

Höghastighetsjärnväg

– En hastighetsstudie på sträckan Malmö-
Stockholm



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggteknik - Järnvägsteknik

Examensarbete:

Hampus Svensson

© Copyright Hampus Svensson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2018

Populärvetenskaplig sammanfattning

Populationsökningen i Sverige medför att transportbehovet också ökar. Det ökande transportbehovet kan mötas genom att kapaciteten på järnvägen förbättras. För att möta det ökade transportbehovet på järnvägen planeras en höghastighetsjärnväg som beräknas vara i drift år 2035. Höghastighetsbanan ska då knyta samman de större städerna Stockholm, Göteborg och Malmö med en hastighet på upp till 320 km/h.

Denna rapport undersöker vilken hastighet som är mest lämplig på de olika delarna av sträckan mellan Stockholm och Malmö. Målet är att behålla restidskraven på 2 h och 30 minuter för ett direkttåg mellan dessa orter. Vissa sträckor kommer att dimensioneras för en högre hastighet medan andra sträckor dimensioneras för en lägre hastighet. Tunnlar och broar är kostnadsdrivande, vilket innebär att de ökar kostnaden. En minimering av broar och tunnlar sänker däremot kostnaden.

Beräkningarna baserades på ett så kallat exempelfordon som i denna studie är en Siemens Velaro E. En acceleration upp till 380 km/h som sedan direkt följs av en retardation får en sammanlagd sträcka på 102 km, detta visar på hur stora avstånd som krävs för att utnyttja de högsta hastigheterna. Med för små stationsavstånd är det alltså inte lönsamt att bygga järnväg för högre hastigheter. En jämförelsestudie av referensfordonet utförs på fordonstyperna CRH380BL och Shinkansen N700. Det resulterade i att Shinkansen N700 får en betydligt högre acceleration jämfört med Siemens Velaro E. En acceleration upp till 380 km/h som direkt följs av en retardation får en sträcka på 35 km.

Sträckan mellan Malmö och Stockholm kommer få en pendlingstid på approximativt 2 h 20 min och 30 sekunder för direkttåg samt 2 h och 36 minuter för tåg med uppehåll i Norrköping, Jönköping, Hässleholm och Lund med Siemens Velaro E. För Shinkansen N700 blir resultatet 2 h och 18 minuter för direkttåg och 2 h 32 minuter och 30 s för tåg med uppehåll. En hastighet på 380 km/h kommer att vara mest lämplig på sträckan mellan Jönköping och Hässleholm. Mellan Järna och Jönköping består sträckan av mer kurvor och en del hastighetsänkningar uppträder. Den lägsta hastigheten på sträckan kommer ligga på 125 km/h genom Norrköping då en kurva med kurvradien 660 meter begränsar hastigheten avsevärt.

För att genomlysna vilken kapacitet på sträckan som är rimlig togs en grafisk tidtabell fram, där det visade sig att elva avgångar per timme från Stockholm var genomförbart. Avgångarna består utav blandad trafik där fem tåg är höghastighetståg och sex tåg är interregionala tåg. För höghastighetsbanan beräknades den totala längden för broar och tunnlar till 82,12 km, vilket resulterar i en kostnad på 33,5 Mdr kronor.

Efter att ha genomfört hastighetsstudien anser jag att den tänka hastigheten på 320 km/h som STH bör ökas till 380 km/h. Sträckan mellan Hässleholm och Jönköping är kapabel till högre hastigheter än 320 km/h på grund av sin kurv fria utsträckning. På sträckan mellan Järna och Jönköping begränsar kurvradier och lutningar hastigheten. Med en hastighet på 380 km/h mellan Jönköping och Hässleholm kommer den totala tiden inte överstiga målet på 2 h och 30 min.

Nyckelord: Höghastighetsjärnväg, Framtid, Sverige, Rejlers, LTH, Hastighet, Kapacitet, Kostnad, Velaro E.

Abstract

The increased population in Sweden entails that the transport needs also increases. To increase the transport needs also a capacity improvement. The increased transport needs entails shall be in operation in year 2035. Due to the High-speed of the train, 320 km/h, the larger cities Stockholm, Gothenburg and Malmö receive a better connection as the commuter will reach the destination much faster.

This report examines the will speed that is most appropriate on the different parts of the route between Stockholm and Malmö. The goal is to keep the journey time on 2 h and 30 minutes for a direct train but some stretches should be charged with a higher speed and other with a lower speed. The main factors to an increase in price are tunnels and bridges, which means that a minimization of these constructions keeps the price down.

The calculations were based on Siemens Velaro E that forming reference vehicle. An acceleration up to 380 km/h that directly is followed by a deceleration get the total distance 102 km. This shows how big distances is required to use the highest speed. With to small station distance it is not profitable to build high-speed railways. A comparative study of the reference vehicle was performed on vehicle types CRH380BL and Shinkansen N700. It results in Shinkansen N700 has a higher acceleration than Siemens Velaro E.

The distance between Stockholm and Malmö will take 2 h 20 minutes and 30 seconds to travel with direct train, and 2 h and 36 minutes for trains with stops at Norrköping, Jönköping, Hässleholm and Lund with Siemens Velaro E. Using the Shinkansen N700 results in 2 h and 18 minutes by direct train, and 2 h 32 minutes and 30 seconds by train with stops. The speed at 380 km/h will be most appropriate on the distance between Jönköping and Hässleholm. The route between Järna and Jönköping is charged of more curves and a rate drop is possible in several parts. The lowest speed on the route is 125 km/h during Norrköping because a curve on 660 meter limits the speed.

A graphical table was made to see what capacity the new high-speed rail was possible for. The graphical table shows that eleven trips every hour was possible. The departures consist of mixed traffic with five high-speed train and

six interregional trains. The total distance of tunnels and bridges calculated to 82, 12 km, that gives a total cost on 33,5 billion SEK.

After conducting this study, I think that a top speed on 320 km/h should be increased to 380 km/h because the distance between Hässleholm and Jönköping is capable of higher speeds because of the straight stretch. The distance between Järna and Jönköping curve radius and inclusions will put down the speed limit and without a top speed on 380 km/h between Jönköping and Hässleholm the total time exceeds the deadline time on 2 h and 30 minutes.

Keywords: High-speed rail, Future, Sweden, Rejlers, LTH, Speed, Capacity, Cost, Velaro E.

Förord

Examensarbetet är det avslutade momentet på utbildningen Bygg-järnvägsteknik på Lunds tekniska högskola (LTH) vid Lunds universitet och har genomförts i samarbete med Rejlers AB. Undersökningen har utförts under vårterminen 2018 och omfattar 22.5 HP vilket innebär 15 veckors heltidsstudier.

Jag vill här passa på att tacka de personer som har hjälpt mig under arbetets gång. Först mina handledare Sven Assarsson (Rejlers AB) och Ingemar Braathen (LTH) som har gett mig möjligheten att genomföra detta lärorika projekt och tagit sin tid att dela med sig av sin kunskap som har varit till stor nytta under arbetets gång. Sedan vill jag även tacka Rejlers AB för ett varmt välkomnande och speciellt Sven Assarsson som delat med sig av kontakter runt omkring i landet för att kunna utföra detta arbete på en så hög nivå som möjligt. Till sist vill jag även tacka Mats Berg (KTH) och Bo Viberg (Rejlers AB) som har bidragit med information för att kunna utföra beräkningarna under arbetets gång.

Trevlig läsning!

Hampus Svensson

Helsingborg, Maj 2018

Ordlista

Adhesion: Energiförhållandet mellan hjul och räl.

Ballast: Makadam eller grus som är placerad under rälsen för att hålla upp rälerna på plats samt fördela kraften från tågen över banunderbyggnaden.

Betongsliper: Balk som fördelar järnvägsspårets last över banvallen.

Ekvivalent massa: När ett tåg sätts i rörelse tillkommer en rörelsemassa från hjul, drivaxlar med mera.

Gångmotstånd: Bromsande krafter i motsatt färdriktning.

Höghastighetsjärnväg: En höghastighetsbana är en järnväg som är avsedd för hastigheter över 250 km/h.

Höghastighetståg: Tåg som har en topphastighet över 250 km/h.

Höjdprofil: Den höjdnivå som området befinner sig över havet.

Interregionala tåg: Tåg som gör uppehåll på samtliga stationer med en topphastighet på 250 km/h.

Mdr: Miljarder.

Motorvagnståg: Spårfordon som har drivning på en eller flera hjulaxlar, och utrymme för passagerare.

Stambana: Benämning på bana av nationell betydelse med relativt mycket trafik.

Startdragkraft: Den dragkraft som tåget har vid start i färdriktning.

STH: Största tillåtna hastighet.

Sverigeförhandlingen: En utsedd grupp som arbetar med finansiering av den svenska höghastighetsjärnvägen, utökad kollektivtrafik och bostadsbyggande på uppdrag av regeringskansliet.

Tjänstevikt: Den sammanlagda vikten för fordonet.

TSD: EU:s tekniska specifikationer för driftskompatibilitet.

25 promille: 2,5 meter i höjdskillnad på 100 meter spårlängd.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte och mål	2
1.2 Undersökningsfrågor	3
1.3 Avgränsningar	4
2 Bakgrund	5
3 Nulägesbeskrivning	7
3.1 Höghastighetsbanan	7
3.2 Hastigheter på delar av banan	11
3.3 Referensfordon	12
4 Metod	14
4.1 Orientering kring frågeställningen	15
4.2 Acceleration och retardation	15
4.3 Rälsförhöjning	21
4.4 Kurvgeometri	22
4.5 Sträckning	25
4.6 Kostnader	35
4.7 Kapacitet på banan	37
5 Resultat	39
5.1 Acceleration och retardation påverkan	39
5.2 Tid och hastighet för Siemens Velaro E	39
5.3 Kostnadsberäkning	43
5.4 Kapacitet	44
6 Diskussion	46
6.1 Referensfordon	46
6.2 Höghastighetsbanan	46
6.3 Kostnader	47
6.4 Kapacitet på banan	48
7 Slutsatser	49
7.1 Höghastighetsbanan	49
7.2 Kostnader	50
7.3 Kapacitet på banan	50
7.4 Felkällor på beräkningar	50
7.5 Referensfordon	51
8 Referenser	52
Bilaga 1	55
Bilaga 2	56

1 Inledning

I dagens samhälle är de miljöfarliga utsläppen från motordrivna fordon allt för höga. De höga utsläppen av koldioxid (CO_2) bidrar till föroreningar och global uppvärmning. För att minska utsläppen av koldioxid måste tågtrafiken, som är ett miljövänligare alternativ, utvecklas bland annat genom en ökad attraktivitet. Målet är att få fler pendlare att välja att åka kollektivt istället för att ta bilen. För att åtgärda problemet bör en utveckling av höghastighetsbanor ske vilka gör det smidigare och bekvämare att resa under de längre sträckorna. Med en förbättrad och välutvecklad kollektivtrafik kommer fler personer att välja att åka kollektivt istället för att ta bilen eller inrikesflyget (VA.se, 2016). Detta innebär en utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra i framtida generationers möjlighet att tillgodose sina behov (Hydén, 2010).

