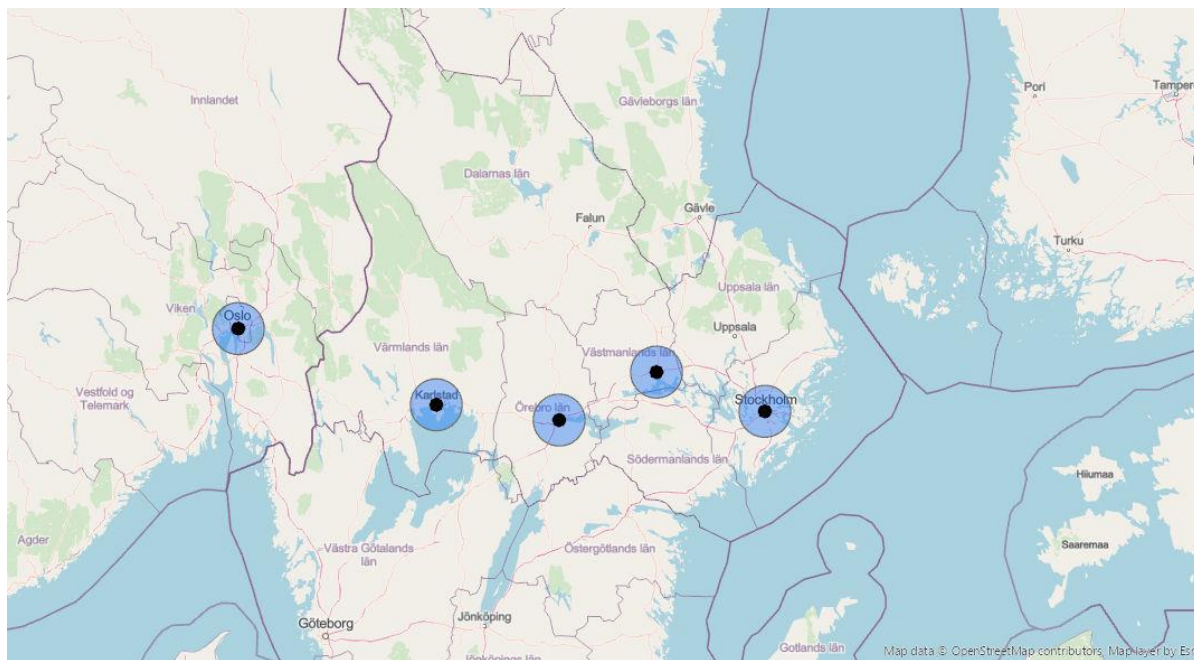
Tabell 6 Schablonantaganden för genomsnittlig anslutningstid, inklusive incheckning etc.

Anslutningstider, min	
Tåg (centralt läge)	30
Tåg (externt läge)	45
Buss (centralt läge)	30
Flyg (externt läge)	60
Bil	0

4.2.4 Resande i nuläget

För att på ett effektivt sätt kunna värdera effekter behövs underlag för resande i nuläget. Sådant underlag har dock visat sig svårt att hitta. Resandestatistik mellan Stockholm och Oslo har hämtats från den nyttoanalys som genomförts inom ramarna för projektet Oslo-Sthlm 2.55 (Sweco, 2017). Resandet i övriga relationer har beräknats med hjälp av utdrag ur Trafikverkets prognosmodell Sampers (basprognos 200615). Resandet bedöms med stöd av Sampers estimering av resanderelationer mellan zoner, så kallad OD-matris. Ett antagande har varit att upptagningsområdet för stationerna är en cirkel med 40 kilometers radie kring befintlig

centralstation, se Figur 8. Resor över norska gränsen saknas i Sampers-modellen och har därför behövt antas med utgångspunkt i mängden resor i övriga relationer.



Figur 8 Stationscentrum med buffrar. Antaget upptagningsområde för de nya tågstationerna.

4.2.5 Restider i nuläget

Antaganden för genomsnittlig restid i nuläget har gjorts med hjälp av underlag från operatörerna i stråket (SJ, Flixbus, SAS) och Google Maps reseplanerarare. Detta har kombinerats med tidigare antaganden för anslutningsresor (se 4.2.3).

4.2.6 Restider för de nya teknikerna

De nya teknikernas restider har beräknats med utgångspunkt i antaganden redovisade i 4.2.1, där en teoretisk minimal tid har tagits fram med hänsyn till acceleration och inbromsning vid stationer. Därefter har ett schablonpåslag om två minuter per station lagts till, och därefter ett påslag på den totala restiden med 30 %, för att få med effekter av exempelvis kapacitetshinder, driftproblem och det faktum att maximalt möjlig hastighet inte alltid kommer att vara lämplig. Till totaltiden adderas därefter tiden för anslutningsresor precis som för nuläget. Samma beräkningsmetod har använts för samtliga tekniker.

Restiden beror också på hur stor andel som är direkttåg, eftersom dessa är snabbare. Andelen direkttåg sätts schablonmässigt till 10 %. Detta gäller för HSR och magnetåg, för hyperloop finns endast direkttåg eftersom endast en reserelation trafikeras.

4.2.7 Antal resande med de olika teknikerna

Resande med de nya teknikerna kan komma från två källor. Överflyttade resor (resor som tidigare gjordes med andra färdmedel) och nygenererade resor (resor som inte gjordes alls i utgångsläget). Nedan beskrivs vilka antaganden som har gjorts för att kunna beräkna dessa mängder.

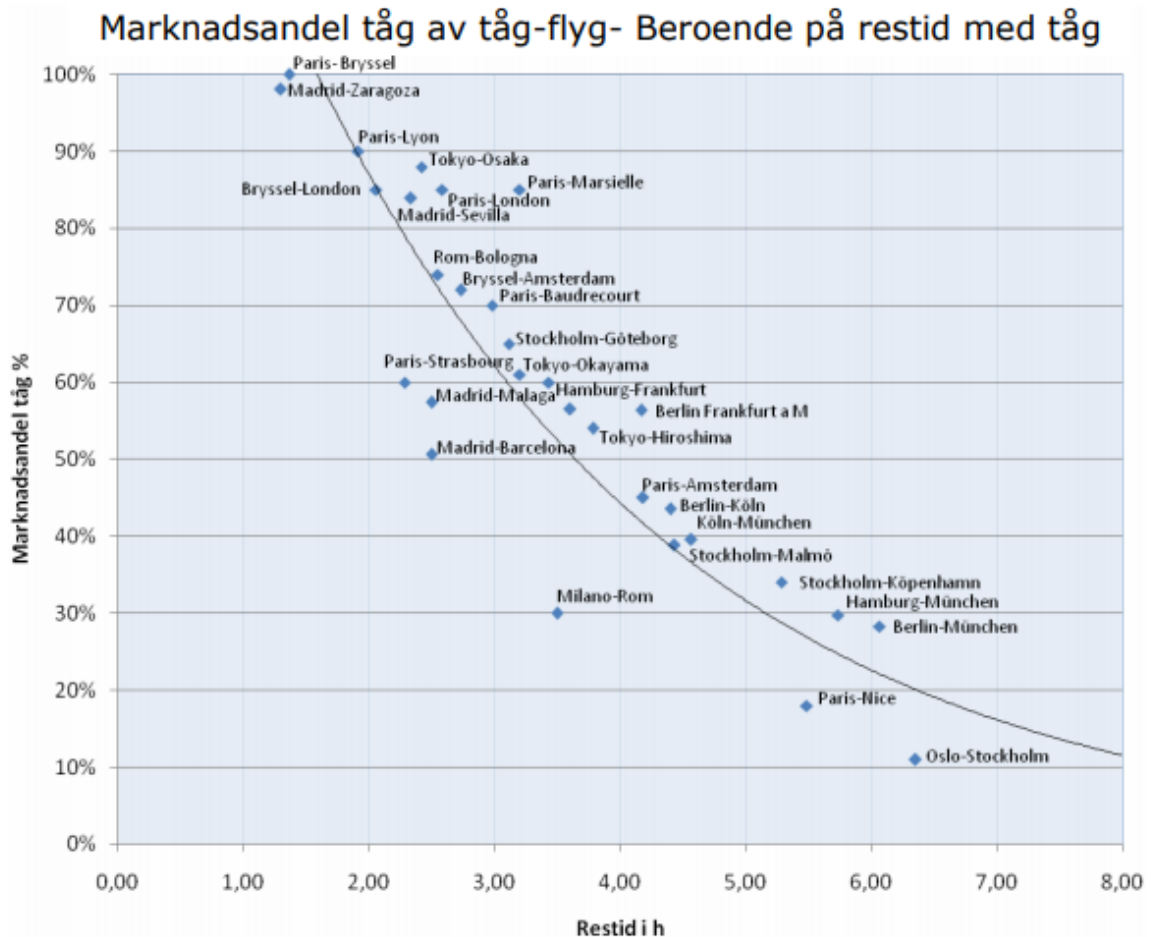
Överflyttningen från tåg antas vara 80 %, det vill säga att de flesta som tidigare åkt tåg istället väljer HSR, magnetåg eller hyperloop om det erbjuds i samma reserelation. Det kan tyckas märkligt att inte alla flyttar över, men det är viktigt att komma ihåg att befintlig tågtrafik i alla

scenarioalternativ kommer finnas kvar. Att resa med det långsammare tåget kan ha fördelar som lägre biljettpris eller, för vissa individer, kortare avstånd till stationen. Därför kan en del av resenärerna väntas fortsätta välja det befintliga tåget även efter att ny teknik introducerats.

Överflyttning från flyg beräknas enligt ett generaliserat samband mellan tågets restid och marknadsandel i relation till flyg, framtaget och statistiskt säkerställt av Lundberg (2011). Sambandet kan beskrivas enligt följande:

$$Y = 1,5076e^{-0,291x}$$

Där Y är tågets marknadsandel och x är tågets restid. Sambandet visar att höghastighetståg tenderar att ha mer än 90% marknadsandel i relation till flyg vid restider under två timmar, för att därefter sjunka. Oslo-Stockholm idag finns med som exempel i grafen, med drygt 6h genomsnittlig restid och marknadsandel på drygt 10%, se Figur 9.



Figur 9 Marknadsandel tåg av tåg-flyg beroende på restid med tåg (Lundberg, 2011)

Detta samband används för att beräkna överflyttningen för samtliga tekniker.

Överflyttning från bil och buss är allra svårast att förutse, men studier visar att denna överflyttning ofta är relativt liten, särskilt vad gäller bilresor (Givoni & Dobruszkes, 2013). Överflyttningen antas vara 15% för bilresenärer och 25% för bussresenärer.

För att beräkna antalet nygenererade resor används restidselasticitet. Skattade effektsamband för dessa elasticiteter finns framtagna av Trafikverket (2020f). För att kunna tillämpa dessa effektsamband och beräkna projektspecifika elasticiteter behövs indata gällande restid, reslängd samt antal resor i utgångsläget. Antalet resor behöver även vara uppdelade per ärende, det vill säga specificerat om det är en arbets- fritids- eller tjänsteresa. För att sedan tillämpa de framräknade elasticiteterna behövs även data kring restidsförändringen jämfört med utgångsläget. Denna indata har tagits fram med stöd av tidigare underlag och antaganden.

Restidselasticiteten (e^t) är definierad som den procentuella förändring som uppkommer i efterfrågan till följd av en procents förändring i restid.

$$e^t \cdot \Delta \text{restid} (\%) = \Delta \text{resande} (\%)$$

Givoni och Dobruszkes (2013) har genom en metastudie av ex-postanalyser av HSR gjort en ansats till att sammanfatta hur stor andel av resorna med HSR som varit nygenererade, och kommit fram till att det vanligen är mellan 10-20%. Detta kan vara en intressant referenspunkt att jämföra med i beräkningen.

Efter att resandet i basåret 2025 beräknats görs en trafikuppräknings enligt Trafikverkets uppräkningsstal.

Tabell 7 Trafikverkets uppräkningsstal per år, uppdelat på färdmedel

Färdmedel	2017-2040	2040-2065	2065-
VÄG-Riket	1,01%	0,40%	0%
JVG-totalt	1,87%	0,98%	0,00%
FLYG	0,68%	0,00%	0,00%

4.3 Osäkerheter

Nedan presenteras ett antal relevanta osäkerheter i beräkningarna.

Elasticitetsberäkning tillämpas på ett sätt den egentligen inte är anpassad för

En begränsning ligger i beräkningarna av nygenererat resande med elasticiteter, eftersom en elasticitet bara är giltig i en viss punkt på efterfrågekurvan och därmed egentligen bara för en marginell förändring. Det är uppenbart att de restidsförändringar som presenteras ovan för de olika teknikerna knappast utgör någon marginell förändring. Exakt vad som kan antas vara en "marginell" förändring är dock inte heller helt enkelt att avgöra. Trafikverket skriver i sin beräkningshandledning att elasticitetsberäkningar kan användas för att utvärdera åtgärder som ger "mindre omfattande förändringar av trafiken" och att "det kan röra sig om mindre, geografiskt avgränsade förändringar av tidtabellstider, förändrade banavgifter och priser eller förändrade transportkostnader för godstrafik. För att kompensera för denna osäkerhet provas en känslighetsanalys i kalkylen med högre grad av nygenererat resande baserat på tidigare studier, 20%.

Saknade delar av den generaliserade resekostnaden

I beräkningarna antas ett förhållande mellan restiden och marknadsandelen mellan flyg och tåg. Desto snabbare tågresor, desto fler resenärer. I mer utvecklade modeller beaktas färdmedelsvalet som ett resultat av den generaliserade resekostnaden där varje individ på något vis försöker maximera sin nytta. I den generaliserade resekostnaden tas mer parametrar än just restid i beaktning, annars skulle samtliga individer bara välja det snabbaste färdmedlet. Andra faktorer

kan vara komfortfaktorer som WiFi, miljömedvetenhet med önskan om minskade emissionsutsläpp eller andra mer randomiserande faktorer. En högst viktig faktor som inte beaktas i denna analys är dock själva biljettpriset. Att inte priset antas förändras innebär att resenärer som byter trafikslag antas ha samma monetära resekostnader som tidigare. Detta är i sig inte ett realistiskt antagande, utan denna ansats har använts eftersom de nya biljettpriserna är för osäkra för att antaganden ska vara möjliga. I verkligheten är det rimligt att anta att priset ökar vid byte till någon av de tänkta teknikerna. Biljettpris kan väntas ha stor påverkan på resandet, men kan bara hanteras som en felkälla med kvalitativ analys.

Många antaganden

Resandeberäkningarna bygger på en stor mängd antaganden med olika grad av osäkerhet. Följaktligen finns mycket osäkerhet i resultaten. Detta kompenseras av att studien i första hand är jämförande och att alla tekniker behandlas likadant. Dessutom är det en viktig fördel i denna studie att de antaganden som använts är transparent redovisade och möjliga att följa upp.

Påverkan på övrigt resande

Resandeberäkningarna behandlar endast resande med de nya tågen/poddarna. I praktiken kan påverkan också förväntas bli stor på övrigt resande. Denna aspekt fångas inte upp i resandeberäkningen utan behöver kompletteras kvalitativt.

4.4 Nuläge

Under denna rubrik anges vilken data för nuläget som har använts för beräkningen i stråkstudien och den samhällsekonomiska kalkylen.

4.4.1 Restider

I nedanstående tabeller redovisas restider i nuläget i de utpekade relationerna, baserat på det underlag som angivits i 4.2.5. Att flygtiderna satts till samma (120 min) i alla relationer beror på att de flesta relationer saknar reguljär flygtrafik och att det därför bör finnas ett minst lika stort motstånd mot flygresor i dessa relationer som mellan Stockholm och Oslo. Det ska ses som en förenkling och har i vilket fall liten betydelse för kalkylen med tanke på hur få som reser i dessa relationer i nuläget.

Tabell 8 Restider med bil i nuläget, inklusive anslutningsresor (minuter)

	Stockholm	Västerås	Örebro	Karlstad	Oslo
Stockholm		80	140	220	390
Västerås	80		70	180	320
Örebro	140	70		80	260
Karlstad	220	180	80		180
Oslo	390	320	260	180	

Tabell 9 Restider med buss i nuläget, inklusive anslutningsresor (minuter)

	Stockholm	Västerås	Örebro	Karlstad	Oslo
Stockholm		145	240	315	505
Västerås	145		130	245	420
Örebro	240	130		150	340
Karlstad	315	245	150		240
Oslo	505	420	340	240	

Tabell 10 Restider med järnväg i nuläget, inklusive anslutningsresor (minuter)

	Stockholm	Västerås	Örebro	Karlstad	Oslo
Stockholm		115	169	240	460
Västerås	115		113	250	460
Örebro	169	113		190	400
Karlstad	240	250	190		245
Oslo	460	460	400	245	

Tabell 11 Restider med flyg i nuläget, inklusive anslutningsresor (minuter)

	Stockholm	Västerås	Örebro	Karlstad	Oslo
Stockholm		210	210	210	210
Västerås	210		210	210	210
Örebro	210	210		210	210
Karlstad	210	210	210		210
Oslo	210	210	210	210	

4.4.2 Resande

Antalet resenärer uppdelat på färdmedel i de utpekade relationerna i nuläget har beräknats enligt 4.2.4 och presenteras i nedanstående tabeller. Tabell 12 anger hur många som reser specifikt mellan Stockholm och Oslo i nuläget.

Tabell 12 Antal resande mellan Stockholm och Oslo i nuläget

Indata Oslo-Sthlm	Resande 2020
Flyg	1 340 000
Tåg	152 000
Bil	460 000
Buss	38 000
Totalt	1 990 000

När påverkan på mellanmarknader ska analyseras behövs underlag för resande i samtliga av dessa relationer. Det resande som tagits med i bedömningen är mellan de orter som har tilldelats en station i stråkstudien, nämligen:

- Oslo-Stockholm
- Oslo-Karlstad
- Oslo-Örebro
- Oslo-Västerås
- Karlstad-Örebro
- Karlstad-Västerås
- Karlstad- Stockholm
- Örebro-Västerås
- Örebro-Stockholm
- Västerås-Stockholm

Detta ger sammantaget följande resandeunderlag i nuläget:

Tabell 13 Totalt resande i nuläget mellan utvalda destinationer

Totalt antal resande, samtliga reserelationer	2020
Flyg	1 348 000
Tåg	696 000
Bil	4 274 000
Buss	240 000

Här bör det påpekas att det finns många fler resor som sannolikt kan komma att påverkas av investeringen. Det handlar särskilt om andra resor i stråket, exempelvis från inpendlingsorter till de nya stationsorterna. Godstrafiken har inte heller inkluderats i nuläget, trots att denna skulle kunna påverkas mycket av ny infrastruktur.