Trafikeringen på järnvägen har under de senaste 25 åren ökat kraftigt med en förväntan att fortsätta göra det (Trafikverket, 2016b). Kapacitetsutnyttjandet börjar på en del sträckor att nå sin fulla potential, vilket medför problem när populationen ökar och fler tåg behövs på sträckorna. För att åtgärda problemet har Trafikverket tagit fram förslag på att bygga höghastighetsbanor på sträckorna Stockholm-Jönköping-Göteborg/Malmö. Med de nya höghastighetsbanorna kommer de större städerna knytas samman på ett bättre sätt och restiderna kommer minska dramatiskt (Trafikverket, 2017a).

En ny höghastighetsjärnväg med hastigheter upp mot 320 eller 380 km/h som ersätter dagens befintliga bana, med en STH på 200 km/h, kommer att konkurrera mot dagens inrikesflyg mellan Stockholm och Malmö. Flygtiden tar inte lika lång tid, men med en realistisk beräkning på tiden det tar att ta sig till flygplatsen och väntetiden på flygplatsen blir en restid på 2 h och 30 min med höghastighetståg genast mer tidseffektivt (VA.se, 2016). Även kopplingen mellan övriga Europa kommer att stärkas när höghastighetståg ska trafikera höghastighetsbanan. Tanken är också att höghastighetstågen även ska kunna köra på befintliga spår. Det medför att tågen kan fortsätta ner mot till exempel Köpenhamn och Hamburg (Sverigeförhandlingen, u.d.).

I denna rapport ligger fokus på höghastighetsbana på sträckan mellan Malmö och Stockholm. Studien ska undersöka vilka hastigheter det är relevant att köra med på specifika sträckor för att få en maximal restid på 2h och 30 min med ett direktåg mellan Stockholm och Malmö. Analyserna ska ge motiv till en högre kapacitet på den nya höghastighetsjärnvägen på sträckan Stockholm-Malmö. Med den sänkta restiden och ökade hastigheterna ska även kostnaderna minimeras. Den sänkta restiden och ökade hastigheterna ska resultera i att kapaciteten förbättras.

1.1 Syfte och mål

Syftet med denna tekniska rapport är att ta fram på vilka sträckor det är möjligt att höja hastigheten samt på vilka sträckor där en hastighetssänkning måste vidtas. Detta i syfte att få en så hållbar och kapacitetsrik höghastighetsjärnväg som möjligt. Beräkningar av den framtagna sträckningens kostnad ska också framföras för att få en rimlig totalkostnad för broar och tunnlar. Hastigheterna på sträckan ska vara lite under den maximalt tillåtna hastigheten genom kurvorna för att bland annat ge en ökad komfortnivå samt mindre slitage.

Trots sänkta kostnaderna för byggnationen ska restiden mellan start och slut destinationerna bibehållas. Målet är att den totala restiden ska hamna på 2 h och 30 min eller lägre för direktåg mellan Stockholm och Malmö.

Studien baseras på det projekt som Trafikverket håller på med idag. Målet är att ta fram så goda resultat som möjligt och påverka de beslut som ska behandlas vid val av hastighet på sträckans olika delar. Denna rapport ska även kunna användas som diskussionsunderlag vid framtida beslut inom planering av hastigheter på sträckans olika delar samt vid planering av kostnad och kapacitet.

1.2 Undersökningsfrågor

För att uppfylla examensarbetets syfte och mål är projektproblemet uppdelat i ett antal undersökningsfrågor. Frågorna som behandlas är listade nedan.

- Med vilka hastigheter är det möjligt att belasta sträckan Stockholm-Malmö med hänsyn till kurvradier och lutningar?
- Vad blir den totala restiden för ett direkttåg samt ett tåg med uppehåll på fyra mellanstationer om höghastighetsbanan projekteras för 320 km/h med undantag på 380 km/h mellan Jönköping och Hässleholm?
- Vilken är den ungefärliga kostnaden för sträckan mellan Stockholm och Malmö med hänsyn till broar och tunnlar?
- Vilka konsekvenser medför de olika hastigheterna vad det gäller kapacitet och tider?
- Vilken kapacitet är möjlig på banan med differentierade hastigheter?

Vid beräkning av kapacitet på banan nyttjas höghastighetståg som går direkt och höghastighetståg med uppehåll samt interregionaltåg som stannar på samtliga mellanstationer.

Hypotesen detta arbete baseras på är att öka hastigheten på de sträckor det är möjligt och anpassa hastigheten där kurvradier och lutningar begränsar hastigheten. Summan av detta ska resultera till en restid på högst 2 h och 30 min för ett direkttåg.

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet är av begränsad omfattning, 22,5 högskolepoäng (15 veckors heltidsstudier), vilket bidrar till en del avgränsningar, som medför en rimlig nivå. Rapportens avgränsningar lyder nedan och delas in i kategorierna fordon, bana samt övrigt.

1.3.1 Fordon

- Om hastigheten kommer att ökas ytterligare på vissa sträckor så kommer denna rapport inte ta hänsyn till buller som påverkar närliggande områden.
- För att få fram värden för acceleration och retardation används ett exempeltåg av typen Siemens Velaro E. Tåget är ett höghastighetsfordon som är anpassat för hastigheter upp till 400 km/h. Fordonets adhesion antas vara tillräcklig för att tillåta drift acceleration samt retardation.
- För att beräkna accelerationstid och accelerationssträcka för tåget från stillastående till STH görs beräkningarna utan kurvmotstånd och stigningsmotstånd. Även totalt ventilationsflöde och koefficienten C_0 är försummade i detta arbete.

1.3.2 Banan

- Banan är projekterad innanför korridorerna som är utförda av Trafikverket. Korridorerna består av en bredd på 30 km.
- Stationsavstånden är framtagna av den dragna sträckningen i programmet Google Earth Pro och är avrundade till närmsta heltal.
- Sträckningen är dragen inom de tänkta korridorerna som Trafikverket har lagt fram. Sträckningen är inte helt bestämd när detta arbete skrivs så framtida bana kan se lite annorlunda ut.

1.3.3 Övrigt

- Kostnadsberäkningarna är utförda på själva järnvägen och tar inte hänsyn till rivning/sabotage samt arbetskostnader.
- Många av de sträckor som inte består av broar eller tunnlar består också av för höga lutningar. Där får upphöjningar eller nedsänkningar göras som inte tagits med i kostnadsberäkningarna av detta arbete.

2 Bakgrund

Denna rapport inleds med en bakgrundbeskrivning allmänt om den svenska järnvägen från dåtid till nutid samt en nulägesbeskrivning om den framtida höghastighetsjärnvägen som är relevant för en inblick i min studie. De personer som är insatta i ämnet kan därför hoppa vidare direkt till avsnittet om acceleration och retardation som presenteras i kapitel 4.

Den svenska järnvägen togs i bruk under mitten av 1800-talet i samband med att industrialiseringen slog igenom. Den första statliga järnvägen i Sverige öppnades år 1856 på sträckan mellan Malmö och Lund och denna bana byggdes med normalspårvidden 1435 mm (Banguiden, u.d.). Det var en ganska sen byggnation i förhållandevis jämfört med övriga Europa som redan hade ett stort järnvägsnät under den tiden. Under slutet av 1800-talet fick utvecklingen riktig bra fart och även Sverige fick ett stort järnvägsnät (Banguiden, u.d.).

Under efterkrigstiden slog bilismen igenom och många järnvägar lades ner på grund av att bilen blev det dominerande transportmedlet. Inte förrän på senare 1980-tal togs järnvägen i akt igen då oljebristen härjade. Sverige var tidiga med att elektrifiera sina järnvägar och redan på 1970-talet försvann de sista ångloken. Under senare år handlar det om att bygga järnvägen miljövänligt med höga hastigheter för att få ner restiden. Den ökade hastigheten och minskade restiden ska även ge en bättre komfort för resenärerna då det ska vara bekvämt och smidigt att åka kollektivt. (Banguiden, u.d.).

Sverige har idag ett stort järnvägsnät som är hårt trafikerat på många sträckor. Det är dels mellan de större städerna Stockholm, Göteborg och Malmö som järnvägen börjar nå sin maximala kapacitet och en utveckling behöver åtgärdas för att järnvägen ska vara hållbar i framtiden. Det handlar om överbelastade tåg som medför att resenärer tvingas att stå upp under längre sträckor. Den överbelastade tågtrafiken medför att resenärer väljer att ta bilen istället som anses vara ett bekvämare pendlingsalternativ. Problematiken ska åtgärdas genom att höja kapaciteten som kommer bidra till en mer attraktiv kollektivtrafik (ETC, 2014).

För att åtgärda problematiken på den svenska järnvägen har Trafikverket beslutat att bygga höghastighetsjärnväg mellan de större städerna Stockholm,

Göteborg och Malmö. Målet är att få ner restiderna och knyta samman städerna samt avlasta de befintliga stambanorna. Den sträckning som planeras i dagens läge är Stockholm-Malmö och Stockholm-Göteborg. På dessa sträckor förväntas tågen belasta banan med hastigheter på 320 km/h och interregionaltågen på 250 km/h som kan jämföras med dagens X2000 som har en topphastighet på 200 km/h (SJ, 2018). Detta innebär även att kapaciteten kommer förbättras för godståg och regionaltåg på de befintliga stambanorna då den avlastas från en stor del tåg (Sverigeförhandlingen, u.d.).

En ny höghastighetsjärnväg bidrar till bättre tillgänglighet, kortare restider samt skapar en stark förbindelse med övriga Europa. Höghastighetsbanan beräknas stå klar och vara i drift på samtliga delsträckor år 2035 (Sverigeförhandlingen, u.d.).

3 Nulägesbeskrivning

Här presenteras Trafikverkets krav och planer för den tänkta höghastighetsjärnvägen mellan Stockholm-Göteborg/Malmö.

3.1 Höghastighetsbanan

Enligt Trafikverkets senaste beslut (2017) så ska höghastighetsjärnvägen byggas med anpassning för höghastighetståg på 320 km/h och även kunna anpassas för snabba interregionala tåg på 250 km/h (Trafikverket, 2017d). För att få banan att gå ihop med dessa höga hastigheter får sträckan inte ha för många starter och stopp. För många mellanstationer bidrar till att det blir svårare att hålla målets restid på 2h och 30 min för direkttåg mellan Stockholm och Malmö. Ju längre avstånd det är mellan stationerna desto större STH är möjlig och den konstanta topp hastigheten kan hållas en längre sträcka. Med längre stationsavstånd kommer även färre accelerationer och inbromsningar behöva göras som också bidrar till ökad restid.

Ett så jämt stationsavstånd med så få stationer som möjligt är det bästa för att få ut så hög kapacitet som möjligt. Ett mer jämnt stationsavstånd ger även möjlighet till smidigare omkörningar av de interregionala tågen som leder till en höjd kapacitet på banan (Lindfeldt, 2009).