4.5 Nollalternativ

Nollalternativet är i detta fall att inte bygga ut tåginfrastrukturen i stråket Stockholm – Oslo alls. Trafikverket (2017) skriver följande om läget med befintlig infrastruktur i stråket Stockholm – Oslo:

En fortsatt utveckling av transporter och resande inom befintlig infrastruktur bedöms inte vara förenlig med de transportpolitiska målen och de mål om kraftigt sänkta utsläpp av klimatgaser som Klimatlagen slår fast. För att möta framtida utveckling behövs därför åtgärder i syfte att stärka transportsystemets kapacitet och tillgänglighet och samtidigt begränsa dess påverkan på miljö och klimat. Åtgärdsbehoven bedöms vara störst inom järnvägssystemet.
(Trafikverket, 2017)

Specifikt pekar man ut ett antal punkter där man menar att järnvägen brister idag, där de flesta kan helt eller delvis förklaras av bristande kapacitet och kvalitet på den befintliga infrastrukturen.

- Restiderna med tåg är inte konkurrenskraftiga.
 - Bristande punktlighet.
 - Brister i drift och underhåll av järnvägen.
 - Ojämn standard på järnväg i stråket.
 - Järnvägens kvalitetsbrister gör att tåg inte blir en naturlig del i kollektivtrafiken.
 - Högt kapacitetsutnyttjande.
 - Bristande redundans.
 - Dålig uppkoppling mot trådlöst nätverk.
 - Olika biljettsystem inom en och samma resa.
 - Tidskrävande byten krävs i flera relationer inom stråket.
 - Det är trångt ombord på tåg i Mälardalen.
 - Karlskoga saknar järnvägsförbindelse med övriga nodstäder i stråket.
- (ibid.)

Vissa problem skulle sannolikt gå att lösa eller åtminstone lindra utan att bygga ny infrastruktur, men många av de utpekade problemen skulle otvivelaktigt bli lättare att hantera med utbyggd infrastruktur av någon sort.

Trafikverket (2017) har angivit tre preciserade mål för järnvägens utveckling i stråket:

De övergripande målen för utveckling av stråkets järnväg fram till år 2030 innebär att:

- Järnvägssystemet ska vara pålitligt.
- Utnyttjandet av befintlig järnväg ska effektiviseras.
- Järnvägens kapacitet ska successivt anpassas för att möta trafikens utveckling.
(ibid.)

De enda rimliga möjligheterna för att åstadkomma detta är antingen att bygga ut ny infrastruktur, eller att minska mängden tåg som trafikerar järnvägen. Att substantiellt öka tågresandet i stråket utan att bygga ut ny infrastruktur är svårt.

4.5.1 Alternativa färdmedel

I kontexten för nollalternativet bör den tekniska utvecklingen för konkurrerande färdmedel behandlas närmare. Eftersom vår studie har ett långsiktigt, framåtblickande perspektiv är det rimligt att förvänta sig att konkurrerande färdmedel gör tekniska landvinningar redan under tåginfrastrukturens planerings- och byggfas och definitivt i ett livscykelperspektiv.

Särskilt relevant blir jämförelsen mot flygtrafiken, eftersom det är den naturliga konkurrenten. Som tidigare visat tenderar snabba tåg att leda till stor överflyttning från flygtrafik (se 4.2.7). En stor anledning till att denna överflyttning kan betraktas som önskvärd ur ett samhällsperspektiv är den stora klimatpåverkan som dagens flygtrafik har.

På längre sikt finns det dock mycket som tyder på att denna effekt kommer minska, eftersom en omställning pågår med avseende på inrikesflygets bränsle. Här finns flera spår för att minska klimatpåverkan. Redan idag har flera flygbolag börjat testa att blanda ut fossilbränsle med biobränsle, som inte skapar växthusgaser vid förbränning (Transportstyrelsen, 2020). Denna utveckling väntas fortsätta framöver, Energimyndigheten finansierar exempelvis många parallella forskningsprojekt med inriktningen att utveckla fossilfritt biobränsle för flyg (Energimyndigheten, 2020).

Även elektriskt drivna flygplan har varit en uppmärksam fråga i debatten. En sammanställning av kunskapsläget från VTI konstaterar att helt eldrivna flygplan kräver betydande forskningsframsteg inom batteritekniken. De tillför också att helt elektrifierade flyg framförallt är en möjlighet för små flyg (1-12 passagerare) och att biobränslen eller hybridflyg är mer sannolikt för större flygplan. Författarna menar också att elflygens låga hastighet, 120-200 km/h, gör dem mindre konkurrenskraftiga (Salomonsson & Jussila Hammes, 2020).

Flygets hållbara omställning har alltså lång väg att gå, men är med det sannolikt närmare förverkligande än vad hyperloop är i nuläget. Med allt detta sagt finns fortfarande den grundläggande problematiken för flyg kvar, nämligen den mycket högre energiförbrukningen. Som påvisat av exempelvis IEA (2018) är flygtrafiken ungefär tio gånger så energiintensiv per personkilometer som järnväg, en grundläggande skillnad som kan förväntas bestå även om drivmedlet blir mer hållbart. Något liknande kan tänkas gälla för relationen till magnetåg och hyperloop.

I detta avseende påminner flyget om bil- och busstrafiken, färdmedel som också konkurrerar med de utvalda teknikerna, men i något lägre grad. Bil och buss har också högre energiförbrukning än spårdriven trafik, som beror på fundamentala tekniska skillnader, men har likt flyg potential för överflyttning till mer hållbara drivmedel. En skillnad i detta fall är att det inte krävs några stora tekniska genombrott, el och biodrivmedel går att använda som drivmedel redan idag. I fallet för bil och buss är det snarare en möjlig övergång till autonoma fordon som är ett möjligt tekniskt genombrott. Detta skulle kunna få effekter för överflyttning och restider, men bör inte i grunden förändra dessa färdmedels förhållande till de spårbundna utredningsalternativen.

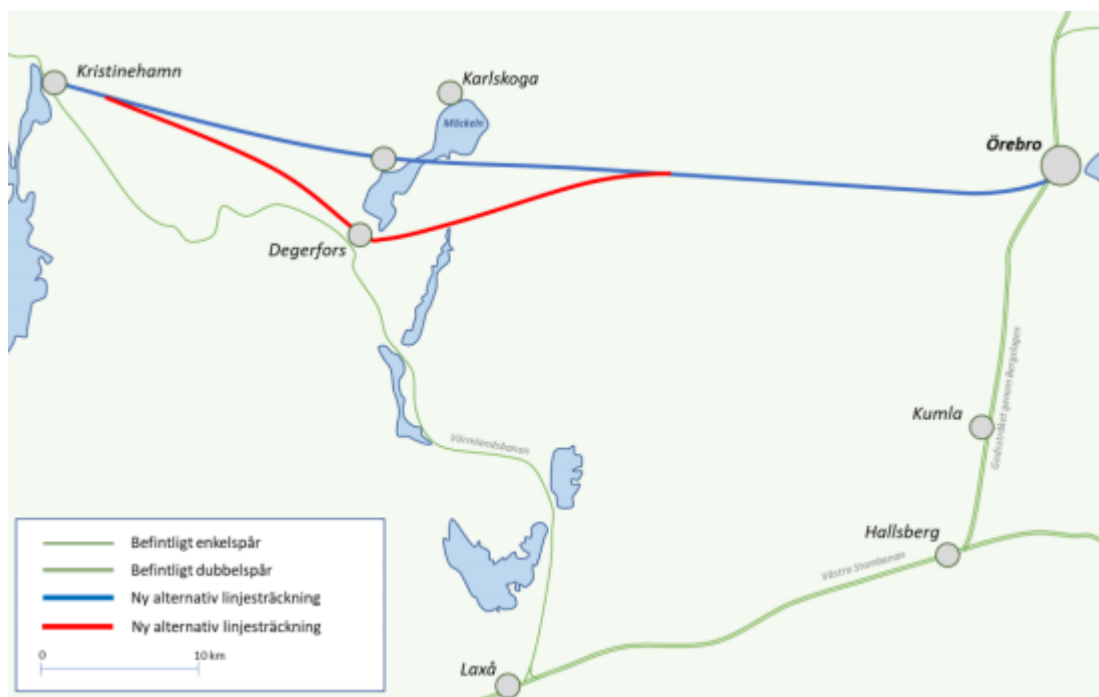
Att inte investera i varken HSR, magnetåg eller hyperloop och istället sätta sitt hopp till teknikutveckling inom dessa alternativa tekniker kan betraktas som ett nollalternativ inom ramen för denna utredning. Detta blir i praktiken en förenkling, eftersom även flygplatser, vägar och bussterminaler kan drabbas av kapacitetsproblem som kräver nya infrastrukturinvesteringar. Dessa tänkbara alternativinvesteringar har dock inte utvärderats närmare i denna studie.

4.6 HSR

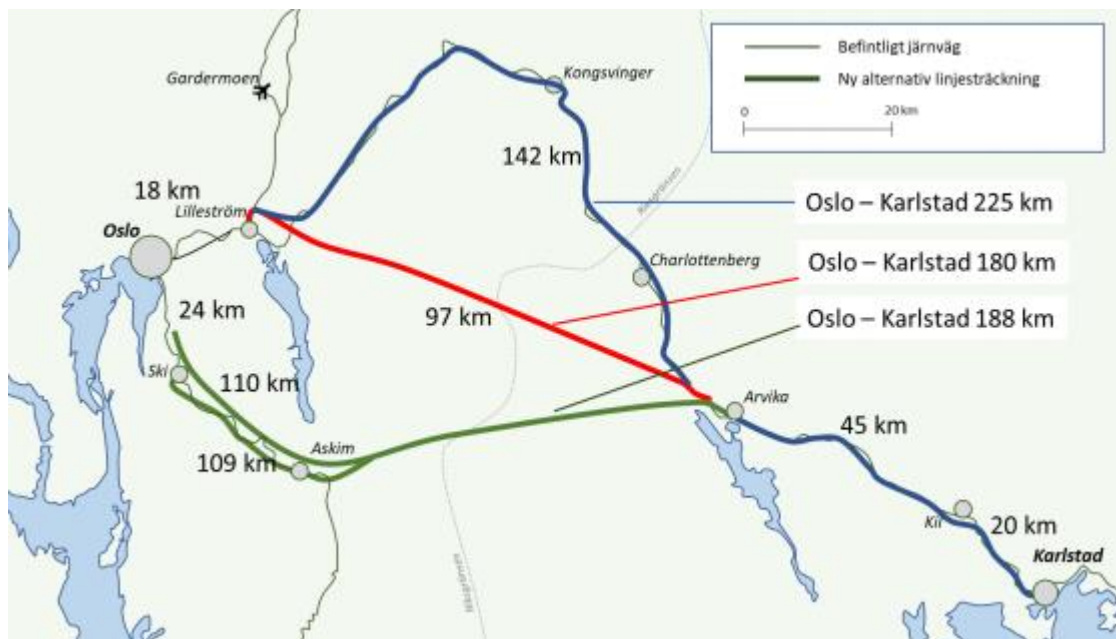
För att uppfylla målen för järnvägens utveckling i stråket Stockholm – Oslo har Trafikverket preciserat ett antal investeringar i upprustad järnväg. Dessa skulle, tillsammans och på sikt, kunna möjliggöra för höghastighetståg på sträckan och en total restid mellan ändpunkterna på maximalt tre timmar (Trafikverket, 2017).

Åtgärderna innefattar en stor mängd upprustnings- och underhållsåtgärder, kapacitetsförstärkningar samt helt nya banor på vissa delsträckor. Stora delar av stråket har idag enkelspår, och en viktig kapacitetsförstärkning är således att uppgradera till dubbelspår för att möjliggöra möten. Trafikverkets åtgärdsvalsstudie har identifierat vilka delsträckor som är prioriterade för upprustning och har som målbild att arbeta med detta fram till 2030 (ibid.).

Även efter 2030 kan kapacitetsförstärkningar på befintlig järnväg fortsätta. Parallellt kan nya banor på delsträckor anläggas för att binda ihop järnvägen och skapa den snabba länk mellan Stockholm och Oslo som efterfrågas. De nya banor som skulle behövas är den så kallade Nobelbanan som skulle sammankoppla Örebro och Kristinehamn, samt den så kallade Gränsbanan som skulle sammankoppla Karlstad och Oslo (ibid.).



Figur 10 Nobelbanan skulle koppla ihop Örebro med Kristinehamn (Trafikverket, 2017).



Figur 11 Gränsbanan skulle koppla ihop Karlstad och Oslo (Trafikverket, 2017).

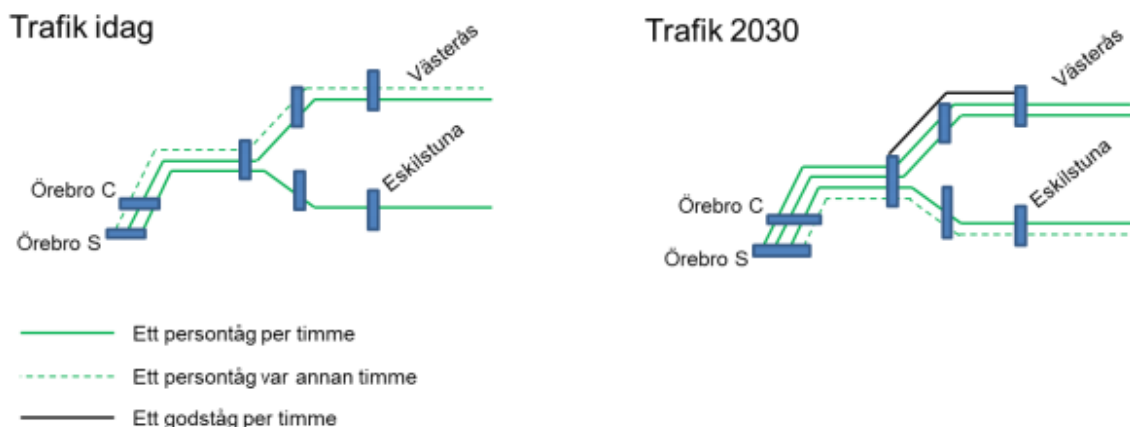
4.6.1 Trafikering och kapacitet

Syftet med ny järnväg mellan Stockholm och Oslo är i första hand förbättrad kapacitet och standard i det befintliga nätet. Detta är inte bara en nödvändighet för att kunna köra snabbtåg, utan också en förutsättning för ökad turtäthet för regional persontrafik och godstrafik. Om höghastighetsbana skulle byggas ut i stråket mellan Stockholm och Oslo är det troligt att invånare i orter med en tågstation skulle få bättre förutsättningar för mobilitet, oavsett om höghastighetståget stannar där eller inte. Berg (2020) om syftet med att investera i snabba landtransporter:

För det första så är transportsystemet ganska ansträngt, inte minst inom järnvägen med kapacitetsbrist på många delsträckor och klockslag. På några sätt bör man försöka att lösa den ökade efterfrågan som finns på transporter, då ligger det nära till hands att man satsar på ett utvecklat spårbundet transportsystem. [...] Det befintliga är att fördöma godstransporterna.
(Berg, 2020)

Detta är också utgångspunkten i Trafikverkets åtgärdsvalsstudie. Genom trimningar och punktvis kapacitetshöjande åtgärder på befintlig järnväg väntar man sig att kunna sänka restiden på länkarna och höja punktligheten. Men kanske viktigast i sammanhanget är att man, i enlighet med utpekade mål åstadkommer en stegvis utökad kapacitet för att möjliggöra ökad trafikering (Trafikverket, 2017).

På sträckan Västerås – Örebro förväntar man sig exempelvis att kunna öka trafikeringen i högtrafik med 40 % fram till 2030, en kapacitetsutökning som olika typer av tåg kan utnyttja, se Figur 12. Förbättrad kapacitet i delstråket mellan Örebro och Västerås är en förutsättning för snabb, långväga trafik på lång sikt, men också ökade turtätheter på kort sikt för regionaltrafik och gods.



Figur 12 Förbättrad kapacitet i delstråket mellan Örebro och Västerås är en förutsättning för snabb, långväga trafik på lång sikt, men också ökade turtätheter på kort sikt för regionalstågstrafik och gods (Trafikverket, 2017).

Hur stor kapacitetsförbättringen totalt sett skulle bli vid full utbyggnad framgår inte av åtgärdsvalsstudien, men det skulle uppenbart bli en stor skillnad med dubbelspår hela vägen och två nya banor på delsträckor i stråket.

När höghastighetstågen börjar trafikera sträckan (vid full utbyggnad, får man anta) blir en relevant fråga om kapaciteten vid detta skede är tillräcklig. Situationen på järnvägen blir mer ansträngd, när tåg i flera olika hastighetssegment behöver samsas på samma infrastruktur. Men att alla tåg använder samma infrastruktur innebär också en större möjlighet att utnyttja kapaciteten maximalt – till exempel genom att köra godståg på natten. Man kan också identifiera flaskhalsar i systemet som trafikeras av många typer av tåg, och göra riktade förstärkningar där.

4.6.2 Resande

Resandet med HSR har beräknats enligt följande tabeller.

Tabell 14 Beräknat resande Stockholm – Oslo, HSR årligen

Resande Stockholm - Oslo	2020	2040
Överflyttning totalt	1050000	1550000
Överflyttning från flyg	850000	1277660
Överflyttning från tåg	121600	176141
Överflyttning från bil	69000	84360
Överflyttning från buss	9500	11615
Nygenererade resor	88044	140789
Antal resenärer HSR	1140000	1690000

Tabell 15 Beräknat resande totalt, HSR årligen

Resande totalt	2020	2040
Överflyttning totalt	2110000	2940000
Överflyttning från flyg	852000	1281000
Överflyttning från tåg	557000	806000
Överflyttning från bil	641000	784000

Överflyttning från buss	60000	73000
Nygenererade resor	192000	268000
Antal resenärer HSR	2300000	3210000

Man kan notera att överflyttningen från flyg står för en stor del av resandet. I reserelationen Stockholm – Oslo står överflyttade flygresor för nästan tre fjärdedelar av resandet. Detta beror delvis på den stora andelen av flygande som beräknas byta färdmedel, men också på att så många reser med flyg i nuläget.

Det totala resandet uppdelat på timtrafik kan schablonmässigt beräknas till någonstans mellan 300–500 personer per timme och riktning i högtrafik år 2040. I så fall skulle det behövas lite mer än ett tåg per timme och riktning i maxtimmen för att täcka resandebehovet.

Detta innebär att det är möjligt även för långsammare tåg att trafikera järnvägen i relativt hög grad, under förutsättning att man som planerat byggt dubbelspår hela vägen. Hur resandet påverkas i de regionala relationerna är inte med i beräkningen.

4.7 Magnettåg

4.7.1 Trafikering och kapacitet

I brist på tidigare utredningar för magnettåg i stråket stödjer sig denna studie på egna antaganden. Denna studie bygger som tidigare nämnts på ett magnettåg som trafikerar samma städer som HSR-alternativet. Essentiellt finns tre relevanta skillnader ur trafikeringssynpunkt.

- Magnettåget antas ha en högre operativ hastighet, maximalt 500 km/h
- Magnettåget delar inte banor med övrig tågtrafik, eftersom dessa tåg har andra anspråk.
- Magnettåget antas i utgångsläget planeras med längre anslutningstider på grund av externa stationslägen. Detta antas eftersom befintlig järnväg och järnvägsstationer inte kommer kunna utnyttjas.