Jämnare stationsavstånd medför en jämnare gång, vilket bidrar både till kortare restid samt är mer energisparande. Med mindre start och stopp kommer även slitaget att minska både på hjul och räler. För att sänka kostnaderna under drift bör energianvändningen vara så snål som möjligt. Under drift av ett höghastighetståg är energiförbrukningen som störst under start vid acceleration (Andersson & Berg, 2014). Vid konstant hastighet är energiförbrukningen avsevärt mindre. För att minska energiförbrukningen bör tåget inte ha fullt påslag vid acceleration. Dock så kommer det att bidra till en förlängd acceleration och kortare sträcka med konstant hastighet samt en längre total restid (Mats Berg, KTH).

Höghastighetsbanan är ett av de största projekten för infrastruktur någonsin i Sverige och kommer att byggas i etapper (Trafikverket, 2017c). Genom att bygga det nya spåret längst med befintliga sträckningar skapas en enorm

tillväxt så som nya arbetsmarknadsregioner, nya bostäder längst sträckningen och bättre förbindelsemöjligheter (Sverigeförhandlingen, u.d.). Även slitage och underhållet av de befintliga stambanorna kommer att minska då spåren avlastas. En förbättrad trafikering i södra Sverige kommer också påverka norra delarna av Sverige (Sverigeförhandlingen, u.d.).

De första etapperna som är planerade att byggas är mellan Järna och Linköping (Ostlänken) och Hässleholm-Lund. Därefter etapperna mellan Linköping- Tranås samt Göteborg-Borås. Den tredje etappen är Tranås till Jönköping. Sträckan mellan Jönköping och Hässleholm är den sista delen av sträckningen som kommer prioriteras. (Trafikverket, 2017c). I figur nedan visas hur den tänkta sträckningen ska se ut i stora drag.

Förslag till nationell plan 2018–2029 för etappvis utbyggnad av höghastighetsjärnväg

- 1 Ostlänken = Järna-Linköping
- 2 Hässleholm-Lund
- 3 Linköping-Kopplingspunkt Tranås/Aneby. Efter 2029
- 3 Göteborg-Borås Efter 2029
- 4 Kopplingspunkt Tranås/Aneby-Jönköping. Efter 2029
- 5 Jönköping-Borås, alternativt Jönköping-Hässleholm. Efter 2029



Figur 1: Höghastighetsjärnvägens tänkta sträckning (Trafikverket, 2017c).

Höghastighetsbanan ska gå från Stockholm ner till Jönköping där den sedan ska grenas ut i två delar, en mot Malmö och en mot Göteborg (Trafikverket, 2017c). Nedan listas de olika delarna av sträckan.

- Västra stambanan Stockholm-Järna
- Ostlänken Järna-Linköping
- Götalandsbanan Linköping-Borås
- Europakorridoren Jönköping-Lund
- Södra stambanan Lund-Malmö

För att Trafikverket ska få påbörja projektet av höghastighetsbanan måste de kommuner som påverkas av byggnationen ge godkännande innan projektet kan påbörjas. Där uppstår en del problematik då banan kommer ha ett begränsat antal stationer. Oftast vill kommunen ha tillgång till en station om banan ska dras genom deras kommun. Ett för högt antal stationer kommer att förlänga restiden som är angivet tidigare i texten. Dock så är det staten som har huvudordet och gör besluten men en del tidskrävande handlingar behöver vidtas ändå (Sverigeförhandlingen, u.d.).

På sträckan mellan Stockholm och Malmö har olika stationsalternativ framförts. Nedan listas den sträckning som ger det kortaste, snabbaste och billigaste alternativet enligt Trafikverket. Sträckan går i princip raka vägen från Malmö till Stockholm och är den fastställda sträckningen. I tabell 1 är de tänkta stationsavstånd på sträckan Malmö-Stockholm uppräddade (Trafikverket 2016). Utredningar har diskuterat om Ljungby ska vara ett stationsalternativ. Avstånden är förslag på de tänkta stationsavstånden och de kommer variera en del i kommande beräkningar på grund av mätningar utifrån den nya sträckningen. I utförandet av detta arbete kommer stationsavstånden beräknas på nytt men mellanstationerna som är listade kommer användas.

Stockholm-Järna	50 km
Järna-Vagnhärad	25 km
Vagnhärad-Nyköping	30 km
Nyköping-Norrköping	65 km
Norrköping-Linköping	25 km
Linköping-Tranås	60 km
Tranås-Jönköping	60 km
Jönköping-Värnamo	60 km
Värnamo-Hässleholm	120 km
Hässleholm-Lund	60 km
Lund-Malmö	20 km

Tabell 1: Stationsavstånd (Trafikverket 2016).

Sträckorna mellan stationerna varierar från 20 km till 120 km vilket är ett stort intervall. Stationerna är placerade i betydelsefulla städer för att så många

resenärer som möjligt ska välja att åka kollektivt. Den totala sträckan mellan Stockholm och Malmö med dessa avstånd blir 575 km och 505 km för den nya sträckningen mellan Järna och Lund.

Det mest optimala för en höghastighetsjärnväg är om banan endast trafikeras av höghastighetståg. Trafikering av godståg ska ske på den befintliga järnvägen. Enligt internationella fall är det denna metod som har varit mest lönsam och framgångsrik (PWC, 2015).

Den nya höghastighetsbanan ska byggas separat från de befintliga stambanorna för att få så god kapacitet som möjligt. Den nya banan kommer dock att ansluta till befintliga system i Järna samt nere i Lund.



Figur 2: Ballastfritt spår (Conico 8 million city).

Trafikverket (2017) föreslår att banan ska anläggas med vanlig makadamballast och betongsliper ifall hastigheten ska vara 250 km/h (Trafikverket, 2017e). Fördelen med ballasterat spår är att det är billigare tillverkning, dock är ballasterat spår dyrare att underhålla än specialtillverkade spår där rälsen fästs direkt på betongplattor (Trafikverket, 2018). Tidigare har en hastighet på 250 km/h legat som förslag men Trafikverket (2017) har tagit beslut att banan ska byggas för 320 km/h. Trafikverket har beslutat att spåret

byggas med ballastfritt spår i och med att en hastighet på 320 km/h ska vidtas. Fördelen med ballastfritt spår är att det medför mindre underhåll och underhållskostnader jämfört med ballasterat spår, dock så är det väldigt höga investeringskostnader. Underhållskostnaderna för ballasterat spår är 2,7 gånger högre än för ballastfritt spår (Trafikverket, 2018). I figur 2 ovan visas bild på ett icke ballasterat spår.

Vid beslut av hastighet på banan gäller det att beräkna hur stora kurvradier som kommer påverka hastigheten. För små kurvradier kommer påtvinga en hastighetssänkning för att inte urspårning ska förekomma. För att kunna beräkna vilken hastighet som är rimlig genom en kurva behöver även hänsyn till rälsförhöjningen inkludera (Trafikverket 2004). Vidare studier behandlas i avsnittet metod.

3.2 Hastigheter på delar av banan

Undersökningar av vilken hastighet som är lämplig på de olika delarna av höghastighetsbanan ska beräknas för att få fram en total restid. För att kunna beräkna vilka hastigheter som är mest lämpliga kommer sträckan delas in i etapper. Faktorer som påverkar om hastigheten kan höjas ytterligare är till exempel raka sträckor som är fria från kurvor under en längre period. Dessa sträckor ska då kompensera de mer kurvrika delarna som kräver en hastighetssänkning.

Sträckan ska ha så konstant hastighet som möjligt för att kapaciteten ska bli så hög som möjligt. Det kommer givetvis inte gå att ha en konstant hastighet från start till stopp på grund av stationsuppehåll, lutningar och kurvor på delar av sträckan. På de längsta avstånden mellan två stationer kan det vara möjligt att köra med STH och på de kortare avstånden får en reducerad hastighet vidtas. Bestämning av hastigheter på de olika delarna av banan sker etappvis och beskrivs i kapitel 4. I denna rapport är gränserna satta till 60 km minimum för att det ska vara lönsamt att komma upp till STH (Mats Berg, KTH). På sträckor som är längre än 60 km och inte består utav problematiska kurvor går det kanske att höja hastigheten till 380 km/h.

Förutom stationsavstånden för att ta fram vilka hastigheter som är lämpliga att ha på sträckan är acceleration och kurvor två bidragande faktorer. Med hjälp

av beräknade värdena för accelerationstid och accelerationssträcka går det att se var det är lönsamt med olika hastigheter. Med förutsättningar på att beräkningarna även kommer göras på ett tåg som ska ha uppehåll på fyra mellanstationer kommer acceleration och retardation bidra till en ökad restid för ”tåget med uppehåll”.

På grund av kapacitetsskäl är det inte lönsamt att laborera med hastigheterna mellan Malmö-Lund och Stockholm-Järna. Där används istället de befintliga tiderna som är 11 minuter mellan Malmö-Lund och 18 minuter och 30 sekunder för Stockholm-Järna (Fernlöf, Pär).

Vid stationsuppehåll för ett höghastighetståg beräknas uppehållstiden till 2 minuter för stora orter och 1 minut för små orter (Trafikverket, 2017f). Sträckan mellan Stockholm och Malmö belastas endast av större städer och därför används uppehållstiden 2 minuter både för höghastighetståg och interregionala tåg.

3.3 Referensfordon

För att kunna göra de olika beräkningarna för acceleration och retardation behövs data på hur ett höghastighetstågs egenskaper ser ut. Sverige har inte tagit fram vilket tåg som är tänkt att användas på den framtida höghastighetsbanan i och med en teknikutveckling kommer ske under den långa byggprocessen. För att ta fram en ungefärlig information gällande acceleration och retardation har ett exempeltåg tagits fram. Tåget har valts med avseende för att klara av de förutsättningarna som behövs för att köra på en höghastighetsbana.

Exempeltåget som har valts att användas för de olika beräkningarna är det tyska tåget Siemens Velaro E. Tåget har en längd på antingen 200 meter eller 400 meter och kan nå hastigheter upp till 400 km/h. I detta arbete är beräkningarna utförda för tågets längd på 200 meter som har en rymlighet på 405 resenärer (Siemens, u.d.).

Tjänstevikt	439 ton
Max last för 200 meter tåg (405 passagerare)	36,45 ton
Startdragkraft	283 kN
Max framdrivningseffekt (Hjulen)	8800 kW
Elektrifiering	AC 25 kV/50Hz
Fordonets bredd	2950 mm
Fordonets höjd	3890 mm

Tabell 2: exempeltågets egenskaper (Siemens, u.d.).

Tågegenskaperna används främst för att beräkna acceleration och retardation vid de olika hastighetsintervallen för att få fram sträcka och tid för acceleration och retardation längre fram i arbetet. För att beräkna maxlasten görs ett antagande av en vikt på 90 kg för varje passagerare.

Med relativt masstillskott menas den masskraft som tillkommer från hjul och drivaxlar när ett fordon sätts i rörelse. Det relativa masstillskottet är valt till 8 % för fordonet. Detta är ett antaget värde då det står i boken ”järnvägssystem och spårfordon” att för motorvagnståg brukar masstillskottet vara 6-10 %. Ett medelvärde på 8 % känns som ett rimligt beräkningsvärde.