Även om magnettågen inte delar banor med befintlig trafik kan de ändå bidra till avlastning eftersom snabbare tåg på befintlig järnväg kan överflyttas till magnettågsbanan och därmed frigöra kapacitet. Det finns ett antal skillnader från HSR-alternativet som är värda att lyfta fram:

- Bristen på integrering gör det svårare att få till ett effektivare kapacitetsutnyttjande än i HSR-alternativet.
- Ny teknik innebär att upprustning av befintlig järnväg uteblir.
- Nyttor uppstår först när delsträckor är färdigbyggda med stationer och kan börja trafikeras. Under byggtiden kommer byten mellan HSR och magnettåg bli nödvändiga och systemnyttan blir således mycket mer begränsad fram till dess att allt är färdigbyggt.

4.7.2 Resande

Tabell 16 Beräknat resande Stockholm – Oslo magnettåg årligen

Resultat	2020	2040
Överflyttning totalt	1400000	2070000
Överflyttning från flyg	1200000	1800000
Överflyttning från tåg	120000	180000

Överflyttning från bil	70000	80000
Överflyttning från buss	10000	10000
Nygenererade resor	110000	210000
Antal resenärer magnettåg	1510000	2290000

Tabell 17 Beräknat resande totalt, magnettåg årligen

Resande totalt	2020	2040
Överflyttning totalt	2460000	3470000
Överflyttning från flyg	1200000	1810000
Överflyttning från tåg	560000	810000
Överflyttning från bil	640000	780000
Överflyttning från buss	60000	70000
Nygenererade resor	250000	360000
Antal resenärer magnettåg	2710000	3830000

I magnettågets fall sker en överflyttning från flygresor på mer än 90 %. I övrigt avviker antalet resor i huvudanalysen inte särskilt mycket från HSR-alternativet. Därav blir de maximala timflödena också ganska lika alternativen emellan. Detta bör även i magnettågsfallet innebära en resandeefterfrågan på 1-2 tåg i timmen som mest.

Eftersom magnettåget går på egen bana innebär det att det blir en överkapacitet där. Detta innebär som tidigare nämnt ett lägre kapacitetsutnyttjande än vad som är fallet för HSR och den regionala trafiken får sannolikt inte lika stora fördelar. Å andra sidan skulle överkapaciteten kunna bidra till bättre punktlighet för magnettågerna, eftersom ett försenat tåg inte löper lika stor risk att påverka systemet som helhet.

4.8 Hyperloop

4.8.1 Trafikering och kapacitet

I fallet för hyperloop bör påverkan på regionalt resande med järnvägen bli försumbar, eftersom systemet endast ersätter direktresor och därav inte kan ersätta några av de tåg som trafikerar sträckan idag. Hyperloop kan ersätta flygavgångar, bilresor och kanske vissa bussavgångar. Därav kan viss kapacitet på flygplatserna och vägarna frigöras. Men flygresorna konkurreras i hög grad ut även av de andra alternativen (i fallet för magnettåg till mer än 90%) och hur de olika teknikerna påverkar vägkapacitet är generellt osäkert.

Hyperloop skulle erbjuda en mycket snabbare resa till Oslo än vad som är fallet idag, men det finns flera komplicerande aspekter när det gäller färdmedlets konkurrenskraft.

- Eftersom hyperloop bara skulle trafikera Stockholm – Oslo blir det prognostiserade resandet betydligt mindre än i båda övriga alternativ. Detta innebär sannolikt att biljettpriset behöver vara högre för att kunna återbetala byggkostnaden.
- Även byggpriset för hyperloop förväntas bli dyrare än alternativen, med tanke på förutsättningar för kurvgeometrier och den tekniskt komplicerade trycksänkta miljön. Även detta leder i förlängningen till dyrare biljettpriser.
- Det högre biljettpriset påverkar hur attraktivt det blir att resa med hyperloop negativt. Detta kan beskrivas som kostnadselasticitet, men har inte kunnat kvantifieras i beräkningen.

- Hyperloop antas ha ett externt stationsläge, vilket innebär längre tider för anslutningsresor än i fallet för HSR och därmed en något mindre konkurrenskraftig restid än vad som annars hade varit fallet.

I hyperloops fall är också kapacitetsfrågan intressant, eftersom kapaciteten för anläggningen är så mycket mindre än alternativen. Dels på grund av att högre hastigheter leder till längre bromssträckor, vilket ställer högre krav på avstånd mellan poddar ur säkerhetsaspekt. Men också för att poddarna är mindre och tar färre passagerare än tåg. Beroende på hur stort resandet blir är detta ett möjligt problem.

4.8.2 Resande

Tabell 18 Resande Stockholm – Oslo, Hyperloop årligen

Resultat	2020	2040
Överflyttning totalt	1541000	2575000
Överflyttning från flyg	1340000	2303000
Överflyttning från tåg	122000	176000
Överflyttning från bil	69000	84000
Överflyttning från buss	10000	12000
Nygenererade resor	129000	216000
Antal resenärer hyperloop	1669000	2791000

Med ungefär 2,8 miljoner resor år 2040 kan hyperloop behöva förflytta mellan 200–400 personer per timme och riktning som mest. Om 400 skulle krävas, och en podd antas kunna transportera 50 personer, innebär det ett turintervall på 7,5 minut. Detta är nära det teoretiska kapacitetstaket, som i hyperloops fall ligger runt 5 minuter, enligt våra tidigare antaganden.

Sett över en längre tid finns alltså en risk att hyperloop kommer ha en större resandeefterfrågan än vad den har kapacitet att täcka. Det är också tänkbart att resande måste anpassa sig och välja mindre attraktiva tider för sina resor. Detta försvagar idén om hyperloop som färdmedel för konventionell arbetspendling något.

5. EKONOMISKA EFFEKTER

5.1 Samhällsekonisk kalkyl

Ett sätt att redovisa effekter av stråkstudien är att kvantifiera och värdera effekterna i en samhällsekonisk kalkyl. En samhällsekonisk kalkyl kan presenteras på olika sätt. I Trafikverkets kalkyler presenteras normalt sett en intressentkalkyl, vilket innebär att nyttoeffekterna redovisas uppdelat på intressenter; resenärer, godstransporter, persontransportföretag, budgeteffekter (staten) samt olika typer av externa effekter. Tanken i detta projekt är dock att göra förenklade samhällsekoniska beräkningar och då är det enklare/mer lämpligt att göra en realekonisk kalkyl, d.v.s. istället för att redovisa effekterna uppdelat på intressenter så redovisas endast relevanta nettoeffekter. För att värdera effekterna i kronor används de kalkylvärden som föreskrivs i ASEK 7.

Syftet med projektet är heller inte att generera heltäckande samhällsekoniska kalkyler, denna nyttoanalys ska snarare ses som ett första försök att översiktligt redogöra för vilka samhällsekoniska effekter som snabba landtransporter skulle kunna ge upphov till. Utöver detta görs ett försök att beräkna storleksordningen på vissa exempel effekter som bedöms kunna beräknas med ett eller ett par rimliga antaganden. Övriga effekter redovisas och beskrivs kvalitativt.

Exempel på relevanta nyttoeffekter:

- Restidseffekter (beräknas, men endast för den nya, snabba trafiken)
- Trafikeringskostnader (beräknas inte i detta projekt)
- Trafiksäkerhetseffekter (endast minskade bilolyckor beräknas)
- Klimateffekter (beräknas)
- Övriga utsläpp (beräknas)
- Buller (beräknas inte i detta projekt)

Nyttoeffekterna ska sedan ställas mot investeringskostnaden för att kunna beräkna om tekniken är samhällsekoniskt lönsam eller ej. Någon kostnadsuppskattning kommer dock inte att göras inom ramen för detta projekt. Resultatet kommer i stället att bli en sammanställning av de samhällseffekter som bedöms kunna beräknas samt en kvalitativ beskrivning av övriga relevanta effekter.

5.1.1 Antaganden

5.1.1.1 Tidshorisont, diskontering och kalkylperiod

Trafikverkets samhällsekoniska kalkyler genomförs normalt enligt de metoder och med de kalkylvärden som föreskrivs av ASEK, Analysmetod och samhällsekoniska kalkylvärden för transportsektorn. Tanken med dessa riktlinjer är att de samhällsekoniska kalkyler som genomförs av och på uppdrag av Trafikverket ska bygga på samma förutsättningar och genom detta skapa jämförbarhet och transparens (Trafikverket, 2020c). I den senaste versionen av dessa riktlinjer, ASEK 7.0, föreskrivs att samtliga investeringar som utvärderas ska antas stå färdiga att öppnas år 2025, oavsett byggtid eller i vilket planeringsläge projektet för närvarande befinner sig i. Hur långt fram i tiden effekterna ska beräknas för, bestäms av projektets förväntade ekonomiska livslängd. För att nyttor och kostnader som utfaller vid olika tidpunkter ska vara jämförbara diskonteras alla effekter till nuvärde, det diskonteringsår som för närvarande används är 2025. ASEK föreskriver även för vilka prognosår som Trafikverkets resandeprognoser tas fram för, vilka i dagsläget är 2040 och 2065 (Trafikverket, 2020e).

Tabell 19 - Generella förutsättningar i Trafikverkets samhällsekonomiska kalkyler. Källa: ASEK 7.0

Parameter	Värde
Kalkylstartår	2025
Diskonteringsår	2025
Prognosår 1	2040
Prognosår 2	2065
Diskonteringsränta	3,5 %
Real uppräknings	1,5 %
Kalkylperiod	60 år

Det finns flera aspekter som talar för att använda de riktlinjer som föreskrivs av ASEK även i detta projekt. För det första så innebär det att de kalkyler som tas fram i projektet blir jämförbara med övriga kalkyler som tas fram av Trafikverket. För det andra finns det stora osäkerheter kring när i tiden de olika teknikerna faktiskt skulle kunna stå klara. En tredje aspekt är att de resandeprognoser som finns framtagna blir mer och mer osäkra ju längre in i framtiden vi kommer. Visserligen vet vi att det är orimligt att någon av dessa projekt skulle kunna stå klara till 2025, men samtidigt skulle ett annat tillvägagångssätt kräva många lösa antaganden. Detta skulle bidra till onödigt stora osäkerheter kring hur kalkylerna för de olika teknikerna står mot varandra, men även gentemot övriga kalkyler som tas fram av Trafikverket. Därför väljs att använda samma kalkylperiod som föreskrivs i ASEK.

5.1.1.2 Kalkylvärden som används i de samhällsekonomiska beräkningarna

Restidsvärden

De restidsvärden som används i de samhällsekonomiska beräkningarna redovisas i tabellen nedan. Tidsvärden ska räknas upp med 1,5 % per år, d.v.s. prognosticerad ökning i BNP/capita.

Tabell 20 – Restidsvärden: åktid för tåg, buss, bil och flyg, nationella resor. År 2017. Källa: ASEK 7.0

	Tjänsteresor, kr per timme	Privatresor, kr per timme
Flyg	339	126
Tåg	288	85
Bil	339	126
Buss	339	45

Restidsvinsten för alla tre alternativ (HSR, magnetåg och hyperloop) beräknas med restidsvärdena för tåg. Restidsvinsten per resa blir marginalskillnaden i tid från nuläget med tåg till den nya restiden. För överflyttade resor och nygenererade resor ska "rule-of-the-half"¹ användas, det vill säga att enbart hälften av restidsnyttan värderas (Trafikverket, 2020d).

Här finns en svårighet med definitionerna. Är överflyttning från tåg till HSR i samma relation verkligen att betrakta som en överflyttning? I så fall, vad gäller för magnetåg och hyperloop? För

¹ "Rule-of-the-half" är en vanlig metod vid samhällsekonomiska kalkyler som syftar till att fånga effekter för nya användare som uppkommer till följd av en investering. I vårt fall resenärer som tidigare inte rest eller använt ett annat färdmedel. Dessa resenärer gör inte sina nya val vid samma förändringspunkt på utbudskurvan, utan tillkommer kontinuerligt. Det vill säga, för vissa resenärer kanske det krävs en timmes restidsförbättring för tåget för att de ska kunna tänka sig att byt, för andra två. De resenärer som hade bytt färdmedel redan vid en marginell förbättring får också stora restidsnyttor som gör deras generaliserade resekostnad mycket lägre, medan de resenärer som byter "senare" upplever en generaliserad resekostnad som är ungefär samma som i utgångsfallet – och upplever därför inte en restidsnytta. För att fånga detta splittrade perspektiv görs ett antagande om en jämn fördelning av överflyttning längs kurvan, den genomsnittliga restidsnyttan för resenärer blir då halva restidsförbättringen – "rule of the half".

enkelhet och jämförbarhets skull betraktas alla resor som överflyttade och "rule-of-the-half" tillämpas därmed på samtliga restidsnyttor.

Marginalkostnader för bil och flyg

I tabellen nedan visas de marginalkostnader för bil och flyg som används i de samhällsekonomiska beräkningarna.

Tabell 21 – Marginalkostnader för bil och flyg. Källa: ASEK 7.0.

Extern kostnad	Marginalkostnad bil, kr per fordonskm		Marginalkostnad flyg, kr per personkm	
	2017	2040	2017	2040
Koldioxid	0,938	0,063	0,9441	0,9441
Kväveoxider (NOx)	0,001	0,0001	0,001719	0,001719
Slitage	0,031	0,031	-	-
Olyckor	0,024	0,034	-	-

5.1.2 Begränsningar i de samhällsekonomiska beräkningarna

Alla effekter som inte beräknas är förstås brister i den samhällsekonomiska kalkylen, men det är särskilt fyra aspekter som sticker ut och som behöver kompletteras kvalitativt.

Biljettpris och biljettintäkter

De restidsvinster som beräknats i detta kapitel förutsätter ett oförändrat biljettpris. Detta är inte ett rimligt antagande då vi förväntar oss ökade trafikeringkostnader. Såvida inte biljettpriset subventioneras bör vi därför även anta högre biljettpriser. Om man i beräkningarna skulle ta hänsyn till ett högre biljettpris skulle överflyttningen/nygenerering av resor bli mindre. Detta gör att de restidsvinster som beräknats visar en "restidsvinstpotential" snarare än vad nyttan faktiskt kommer att bli. Ett högre biljettpris skulle visserligen leda till större biljettintäkter för trafikoperatörerna, men detta är inte en reell nytta eftersom det rör sig om ett nollsummespel då detta är en kostnad som samtidigt bärs av resenärerna.

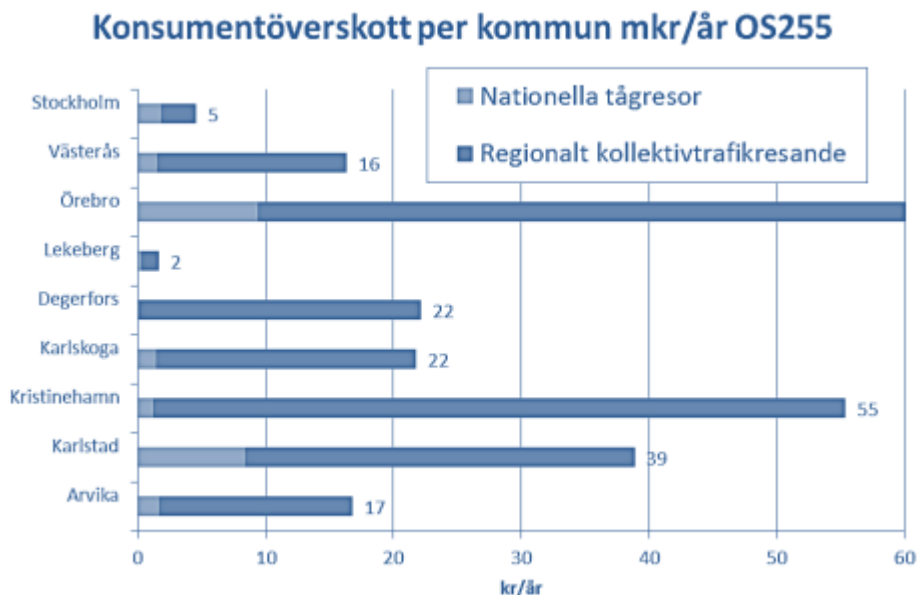
Nyttor kopplat till "regionalt" kollektivtrafikresande och godstrafik

Som tidigare påpekat är det endast nyttorna för de nya snabbtågen som kvantifierats i kalkylen, men dessa nyttor är endast en del av det totala resandet i stråket. Framförallt missar man att ta hänsyn till lokalt och regionalt kollektivtrafikresande, som också stärks när kapaciteten och restiden förbättras på järnvägen.

Dessa nyttor påverkar fler resenärer, eftersom det regionala kollektivtrafikresandet är mycket större än det nationella. Dessutom kommer nyttorna i praktiken uppstå i ett tidigare skede, eftersom de kan realiseras omedelbart efter varje utbyggd delsträcka. Nyttan för snabbtågen uppstår först när hela banan är färdigbyggd. Därmed är nuvärdet för de regionala restidsnyttorna i praktiken högre.

Hur dessa regionala nyttor ser ut är dock också beroende av investeringens kontext. Som exempelvis Berg (2020) och Givoni & Banister (2012) påpekar uppstår bara denna nyttopotential om det föreligger ett kapacitetsproblem. Man kan också anmärka att vissa regionala tåg kan komma att få en minskad trafikering till följd av en investering, vilket i så fall rentav kan skapa en negativ nyttoeffekt för vissa individer eller grupper.

Sweco (2017) pekar ut det regionala kollektivtrafikresandet som den klart dominerande faktorn när det kommer till restidsvinster, se Figur 13 Regionalt kollektivtrafikresande står för de klart största vinsterna i nyttoanalysen för Oslo – Stockholm



Figur 13 Regionalt kollektivtrafikresande står för de klart största vinsterna i nyttoanalysen för Oslo – Stockholm (Sweco, 2017)

Även nyttor för godstrafik är av avgörande betydelse, här är dock underlaget för teknikjämförelse ännu svagare. Att investeringar i HSR är förknippade med stora godsnyttor framgår av flera källor, men det kan finnas sådana möjligheter även för de andra utredningsalternativen.

Kostnader

Det tåls att påminna om att jämförbarheten haltar när kostnader inte tas med. Hur mycket de olika systemen skulle kosta att bygga, underhålla och trafikera är mycket osäkert och det är inte lämpligt att värdera detta monetärt i detta skede. Med detta sagt är det förstås en helt avgörande aspekt. Förutsättningarna för teknikerna och det upplägg som specificerats för dem skiljer sig dessutom åt så pass mycket att det sannolikt kan bli stora prisskillnader. Denna aspekt behöver hanteras varsamt, men får inte glömmas bort.

En annan relevant kostnadsaspekt som inte fångas i kalkylen är ekologiska kostnader, i synnerhet klimateffekter. Våra kalkyler visar på mycket stora positiva klimateffekter av alla alternativ. Detta beror till stor del på att ASEK i den senaste versionen har satt ett betydligt högre pris på koldioxidutsläpp än vad tidigare har varit fallet – och att utsläppen för flyg är så pass stora (Trafikverket, 2020g). Huruvida HSR verkligen har en positiv klimateffekt är dock omdiskuterat, särskilt med tanke på de stora utsläpp som sker under byggskedet, se exempelvis Katz-Rosene (2017). En risk föreligger alltså att nettoeffekten för klimatpåverkan i själva verket är mycket lägre, eller i värsta fall negativ, för något eller flera av utredningsalternativen.