Enligt KTH så behålls startdragkraften vid ökad hastighet från stillastående tills effekten begränsar dragkraften. Vid högre hastigheter behålls effekten konstant så länge tåget accelererar. Vi försummar adhesionen för detta tåg då underlaget antas vara under normala förhållanden (Andersson & Berg, 2014).

4 Metod

Metoden beskriver händelseförloppet i de olika delarna. Examensarbetet baseras på information från intervjuer av olika professorer och konsulter som arbetar inom planering av höghastighetsbanan, tekniska rapporter, föreläsningspresentationer, kursböcker, webbkällor samt tidigare examensarbeten inom liknande område.

Första steget var att ta fram information för att kunna beräkna accelerationstid, retardationstid, accelerationssträcka och retardationssträcka. För att kunna genomföra beräkningarna togs exempeltåget, Siemens Velaro E, fram som beräkningsunderlag. De framtagna start- och stopptiderna behandlades även med hänsyn till rälsförhöjningar samt kurvradier på de olika delarna av sträckan.

Efter framställning av acceleration och retardation var nästa steg att ta fram den tänkta korridoren som den nya järnvägen ska projekteras innanför. Inom denna korridor drogs ett förslag på en tänkt sträckning med hänsyn till kurvradier och andra faktorer som påverkar hastigheten. Med hjälp av den dragna sträckningen beräknades de hastigheter som var mest lönsamma på olika delar av sträckan fram.

Med hjälp av den projekterade sträckningen och de tänkta hastigheterna på delar av sträckan beräknades restiden för ett direkttåg det vill säga ett tåg som kör från Stockholm till Malmö utan uppehåll. Restiden beräknades även för ett tåg som har uppehåll i Norrköping, Jönköping, Hässleholm och Lund.

Kostnadsberäkningarna genomfördes på sträckan mellan Järna och Lund. Kostnaderna beräknades för att bygga spåret anpassat för de högsta möjliga hastigheterna med hänsyn till broar och tunnar. För detta används olika kalkylmetoder används för att få fram ett bra resultat. (Bo Viberg)

Den sista delen av projektet bestod av en kapacitetsberäkning som innebar att få fram förslag på hur många tåg sträckan kan belastas av under en timme.

Avslutningsvis sammanställdes den samlade informationen för att få fram ett slutligt resultat. Resultatet jämfördes med Trafikverkets liknande beräkningar för att se om det verkade rimligt. Val av fel beräkningsunderlag eller små slarvfel kunde resultera i att resultatet skulle bli helt oanvändbart. För att detta inte skulle förekomma var källkritik en viktig punkt.

4.1 Orientering kring frågeställningen

Innan alla beräkningar och utredningar påbörjades var det viktigt att analysera själva frågorna i frågeställningen. Det var viktigt att koncentrera sig på vad frågorna egentligen syftade till för att hitta en metod att besvara frågeställningen på. Genom att läsa Trafikverkets rapporter om höghastighetsjärnvägen och syftet med den bidrog till mer erfarenhet. I läsandet av rapporter var det viktigt med källkritisk granskning för att nå trovärdiga resultat. De referenser som varit mest relevanta i detta arbete är Trafikverket och Sverigeförhandlingen då de håller på med samma utredning.

4.2 Acceleration och retardation

För att få fram underlag till vilken hastighet som är rimlig på en sträcka behöver acceleration och retardation beräknas med hänsyn till exempeltåget. Med en sammanställning av accelerationssträckan och bromssträckan går det att se på vilka avstånd det är lönsamt att accelerera upp till en viss hastighet. Om accelerationen upp till en viss hastighet kräver en lång sträcka och avståndet till det är dags att påbörja retardationen är kort är det bättre att sänka hastigheten på sträckan för att hålla en konstant hastighet under en längre tid. En för låg hastighet är också negativ då den ökar restiden i och med den konstanta hastigheten blir för låg, det handlar om att hitta en jämvikt mellan acceleration, konstant hastighet och bromssträcka. Mats Berg, KTH bidrog mycket i denna fas med kontroller av resulterande beräkningar.

4.2.1 Acceleration

För att beräkna accelerationstid och accelerationssträcka behöver medelaccelerationen först beräknas. Följande formel används för att beräkna medelaccelerationen. Medelaccelerationen påverkas av startdragkraften, gångmotståndet och den ekvivalenta massan (Andersson & Berg, 2014).

$$\bar{a} = \frac{\bar{F} - \bar{D}}{M_e}$$

F = Startdragkraft

D = Gångmotstånd

M_e = Ekvivalent massa

Startdragkraft

Startdragkraften är riktad i färdriktning, alltså i motsatt riktning mot gångmotståndet. Startdragkraften hålls konstant upp till en hastighet där den kommer begränsas av effekten. Det är effekten nere vid hjulen som begränsar startdragkraften när den inte längre är tillräcklig för ett fullt påslag. Efter det att startdragkraften inte är konstant längre blir den lägre ju högre hastigheten är. Formeln för effekten presenteras nedan (Andersson & Berg, 2014).

$$P = F \cdot v$$

Omskrivning av formeln och insatta värden från exempeltågets egenskaper resulterar i att effekten begränsar startdragkraften vid 31 m/s. Vid högre hastigheter än 31 m/s blir startdragkraften mindre och mindre.

$$v = \frac{P}{F} = \frac{8800m}{283s} = 31 \text{ m/s} \approx 112 \text{ km/h}$$

Gångmotstånd

Gångmotståndet är det motstånd som verkar i motsatt färdriktning vid acceleration. Ju högre gångmotstånd desto lägre kommer accelerationen bli. Fordonets utformning är en faktor som avsevärt påverkar gångmotståndet. Det totala gångmotståndet består av luftmotstånd, mekaniskt motstånd, stigningsmotstånd och kurvmotstånd (Andersson & Berg, 2014). I detta arbete försummas stigningsmotstånd och kurvmotstånd.

$$D = D_L + D_M + D_S + D_K$$

Luftmotstånd

Inte förrän på senare år har luftmotståndet blivit mer uppmärksammat i och med att tågen kör med allt högre hastigheter. Vid högre hastigheter är luftmotståndet det dominerande motståndet, det gäller speciellt för hastigheter

över 160 km/h. Faktorer som påverkar luftmotståndet är utformningen av tåget med hänsyn till tvärsnittsarea och mellanrum från vagn till vagn. Med en spetsig nos, mindre tvärsnittsarea och så lite öppna utrymmen som möjligt kommer luftmotståndet minimeras (Andersson & Berg, 2014). Formeln för luftmotståndet presenteras nedan och i detta arbete beräknas det med hänsyn till luftens densitet, tågets tvärsnittsarea, utformning av tåget samt hastigheten. Faktorerna i högerledet försummas då de har en obetydlig påverkan.

$$D_L = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_D \cdot v^2 + (q + C_0 \cdot L_T) \cdot v$$

$$C_D = C_p + C_L \cdot L_T$$

C_p = Tryckmotståndskoefficient som inte ändras med tåglängden.

C_L = Längdmotståndskoefficient (Vagnsmellanrum och utstickande detaljer).

Tryckmotståndskoefficienten varierar normalt mellan 0,2-0,7 och är vald till 0,2 i detta arbete då tåget förutses ha god utformning. För längdmotståndskoefficienten är normala värden 0,003-0,005 för höghastighetståg (Spårfordons dynamik). I detta arbete är den vald till 0,003.

Mekaniskt motstånd

Det mekaniska motståndet är konstant för alla hastigheter och beräknas som 4,2 kN (Mats Berg, KTH).

Ekvivalent massa

Den ekvivalenta massan beräknas med förutsättning att tåget är fullsatt och att ett relativt masstillskott på 8 % lyder. Relativt masstillskott innebär en extra vikt på grund av att tåget är i rörelse. Detta resulterar i en ekvivalent massa på 511 ton för exempeltåget.

$$M_e = 439 \cdot 1,08 + 36,45 = 510,57 \text{ ton}$$

Accelerationssträcka och accelerationstid

I tabell 3 beräknas accelerationstid och accelerationssträcka ut för exempeltåget Siemens Velaro E från stillastående till 380 km/h.

Beräkningarna är utförda med förutsättning att accelerationen sker på ett horisontellt plan utan stignings och kurvmotstånd. Accelerationen är inte konstant då gångmotståndet ökar vid ökad hastighet. Accelerationen kommer att vara störst vid start och sedan trappas av desto högre hastigheten blir på grund av det motverkande gångmotståndet. Vid högre hastigheter går det här att se hur luftmotståndet är det dominerade motståndet, speciellt vid 380 km/h där luftmotståndet är 66,51 kN. Enligt tabell 3 är accelerationstiden från stillastående till 320 km/h 418 sekunder, som medför en accelerationssträcka på ungefär 2,5 mil i avrundat tal. Enligt föreskrifterna för Siemens Velaro E ska accelerationstiden vara 380 sekunder för ett tåg som är tomt.

Accelerationstiden på 418 sekunder ses som ett rimligt värde när tåget är fullsatt.

$v \left(\frac{km}{h}\right)$	$F (kN)$	$D_L (kN)$	$D_M (kN)$	$D (kN)$	$a \left(\frac{m}{s^2}\right)$	$\Delta t (s)$	$t (s)$	$\Delta S (m)$	$S (m)$
0 + ε	283	0	4.2	4.20	0	0	0	0	0
50	283	1,15	4.2	5,35	0,54	25,72	25,72	178,61	178,61
125	253	7,2	4.2	11,40	0,47	44,33	70,05	1077,47	1256,08
130	244	7,78	4.2	11,98	0,45	3,00	73,05	106,25	1362,33
170	186	13,31	4.2	17,51	0,33	33,7	105,2	1404,17	2749,82
210	151	20,31	4.2	24,51	0,24	46,3	151,5	2443,61	5193,43
230	138	24,37	4.2	28,57	0,21	26,46	177,96	1617,00	6810,43
250	127	28,79	4,2	32,99	0,18	30,86	208,82	2057,33	8867,76
320	99	47,17	4,2	51,37	0,093	209,00	417,82	16545,83	25413,59
380	83	66,51	4,2	70,71	0,024	694,44	1112,26	67515,00	92928,59

Tabell 3: accelerationssträcka och accelerationstid beroende av gångmotståndet för Siemens Velaro E.

Med en accelerationssträcka på drygt 25 km upp till 320 km/h samt 93 km upp till 380 km/h är det inte lönsamt att köra med de högsta hastigheterna på de sträckor som har lägre stationsavstånd. Till exempel på delsträckorna mellan Malmö-Lund, Linköping-Norrköping, Norrköping-Vagnhärad samt Vagnhärad-Järna som har ett avstånd under 60 km. Även vid retardation (inbromsning) tar det lång tid att komma ner till stillastående igen vid de högre hastigheterna. Det gäller att komma upp i en hastighet som är rimlig för sträckans längd för att undvika för mycket fokus på acceleration och retardation som bidrar till ökad energiförbrukning samt ökat slitage på hjul och räler.

Accelerationen är en viktig parameter att ta hänsyn till då tiden från det att tåget står stilla upp till STH kan beräknas och även för accelerationer mellan olika hastighets intervaller. Med hjälp av accelerationstiden och accelerationssträckan går det att se vilken hastighet som är lämplig på olika sträckor beroende av stationsavstånd.

4.2.2 Jämförelsestudie av referensfordon

Undersökningar utförs även för ytterligare två exempelfordon. För det Kinesiska tåget CRH380BL blir accelerationen likt accelerationen för Siemens Velaro E. Det kinesiska tåget har en startdragkraft på 515 kN jämfört med Siemens Velaro E som har en startdragkraft på 283 kN. Anledningen till att accelerationen inte blir högre för det kinesiska tåget beror på att det är 400 meter långt, vilket höjer den ekvivalenta massan till 1150 ton. En längd på 200 meter hade resulterat i accelerationer på upp till $0,8 \frac{m}{s^2}$ till 170 km/h (CRC, 2013).

$v \left(\frac{km}{h} \right)$	$a \left(\frac{m}{s^2} \right)$
$0 + \varepsilon$	0
50	0,44
125	0,43
130	0,43
170	0,31
210	0,24
230	0,21
250	0,18
320	0,10
380	0,04

Tabell 4: Accelerationsintervaller för CRH380BL.

De andra fordonen som jämförs är Shinkansen N700. Shinkansen N700 är ett Japanskt höghastighetståg som har en högre acceleration än både Siemens Velaro E och det kinesiska tåget CRH380BL. Fordonet är 430 meter långt och har en startdragkraft på 600 kN. Shinkansen N700 är utrustat för en hastighet på 320 km/h men den höga effekten på 17080 KW ger möjligheter för högre hastigheter (Daniels, 2008).

Tjänstevikt	715 ton
Max last för 430 meter tåg (1323 passagerare)	119,07 ton
Startdragkraft	600 kN
Max framdrivningseffekt (Hjulen)	17080 kW
Elektrifiering	AC 25 kV/50Hz
Fordonets bredd	3360 mm
Fordonets höjd	3500 mm

Tabell 5: Exempeltågets egenskaper (Daniels, 2008).

$$M_e = 715 \cdot 1,08 + 119,07 = 891,27 \text{ ton}$$

Fordonet har en helt slät undersida, vilket medför att luftmotståndskoefficienten C_D blir lägre (Braathen, Ingemar).

$v \left(\frac{km}{h}\right)$	$F \text{ (kN)}$	$D_L \text{ (kN)}$	$D_M \text{ (kN)}$	$D \text{ (kN)}$	$a \left(\frac{m}{s^2}\right)$	$\Delta t \text{ (s)}$	$t \text{ (s)}$	$\Delta S \text{ (m)}$	$S \text{ (m)}$
0 + ε	600	0	4,2	4,20	0	0	0	0	0
50	600	0,30	4,2	4,50	0,67	20,73	20,73	143,96	143,96
125	492	1,85	4,2	6,05	0,55	37,88	58,61	920,69	1064,65
130	473	2,00	4,2	6,20	0,52	2,67	61,28	94,56	1159,21
170	362	3,42	4,2	7,62	0,40	27,78	89,06	1157,50	2316,71
210	293	5,22	4,2	9,42	0,32	34,72	123,78	1832,44	4149,15
230	267	6,26	4,2	10,46	0,29	19,16	142,94	1170,89	5320,04
250	246	7,40	4,2	11,60	0,26	21,37	164,31	1424,67	6744,71
320	192	12,12	4,2	16,32	0,20	97,22	261,53	7696,58	14441,29
380	162	17,09	4,2	21,29	0,16	104,17	365,70	10127,64	24568,93

Tabell 6: accelerationssträcka och accelerationstid beroende av gångmotståndet för Shinkansen N700.

4.2.3 Bromssträcka

För att ta fram beräkningar på vilken hastighet som ska användas på de olika delarna av banan är det också viktigt att ta hänsyn till retardationen. Enligt hemsidan för Siemens Velaro E står det att retardationssträckan är 3900 meter från 320-0 km/h, dock används inte fullt bromspådrag vid ordinarie drift då det medför förslitningsskador med mera. Ett rimligt medelvärde för retardationen vid driftbromsning är en konstant retardation på $0,6 \text{ m/s}^2$ (Sven Assarsson). Då blir retardationstiden 176 sekunder och retardationssträckan 9285 meter för 380-0 km/h samt retardationstid 148 sekunder och retardationssträcka 6584 meter för 320-0 km/h. Den totala acceleration och bromssträckan blir då 31,6 km från 320 km/h till stillastående. Den totala tiden

för acceleration och retardation blir 562 sekunder ifall tåget accelererar upp till 320 km/h och direkt där efter påbörjar en inbromsning.

Formel för retardationssträcka vid konstant retardation (Andersson & Berg, 2014).

$$s_b = \frac{(v_s)^2}{2r}$$

Tabell 7 redovisar retardationstid och retardationssträcka för olika hastighetsintervall. I och med att retardationen hålls konstant framstår det inte lika mycket variationer som för accelerationen.

$v \left(\frac{km}{h}\right)$	$t \text{ (s)}$	$S \text{ (m)}$
250 – 125	58	3014,00
250 – 170	37	2160,50
320 – 230	42	3182,87
230 – 130	46	2314,81
380 – 320	28	2700,62
320 – 200	56	4012,36
125 – 0	58	1004,70
320 – 0	148	6584,36
380 – 0	176	9284,97

Tabell 7: retardationstid och retardationssträcka från starthastighet till sluthastighet

4.3 Rälsförhöjning

Rälsförhöjning anordnas normalt för cirkulär- och övergångskurvor i syfte att ytterrälen ska ligga i högre höjd än innerrälen. Syftet är att minska centrifugalkraften som påverkar de sidokrafter som uppstår vid kurvgång samt att ge en bättre komfort (Rälsförhöjning, 2013). Rälsförhöjning används främst för att kunna beräkna de tillåtna kurvradierna för cirkulär och övergångskurvorna på den tänkta sträckningen som behandlas i kapitel 4.4.

Med banor för höga hastigheter är det extra viktigt att ha en rälsförhöjning i kurvor för att minimera riskerna. För att minska risken för urspårning och göra komforten bättre för resenärerna är det bättre att ha ett rälsförhöjningsöverskott än en rälsförhöjningsbrist när det gäller tåg med högre hastighet (Andersson & Berg, 2014). Med ett rälsförhöjningsöverskott menas att

rälsförhöjningen är högre än den teoretiska rälsförhöjningen. Utan rälsförhöjning kommer tåget att spåra ur lätt när det passerar en kurva. Rälsförhöjning bidrar även till att kurvan kan anpassas för en högre hastighet.

Ett för stort rälsförhöjningsöverskott ger dock problem ifall ett tåg tvingas stå stilla i kurvan. Ett stillastående tåg där överskott råder och en stark sidovind, medför en ökad risk att tåget välter inåt i kurvan. Ett rälsförhöjningsöverskott används främst på banor som är projekterade för trafik med högre hastigheter. För järnvägar som projekteras för trafik med lägre hastigheter såsom godståg är det bättre att ha en rälsförhöjningsbrist än ett rälsförhöjningsöverskott (Andersson & Berg, 2014).

För höghastighetsbanan ska rälsförhöjningen vara 180 mm. Det är ett högre mått än vad som normalt används i Sverige. Men när spåret endast ska trafikeras av tåg med höga hastigheter på 250 km/h och uppåt går det bra med högre rälsförhöjning.

För hastigheter över 300 km/h är det nu tillåtet att ha en rälsförhöjningsbrist på $h_b = 100$ mm (tidigare 80 mm) enligt TSI Infra. Om tågen är utrustade med korglutning kan en lägre rälsförhöjningsbrist vara tillåten. I denna tekniska rapport utförs beräkningarna med förutsättningar att inte alla tåg kommer ha korglutning och därför antas rälsförhöjningsbrist $h_b = 100$ mm.

4.4 Kurvgeometri

Kurvgeometrin är en av de viktigaste faktorerna som påverkar vilken hastighet ett tåg kan köras med. I höga hastigheter kan inte vilken kurvgeometri som helst användas. Det gäller att noga räkna på vilka mått kurvan kan ha vid en viss hastighet. En viss säkerhetsmarginal brukar också användas för att minska risken för urspårning.

En del sträckor av höghastighetsbanan kommer inte klara av de högsta hastigheterna på grund av kurvorna är för små för den maximala hastigheten. Där gäller det att anpassa hastigheten efter kurvradien. Även om den maximala hastigheten för en viss kurvradie är framtagen gäller det att ligga lite under den tillåtna hastigheten för att öka säkerheten.

När ett fordon i drift närmar sig en kurva på sträckan måste inbromsning ske i tid var på inbromsningen är en tidskrävande faktor. Vilken kurvgeometri som kan tillåtas beror på vilka egenskaper tåget har. I denna rapport beräknas kurvgeometrin för fordon utan korglutning men framtida tåg kommer förmodligen bestå av korglutning som bidrar till ökad komfort vid kurvtagning.

Formel för att beräkna minsta kurvradien enligt Trafikverkets rekommendation för nybyggda spår (Andersson & Berg, 2014).

$$R_{rikt} = \frac{2b_0(1,3 \cdot v_{Dim})^2}{g(h_t + h_d)}$$

Hastigheten genom kurvan ska vara den som det nya spåret är dimensionerat för. Faktorn 1,3 är vald för att kunna köra S-tåg 30 procent snabbare än den dimensionerade hastigheten. I vanliga fall brukar inte faktorn 1,3 användas med det är en bra marginal att tillägga för att minska riskerna för urspårning och ökad säkerhet.

Med denna beräkningsmetod blir den minimala kurvradien för hastigheter på 320 km/h hela 7292 meter. Det är ett väldigt stort värde och enligt Rejlers AB kan säkerhetsfaktorn på 1,3 strykas för att få en mer rimlig kurvradie.

För att få fram ett bättre värde på kurvradien försummas säkerhetsfaktor 1,3 och följande formel användes. Säkerhetsfaktorn på 1,3 kan försummas när en järnväg byggs med ballastfritt spår. Om STH hade varit 250 km/h hade även ballasterat spår varit möjligt och säkerhetsfaktorn hade därmed varit med i beräkningarna för minsta kurvradie (Andersson & Berg, 2014).

$$R = \frac{11,8 \cdot V^2}{h_a + h_b} = 4315 \text{ meter}$$

En kurvradie på 4315 meter är fortfarande stort men ett rimligt värde då det är väldigt stora hastigheter som behandlas.

När projektering av ett spår utförs prioriteras så stora radier i kurvorna som möjligt. Med för små kurvradier måste hastigheten minskas. Problemet med att göra stora kurvradier är att det tar upp mycket mer markanvändning. Då blir fler intressenter påverkade och kanske behöver överlämna sitt hus eller sitt markområde.

För en hastighet på 250 km/h blir den minsta tillåtna kurvradien 2634 meter jämfört med en hastighet på 320 km/h som bidrar till en kurvradie på 4315 meter. Här kan vi se hur stor skillnad det blir på minsta tillåtna kurvradie om projekteringen utförs för 320 km/h jämfört med 250 km/h.