Startår för nyttokalkylen

Att ha 2025 som startår för kalkylen är egentligen orimligt i samtliga alternativ, det finns inte en chans att något av utredningsalternativen skulle kunna vara färdigställda till dess. Men det riktiga

problemet i detta avseende är att teknikerna skiljer sig så pass mycket i när nyttor kan realiseras. För att få en rättvis jämförelse hade nyttokalkylen egentligen behövt göras utifrån ett mer realistiskt antagande om när respektive teknik kan tas i bruk. Detta är dock svårt att göra utan att angivna årtal för trafiköppning blir allt för spekulativa. Istället kan denna aspekt diskuteras kvalitativt.

5.1.3 Känslighetsanalyser i kalkylerna

Utöver huvudanalysen, som är en summa av alla antaganden som definierats inom detta och föregående kapitel, har fyra känslighetsanalyser genomförts för att visa hur nuvärde för investeringarna förändras med justerade antaganden. Denna rubrik ger en kort beskrivning av dessa känslighetsanalyser.

Kraftigare överflyttningseffekt

Hur stor överflyttningen från bil och buss blir baseras på tidigare erfarenhet från HSR enligt Givoni och Dobruszkes (2013) studie. För att kompensera för osäkerheten i dessa siffror har en känslighetsanalys med dubbelt så hög överflyttning tagits med.

120 års kalkylperiod

Trafikverkets standard för kalkylperiod är 60 år som tidigare påpekat, men det går med fog att hävda att investeringens livslängd i praktiken är betydligt längre. Befintliga stambanor för tåg i Sverige byggdes för mer än 150 år sedan och används än, må vara med stegvisa upprustningar. Därav är det relevant att göra en känslighetsanalys med längre ekonomisk livslängd, för att se hur detta påverkar kalkylresultatet.

20 % nygenererade resor

Nygenererade resor beräknas med elasticitetsberäkning, men som tidigare anmärkt är detta ett tillämpningsområde som elasticitetsberäkning egentligen inte är anpassad för (se 4.3). Beräkningarna ger också generellt ett lägre nygenererat resande än det genomsnitt på 20% för HSR som Givoni och Dobruszkes (2013) har kommit fram till. Därför finns en känslighetsanalys med detta lite högre nygenererade resande med.

Centralt stationsläge

Stationens läge förväntas ha stor påverkan på resandet, vilket också syns i modellen i form av generella anslutningstider. Antagandet i modellens utgångspunkt är att stationen ligger externt för alla tekniker, men i praktiken är detta olika sannolikt beroende på vilken teknik man tittar på.

HSR sticker ut, eftersom det redan idag finns centralt belägna järnvägsstationer i många städer som sannolikt enklare kan utnyttjas även för HSR – medan de andra alternativen alltid kräver nya stationer eller stora ombyggnader av befintliga. Även perspektiv som möjlig spårgeometri och buller är relevanta i sammanhanget.

För att få med stationslägets påverkan finns en känslighetsanalys med ett centralt stationsläge med i bedömningen.

5.1.4 HSR

De beräknade samhällsekonomiska nyttorna inklusive känslighetsanalyser för HSR är redovisade i Tabell 22.

Tabell 22 Beräknade nyttoeffekter i den samhällsekonomiska kalkylen, HSR

	Huvudanalys	Kraftigare överflyttningseffekt	120 års kalkylperiod	20% nygenererade resor	Centralt stationsläge
Samhällsekonomiska effekter	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr
Restid	15,61	17,22	18,10	17,26	19,55
Klimatutsläpp	15,30	14,41	17,08	15,51	15,30
-Från bil	0,22	0,22	0,23	0,44	0,22
-Från flyg	15,08	14,19	16,84	15,08	15,08
NOx	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
-Från bil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-Från flyg	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
Minskat vägsitage	0,06	0,06	0,06	0,12	0,06
Minskade bilolyckor	0,06	0,06	0,07	0,12	0,06
SUMMA EFFEKTER	31,07	31,79	35,36	33,05	35,01

Vår kalkyl visar på nyttoeffekter mellan 30–35 miljarder. Nästan hela nyttan kommer från restidsvinster och minskade klimatutsläpp från flygresor. Här bör man anmärka att HSR-alternativet ger klart störst nyttoeffekter för den regionala tågtrafiken, där stora delar av restidsnyttorna finns.

Hur stora är dessa icke kvantifierade nyttor? Det är svårt att svara på. Men att döma av Swecos (2017) studie är det troligt att det handlar om minst lika stora restidseffekter som för det nationella resandet, i detta fall 15-20 miljarder.

Man kan också anmärka att HSR-alternativet mycket mer sannolikt kan ha ett centralt stationsläge än övriga alternativ, en effekt som påverkar nyttan väldigt mycket. Eftersom stegvisa utbyggnader direkt får en systemeffekt kan delnyttor realiseras stegvis under processens gång, även detta en skillnad från konkurrerande tekniker.

5.1.5 Magnettåg

De beräknade samhällsekonomiska nyttorna inklusive känslighetsanalyser för magnettåg är redovisade i Tabell 23.

Tabell 23 Beräknade nyttoeffekter i den samhällsekonomiska kalkylen, magnettåg

	Huvudanalys	Kraftigare överflyttningseffekt	120 års kalkylperiod	20 % nygenererade resor	Centralt stationsläge
Samhällsekonomiska effekter	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr
Restid	29,06	31,42	33,74	33,21	35,08
Klimatutsläpp	21,51	21,73	24,02	21,51	21,51
-Från bil	0,22	0,44	0,23	0,22	0,22
-Från flyg	21,29	21,29	23,78	21,29	21,30
NOx	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06
-Från bil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-Från flyg	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06

Minskat vägslitage	0,06	0,12	0,06	0,06	0,06
Minskade bilolyckor	0,06	0,12	0,07	0,06	0,06
SUMMA EFFEKTER	50,74	53,45	57,96	54,89	56,77

Vår kalkyl visar på nyttoeffekter mellan 50–60 miljarder. Även här dominerar samma faktorer som i fallet med HSR-alternativet. Man kan anmärka att den högre överflyttningen av flygresor leder till ganska stora klimateffekter.

Även magnetstågen kan förväntas bidra till utvecklat regionalt resande, men i lägre grad än HSR-alternativet. Detta är i vilket fall en utebliven nyttoeffekt i kalkylen som bör tänkas in.

Nyttoeffekterna för magnetstågen är sannolikt högre än de är för HSR-alternativet, även med nämnda icke-kvantifierade effekter inkluderade. Avgörande ur denna aspekt är hur stort bortfallet av regionala kollektivtrafiknyttor är. Man bör också anmärka att bara delar av nyttorna kan realiseras fram till dessa att hela banan mellan Stockholm och Oslo är utbyggd, även ur denna aspekt har järnvägsalternativet en viss fördel som inte syns i kalkylen.

Magnetstågsalternativet bedöms vara mycket dyrare än järnvägsalternativet, framförallt eftersom mycket mer infrastruktur behöver byggas. Järnvägsalternativet är i grunden en upprustning med ett par nya länkar, medan magnetstågsalternativet behöver ny infrastruktur hela vägen, inklusive nya stationer eller stora ombyggnader av befintliga. Därutöver ställer de högre hastigheterna mycket högre krav på spårgeometri, vilket innebär svårigheter att hantera känsliga områden och topografi. De höga hastigheterna innebär större energiförbrukning och därmed driftkostnad. Det innebär också mycket högre buller och därmed behov av kompensationsåtgärder och tunnlar. Möjligen kan detta i ett livscykelperspektiv delvis kompenseras av lägre underhållskostnader.

5.1.6 Hyperloop

De beräknade samhällsekonomiska nyttorna inklusive känslighetsanalyser för hyperloop är redovisade i Tabell 24.

Tabell 24 Beräknade nyttoeffekter i den samhällsekonomiska kalkylen, hyperloop.

	Huvudanalys	Kraftigare överflyttningseffekt	120 års kalkylperiod	20% nygenererade resor	Centralt stationsläge
Samhällsekonomiska effekter	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr	Miljarder kr
Restid	35,01	36,29	40,64	40,69	38,52
Klimatutsläpp	26,62	26,68	29,80	26,62	26,62
-Från bil	0,06	0,13	0,07	0,06	0,06
-Från flyg	26,55	26,55	29,74	26,55	26,55
NOx	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08
-Från bil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-Från flyg	0,07	0,07	0,09	0,07	0,07
Minskat vägslitage	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Minskade bilolyckor	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02
SUMMA EFFEKTER	61,74	63,12	70,57	67,41	65,24

Kalkylen visar på nyttoeffekter mellan 60-70 miljarder. I hyperloop-alternativet konkurreras flygtrafiken på sträckan helt ut, vilket ger stora climateffekter. Restidseffekterna blir också väldigt stora per resa och kompenserar för det faktum att det totala antalet resor blir mycket färre, eftersom hyperloopalternativet saknar mellanmarknader.

Hyperloop bör i stort sett inte påverka regional tågtrafikering alls och därav kan de relevanta restidseffekterna sägas fångas upp i vår kalkyl.

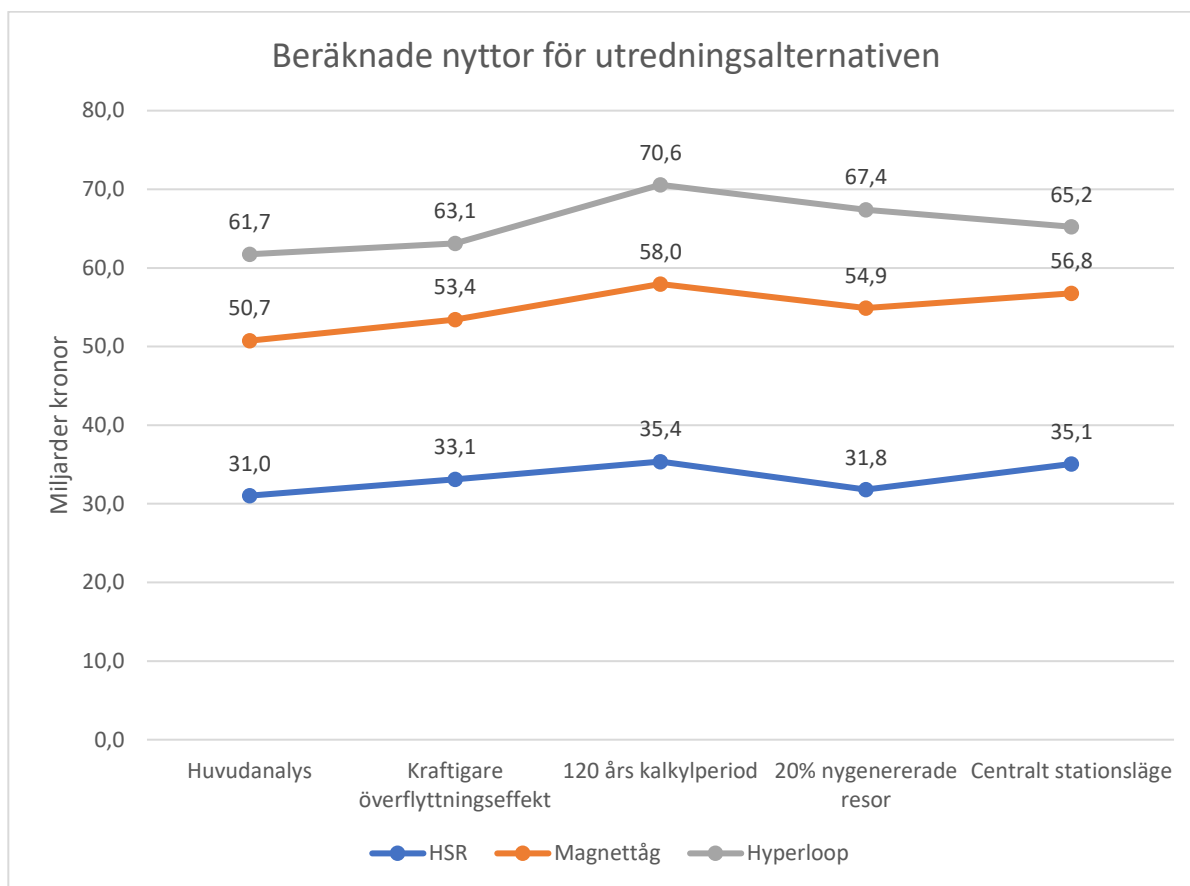
Hyperloop får räknas som det klart dyraste alternativet. Det handlar dels om de anledningar som har med högre dimensionerande hastighet att göra, dels om kostnaden för att bygga och upprätthålla en trycknedsänkt miljö, säkerhetsaspekter och dessutom en mängd generella frågetecken kring teknikens funktionalitet.

Inga nyttoeffekter för hyperloop kommer kunna realiseras förrän hela banan mellan Stockholm och Oslo och båda stationerna har byggts och testats. Banan kan inte heller planeras, än mindre byggas, innan man har kunnat lösa alla tekniska utmaningar som återstår. I detta avseende avviker hyperloop väldigt mycket från alternativen, där delnyttor kommer kunna realiseras i ett betydligt tidigare skede. Ur detta perspektiv haltar jämförelsen i kalkylen betänkligt, hyperloops samhällsekonomiska nuvärde överskattas.

5.1.7 Slutsats

Den samhällsekonomiska kalkylen visar på stora nyttskillnader mellan utredningsalternativen, där de snabbare teknikerna ger större nyttoeffekter. Men vid närmare anblick kan man konstatera att skillnaderna kanske inte är så stora som kalkylen antyder. Särskilt är påverkan på lokalt och regionalt resande en faktor där järnvägsalternativet har stora nyttor som kalkylen inte fångar upp. Dessa nyttor finns även till viss del med i magnetstågsalternativet.

Med detta sagt tyder kalkylen på att hyperloop har störst nytta i samhällsekonomisk mening, följt av magnetståg och slutligen HSR. Det är dock sannolikt att förhållandet är det motsatta om man ställer nyttan i relation till kostnad, eftersom järnvägsalternativet bedöms vara klart billigast och hyperloopalternativet klart dyrast. Nyttorna för HSR-alternativet går också snabbast att realisera, medan nyttorna för hyperloop tar klart längst tid. Även detta är en viktig felkälla i kalkylen.



Figur 14 Nuvärde för de tre utredningsalternativen enligt samhällsekonomisk kalkyl

5.2 Wider Economic Impacts (Indirekta effekter på sekundära marknader)

5.2.1 Bakgrund

Inom välfärdsanalysen (för transportinvesteringar) fångas ekonomiska effekter främst av användarnas nytta (konsumentöverskottet) av investeringen, där tidsbesparingen (restidsvärden) och ibland, som ses ovan, klimateffekterna oftast är dominerande. Konsumentöverskottet anses fånga hela välfärdseffekten givet att marknaden fungerar effektivt, dvs att det inte finns några marknadsmislyckanden i ekonomin. Finns det snedvridningar i marknaden uppstår ytterligare effekter till följd av att transportförbättringar överförs till den bredare ekonomin. Detta benämns Wider Economic Impacts (WEI). WEI inkluderar positiva såväl som negativa riktningar för förändringar och indikerar att analysens omfattning med avseende på plats, berörda sociala grupper, ekonomiska sektorer och tid går utöver en konventionell kostnads-nyttanalys (CBA).

WEI uppstår som följd av att infrastrukturinvesteringen påverkar den generaliserade transportkostnaden för transporter. Detta innebär att transportflödena förändras, liksom tillgängligheten. Det ekonomiska landskapet blir då påverkat, och alla aktörer däri, genom att de förs närmare varandra. Hushåll och företag kan då förändra sitt beteende som svar på de nya möjligheterna och de beteendemässiga reaktionerna, såsom inducerade investeringar och sysselsättningseffekter, kommer då att leda till förändringar i den ekonomiska aktiviteten. Det sista innebär att transportinvesteringen, genom den förändrade generaliserade transportkostnaden (GTK), påverkar sekundära (icke transportrelaterade) marknader. Följs de brittiska riktlinjerna för samhällsekonomisk kalkylmetodik, WebTag, (Department for Transport,

2018), kommer effekterna i de sekundära marknaderna från *inducerade investeringar*, *sysselsättningseffekter* och *agglomerationsekonomier*. Dessa tre kan beskrivas som:

En transportförbättring, allt annat lika, kommer att göra berörda platser mer attraktiva destinationer för investeringar (Simmonds, 2012). Då uppstår nytta för invånare, arbetare och företag, och detta kan *få inducerade investeringar* att äga rum och förändra markanvändningen. De kan i sin tur generera agglomerations- och produktivitetseffekter, liksom ge ytterligare värde genom att ändra attraktionskraften för berörda platser.

Förändringar i inducerade investeringar kommer, allt annat lika, att påverka företagens efterfrågan på *sysselsättning*. Den initiala förändringen av tillgänglighet kommer också att påverka hushållens utbud av arbetskraft genom inverkan av GTK-minskningen på reallönen. Sysselsättningseffekterna är också förknippade med förändring av markanvändning, eftersom mark måste användas mer intensivt eller tas i produktion för att tillgodose det ökade antalet arbetare.

Närhet och omlokalisering formar den effektiva tätheten av ekonomisk aktivitet och därmed produktiviteten. Detta är en av anledningarna till att det finns städer och specialiserade kluster. Produktivitetspåverkan kan förekomma inom eller mellan branscher. *Agglomerationsekonomier* är externa och återspeglas inte på transportmarknaderna. Transportinvesteringar kan öka densiteten i den ekonomiska aktiviteten genom klustring.

Alla dessa mekanismer länkar in i varandra. En transportförbättring kan orsaka privata/inducerade investeringar, öka sysselsättningen, skapa agglomerationseffekter vilket sedan skapar återkopplingseffekter som har potential att ändra den generaliserade transportkostnaden och leda till ytterligare förändringar i beteende och ekonomisk aktivitet. Det är begreppsmässigt viktigt att skilja mellan de olika mekanismerna som kan skapa välfärdsvinster, medan man i praktiken måste vara försiktig så att effekter inte räknas dubbelt.

WEI är kontextspecifik, vilket betyder att typen och storleken på ekonomiska effekter som uppstår av transportinvesteringen beror på de lokala attributen, såsom arbetskraftens kompetens och utvecklingsbara markområden. För att inkludera WEI i analysen behövs det alltså först identifieras huruvida det finns ett marknadsmisslyckande i marknaden och sen måste de lokala förändringarna som uppstår undersökas närmare för att se om de genererar en BNP-effekt. WEI går därför att översätta till *indirekta effekter på sekundära marknader* eller *externa BNP-effekter*, båda används i svensk litteratur.