I tabellen nedan visas vilken den minsta tillåtna kurvradie som krävs vid en viss hastighet. Kurvradierna är avrundade neråt på grund av säkerheten. I tabellen ger det att se hur kurvradien ökar i princip konstant med hastigheten upp till 250 km/h för att sedan få en relativ ökning.

Hastighet (km/h)	Minsta kurvradie (m)
50	105
125	660
130	712
170	1217
210	1858
230	2229
250	2633
320	4315
380	6085

Tabell 8: Minsta kurvradie vid specifika hastigheter.

4.5 Sträckning

I detta avsnitt presenteras den projekterade sträckningen samt vilka hastigheter den ska belastas av. Hastigheterna är framtagna med hänsyn till de beräknade värdena för acceleration, retardation samt de kurvor som belastar sträckan. Sträckningen är dragen innanför Trafikverkets förslagna korridorer med hänsyn till städer och större värdigheter. På sträckorna mellan Linköping-Tranås samt Tranås-Jönköping finns vid denna utredning inga korridorer eller utredningar. Den sträckning som Trafikverket kommer att projektera ska dras med hänsyn till fler miljöaspekter och även kulturminnen som medför en del förändringar. Det är inte färdiga korridorer på alla delar av sträckan vilket medför att den dragna sträckningen i detta arbete även är ett förslag på tänkt sträckning. Huvudsyftet när järnvägen projekterades var att inte påverka städer och större värdigheter men även att minimera antalet broar och tunnlar för att minska kostnader vid framtagningen.

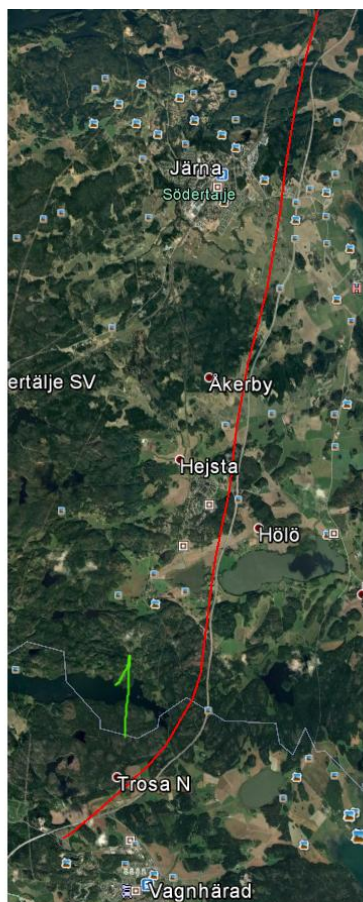
Nedan följer beskrivning av händelseförlopp både för direkttåg och tåg som ska ha uppehåll på fyra stationer. Värdena för sträcka och tid för acceleration, retardation samt konstant hastighet är avrundade värden. För att se exakta värden se tabellerna i avsnittet resultat där alla värden presenteras från start till slut i exakta meter. Sträckningen är projekterad med hjälp av programmet Google Earth Pro.

Hastigheterna genom kurvorna är avrundade neråt för att minimera riskerna för urspårning samt att ge en så god komfort som möjligt för passagerarna. På vissa sträckor går det att öka hastigheterna ännu mer men riskerna kommer då att öka avsevärt.

4.5.1 Stockholm-Järna

Stockholm till Järna är den första delen på banan. Denna sträcka projekteras inte då den planeras att gå på den befintliga Stambanan. Mellan Stockholm och Järna ska tåget gå på den befintliga järnvägen som har restiden 18 minuter och 30 sekunder. Precis norr om Järna knyts den nya höghastighetsbanan samman med den befintliga järnvägen. Detta tidsvärde gäller för alla tågkategorier.

4.5.2 Järna-Vagnhärad



Figur 3: Järna till Vagnhärad.

Vidare ner mot Vagnhärad från Järna är sträckan 21 km lång och består av en kurva med kurvradie på 5650 meter i anslutning till Vagnhärad. Precis ovanför Järna kopplas den nya höghastighetsjärnvägen samman med den befintliga sträckningen som idag belastas av blandad trafik. Vid Vagnhärad planeras att det ska ligga ett stort resecentrum norr om tätortsbebyggelsen där de snabba interregionala tågen kommer ha uppehåll och höghastighetstågen passerar förbi.

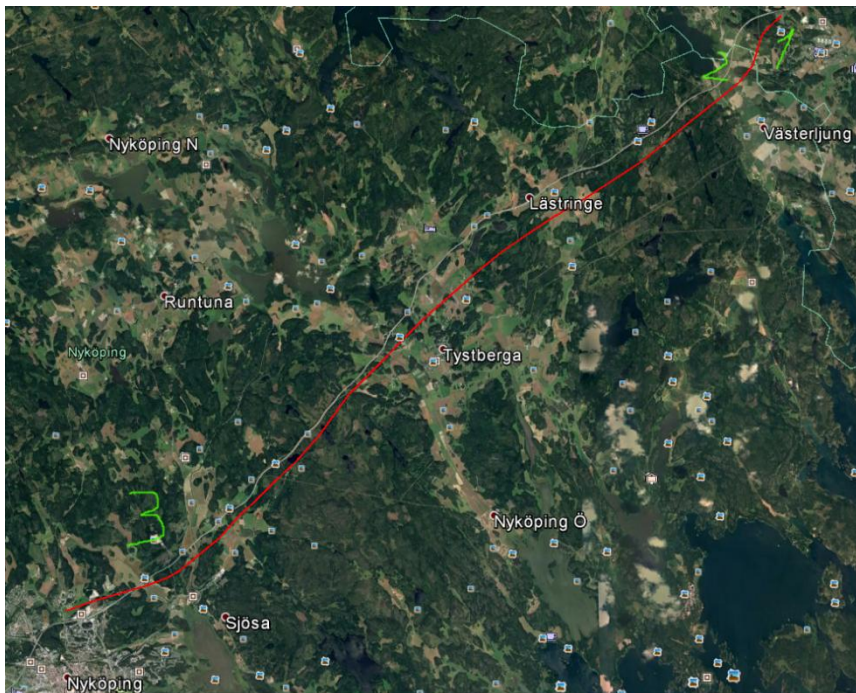
På etappen mellan Järna och Vagnhärad är en hastighet på 210 km/h mest rimlig då det är en kortare sträcka och kurvorna nere i Vagnhärad begränsar hastigheten. Restiden blir då 6 minuter till Vagnhärad. Detta gäller både för direkttåget och stopptåget. På den befintliga järnvägen är den maximala hastigheten 200 km/h och därför är 210 km/h en rimlig hastighet att köra in på den nya sträckan med. Kurvorna precis efter Vagnhärad begränsar hastigheten

till 217 km/h men på grund av säkerhetsskäl är hastigheten vald till 210 km/h för att minimera risker för urspårning.

4.5.3 Vagnhärad-Nyköping

”Vid Nyköping ska Ostlänken delas upp så att det går att köra rakt fram via Skavsta flygplats där en station placeras eller via ett nytt resecentrum i centrala Nyköping” (Trafikverket, 2014). I detta arbete görs beräkningarna på när sträckan dras ovanför Nyköping. Anledningen till att resecentrumet placeras ovanför Nyköping är att det gör för mycket skada om dragningen ska dras genom centrum och även en orimligt liten kurva uppstår.

Sträckan mellan Vagnhärad och Nyköping är 35 km lång och består av tre kurvor. Punkten 1 är den första kurvan på 2100 meter följt av en övergångskurva på 2000 meter i punkten 2. I anslutning till Nyköping kommer en kurva på 6400 meter i punkten 3.



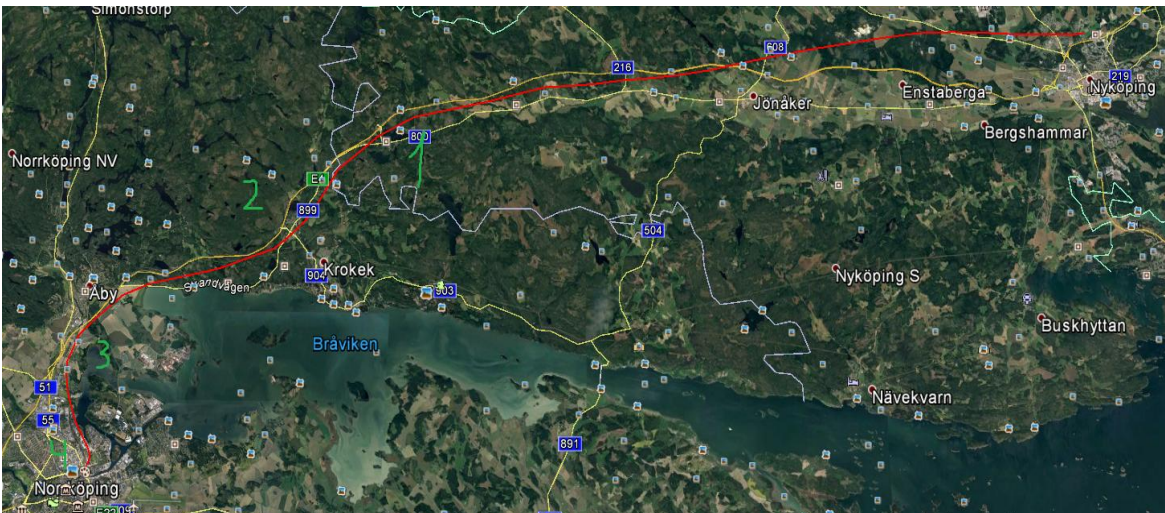
Figur 4: Vagnhärad till Nyköping.

Efter Vagnhärad ska tåget ha fortsatt hastighet på 210 km/h genom kurvorna 1 och 2 som är en sträcka på 3 km. När tåget har passerat kurva nummer 2 ska tåget accelerera från 210 km/h upp till 250 km/h. Hastigheten på 250 km/h ska hållas konstant ner till Nyköping och genom Nyköping då kurva nummer 3 klarar en hastighet på 250 km/h utan problem. Detta gäller för både direkttåget

och tåget med uppehåll. Nyköping är den enda stationen där järnvägen inte sträcker sig genom staden utan planeras ligga precis ovanför.

4.5.4 Nyköping-Norrköping

Sträckan mellan Nyköping och Norrköping är en längre sträcka på 59 km och består av fyra kurvor. Kurva 1 är 7100 meter och har ingen påverkan vid val av hastighet. För kurva nummer 2 som är 7650 meter gäller det samma. Den tredje kurvan är 4140 meter. Kurva 4 är endast 660 meter och kräver en stor hastighetssänkning ner till 125 km/h. Denna kurva är den minsta kurvan på hela sträckan. Den främsta faktorn till att sträckningen inte är dragen rakt ner till Norrköping för att undvika kurva 4 beror på viken med vatten hade krävt en stor och kostsam bro.



Figur 5: Nyköping till Norrköping.

Från Nyköping ska hastigheten fortsätta att vara konstant på 250 km/h för både direkttåget och tåget med uppehåll. Vidare ner så skiljer sig direkttåget och uppehållståget åt som beskrivs nedan.