5.2.2 WEI i praktiken

Den traditionella samhällsekonomiska beräkningen av en infrastrukturinvestering är fortfarande grunden för nyttan av en investering, hitintills antyder forskningen (Laird & Venables, 2017) att de största nyttorna uppstår hos användarna (konsumentöverskottet). Utöver dessa kan dock effekter kopplade till WEI uppstå, givet att investeringen skapar tillräckligt stora förändringar i det ekonomiska landskapet. Att försumma WEI för stora projekt och omfattande investeringsprogram menar (Rothengatter, 2017) ökar risken för att förbise utmaningarna med att modernisera transportsystemet och att anpassa det till de förändrade framtida behoven i samhället och industrier. Detta innebär att även om nätdensiteten och nätkvaliteten har uppnått en hög standard, som det ofta har gjort i industriländerna, finns det fortfarande viktiga frågor för transportinfrastrukturutvecklingen i framtiden. Detta gäller bland annat ny infrastrukturteknik som till exempel magnetåg eller hyperloop som ger upphov till frågor om en kombinerad utvärdering av transportnyttor och teknikbedömning (Rothengatter, 2017).

5.2.2.1 **Inducerade investeringar**

Nyttan som användarna får av transportförbättringen överförs till sekundära marknader och stimulerar investeringar genom att antingen sänka marginalkostnaderna eller öka avkastningen (Laird & Venables, 2017). Nedan beskrivs två omständigheter där inducerade investeringar skulle kunna skapa ytterligare nyttor, dvs WEI, utöver konsumentöverskottet.

Potential för ökad produktion

Givet att det finns en marknadsimperfektion i ekonomin, det vill säga att marginalnyttan av ökande produktion överstiger marginalkostnaden för produktionen, så existerar ett marknadsinflytande av någon part. Där marknaden domineras av ett litet antal företag finns det en risk att utbudet begränsas för att höja priserna över den marginella produktionskostnaden, vilket kan resultera i ineffektivt låga nivåer av produktion och investeringar i denna sektor (Badinger, 2007).

Några kontextspecifika indikatorer för att påvisa marknadsmisslyckanden kan enligt (Department for Transport, 2018) vara att det finns få företag i en viss sektor, eller om det går att hitta bevis för inträdeshinder i en viss marknad. En tredje indikator är om det går att identifiera marknadsmakt genom att de sätter priser över den marginella produktionskostnaden.

Enligt Laird och Venables (2017) kommer denna kontextspecificitet sannolikt att vara mest uppenbar mellan transportinvesteringar i städer som innehåller tjänster med högt prispåslag, jämfört med dem i avlägsna regioner som domineras antingen av tillverkning eller utvinning av primärvaror. Förskjutning kan ske genom olika kanaler. Det kan uppstå direkt på produktmarknaden (särskilt för varor som inte handlas) eller genom generella jämviktseffekter och konkurrens om knappa produktionsfaktorer.

Kortare restider mellan städerna i stråket innebär en större potential för konkurrens mellan företag då utbudet på varor och arbetskraft förbättras. Huruvida det finns monopolistiska tendenser bland företag i stråket är oklart, men om sådana finns kan de med investeringen motverkas.

Markanvändningsförändringar

En transportförbättring kan också fungera som en katalysator till exploateringar, vilket kan skapa ytterligare nytta genom att göra ett område mer attraktivt. Både vad gäller områdets syfte eller intensitet för användningen. Ett exempel är om en transportinvestering skulle få en bostadsutvecklare att ersätta radhus med ett flerfamiljshus (inducerad investering) skulle detta motsvara en ökad användningsintensitet. Eller, om ett tillverkningsföretag skulle flytta från ett urbant till ett landsbygdsområde, kan det innebära en ändring av syftet med markanvändning, i det senare från jordbruk till tillverkning.

En annat exempel som lyfts fram av (Venables, 2016) skulle kunna handla om utvecklingen för ett handelsområde, köpcentrum eller liknande. En transportförbättring ökar spenderingen i området, eftersom den generaliserade transportkostnaden för att komma dit går ner. Ökad spendering ökar lönsamheten för butiker och därmed kan hyresvärden ta ut högre hyror. Detta gör det lönsamt att utveckla området, kanske genom att göra det större eller att bygga det högre. Denna expansion skapar mer golvyta och därmed fler butiker, vilket i sin tur gör platsen till en mer attraktiv destination. Det är användarnyttan som triggar de beskrivna effekterna och för att de ska ge indirekta effekter, WEI, måste det föreligga ett marknadsmisslyckande först. Annars fångas nyttorna av konsumentöverskottet.

Exploaterbar mark kan till exempel ägas av ett få antal individer eller institutioner, vilket gör att det finns risk att utbudet begränsas för att höja värdet på utvecklad mark. Detta kan resultera i en ineffektivt låg exploatering. Tecken på det kan vara stora områden med underutnyttjad mark i stadskärnor (till exempel lager, affärer med lågkvalitetsprodukter, etcetera).

Det finns också ett koordinationsproblem som går ut på om lönsamheten i ett projekt för en beslutsfattare beror på andras investeringar, finns det potential för samordningsfel. Det är inte i någon enskild investerarens intresse att investera, men var och en skulle investera om de visste att andra gjorde det (Laird & Venables, 2017). Detta positiva ömsesidiga beroende av lönsamhet kan uppstå när man startar ett nytt kluster av ekonomisk aktivitet eller genom att lansera nya system för ombyggnad av detaljhandeln eller städerna. Transportinvesteringar kan vara behjälplig för koordinationsproblemet då transportinfrastruktur kan fungera som en katalysator i en växande stad som signal om att en plats kommer att utvecklas eller i en regenereringsmiljö genom att till exempel höja fastighetspriserna och därigenom öka avkastningen på fastighetsförbättring.

I kontexten för denna studie skulle då marken runt stationerna kunna bli än mer värdefulla om infrastrukturinvesteringen medger en bättre arbetspendling mellan stationsorterna i studien, både inrikes- och utrikespendling. Detsamma gäller fritidsresor, det blir lättare att ta sig till Oslo eller Stockholm för mellanmarknaderna i studien vilket gör dem mer attraktiva att bo på.

Detsamma gäller exploateringsmöjligheter för handelsområden, kanske speciellt i Karlstad, men även de andra stationsorterna inklusive Stockholm. Gränshandeln är ju redan stor mellan Norge och Sverige, om då infrastrukturinvesteringen medger ökad gränshandel kan det uppstå en effekt på nationell nivå. Gränshandeln med tåg kan antas bli lite annorlunda än den med bil. Troligtvis handlas mindre skrymmande varor och mer lyxkonsumtion, möjligtvis förenat med turism. Jämför till exempel med Öresundsbron, där de danska medborgarna reser till Malmö för att konsumera varor och tjänster. Norge var för övrigt Sveriges exportindustris enskilda största handelspartner 2019 enligt SCB².

5.2.2.2 **Sysselsättningseffekter**

Förändringar i inducerade investeringar påverkar företagets efterfrågan på sysselsättning, både vad gäller antal och/eller plats, allt annat lika. Den ökade tillgänglighet kommer också att påverka hushållens utbud av arbetskraft genom effekten som härstammar från minskningen av transportkostnaden på reallönen. Sysselsättningseffekterna är också förknippade med lokaliseringseffekterna, eftersom marken måste användas mer intensivt eller tas i produktion för att tillgodose det ökade antalet arbetstagare.

Utbud av arbetskraft

Bättre transportinfrastruktur ger lägre reskostnader, och individers beslut om arbetskraftsdeltagande baseras på att jämföra arbetskostnaderna (inklusive resekostnaden), mot lönen som tjänats av arbete. Genom att minska kostnaderna (i tid och pengar) för att komma till arbetet kommer en transportinvestering sannolikt att öka avkastningen av arbete. Vilket kan resultera i att vissa människor, för vilka nettoavkastningen till att komma in på arbetsmarknaden ursprungligen inte var tillräcklig, kan bestämma sig för att komma in.

² <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor/pong/tabell-och-diagram/export-till-vara-30-storsta-handelspartner/>

Även om det inte sker någon förändring i utbudet av arbetskraft på nationell nivå kommer ökad sysselsättning i ett företag, en ort eller en region tillkomma på bekostnad av andra. Dessa sysselsättningseffekter kan istället ha produktivitetseffekter som visar sig på nationell nivå.

Efterfrågan av arbetskraft

Precis som ovan behövs ett marknadsmisslyckande för att det ska räknas som en indirekt effekt (WEI). Existerar ett sådant som leder till ihållande ofrivillig arbetslöshet och transportinducerad jobbskapande som minskar denna nivå av arbetslöshet så är det en effekt som kommer upp på nationell nivå. Värdet av produktionen (och av "fritid") som avstås från är då mindre än värdet av produktionen i skapade arbetstillfällen, vilket implicerar att det kan finnas ytterligare sociala nyttor av att minska arbetslösheten (Laird & Venables, 2017). Dessa effekter är viktiga i regioner med utvecklade ekonomier som har betydande strukturell arbetslöshet eller om sysselsättningen är underutvecklad.

Ett exempel på det är monopsoni. Om den lokala arbetsmarknaden domineras av en enda arbetsgivare kan den dominerande ställningen utnyttjas för att på ett konstgjort sätt hålla lönesatsen under marknadspriset, så att sysselsättningen ligger under det konkurrensutsatta marknadsutfallet.

De alternativ som innebär en förbättring för lokala mellanmarknader kan möjligen ge en tendens till ökat utbud av arbetskraft, där arbetslösa i mindre orter med kortare restid kanske kan tänka sig att pendla till lite större städer där efterfrågan på arbete är större.

Den förbättrade tillgängligheten kan även i en mer indirekt mening påverka utbud och efterfrågan på arbetskraft. Genom den stärkta konkurrensen och möjligheten till arbetspendling över en större geografisk yta blir medborgare mindre beroende av att arbeta lokalt. Det gör att efterfrågan även kan komma att öka på lokal arbetskraft när de som tidigare arbetade lokalt väljer att pendla. På så vis kan tidigare arbetslösa komma in på arbetsmarknaden även lokalt som en indirekt följd av investeringen.

5.2.2.3 Agglomerationsekonomier

WEI uppstår när ekonomiska aktörer inte kan fånga hela nyttan (eller kostnaderna) av sina handlingar, de skapar externa effekter som är värdefulla för andra agenter. Effekterna kan vara tekniska (kunskapsspridning) eller ekonomiska (Duranton, 2004). Genom att skapa förutsättningar för tätare marknader och en intensivare ekonomisk interaktion så skapar närhet (mellan till exempel företag) dessa effekter. En viktig mekanism är att skalekonomi och densitet tillsammans skapar en miljö där företag och arbetare kan utveckla högspecialiserade produkter, tjänster och färdigheter. Dessa är vanligtvis input till andra företag - specialkomponenterna och ingenjörer, advokater, ekonomer som kan vara nödvändiga för att ett företag ska fungera effektivt. En ny specialistleverantör kommer att starta när marknaden är tillräckligt stor och närvaron av den nya leverantören kommer att göra klustret mer attraktivt som en plats för andra företag som använder produkten eller tjänsten. Detta gör att marknaden för specialleverantörer växer, vilket uppmuntrar till ytterligare inträde och därmed en kumulativ orsaksprocess. Detta är den klassiska processen för klusterbildning.

Transporter är en viktig ingrediens för att detta ska kunna hända. Ekonomiska interaktioner mellan företag (och mellan företag och konsument) blir djupare ju bättre transportsystemet är. Företag kan nå bredare marknader, så att de kan expandera, utveckla specialistkunskaper och bli mer konkurrenskraftiga eftersom den naturliga distansbarriären minskar och ineffektivitet i samband med monopol- och monopsonimakt eroderas. Transport gör det även möjligt för städer

att specialisera sig och utveckla sektorsspecifika fördelar. Om bättre transport eller kommunikation möjliggör outsourcing av en del av de tillhörande aktiviteterna till en annan stad, minskar det kostnaderna och skapar utrymme för de värdefulla aktiviteterna att ytterligare koncentrera sig i det centrala klustret.

Det sista går att exemplifiera för transportförbättringen denna studie beskriver, då städer och speciellt marknader knyts betydligt närmare varandra. Det blir lättare för företagen att specialisera sig genom *matchning*, *lärande* och *delande* och därmed öka produktiviteten i samhället och nationellt. Produktivitetseffekterna skapar kluster av ekonomier där skapandet och spridningen av kunskap fungerar bra och där innovativa aktiviteter kan utvecklas.

5.2.3 Tidigare studier

En vägledning för hur WEI för stråkstudien ska bedömas är att betrakta vad utfallet har blivit i investeringar i HSR generellt.

Att de effekter som diskuterats tenderar att inträffa och kan ha en positiv effekt på ekonomisk utveckling bekräftas av flera författare. Men en vanlig invändning är att effekten i praktiken inte är tillväxtskapande, utan omfördelade. Det vill säga att investeringar och värdeökningar sker i stationsorter på bekostnad av andra, mer perifera orter där de annars hade kunnat ske. Detta spår i sin tur på regional ojämlikhet, se exempelvis Vickerman (2018) och Beyazit (2015).

Effekten med regional ojämlikhet och "skuggsamhällen" till följd av investering i HSR är väl belagd och diskuteras mer ingående i kapitel 6. En relevant följdfråga är om den ekonomiska effekten enbart är omfördelade – eller om man också kan se en positiv nettoeffekt på grund av effektivisering och korrigerande av marknadsmisslyckanden. Vickerman (2018) påpekar att dessa typer av effekter är svåra att verifiera och att det fortfarande finns relativt lite evidens för WEI, eftersom det är svårt att isolera effekter av transportinvesteringar från andra händelser som påverkar ekonomin.

Flera kinesiska studier visar på korrelation mellan HSR-investering och ökande BNP, exempelvis Liu och Zhang (2018) och Zhao et al. (2017). Detta kan vara en indikation på att man har uppnått en positiv nettoeffekt i form av WEI, men inte nödvändigtvis. Som Banister och Thurstain-Goodwin (2010) skriver kan det vara svårt att avgöra om ett sådant samband är kausalt, och i så fall i vilken riktning kausaliteten går. Kan det i själva verket vara god ekonomisk tillväxt som leder till investeringar i HSR, snarare än tvärtom, frågar sig författarna.

Förhoppningarna för regionsutveckling till följd av introduktion av HSR infrias inte heller alltid. En utvärdering av Storbritanniens första HSR-linje, HS1, som binder samman London med östra delarna av Kent visar att utvecklingen vad avser sysselsättningsgrad i östra Kent har varit betydligt sämre än övriga delar i sydöstra England och även jämfört med Storbritannien som helhet efter höghastighetstågets introduktion. Detta tyder på att effekterna av HSR-investeringen har varit alltför små för att kunna övertrumfa andra viktiga ekonomiska faktorer. Liknande slutsatser dras även i en studie av Vickerman (2018) som konstaterar att det verkar vara andra faktorer än den ökade tillgängligheten som har dominerat den lokala ekonomiska utvecklingen i Kent. Slutsatsen från denna studie är att även om HSR kan vara en katalysator för ekonomisk utveckling är det inte den primära drivkraften. Detta innebär att HSR-investeringar potentiellt kan ge omvälvande effekter på den ekonomiska utvecklingen, men att det i så fall möjliggörs genom att investeringen genomförs i kombination med andra policy-åtgärder.

Sammantaget visar tidigare studier på att WEI mycket väl kan inträffa av investering i HSR, men att effekten är högst kontextberoende och svår att kvantifiera. Investeringar och ekonomisk utveckling sker ofta i stationsorter, men tenderar att göra detta helt eller delvis på bekostnad av det samma på andra platser.

5.2.4 Slutsats

Då speciellt de nya teknikerna magnetåg och hyperloop kan antas få stora konsekvenser för resandet kan det också antas att effekterna på de olika marknaderna beskrivna ovan kan bli stora. Även HSR-alternativet kan ge stora effekter i såväl gränshandel, turism och sysselsättning. Regionen Norge-Sverige utökas genom alla alternativ och kan även förändra arbetspendlingen.

Om dessa effekter leder till ökat nationellt värde av produktionen på varor och tjänster är den stora frågan. Det finns saker som pekar mot det vad gäller markvärdesförändringen runt de nya stationerna då transportförbättringen kan leda till effektivare användandet av marken. Signalvärdet för byggandet av denna infrastruktur kan inte heller underskattas, det skapar en trygghet för investerare och kan trigga igång följdinvesteringar som skapar positiva återkopplingseffekter. Skapar dessa effekter en tätare interaktion mellan (olika) företag och anställda kan det resultera i positiva BNP-effekter.

Det finns också kritik som menar att det mest är omfördelningseffekter som uppstår vid större infrastrukturinvesteringen, se till exempel (Börjesson, 2019) som menar att BNP-effekter ofrånkomligen är störst för projekt på täta, stora och kunskapsbaserade arbetsmarknader och kanske inte mellan olika städer. Men Börjessons analys bygger på HSR och inte de nyare teknikerna som opererar med helt andra hastigheter. Hyperloop har en beräknad restid till Oslo (från Stockholm) på 47 minuter vilket skulle kunna binda ihop Stockholm och Oslo och få just en tät, stor, kunskapsbaserad arbetsmarknad.

6. SOCIALA EFFEKTER

6.1 Definition av sociala effekter

En konsekvens av att frågan om social hållbarhet inte helt har mognat i Sverige är att definitionerna för vad som är social hållbarhet och vilken metod som används för att utvärdera sociala effekter skiljer sig mycket mellan olika instanser och projekt. Någon svensk standard för hur sociala effekter ska bedömas finns i nuläget inte (Karlsson & Söderberg, 2017).

Det kan också konstateras att skärningspunkterna som finns mellan sociala, ekologiska och ekonomiska konsekvenser gör att det är komplext att diskutera sociala konsekvenser som en separat aspekt, vilket många författare uppmärksammat, se exempelvis Winter (2015).

Det förefaller alltså nödvändigt för utvärderingen att klargöra hur vi ser på frågan. Vi lämnar begreppet social hållbarhet därhän och fokuserar istället på det mer avgränsade begreppet sociala effekter. Även detta kan definieras på flera sätt, en möjlig utgångspunkt är den definition som ursprungligen tagits fram av Vanclay (2003):

Social impacts are changes to one or more of the following:

- people's way of life – that is, how they live, work, play and interact with one another on a day-to-day basis
- their culture – that is, their shared beliefs, customs, values and language or dialect
- their community – its cohesion, stability, character, services and facilities
- their political systems – the extent to which people are able to participate in decisions that affect their lives, the level of democratisation that is taking place, and the resources provided for this purpose
- their environment – the quality of the air and water people use, the availability and quality of the food they eat, the level of hazard or risk, dust and noise they are exposed to, the adequacy of sanitation, their physical safety, and their access to and control over resources
- their health and wellbeing – health is a state of complete physical, mental, social and spiritual wellbeing and not merely the absence of disease or infirmity
- their personal and property rights – particularly whether people are economically affected or experience personal disadvantage which may include a violation of their civil liberties
- their fears and aspirations – their perceptions about their safety, their fears about the future of their community, and their aspirations for their future and the future of their children.

(Vanclay F. , 2003)

Vanclays (2003) definition ligger till grund för en senare utvecklad, och internationellt erkänd, metodik för sociala konsekvensbedömningar kallad *Social Impact Assessment* (SIA), som i sin tur ligger till grund för den försvenskade variant som kallas *Social Konsekvensbedömning* (SKB). SKB-metoden har sedermera föreslagits som ett nytt krav för svensk infrastrukturplanering på nationell, regional och kommunal nivå av Trivector traffic, på uppdrag av Trafikanalys (Trivector Traffic, 2015).

Att använda social konsekvensbedömning som utvärderingsmetod är dock inte aktuellt inom ramen för denna studie med hänsyn till metodens omfattning och studiens abstraktionsnivå – det är helt enkelt inte möjligt. Istället behandlar vår studie endast ett delsteg i SIA-processens andra

fas, själva analysen. "Through analysis, determine the social changes and impacts that will likely result from the project and its various alternatives." (Vanclay, Estever, Aucamp, & Franks, 2015).

Det sociala hållbarhetsperspektivet kan också fylla en funktion genom att lyfta rättvisa och jämlikhet mellan grupper. Rättvisa ur ett socialt hållbarhetsperspektiv handlar om hur tillgångar och möjligheter fördelas mellan olika grupper i samhället, samt vilkas efterfrågan som värderas högst. Henriksson och Summerton (2016) menar att utgångspunkten är att människor med olika resurser i form av inkomst, utbildning och arbete har olika tillgång till urbana miljöer. Genom att se var ny infrastruktur placeras och hur befintlig infrastruktur underhålls är det möjligt att se att resurser fördelas i staden (ibid.). Denna rättvisasaspekt ämnar vi också att bemöta i vår analys.

Sociala effekter till följd av transportinvesteringar kan delas in i kortsiktiga, direkta effekter och långsiktiga, indirekta effekter. Exempel på kortsiktiga effekter är sådant som förändrad restid, tillgänglighet eller antal trafikolyckor. Långsiktiga effekter kan exempelvis vara påverkan på social inkludering, socialt kapital, välmående och hälsa. Eftersom de långsiktiga effekterna beror på flera faktorer och är komplexa i sin natur är det svårare att härleda dessa till en specifik infrastruktursatsning (Jones & Lucas, 2012). För större nationella transportinvesteringar som snabba landtransporter utgör är dock de långsiktiga indirekta effekterna av stort intresse, eftersom denna typ av investeringar har potential att påverka samhället i större bemärkelse och över ett stort geografiskt område. Vår analys avser att inte bara hantera direkta effekter utan också indirekta, i den mån det är möjligt.

Sammanfattningsvis tar vår analys avstamp i de punkter som Vanclay (2003) tar upp, utifrån vilka av dessa som är relevanta och går att bedöma för snabba landtransporter. Dessa punkter bedöms därefter med ett särskilt fokus på ett jämlikhetsperspektiv och hur effekterna sprids över olika befolkningsgrupper. Både direkta och indirekta effekter hanteras i analysen.

6.2 Ökad mobilitet – för vem?

Den främsta anledningen till att genomföra infrastruktursatsningar brukar vara att dessa möjliggör en ökad mobilitet. I detta fall syftar det på möjligheten att nå fler destinationer på kortare tid och därmed öka sin individuella välfärd. Detta kan exempelvis handla om en ökad tillgång till arbete, kultur, samhällsservice, vänner och familj. En relevant fråga blir därför vilka samhällsgrupper som genom investeringen ökar sin mobilitet.

I första hand är det förstås de som reser med de nya, snabba tågen som får nyttja en ökad tillgänglighet (HSR, magnetåg eller hyperloop). Men, som poängterat i stråkstudien, kommer även lokalt och regionalt tågresande att påverkas. Faktum är att denna effekt är mer påtaglig än påverkan på det nationella/storregionala resandet i järnvägsalternativet. Att detta "övriga" resande är en central aspekt framgår även av intervjuerna (Berg, 2020).

Detta gäller även för magnetågen, men i betydligt lägre grad då dessa enbart innebär en kapacitetslättning i form av överflyttade resor. För hyperloop bedöms motsvarande effekt som försumbar.

Sammanfattningsvis kan man alltså konstatera att HSR-alternativet sannolikt innebär förbättringar för alla som reser med tåg i och kring stråket. I magnetågsalternativet gäller det samma men i lägre grad och i hyperloopalternativet är det enbart de som reser med hyperloop som får möjlighet till ökad mobilitet.

6.2.1 Geografiska faktorer

I ovanstående avsnitt resoneras kring att en investering i ny infrastruktur för snabba landtransporter mellan Stockholm och Oslo skulle bidra till nytta i form av ökade möjligheter för

mobilitet - för de som har nära till en station. I fallet för hyperloop innebär det personer som har nära till stationen i Oslo eller Stockholm. I fallet för magnetåg och järnväg innebär det framförallt personer som har nära till någon av de tågstationer i stråket där snabbtåget stannar, men även de som har nära till övriga befintliga tågstationer förutsatt att den förbättrade kapaciteten i stråket leder till ett ökat trafikutbud generellt.

Grupper som bor nära stationerna bedöms generellt få en förbättrad tillgänglighet, eftersom närheten till stationen innebär att denna grupp får möjligheten att nå fler destinationer inom en given tidsperiod. Detta gäller långväga resor med den nya infrastrukturen (exempelvis Stockholm – Oslo), men sannolikt även mer lokalt och regionalt resande, eftersom områdena kring de nya stationerna sannolikt kommer få ett ökat utbud av kollektivtrafik i samband med investeringens slutförande. För lokalt resande kan dock närhet till en station innebära försämrade tillgänglighet (Jones & Lucas, 2012). Detta beror på att infrastrukturen skapar en barriäreffekt om den är markförlagd och att ett ökat trafikflöde till och från stationerna också ger upphov till barriäreffekter. Grupper som bor längre från stationerna kommer troligtvis inte få en lika tydligt förbättrad tillgänglighet av investeringen för långväga och regionala resor, men drabbas heller inte i samma grad av de negativa konsekvenserna orsakade av det ökade trafikflödet kring stationerna.

Oavsett teknik kan man förvänta sig en så kallad "tunneffekt" där den ökande tillgängligheten vid stationsområdena ställs i kontrast till skuggområden mellan stationer, där tillgängligheten inte förbättras. Tunneffekten beskriver en förändrad relativ tillgänglighet, det vill säga en ojämlikhet i hur olika platsers tillgänglighet utvecklas. Snabba transporter mellan stadskärnor gör att landsbygden blir ännu mer avlägsen, relativt sett. Förhållandet är dock inte binärt, störst positiv tillgänglighetseffekt uppnås i nära anslutning till stationerna, för att därefter stegvis avta. Vid längre avstånd blir tillgängligheten i högre grad villkorad av andra faktorer – som tillgång till bil eller högkvalitativ kollektivtrafik. Monzón et al. (2010) har utvärderat och diskuterat tunneffekten i det spanska fallet för HSR och tillägger att tillgänglighetens rumsliga fördelning också påverkas i hög grad av vald kommersiell hastighet för tåget:

[R]esults highlight the important role played by the selection of the commercial speed. In particular, increasing commercial speeds from 220 km/h to 300 km/h in a given corridor results in significant negative impacts on spatial equity, as differences between locations with and without a HSR station are highlighted. (Monzón, Ortega, & López, 2010)

Av detta att döma skulle magnetåg med en betydligt högre kommersiell hastighet i betydligt högre grad bidra till geografisk ojämlikhet än HSR. Effekten förstärks av det faktum att ett magnetågsprojekt, till skillnad från järnväg, inte inkluderar upprustning av befintliga banor. Hyperloop framstår i detta perspektiv som ett extremfall, med en stor tillgänglighetsförstärkning i redan starka geografiska områden och en stor relativ försvagning på andra orter.

Tunneffekten åsido, de delar av Sverige som blir mest förfördelade av en infrastrukturinvestering likt denna är troligen de som inte alls berörs (exempelvis norra Sverige eller Skåne, i vårt fall). Detta påpekar Winter (2015) apropå investeringen i höghastighetsbanor inom ramen för Sverigeförhandlingen, en liknande situation, och utvecklar:

De delar av Sverige som blir mest förfördelade av satsningen [nya stambanor, red. anm] är troligen de som inte alls berörs (norra Sverige) liksom områden som kommer att genomskäras av spår och trafik utan att få fördelar i form av ökad tillgänglighet. Det är naturligtvis ingen lätt uppgift att avgränsa den geografi man studerar i relation till den

åtgärd man utvärderar. En för snäv avgränsning riskerar att missa systemeffekter [...] En mycket vid avgränsning inbjuder till en diskussion om infrastrukturmedlens fördelning i stort.
(Winter, 2015)

I detta avseende måste prisfrågan vägas in. Oavsett vald teknik riskerar en satsning av sådan dignitet som har studerats i stråkstudien att tränga ut andra tänkbara investeringar i transportsystemet av kostnadsskäl. Hur dyr infrastrukturen i fråga blir att bygga, driva och underhålla påverkar rimligen i vilken mån detta sker.

6.2.2 Socioekonomi

Längre resor tenderar att kosta mer och allmänt kan man förvänta sig att detta gäller även för snabba landtransporter mellan Stockholm och Oslo. Ur socioekonomisk jämlikhetsaspekt är priset för anläggningen av stor betydelse – då det i förlängningen påverkar kostnaderna för att resa. Här särskiljer sig framförallt hyperlooptekniken negativt eftersom den bedöms dyrast att bygga och för att lägre resande och kapacitet innebär att ett högre biljettpris kommer behöva tas ut om investeringskostnaden ska kunna återbetalas.

Infrastruktur för långväga transporter gynnar i högre grad socioekonomiskt starka grupper. När vissa grupper har råd att betala för de relativt dyra resorna riskerar socioekonomiskt svagare grupper att drabbas av social exkludering (Jones & Lucas, 2012). Här blir påverkan på den regionala trafiken väsentlig, eftersom korta och långsammare resor generellt är billigare för resenären. Ur ett socialt rättviseperspektiv är dock i allmänhet mindre investeringar av lokal karaktär mer effektiva.

Investeringar i regional och lokal kollektivtrafik kan generellt antas komma fler till del och blir i den bemärkelsen mer "rättvisa". Likaså kan man anta att prisbilden för de regionala förbindelserna ligger betydligt lägre än biljettpriset för höghastighetstågen.
(Winter, 2015)

Det går att argumentera för att privatekonomiska överväganden inte borde vara de mest väsentliga då infrastruktur för långväga transporter ofta motiveras av nyttor kopplat till tjänsteresor. En australiensisk studie visar dock på att nyttorna kopplat till tjänsteresor är förhållandevis låga i relation till icke-arbetsrelaterat resande (Hensher, Ellison, & Mulley, 2014).

Sant är att det allt snabbare och längre resandet bidrar till en trend av allt mer utdragna affärsnätverk med ett behov av, och värdeskapande kopplat till, längre resor. Denna ökade mobilitet gäller dock inte inom alla sektorer – det kan ifrågasättas i vilken mån det gäller exempelvis arbetaryrken bland socioekonomiskt svagare grupper.

[T]he ensuing logic of hyper mobility has set off an explosive growth in instant offices and airport hotels [...] allowing travellers to stay put, stay over and do their 'business'. We should though be cautious about how widely these trends apply: many lives are still geographically contained, characterised by stability and local community rather than ever extending networks.
(Cass, Shove, & Urry, 2005)

6.2.3 Jämställdhet

En vanlig föreställning är att investering i tåginfrastruktur bidrar till jämställdhet, eftersom kvinnor i högre grad än män tenderar att åka kollektivt. Winter (2015) konstaterar att detta förts

fram av flera kommuner vid utvärdering av sociala nyttor i Sverigeförhandlingen. I praktiken, konstaterar Winter (ibid.), är detta inte nödvändigtvis en korrekt observation.

Detta beror på att kvinnor på gruppnivå reser kortare än vad män gör och därav de facto blir mindre gynnade än män av investeringar som syftar till att förenkla det långväga resandet (Gil Solá, 2003).

Följdeffekterna av detta blir flera. Mäns lönenivåer ökar tre gånger snabbare än kvinnors vid regionförstoring. Män anger själva i högre grad att möjligheten till långpendling ger möjligheter för dem i form av karriärutveckling och lön. Alla långpendlare är statistiskt mer utsatta för stress, men kvinnor i högre grad än män. Den högre upplevda stressen kopplas till omsorg för familjen och att de upplever att de har många uppgifter att lösa samtidigt (ibid.)

Man kan också tillägga att den hemmavarande parten i ett sambohushåll ofta drabbas negativt av partners långpendlande – i form av ökat hushållsarbete och i vissa fall även med avseende på egen inkomstutveckling. Den hemmavarande parten är på gruppnivå oftare kvinna (ibid.).

Här kan man argumentera för att kvinnor i vissa avseenden borde vara mer betjänta än män av den restidsförkortning som utvecklad infrastruktur innebär, eftersom de upplever resan och restiden som en större belastning. Detta kan vara sant för individer som inte ändrar sitt resebeteende till följd av investeringen. Gil Solás (2003) studie pekar dock på att den regionförstoring som Sverige har haft inte har lett till förkortade restider generellt, tvärtom har restidsvinster på grund av utbyggd infrastruktur kompenseras av längre resor så att den totala restiden istället blivit längre.

Även på värderingsnivå finns en tydlig skillnad, där kvinnor tenderar att värdera investeringsstrategier som bygger på ökad tillgänglighet genom geografisk närhet till aktiviteter, medan män i högre grad värderar strategier som bygger på att tillgängligheten uppnås genom högre hastigheter i transportsystemet. Gil Solá (2003) argumenterar för att denna värderingsskillnad definierar ett paradigm, där det hastighetsfokuserade, "manliga", perspektivet dominerar.

Utifrån denna bakgrund kan man konstatera att alla de utvärderade alternativen tenderar att gynna män i högre grad än kvinnor – och att skillnaden blir än större med högre kommersiell hastighet och för de alternativ som i lägre grad gynnar lokal och regional tågtrafik.

6.3 Ökad tillgänglighet?

Ökad mobilitet tenderar att likställas med ökad tillgänglighet, men det är en förenkling. Eftersom den typ av investeringar som diskuteras inom denna studie potentiellt leder till dramatiskt ökad mobilitet kan det finnas ett värde i att reda ut under vilka förutsättningar sambandet är giltigt.

För individen stämmer sambandet förhållandevis bra. Ökad mobilitet hos en individ innebär högre grad av tillgänglighet till arbete, samhällsservice, sociala kontakter, med mera. Flera källor påpekar också att mobilitet för den enskilde är sammankopplat med positiva sociala effekter, exempelvis minskad risk för social exkludering (Stanley, et al., 2010).

På samhällsnivå tenderar den ökade mobiliteten att leda till centralisering och aggregering av verksamheter till platser där tillgängligheten är god. Detta har generellt goda effekter ekonomiskt, men riskerar att spä på ojämlikhet. Dessutom skapar en ökad centralisering också så småningom ett ökat behov för individen att resa för att kunna behålla sin välfärdsnivå, när aktiviteter som tidigare funnits nära försvinner (Winter, 2015).

Vilhelmson (2002) på samma tema:

[V]id en viss rörlighetsnivå börjar negativa aspekter att göra sig gällande. Ur individens perspektiv kanske resorna (eller den virtuella kommunikationen) till sist stjälar tid från andra aktiviteter som är mer betydelsefulla. En annan risk är att en omfattande rörlighet gradvis reducerar individens närvaro på plats och lokala förankring i samhället. I ett allt rörligare och geografiskt flexiblare samhälle riskerar lokalt förankrade sociala band med andra människor och gemenskaper att bli allt svårare att etablera, underhålla och förnya. I ett samhälle som präglas av tidsbrist ställs platsbunden närvaro alltmer mot rörlighet och resor, som ju i realiteten innebär frånvaro.

(Vilhelmson, 2002)

Detta innebär i sin tur att förutsättningarna för lokala sociala nätverk tunnas ut (eng. *community*). Detta är i sin tur en viktig aspekt för att skapa socialt kapital och därmed välfärd. På samhällsnivå är alltså den ökade rörligheten inte nödvändigtvis positiv (Vilhelmson, 2002).

Man kan också fråga sig vad som sker med de som av olika skäl inte kan eller vill resa. De drabbas rimligen också av centraliseringseffekter och utglesning av sociala nätverk, utan att kunna tillgodogöra sig fördelarna. Därav är det hög risk att de individer som bor i ett område som påverkas av ökad mobilitet till följd av anläggningen får försämrad tillgänglighet i relation till utgångsläget om de inte reser.

Förutsättningarna för mobilitet kan påverkas negativt på den lokala nivån, på grund av den barriäreffekt som tåginfrastruktur vanligen orsakar. Ur denna aspekt har hyperloop och magnetståg en möjlig fördel mot HSR, eftersom dessa tekniker i högre grad kan väntas gå på pyloner eller i tunnel.

Flera författare bekräftar att höghastighetsbanor inte nödvändigtvis innebär en allmän förbättring avseende tillgänglighet och jämlikhet, snarare tvärtom. Se exempelvis citat från Henriksson och Summerton (2016):

Den stora frågan är naturligtvis om det utifrån evidensen finns skäl att tro att HSR genom kortare restider skapar tillgänglighet och territoriell sammanhållning och i förlängningen jämlikhet. Översikten visar att svaret på frågan är "nja." Det finns potential, men vinsterna har visat sig vara mycket svåra att dra hem. Som Tomaney och Marques (2013) poängterar är det svårt att påvisa att HSR har lett till regional rättvis: den samlade forskningen pekar på att effekterna som bäst är tvetydiga och som sämst negativa. Det finns fall där tidigare ekonomiskt svaga städer eller regioner har fått ett uppsving efter HSR-utbyggnad. Det är dock svårt att avgöra om denna utveckling beror på HSR-sträckningen i sig eller en positiv planeringsprocess där regionerna har givits bättre förutsättningar på flera plan. För redan starka regioner eller städer kan HSR innebära en ännu mer positiv utveckling. Det finns alltså en uppenbar risk att HSR-satsningar cementerar befintliga mönster. Vi har också noterat att HSR kan ha positiva effekter på en nationell nivå, men där de regionala positiva effekterna uteblivit.

(Henriksson & Summerton, 2016)

Henriksson och Summerton (2016) delar också analysen att snabbare restider bidrar till regional ojämlikhet, och kan cementera ett redan etablerat mönster där tillgängligheten stärks i redan

starka regioner, på bekostnad av de svagare. De lyfter också fram systemets integrering som avgörande för att skapa social nytta.

Hastighet och restid som målinriktning för landtransporter kritiseras även av andra författare. Givoni och Banister (2012) menar att hastighet är den mindre viktiga aspekten när man planerar för HSR. De baserar detta resonemang på några olika punkter, exempelvis:

- Anslutningsresorna är en så stor del av den totala restiden att det är mycket viktigare att dessa kan göras effektivt än att höga hastigheter kan säkras på själva tåget.
- Stora investeringar i HSR riskerar att tränga ut och försvaga konventionella järnvägssystem.
- Den huvudsakliga anledningen för att utveckla järnvägen måste vara kapacitetsbrist.
- Pålitlighet, komfort, trygghet, säkerhet och turtäthet är viktigare faktorer än hastighet enligt författarna.