Direktåg

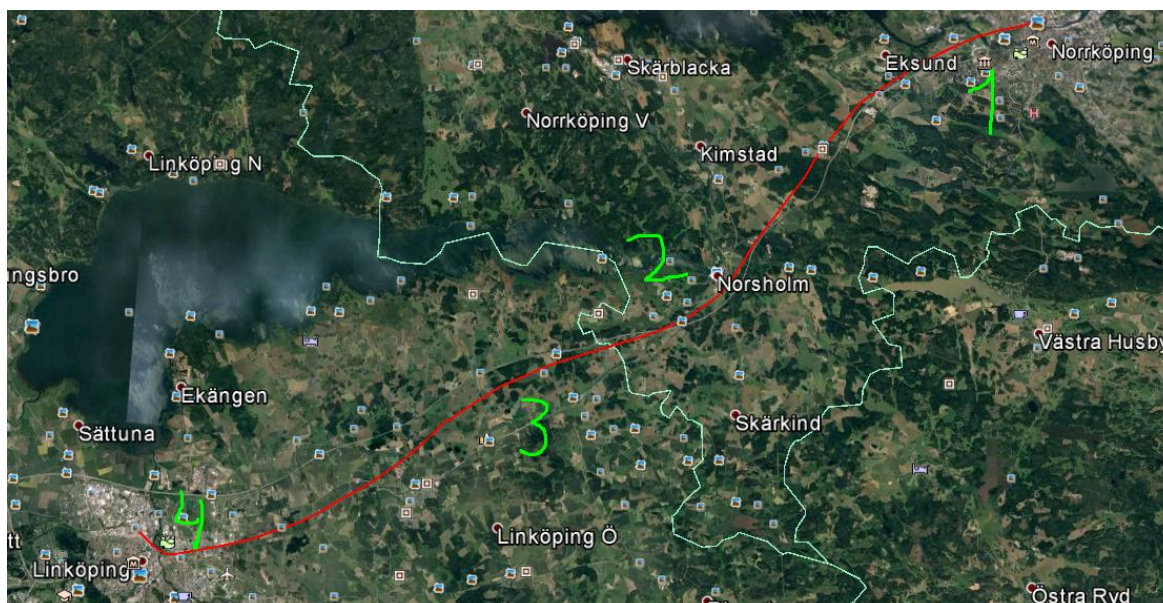
Vid kurva nummer 4 ska hastigheten vara nere på 125 km/h genom Norrköping. Det kräver att inbromsningen från 250-125 km/h sker i god tid. Se exakta värden i kapitel 5.2. 125 km/h är även sträckan lägsta hastighet som medför en tidsökning.

Stopptåg

Norrköping är stopptågets första uppehållsstation och kräver därför att tåget bromsar in tidigare än direkttåget. Inbromsningen sker från 250-0 km/h därefter adderas en uppehållstid på 2 minuter inne på stationen.

4.5.5 Norrköping-Linköping

Norrköping och Linköping är den sista delsträckan på Ostlänken med ett avstånd på 41 km. Sträckan består av fyra stycken kurvor. I punkten 1 är kurvan 10825 meter. Den andra kurvan på delsträckans mitt är 6860 meter. Tredje kurvan är 12200 meter och den sista kurvan in i Linköping är 1300 meter. Sträckan består av stora kurvradier förutom på sista delen in i Linköping. En kurvradie på 1300 meter begränsar hastigheten till 175 km/h. Hastigheten på 175 km/h avrundas ner till 170 km/h under denna sträcka.



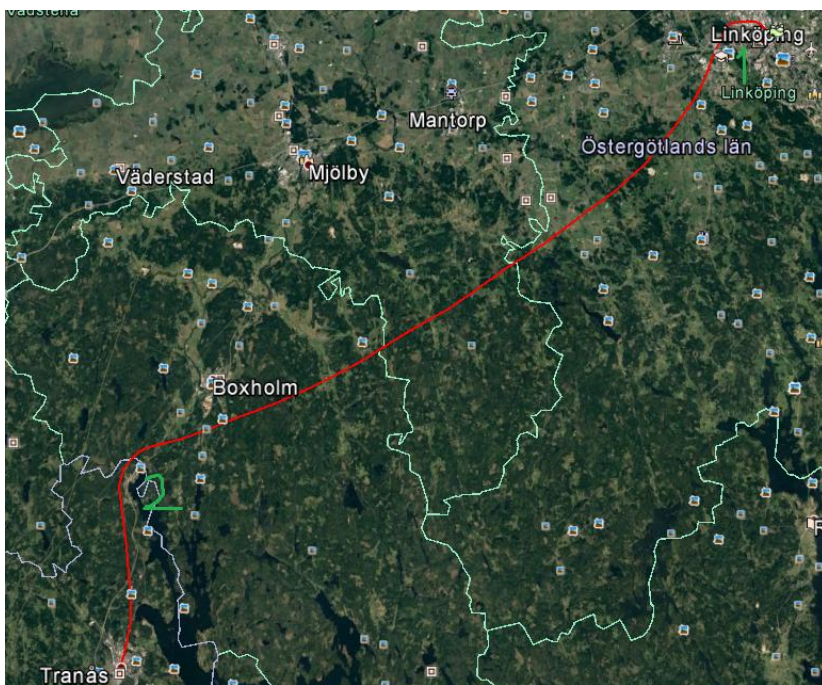
Figur 6: Norrköping till Linköping.

Efter Norrköping accelererar båda typerna av tåg upp till 250 km/h. Hastigheten hålls konstant ner till kurva nummer 4 där hastigheten ska vara nere på 170 km/h. Både direkttåg och tåg med uppehåll ska köra genom Linköping med hastigheten på 170 km/h.

Sträckan mellan Norrköping och Linköping är kapabel för en hastighet på 320 km/h ner till punkten fyra då kurvorna inte begränsar hastigheten. Dock så är avståndet på 41 km för kort för att det ska vara lönsamt och hastigheten på 250 km/h används.

4.5.6 Linköping-Tranås

Avståndet från Linköping till Tranås är 65 km lång. Sträckan består av två kurvor med stor betydelse för hastigheten. Kurva 1 är 1700 meter och kurva nummer 2 är 2700 meter. En kurvradie på 1700 meter begränsar hastigheten till 200 km/h och en kurvradie på 2700 meter får belastas av en hastighet på 253 km/h.

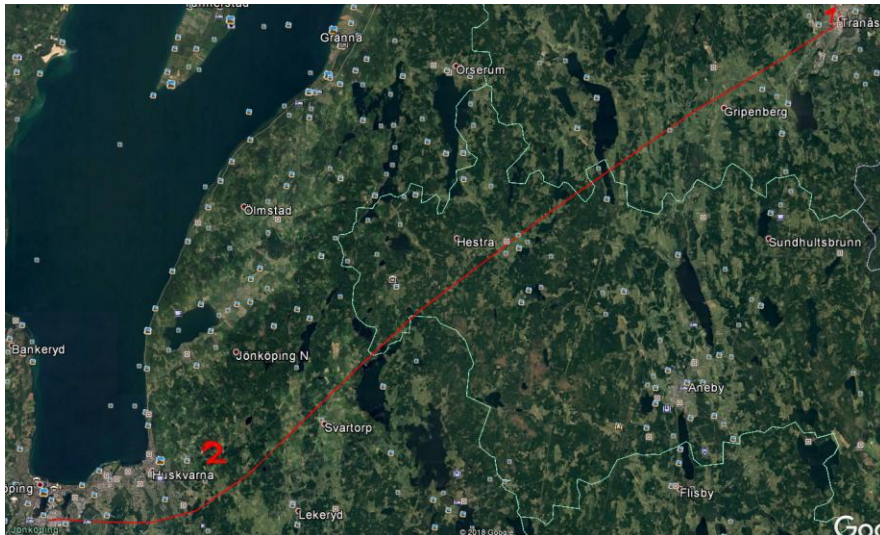


Figur 7: Linköping till Tranås.

Från Linköping ska tågen accelerera från 170 km/h upp till 320 km/h som är den första delen av sträckan med en hastighet på 320 km/h. Hastigheten på 320 km/h ska därefter hållas konstant ner mot kurva nummer 2 där hastigheten ska vara nere på 230 km/h för båda fordonstyperna. Efter kurva 2 ska tågen hålla en konstant hastighet på 230 km/h ner mot Tranås där hastigheten ska bromsas in till 130 km/h på grund av hastighetsbegränsande kurvor, se bild på nästa sida.

4.5.7 Tranås-Jönköping

Sträckan mellan Tranås och Jönköping är 58 km lång. Kurvan i punkten 1 är 730 meter och är den näst minsta kurvan på hela sträckan. Kurva nummer 2 är 9600 meter och har ingen påverkan på hastighetsbestämning. En kurvradie på 730 meter begränsar hastigheten till 131 km/h och med en avrundning antas 130 km/h vara en rimlig hastighet genom kurvan.



Figur 8: Tranås till Jönköping.

Från Tranås ska tågen accelerera upp till 320 km/h från 130 km/h där hastigheten på 320 km/h ska vara konstant ner till den andra kurvan. Efter den andra kurvan ska båda tågen påbörja inbromsning in mot Jönköping.

Direkttåg

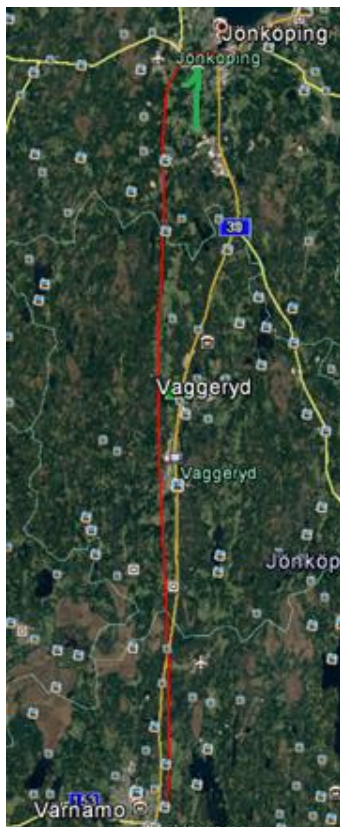
Direkttåget ska bromsa in till 230 km/h och hålla den hastigheten konstant genom Jönköping. Anledningen till en påtvingad inbromsning är kurvan precis efter Jönköping som går att se i (figur 9).

Stopptåg

Jönköping är den andra uppehållsstationen för stopptåget. Retardationen sker från 320 km/h konstant ner till stillastående in i Jönköping. En uppehållstid på 2 minuter läggs till.

4.5.8 Jönköping-Värnamo

Sträckan mellan Jönköping och Värnamo är i princip helt rak och fri från kurvor, det är endast en kurvradie på 2300 meter ut från stationen vid Jönköping. Sträckan är 66 km lång och kapabel för höga hastigheter. Från Jönköping och ner till Hässleholm är den sträcka som har möjlighet att belastas med högst hastighet.



Figur 9: Jönköping till Värnamo.