6.4 Förändrat landskap

En till viktig social aspekt som bör tas med är det förändrade landskap som en storskalig ny anläggning innebär. Winter (2015) skriver:

En markant social effekt av höghastighetsprojektet är också det förändrade landskap som blir följderna av helt nya banor i obruten mark. Invanda vyer kommer att försvinna. Naturområden, kulturmiljöer och bostäder kommer att bli bullerutsatta. Etablerade rörelsemönster och den lokala tillgängligheten kommer på många platser att bli avskuren. Enskilda personer kommer att drabbas särskilt.
(Winter, 2015)

Särskilt frågan om buller är en stor utmaning. Som tidigare uppmärksammat (se 2.2.4) bullrar tågen mycket mer i höga hastigheter. Även här är skillnaderna mellan teknikerna intressanta. Magnettåg i 500 km/h bullrar sannolikt mest, men tenderar samtidigt att bullra mindre än HSR i motsvarande hastighet.

6.5 Sammantagen analys

Möjligheten att resa långt och snabbt, som infrastruktur för snabba landtransporter tillåter, kan ge mycket positiva sociala effekter för ett flertal samhällsgrupper. Det är dock inte det samma som att en sådan anläggning nödvändigtvis är socialt hållbar till sin natur. Vår analys visar snarare på att allt snabbare transporter tenderar att gynna framförallt de som redan har det väl ställt, och därav spä på ojämlikhet. En intressant observation är att denna effekt i de flesta avseenden är starkare för de snabbaste transporterna. Både magnettåg och hyperloop tenderar att bidra till en större social ojämlikhet än vad som är fallet för HSR.

Det bör också poängteras att systemets integrering och bidrag till förbättring för den lokala trafiken är av stor betydelse för att en investering ska bidra till ökad tillgänglighet och jämlikhet. Även ur detta perspektiv skiljer HSR ut sig positivt i jämförelse med de konkurrerande teknikerna. Slutligen kan man konstatera att litteraturen pekar på att det ur ett rättviseperspektiv, i det allmänna fallet, tycks vara mer effektivt att investera i infrastruktur på lokal nivå än den typ av infrastruktur för regionalt och/eller nationellt resande som diskuteras i denna rapport, under förutsättning att det också har identifierats ett behov av sådana lokala investeringar.

7. SLUTSATS

7.1 Besvarande av forskningsfrågor

I detta kapitel besvaras de tre forskningsfrågorna som definierats i studiens syfte.

1. *I vilken mån bedöms snabba landtransporter ha potential att bidra till måluppfyllelse i enlighet med de transportpolitiska målen?*

Det transportpolitiska, övergripande, målet är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet. I vilken mån snabba landtransporter bidrar till samhällsekonomisk effektivitet enligt det konventionella sättet att beräkna går inte att ge ett entydigt svar på. Dels är kontexten för investeringen helt avgörande. Det beror på förutsättningarna hos de orter som knyts ihop, tågens trafikering, kapacitet på befintligt nät, med mera. Kostnader är förstås också av avgörande betydelse, och det finns mycket forskning som visar att investeringskostnad kan variera väldigt mycket beroende på var man väljer att bygga och vilken teknik man använder.

Studien visar att restiden har en helt avgörande betydelse vid nyttoberäkningarna, nyttorna beräknas bli mycket större vid snabbare hastighet. Hyperloop visar på klart störst restidsnytta (och därmed samhällsekonomisk nytta) trots att endast Oslo och Stockholm trafikeras i det observerade fallet. Vår beräkning inkluderar dock endast nyttor kopplat till de särskilda relationer som de nya tågen ska trafikera – påverkan på regionalt och lokalt resande har inte tagits med i beräkningen. Tidigare kalkyler visar att det regionala resandet kan få en stor positiv nyttoeffekt särskilt i fallet för järnväg och i viss mån även magnetåg. Därav kan man konstatera att nyttoeffekterna mellan alternativen sannolikt är mindre än vad kalkylen visar.

Huruvida snabba landtransporter tillför ytterligare, indirekta, effekter diskuteras under rubriken Wider Economic Impacts (WEI). Här förs ett kvalitativt resonemang om tänkbara effekter som kan uppstå av de olika investeringsalternativen. Transportinvesteringar kan till exempel fungera som en katalysator om att en plats kommer att utvecklas och därigenom öka den ekonomiska aktiviteten på platsen, detta kan trigga lokaliserings- och agglomerationseffekter. Ekonomiska interaktioner mellan företag (och mellan företag och konsument) blir djupare ju bättre transportsystemet är emellan dom.

Utifrån ett jämlikhetsperspektiv kan man konstatera att den samlade forskningen indikerar att snabba landtransporter riskerar att spå på snarare än motverka regional ojämlikhet. Detta innebär att regioner och grupper som redan har det väl ställt får ännu högre grad av tillgänglighet på bekostnad av en fortsatt utarmning av svagare regioner. Detta är en väntad effekt oavsett vald teknik som blir kraftigare vid kortare restider. För att snabba landtransporter ska kunna bidra till jämlik regional utveckling är det nödvändigt med god integrering med lokala transporter vid stationer, och att även de lokala transporterna främjas av investeringen, exempelvis genom utökade turer till följd av frigjord kapacitet.

Studien visar också att snabba landtransporter tenderar att gynna socioekonomiskt starka grupper och män i högre grad än kvinnor. Det har att göra med de olika gruppernas generella resmönster. Även här är det av avgörande betydelse om och i så fall hur investeringen bidrar till utveckling av resande på den lokala nivån, särskilt med gång, cykel och kollektivtrafik.

Regioner och kommuner fokuserar ofta på de något kortare resorna i sina mål- och strategidokument. De kommuner och regioner som skulle kunna påverkas av en ny fast länk mellan Stockholm och Oslo lyfter alla upp lokala och regionala resor som särskilt viktiga. Definitivt mellan huvudnoder, exempelvis de mellanmarknader som tagit upp i vår stråkstudie, men även pendeltågstrafik. För att bidra till målpuppfyllnad på den lokala/regionala nivån är det således framförallt denna typ av resande som behöver premieras. Detta är i bästa fall en sekundäreffekt av investering i snabba landtransporter. Det är intressant att anmärka att långväga resor inte är utpekade som särskilt viktiga på de högre nivåerna (exempelvis hos Trafikverket och EU). Här ligger fokus snarare på att utveckla och upprätthålla kvalitet på infrastrukturen i sig. En relevant frågeställning från målanalysen blir således om de snabba, långväga resorna bör vara tongivande när en infrastruktursatsning ska utvärderas.

2. Vilken av teknikerna hyperloop, magnetåg och HSR har bäst potential för målpuppfyllelse i en nordisk kontext och under vilka förutsättningar?

Om man bara ser till samhällsekonomiska nyttor har hyperloop störst potential i vår beräkning, följt av magnetåg och därefter HSR. En viktig anmärkning är dock att HSR-alternativet bedöms som bättre ur nästan alla avseenden som inte kvantifierats i kalkylen. Hur kalkylen skulle se ut om dessa nyttor kunde inkluderas är oklart, sannolikt hade nyttoeffekterna för hyperloop fortfarande varit störst, men skillnaderna mellan alternativen antagligen mindre. Dessutom pekar allt på att hyperloop skulle vara den överlägset dyraste tekniken att bygga och järnväg med all sannolikhet den billigaste, om man tar in perspektivet att järnvägen kan utnyttja befintlig infrastruktur och byggs för lägre hastigheter. Detta gäller specifikt på sträckan Stockholm – Oslo.

Sett utifrån sociala aspekter bedöms HSR vara det klart bästa alternativet, eftersom snabbare transporter och brist på integrering tenderar att bidra till social ojämlikhet och exkludering. Nyttorna för alla tekniker tenderar att gynna redan starka grupper, men denna effekt är större för magnetåg och ännu större för hyperloop. För långväga resande har magnetåg och hyperloop en fördel, men på lokal och regional nivå är HSR det starkare alternativet.

HSR och hyperloop är i sammanhanget extremer – hyperloop för restidsnyttor och därav samhällsekonomiskt värde – och HSR för kapacitet, integrering och jämlik regional utveckling. Här skulle man kunna anföra magnetåg som den perfekta kompromissen, med potentiellt större restidsnyttor till ett något högre pris. Detta vore ett misstag, eftersom HSRs största fördel är att det kan utgå från och integreras i ett befintligt system.

Man bör också lyfta fram den kritik som det restidsfokuserade paradigmet fått av flera författare - är högre hastighet verkligen bättre, ur samhällets synpunkt? I fallet för Stockholm – Oslo förefaller det tveksamt om de möjliga fördelar som en mycket högre dimensionerande hastighet kan ge kompenseras för möjliga nackdelar. Detta styrks av det faktum att man sedan länge har kunnat köra tåg på järnväg i betydligt högre hastigheter än vad som är fallet idag, men avstått. Den allmänna inställningen internationellt tycks vara att det helt enkelt inte är värt allt vad det hade krävt av förbättrad infrastruktur, sämre energieffektivitet, ökade driftkostnader, ökat buller, sämre kapacitet, med mera. Vi bedömer därför motiveringen att byta teknik för att få högre dimensionerande hastighet som svag.

En intressant fråga är hur utvärderingen hade fallit ut om man hade antagit samma dimensionerande hastighet för alla tekniker. En sådan utvärdering hade behövt fokusera ännu mer på teknikerna i sig, och skillnaderna dem emellan. Om man till exempel hade kunnat visa att magnetåg skulle vara billigare och mer energieffektivt än järnväg vid motsvarande hastighet, så finns där en uppenbar anledning att testa att byta teknik. Hur väl detta går att reda ut på förhand

är dock osäkert. Det finns många osäkerheter att ta hänsyn till, och magnetståg är fortfarande så pass oprövat även internationellt. Problemet med integrering finns också fortfarande kvar. Magnetståg har en uppenbart större konkurrenskraft i relationer där det idag helt saknas järnväg. I fallet för hyperloop påpekar ter Kuile och Beek (2020) att det är svårt att se poängen med långsam hyperloop, eftersom anläggningen kommer vara så dyr att bygga. Men, påpekar de, det kan finnas andra entreprenörer som arbetar med tekniken som resonerar annorlunda.

Man kan också lyfta in perspektivet att hyperloop inte nödvändigtvis i första hand ska jämföras med magnetståg och järnväg. Hyperloop, på det sätt som diskuterats i den här studien, kan inte ersätta tågtrafik. Men teoretiskt skulle det kunna bli ett substitut till flygtrafik, så frågan är om en jämförelse med långsiktig potential för hyperloop i relation till flyg vore mer relevant. Frågan om det skulle vara värt att anlägga fasta hyperloop-länkar för att konkurrera ut eller komplettera flygtrafiken kan vara intressant, givet flygens fortsatta tekniska utveckling. Frågan om huruvida det verkligen är snabbare transporter samhället behöver finns dock kvar att ta ställning till.

Vår studie tyder på att HSR har bäst potential för måluppfyllelse i Sverige, generellt. Med detta sagt finns det mer att utvärdera, och särskilda nisch-områden där de andra teknikerna kan vara värdefulla komplement.

3. Är nyttopotentialen ur ett samhällsperspektiv för magnetståg och/eller hyperloopteknik i Norden så pass stor att teknikerna är värda att utreda för investering om/när de är tekniskt redo?

Om målet är att korta restiderna i storregionala eller nationella reserelationer – och denna ambition trumfar alla negativa aspekter inklusive pris och regional integrering – kan dessa tekniker vara intressanta. Om målet är att helt konkurrera ut flygtrafiken, kan hyperloop vara ett långsiktigt alternativ. Även snabba magnetståg kan ha den effekten.

Sandén (2020) påpekar att den som väljer att testa en oprövad teknik tar en stor risk. Att exempelvis bygga testbanor för hyperloop eller magnetståg innebär en stor kostnad för den som gör det, men kan leda till tekniska framsteg som fler kan ta del av. Han resonerar vidare att det kan vara bättre med internationellt samarbete på en högre nivå, för att sprida risken. I den mån dessa tekniker ska provas i Europa, är det tänkbart att det borde vara en process driven av EU.

Om magnetståg eller hyperloop någonsin ska bli ett seriöst alternativ för långväga transporter i en större skala krävs internationellt samarbete och inriktningsbeslut där man väljer att bygga ut tekniken i flera olika länder, så att man kan få den typ av sammanbundna nätverk vi idag ser hos järnvägen. Det är svårt att se nyttan i ett allt mer fragmenterat system, där resenärer tvingas till fler byten.

Det går även att ifrågasätta om det verkligen är de långväga transporterna som är lämpligast. Magnetståg skulle kunna vara ett möjligt alternativ för exempelvis stadstrafik ("spårvagn") eller flygplatspendling. Sådana banor finns och byggs i Kina. I de fall där man anlägger helt nya stadsbanor är behovet av integrering med befintlig infrastruktur i vissa fall försumbar. Som tidigare poängterat är det inte tydligt så att magnetståg eller järnväg är ett bättre alternativ i allmän mening. Vi ser detta som ett intressant område för fortsatta studier.

7.2 Förslag på vidare studier

Det finns flera intressanta perspektiv att fördjupa efter denna studie. Nedan följer några exempel.

Djupgående teknisk jämförelse

Jämförelsen mellan teknikerna kan göras ännu mer ingående, fler relevanta aktörer kan intervjuas för att få en mer heltäckande bild av hur teknikerna skiljer sig åt. En mer heltäckande bild av teknikernas fördelar och brister kan bli ett nödvändigt underlag när detaljerade analyser av samhällseffekter ska göras.

Stråkstudie med samma dimensionerande hastighet

En viktig slutsats av vår studie har varit hur stor påverkan olika dimensionerande hastighet får, oberoende av teknik. Detta är en essentiell poäng, men kan också göra jämförelsen mellan teknikerna lite skev. En intressant fortsättning hade varit att genomföra en liknande utvärdering, men med samma eller liknande trafikering och dimensionerande hastighet med de olika teknikerna. Det vore intressant att se om magnetåg eller hyperloop skulle ha en tydlig konkurrensfördel i något avseende med ett sådant upplägg.

Stadsbana

Det går med fog att ställa sig frågan om långväga snabba landtransporter är det bästa tillämpningsområdet för hyperloop och magnetåg i en nordisk kontext. Det hade varit intressant att analysera hur konkurrenskraftiga dessa alternativa tekniker hade varit när nya, kortare, relativt sett långsammare banor ska byggas.

Fördjupning av flygperspektivet

Det klargjordes tidigt i studien att hyperloop inte primärt bör ses som en konkurrent till tågtrafik, om man fortsätter att planera för de hastigheter som hittills har diskuterats. Även övriga tekniker kan väntas ta stora marknadsandelar av flygtrafiken. Därav hade det varit en intressant fördjupning att se till vilka kommande investeringsbehov som har identifierats inom flygtrafiken och om dessa helt eller delvis kan ersättas med snabba landtransporter. Är det till exempel möjligt att på lång sikt lägga ner det kommersiella inrikesflyget med bibehållen tillgänglighet? Är det i så fall önskvärt?

Godstrafik

Godstrafik är ett perspektiv som vi har lämnat relativt utforskat i denna studie. Godstrafik har generellt inte samma anspråk på hastighet som passagerartrafik, men är ändå ett intressant perspektiv att fortsatt titta på. Kan magnetåg eller hyperloop vara ett alternativ för godstrafiken och kan godsnyttor för dessa tekniker konkurrera med de möjliga godsnyttor som uppkommer vid investering i HSR?

Investeringskostnader och påverkan under byggtid

Vi har inte kunnat göra kostnadsuppskattningar och kvantifierade effektbedömningar under byggtiden, trots att dessa perspektiv har avgörande betydelse. Om det är möjligt att sätta tillräckligt fasta ramar för att kunna göra en sådan jämförelse hade det varit intressant. Särskilt mellan magnetåg och HSR, där det möjligen kan finnas tillräckligt med tillförlitligt underlag. Vi bedömer att hyperloop är fortfarande allt för oprövat och tekniskt ofärdigt för att en sådan jämförelse ska vara möjlig.

8. REFERENSER

- Agrawal, S., & Prasad, N. (den 4 November 2019). India's 1st Hyperloop project: Travel between Mumbai and Pune in just 25 mins! Key details of unique project. *Financial Express*. Hämtat från <https://www.financialexpress.com/infrastructure/indias-1st-hyperloop-project-travel-between-mumbai-and-pune-in-just-25-mins-key-details-of-unique-project/1753602/>
- Albalete, D., & Bel, G. (2012). High-Speed Rail: Lessons for Policy Makers from Experiences Abroad. *Public Administration Review*, 72(3), 336-349.
- Améen, M., & Nelldal, B.-L. (den 9 Juni 2020). Konventionell järnvägsteknik är bättre än magnetåg – 6 skäl. *Ny Teknik*. Hämtat från <https://www.nyteknik.se/opinion/konventionell-jarnvagsteknik-ar-battre-an-magnettag-6-skal-6996875>
- Andersen, S. (2019). The Chuo Shinkansen Project: High Speed Rail in Japan. *The Asia-Pacific Journal* 17 (22).
- Andersson, E., Berg, M., Nelldal, B.-L., & Stichel, S. (2020). *Varför behövs Nya Stambanor i Sverige?* KTH Järnvägsgruppen, publikation 20-01.
- Andersson, E., Berg, M., Stichel, S., & Casanueva, C. (2018). *Rail Systems and Rail Vehicles, Part 1: Rail Systems*. KTH Railway Group.
- Arboga kommun. (2018). *Framtidens Arboga - Översiktsplan för Arboga kommun med utblick mot 2030*.
- Badinger, H. (2007). Has the EU's single market programme fostered competition? Testing for a Decrease in Mark-up Ratios in EU Industries. *Oxf. Bull. Econ. Stat.* 69 (4), ss. 497 - 519.
- Banister, D., & Thurstain-Goodwin, M. (2010). Quantification of the non-transport benefits from rail investment. *Journal of Transport Geography*, 19(2), 212-223.
- Banverket. (2006). *Järnvägsutredning inklusive miljökonsekvensbeskrivning (MKB) - Västlänken, en tågtunnel under Göteborg*. doi:BRVT 2006:03:01
- Barrow, K. (den 17 April 2019). JR Central's Shinkansen 'dual system' to create Japanese megaregion. *International Railway Journal*.
- Berg, M. (den 27 April 2020). (L. Glasare, Intervjuare)
- Beyazit, E. (2015). Are wider economic impacts of transport infrastructures always beneficial? Impacts of the Istanbul Metro on the generation of spatio-economic inequalities. *Journal of Transport Geography*, 45, 12-23.
- Blow, L., Fritz, E., Kircher, R., Klühspies, J., & Witt, M. (2018). Energy Consumption of Track-Based High-Speed Trains: Maglev Systems in Comparison with Wheel-Rail Systems. *Transportation Systems and Technology*. doi:10.17816/transsyst201843s1134-155
- Brown, J. (2003). Maglev Technology Comes of Age In Shanghai. *Civil Engineering*, 73(2), 14.
- Brümmer, L., Ahlberg, J., Kusoffsky, M., Krause, C., & Glasare, L. (2018). *Hyperloop - kontext och potential*. Ramboll.
- Börjesson, M. (2019). *Kan investeringar i transportinfrastruktur öka produktivitet och sysselsättning ?* Stockholm: SNS Förlag.
- Cass, N., Shove, E., & Urry, J. (2005). Social exclusion, mobility and access. *The Sociological Review*.
- Chen, C.-L., & Hall, P. (2012). The wider spatial-economic impacts of high-speed trains: a comparative case study of Manchester and Lille sub-regions. *Journal of Transport Geography*, 89-110.
- Chen, G., & de Abreu e Silva, J. (2013). Regional impacts of high-speed rail: a review of. *Transportation Letters*, 131-143.
- Chen, X., Tang, F., Huang, Z., & Wang, G. (2007). High-speed maglev noise impacts on residents: A case study in Shanghai. *Transportation Research Part D* 12, 437-448.

- Cheng, Y.-s., Loo, B. P., & Vickerman, R. (2015). High-speed rail networks, economic integration and regional specialisation in China and Europe. *Travel Behaviour and Society*, 1-14.
- China Daily. (2019). Construction begins on maglev line for tourist town in Central China. Hämtat från <http://www.chinadaily.com.cn/a/201908/07/WS5d4a3e87a310cf3e35564593.html>
- Clash, J. (2017). *Want To Ride A Commercial Train That Hits 268 MPH? Go To China*. Hämtat från [forbes.com](https://www.forbes.com/sites/jimclash/2017/11/03/want-to-ride-a-commercial-train-that-hits-268-mph-go-to-china/#7561db522260): <https://www.forbes.com/sites/jimclash/2017/11/03/want-to-ride-a-commercial-train-that-hits-268-mph-go-to-china/#7561db522260>
- Corfitsen, C. (den 19 Oktober 2019). *sr.se*. Hämtat från Dyrare nota för höghastighetstågen: <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=83&artikel=7324966>
- Dahlgren, T., Windh, R., Hohenthal, D., & Casselbrant, J. (den 11 Februari 2020). Vakuumtåg bättre investering än höghastighetstågen. *Göteborgs-Posten*. Hämtat från <https://www.gp.se/debatt/vakuumt%C3%A5g-b%C3%A4ttre-investering-%C3%A4n-h%C3%B6ghastighetst%C3%A5gen-1.23677507>
- Delft Hyperloop. (2020). *Safety Framework for the European Hyperloop Network - A detailed safety assessment of the hyperloop system*. Scalability Department.
- Department for Transport. (2018). *TAG UNIT A2.1, Wider Economic Impacts Appraisal*. London.
- Dhingra, M., Sharma, R. C., & Salmani, M. H. (2015). AN INTRODUCTION & OVERVIEW TO MAGNETICALLY LEVITATED TRAIN. *Journal of Science*, 5(11).
- Duranton, G. P. (2004). *Micro-foundations of urban agglomeration economies*. Elsevier.
- EasytourChina. (2020). *Good News! High-speed Maglev Railway from Kunming to Lijiang Will Be Built*. Hämtat från [easytourchina.com](https://www.easytourchina.com/blog-v1557-kunming-lijiang-maglev-railway-will-be-built): <https://www.easytourchina.com/blog-v1557-kunming-lijiang-maglev-railway-will-be-built>
- Edmond, C. (2017). *These are the world's fastest trains*. Hämtat från [weforum.org](https://www.weforum.org/agenda/2017/09/these-are-the-world-s-fastest-trains/): <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/these-are-the-world-s-fastest-trains/>
- Eliasson, J., & Fosgerau, M. (2019). Cost-benefit analysis of transport improvements in the presence of spillovers, matching and an income tax. *Economics of Transportation, Elsevier, vol. 18(C)*, 1-9.
- Energimyndigheten. (den 8 December 2020). *Nya forskningsprojekt ska bidra till mer hållbart bränsle för flyg*. Hämtat från [energimyndigheten.se](https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2019/nya-forskningsprojekt-ska-bidra-till-mer-hallbart-bransle-for-flyg/): <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2019/nya-forskningsprojekt-ska-bidra-till-mer-hallbart-bransle-for-flyg/>
- Europeiska kommissionen. (2011). *White paper - Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource*.
- Fritzson, C. (den 29 Oktober 2019). SJ: Snabbtågen billigare än kritikerna påstår. *Dagens industri*. Hämtat från <https://www.di.se/debatt/sj-snabbtagen-billigare-an-kritikerna-pastar/>
- Fröidh, O. (2010). *Resande och trafik med Gröna tåget*. Stockholm: KTH Järnvägsgruppen.
- Garfield, L. (den 20 Februari 2018). 15 remarkable images that show the 200-year evolution of the Hyperloop. *Business Insider*. Hämtat från <https://www.businessinsider.com/history-hyperloop-pneumatic-tubes-as-transportation-2017-8?r=US&IR=T>
- Gil Solá, A. (2003). *På väg mot jämställda arbetsresor? Vardagens mobilitet i förändring och förhandling*. Institutionen för Ekonomi och Samhälle, Avdelningen för kulturgeografi. Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet.
- Givoni, M. (2006). Development and Impact of the Modern High-speed Train: A Review. *Transport Reviews*, 26(5), 593-611.
- Givoni, M., & Banister, D. (2012). Speed: the less important element of the High-Speed Train. *Journal of Transport Geography*, 22, 306-307.
- Givoni, M., & Dobruszkes, F. (2013). A Review of Ex-Post Evidence for Mode Substitution and Induced Demand Following the Introduction of High-Speed Rail. *Transport Reviews*, 33(6), 720-742.

- Henriksson, M., & Summerton, J. (2016). *Höghastighetståg: effekter för lokal och regional utveckling samt förutsättningar för integrering med kollektivtrafik - en literaturoversikt*. Linköping: K2, Nationellt kunskapscentrum för kollektivtrafik.
- Hensher, D. A., Ellison, R. B., & Mulley, C. (2014). Assessing the employment agglomeration and social accessibility impacts of high speed rail in Eastern Australia. *Transportation*, 41, 463-493.
- Hidezaku, A., & Nobuo, K. (2017). End Game for Japan's Construction State - The Linear (Maglev) Shinkansen and Abenomics. *The Asia-Pacific Journal* 15 (12).
- IEA. (den 25 November 2018). *Energy intensity of passenger transport modes*. Hämtat från [iea.org: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-intensity-of-passenger-transport-modes-2018](https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-intensity-of-passenger-transport-modes-2018)
- J., V. A. (2016). Transport appraisal with land-use change. *working paper*, Oxford.
- James, E. M. (2005). *Understanding Community Severance Part 1: Views of Practitioners and Communities*. . Wokingham: TRL.
- Jones, P., & Lucas, K. (2012). The social consequences of transport decision-making: clarifying concepts, synthesising knowledge and assessing implications. *Journal of Transport Geography*, 21, 4-16.
- Karlsson, S., & Söderberg, C. (2017). *Med människan i fokus - En studie om sociala konsekvensbedömningar inom svensk trafikplanering*. KTH - Skolan för Arkitektur och Samhällsbyggnad.
- Katz-Rosene, R. (2017). To build or not to build? Competing narratives of high-speed rail development in Canada. *Mobilities*, 12(5), 758-777.
- KPMG, Setterwalls, Ramboll. (2016). *FS Links - Pre-feasibility study Stockholm -Helsinki using HyperloopOne technology*.
- Laird, J. J., & Venables, A. J. (den 24 februari 2017). Transport investment and economic performance: A framework for project appraisal. *Transport Policy*.
- Larsson, F. (den 30 April 2020). (L. Glasare, Intervjuare)
- Larsson, F., Thorsén, M., & Wigblad, R. (den 2 Maj 2017). Låt inte satsningen på snabbtåg bli en halvmesyr. *Göteborgs-posten*. Hämtat från <https://www.gp.se/debatt/l%C3%A5t-inte-satsningen-p%C3%A5-snabbt%C3%A5g-bli-en-halvmesyr-1.4255538>
- Larsson, Y. (2018). *Så mycket snabbare kan din resa bli med höghastighetståg*. Hämtat från [svt.se: https://www.svt.se/nyheter/inrikes/sa-mycket-snabbare-kan-din-resa-bli-med-hoghastighetstag](https://www.svt.se/nyheter/inrikes/sa-mycket-snabbare-kan-din-resa-bli-med-hoghastighetstag)
- Lee, H.-W., Kim, K.-C., & Lee, J. (2006). Review of Maglev Train Technologies. *IEEE transactions on magnetics* 42 (7).
- Liu, L., & Zhang, M. (2018). High-speed rail impacts on travel times, accessibility, and economic productivity: A benchmarking analysis in city-cluster regions of China. *Journal of Transport Geography*, 25-40.
- Lundberg, A.-I. (2011). *Konkurrens och samverkan mellan tåg och flyg - Del 1: Internationell jämförelse*. Avdelningen för trafik och logistik. KTH Arkitektur och samhällsbyggnad.
- McCurry, J. (den 21 April 2015). Japan's maglev train break world speed record with 600km/h test run. *The Guardian*.
- Monzón, A., Ortega, E., & López, E. (2010). *Social impacts of high speed rail projects: addressing spatial equity effects*. Centro de Investigación del Transporte, Universidad Politécnica de Madrid.
- Musk, E. (2013). *Hyperloop alpha*.
- Nelldal, B.-L. (2019). *Höghastighetsbanor - En investering för hållbart resande och godstrafik*. KTH Järnvägsgruppen, publikation 19-02.
- Ollivier, G., Sondhi, J., & Zhou, N. (2014). High-Speed Railways in China: A Look at Construction Costs. *China Transport Topics No. 9*.
- Oslo - Stockholm 2.55 AB. (2019). *Business case Oslo - Sthlm 2.55*.

- Persson, R. (2007). *Tilting trains: description and analysis of the present situation: literature study*. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Persson, R. (2008). *Motion sickness in tilting trains - Description and analysis of the present knowledge*. Royal Institute of Technology (KTH).
- Porter, J. (den 22 Juli 2019). Elon Musk promises new Hyperloop tunnel after speed record broken. *The Verge*. Hämtat från <https://www.theverge.com/2019/7/22/20703423/tum-hyperloop-record-463-kmph-spacex-elon-musk-competition>
- Regeringen. (den 26 03 2020). *Regeringens plan för infrastrukturen – så bygger vi Sverige starkt och hållbart*. Hämtat från [Regeringen.se](https://www.regeringen.se):
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/06/regeringens-plan-for-infrastrukturen---sa-bygger-vi-sverige-starkt-och-hallbart/>
- Regeringskansliet. (2020). *Mål för transportpolitiken*. Hämtat från [regeringen.se](https://www.regeringen.se):
<https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transporter-och-infrastruktur/mal-for-transporter-och-infrastruktur/>
- Region Värmland. (2014). *Värmlandsstrategin 2014-2040*.
- Region Örebro län. (2018). *Tillväxt och hållbar utveckling i Örebro län - Regional utvecklingsstrategi 2018-2030*.
- Rez, P. (2017). *The Simple Physics of Energy Use*. Oxford University Press.
- Rothengatter, W. (den 1 August 2017). Wider economic impacts of transport infrastructure investments: Relevant or negligible? *Transport Policy*.
- RSSB. (2017). *Hyperloop: concept, technologies and business model*. Rail Safety and Standards Board Ltd.
- Salomonsson, J., & Jussila Hammes, J. (2020). *Det kommersiella elflyget - verklighet eller dröm? En litteraturstudie över elflygets utsikter*. VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Sandén, B. (den 4 Maj 2020). (L. Glasare, & C. Söderberg, Intervjuare)
- Scordamaglia, D. (2015). *High-speed rail in the EU*. European Parliamentary Research Service. Hämtat från
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568350/EPRS_BRI\(2015\)568350_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568350/EPRS_BRI(2015)568350_EN.pdf)
- Sempler, K. (den 18 Januari 2006). Spårtaxi på väg att bli verklighet? *Ny Teknik*. Hämtat från <https://www.nyteknik.se/popularteknik/spartaxi-pa-vag-att-bli-verklighet-6370671>
- Simmonds, D. (2012). *Developing land-use/transport economic efficiency appraisal*.
- Sipilä, H. (2010). *Körtidsberäkningar för Gröna tåget - Analys av tågkonfigurationer*. KTH Arkitektur och samhällsbyggnad .
- SJ. (den 13 Januari 2020). *X 2000 blir X 40000*. Hämtat från [mynewsdesk.com](http://www.mynewsdesk.com):
<http://www.mynewsdesk.com/se/sj/pressreleases/x-2000-bli-x-40000-2959331>
- Stanley, J., Hensher, D. A., Stanley, J., Currie, G., Greene, W. H., & Vella-Brodrick, D. (2010). *Social exclusion and the value of mobility*. Institute of Transport and Logistics studies, The Australian Key Centre in Transport and Logistics Management. The University of Sydney.
- Statens Offentliga Utredningar. (2009). *Höghastighetsbanor – ett samhällsbygge för stärkt utveckling och konkurrenskraft*. doi:SOU 2009:74
- Stichel, S., Andersson, E., & Berg, M. (den 15 December 2019). "Därför är det rätt att bygga nya stambanor". *Svenska Dagbladet*. Hämtat från <https://www.svd.se/darfor-ar-det-ratt-att-bygga-nya-stambanor>
- Stockholms läns landsting. (2018). *Regional utvecklingsplan för Stockholmsregionen - RUFSS 2050*. doi:2018:10
- Stockholms stad. (2018). *Översiktsplan för Stockholms stad*.
- Sweco. (2017). *Oslo - Stockholm Nyttöanalys 2040*. Sweco Society.

- Tabeta, S. (den 17 April 2020). China looks to build new maglev rail line to boost economy. *Nikkei Asian Review*. Hämtat från <https://asia.nikkei.com/Business/Transportation/China-looks-to-build-new-maglev-rail-line-to-boost-economy>
- Temperton, J. (den 2 June 2018). *The strange tale of the hovertrain, the British hyperloop of the 1970s*. Hämtat från [wired.co.uk](https://www.wired.co.uk/article/british-hyperloop-hovertrain-maglev-trains): <https://www.wired.co.uk/article/british-hyperloop-hovertrain-maglev-trains>
- ter Kuile, J., & Beek, M. (den 29 April 2020). (L. Glasare, Intervjuare)
The Local. (den 22 September 2016). 10 years since horror crash on magnet-train's maiden voyage. *The Local*. Hämtat från <https://www.thelocal.de/20160922/10-years-since-magnet-train-crash-emsland-transrapid>
- Trafikverket. (2015). *Utbyggnadsstrategier och förhandlingsunderlag*. doi:2015:241
- Trafikverket. (2017). *Sträckorna in mot de större städerna med utbyggnad av höghastighetsjärnväg*. doi:2017:170
- Trafikverket. (2017). *Åtgärdsvalsstudie Förbättrad tillgänglighet inom stråket Stockholm - Oslo*. doi:TRV 2017/14854
- Trafikverket. (den 4 November 2019). *Om E4 Förbifart Stockholm-projektet*. Hämtat från [trafikverket.se](https://www.trafikverket.se/nara-dig/Stockholm/vi-bygger-och-forbatttrar/Forbifart-stockholm/Om-projektet/): <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Stockholm/vi-bygger-och-forbatttrar/Forbifart-stockholm/Om-projektet/>
- Trafikverket. (2020a). *Bakgrund till fyrspårsutbyggnaden*. Hämtat från [trafikverket.se](https://www.trafikverket.se/nara-dig/skane/vi-bygger-och-forbatttrar/sodra-stambanan-i-skane/lund-arlov/bakgrund/): <https://www.trafikverket.se/nara-dig/skane/vi-bygger-och-forbatttrar/sodra-stambanan-i-skane/lund-arlov/bakgrund/>
- Trafikverket. (2020b). *Om Ostlänken*. Hämtat från [trafikverket.se](https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-lan/Ostlanken/Om-projektet-Ostlanken-/): <https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-lan/Ostlanken/Om-projektet-Ostlanken-/>
- Trafikverket. (2020c). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0*. Trafikverket. Hämtat från [trafikverket.se](https://www.trafikverket.se/asek): <https://www.trafikverket.se/asek>
- Trafikverket. (2020d). *ASEK 7.0: Kapitel 4 Kalkylmodeller för samhällsekonomisk analys (CBA)*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2020e). *ASEK 7.0: Kapitel 5 Tillämpade kalkylmodeller och generella kalkylvärden*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2020f). *Beräkningshandledning trafik- och transportprognoser*. 47-51.
- Trafikverket. (2020g). *ASEK 7.0: Kapitel 12 Samhällsekonomisk kostnad för klimateffekter*.
- Transportstyrelsen. (den 8 December 2020). *Hållbara flygbränslen*. Hämtat från [transportstyrelsen.se](https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Klimat/Biobranslen/): <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Klimat/Biobranslen/>
- Trivector Traffic. (2015). *Analys av införande av krav på social konsekvensbeskrivning i infrastrukturplaneringen*. doi:2015:39
- U.S. Department of Transportation. (2018). *Baltimore - Washington. Superconducting Maglev Project - Alternatives Report*.
- United Nations Development Programme. (2020). *globalamalen.se*. Hämtat från [Globala målen](https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/): <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>
- Vanclay, F. (2003). International Principles for Social Impact Assessment. *Impact Assessment & Project Appraisal*, 21(1), 5-11.
- Vanclay, F., Estever, A. M., Aucamp, I., & Franks, D. M. (2015). *Social Impact Assessment: Guidance for assessing and managing the social impacts of projects*. International Association for Impact Assessment.
- Wellings, R. (2014). FAILURE TO TRANSFORM: HIGH-SPEED RAIL AND THE REGENERATION MYTH. *IEA Current Controversies Paper*.
- Venables, A. (2016). Transport appraisal with land-use change. *Working paper, Oxford*.
- Vickerman, R. (2015). High-speed rail and regional development: the case of intermediate stations. *Journal of Transport Geography*, 157-165.

- Vickerman, R. (2018). Can high-speed rail have a transformative effect on the economy? *Transport Policy*, 31-37.
- Wigblad, R. (2018). *Modernisera Sverige! Om snabba tåg som kommer i tid*. Stockholm: Arena idé.
- Wigblad, R. (den 27 Maj 2020). Magnettåg är den mest miljösmapta lösningen. *Ny Teknik*. Hämtat från <https://www.nytechnik.se/opinion/magnettag-ar-den-mest-miljosmapta-losningen-6996080>
- Wigblad, R., & DSMG. (den 18 Juni 2020). Brev till Lucas Glasare. Den svenska magnettågsgruppen (DSMG).
- Vilhelmson, B. (2002). *Rörlighet och förankring - Geografiska aspekter på människors välfärd*. Kulturgeografiska institutionen, Handelshögskolan. Göteborgs Universitet.
- Winter, K. (2015). *Sociala nyttor i Sverigeförhandlingen*. Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.
- Virgin Hyperloop One. (Juni 2020). *Facts & Frequently Asked Questions*. Hämtat från hyperloop-one.com: <https://hyperloop-one.com/facts-frequently-asked-questions>
- Vuchic, V., & Casello, J. M. (2002). An Evaluation of Maglev Technology and Its Comparison With High Speed Rail. *Transportation Quarterly*, 56(2), 33-49.
- Västerås stad. (2017). *Västerås översiktsplan 2026 - med utblick mot 2050*.
- Zhao, J., Yu, Y., Wang, X., & Kan, X. (2017). Economic impacts of accessibility gains: Case study of the Yangtze River Delta. *Habitat International*, 65-75.
- Årjängs kommun. (2016). *Översiktsplan 2050*.