Direkttåg

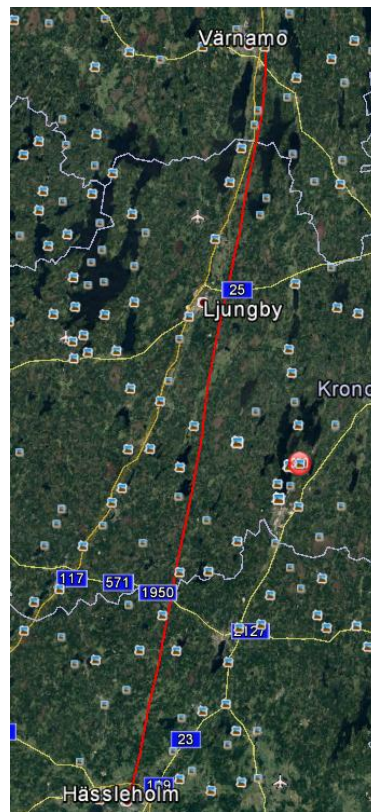
När tåget kommer ut ur kurvan från Jönköping ska det accelerera från 230-380 km/h. Med den långa accelerationssträckan kommer tåget att hinna passera Värnamo innan det är uppe i en hastighet på 380 km/h. Dock begränsas hastigheten inte på nästa delsträcka som beskrivs på nästa sida.

Stopptåg

Från uppehållet i Jönköping ska tåget accelerera från 0-380 km/h. Denna acceleration kräver en accelerationssträcka på 93 km vilket inte medför problem då Värnamo inte är en uppehållsstation.

4.5.9 Värnamo-Hässleholm

Sträckan mellan Värnamo och Hässleholm är dragen med avseende på Trafikverkets utredning. Området som är utträtt är 30 km brett och visar var mycket känsliga områden samt känsliga områden befinner sig. Dock så kommer sträckningen passera en del känsliga områden för att kurvor inte ska förekomma allt för ofta. Det finns fyra olika förslag på stationsalternativ för Hässleholm. I denna rapport är utgångspunkten att den nya höghastighetsbanan ska knytas samman med den befintliga stationen. Stationen ska byggas ut och bli i storlek som Lund C är i dagens läge. Värnamo-Hässleholm är ett område som också är fritt från hastighets påverkande kurvor. Sträckan är den längsta med ett avstånd på 117 km. Här kommer hastigheten kunna hållas konstant på 380 km/h, då 380 km/h kräver en minsta kurvradie 6085 meter.



Figur 10: Hässleholm till Värnamo.

Direkttåg

Ungefär 20 km efter Värnamo kommer hastigheten vara uppe i 380 km/h och hållas konstant innan retardation in mot Hässleholm påbörjas. Genom Hässleholm ska hastigheten vara 320 km/h på grund av att 380 km/h är en för hög hastighet att passera en station med.

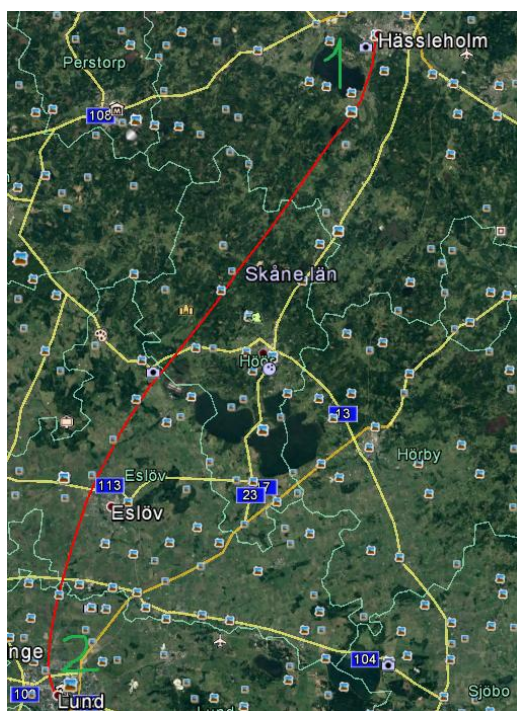
Stopptåg

Den konstanta hastigheten på 380 km/h kommer vara lite kortare för stopptåget än direkttåget på grund av den längre accelerationssträckan. Hässleholm är den nästa sista uppehållsstationen på sträckan och inbromsningen behöver påbörjas cirka 10 km innan stopp.

4.5.10 Hässleholm-Lund

Projektering av sträckan mellan Hässleholm och Lund är en grov beräkning. Korridorerna som projekteringen som utförts är 30 km breda vilket bidragit till breda valmöjligheter att placera banan. Även denna sträcka är dragen utifrån Trafikverkets korridorutredning. I Lund kommer höghastighetsjärnvägen knytas samman med den befintliga stationen. Vidare från Lund och ner mot Malmö ska tågen trafikeras på den befintliga järnvägen.

Sträckan mellan Lund och Hässleholm är 63 km lång. I punkten 1 är radien 11000 meter och i punkten 2 är radien 2800 meter. Det är endast kurva nummer 2 som har en hastighetsbegränsning på 257 km/h. Denna kurva är nära Lund som är en uppehållsstation för samtliga tågkategorier.



Figur 11: Hässleholm till Lund.

Direkttåg

Från Hässleholm ska hastigheten vara 320 km/h ner mot Lund. Innan kurva 2 vid Lund påbörjas retardation ner mot 200 km/h som är den slutliga hastigheten vidare ner mot Malmö.

Stopptåg

Lund är tågets sista uppehållsstation innan Malmö. Tåget ska retardera från 320-0 km/h in mot Lund. Retardationssträckan är beräknad i syfte att tåget kommer ha en hastighet under 257 km/h genom kurva 2.

4.5.11 Lund-Malmö

Mellan Lund och Malmö ska tåget gå på den befintliga järnvägen som har restiden 11 minuter med en hastighet på 200 km/h med en ungefärlig medelhastighet på 160 km/h beroende på hur spårets kapacitet ser ut i framtiden.

4.6 Kostnader

Efter projektering och framtagning av hastigheter samt restider är en kostnadsberäkning möjlig att genomföra. För att framställa vad den nya höghastighetsbanan kostar gäller det att fokusera på banans längd för att se hur lång sträcka som består av broar och tunnlar. För att få fram var tunnlar kommer att belasta banan beräknas höjdskillnaden med hjälp av programmet Google Earth Pro. På de områden där höjdskillnaden är för stor på en kort sträcka planeras tunnel att byggas för att förhindra för höga promillelutningar. På höghastighetsbanor är en maxlutning på 25 promille tillåten (TDOK 2014:0 075). En promille på 25 innebär att på 10 km accepteras en höjdskillnad på 250 meter. Det är likväl inte så att en lutning på 25 promille alltid medför att en tunnel ska byggas. Det kan vara mer lönsamt att göra en skärning också då en stor promille lutning framstår med en mindre höjdskillnad.

För att få fram den totala längden för broar delades det in i kategorierna sjöar, åar, motorvägar, landsväg/riksväg och mindre väg. Landsväg/riksväg räknas till de vägar som är motorhuvudled eller landsväg med en hastighet på minst 70 km/h. Även ringvägar och större vägar i städer räknas med i denna

kategori. För kategorin som kallas mindre vägar räknas grusvägar och mindre stads vägar där endast en brolängd på 25 meter behöver vidtas.

Sjöar varierar i storlek och mäts manuellt för att få fram antalet meter bro som krävs. Broar har delats in i följande kategorier för att få fram det totala antalet meter bro.

Motorväg	60 meter
Landsväg/riksväg	40 meter
Mindre väg	25 meter
Åar	30 meter
Sjöar	Manuell mätning

Tabell 9: Brolängd över vägar och vattendrag.

Kostnaderna för bro och tunnel är framtagna utifrån Ulricehamns kommuns liknande projekt av kostnadsberäkningar på sträckan Jönköping-Ulricehamn-Borås. I rapporten framstår det att en dubbelspårig tunnel har en mycket högre investeringskostnad jämfört med bro (Sverigeförhandlingen, 2017).

- Dubbelspårstunnel 500 000 kr per spårmeter
- Bro 160 000 kr per spårmeter

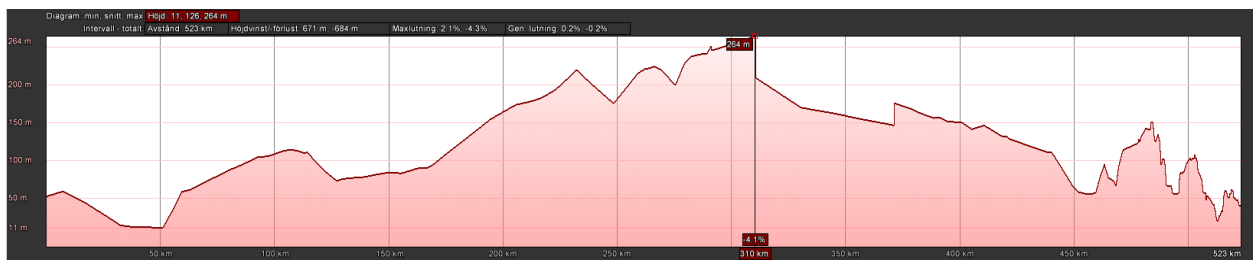
Höjdbereäkningar för banan är framtagna med hjälp av programmet Google Earth Pro, där det går att se vilka höjdskillnader som förekommer på banan. Höjderna representeras i meter över havet. Höjdbereäkningarna görs främst för att ta reda på den mest optimala genomsnittshöjden som höghastighetsbanan ska ligga på för att få så låga kostnader som möjligt. En för hög höjd kommer leda till att fler broar får byggas och en för låg höjd kommer leda till att fler tunnlar. Alla tunnlar och broar adderas till en totallängd i meter för att sedan multipliceras med priset per spårmeter. Då går det att se totalkostnaden för vad tunnlar och broar kommer kosta för hela sträckan.

Sträckan mellan Linköping och Jönköping är kraftigt kuperad, vilket resulterar i att ett flertal tunnlar kommer behöva byggas. (Trafikverket 2017) Nyköping-Norrköping är en flack sträcka jämfört med närliggande sträckor. Sträckan mellan Järna och Linköping har det mest höjdvarierande landskapet.

Jönköping och Hässleholm har de högsta höjderna på sträckan, dock så förekommer inga stora höjdvariationer. Landskapet består mest av åkermarker och skogsterräng.

Vid höjdberäkningar i Google Earth Pro framgår det att Skåne har de minsta höjdskillnaderna där den lägsta höjden är 18 meter över havet och den högsta höjden är 156 meter över havet. I stort sett ligger höjderna omkring 60-70 meter över havet från Lund och upp mot Hässleholm förutom under sträckan halvvägs där höjderna ligger omkring 100 meter över havet.

Figur 12 visar hur höjden (meter över havet) varierar längst sträckan Järna-Lund. De högsta höjderna befinner sig på mitten av sträckan i det småländska landskapet.



Figur 12: Terrängprofil mellan Järna och Lund.

4.7 Kapacitet på banan

Följande belastning av höghastighetsbanan är ett förslag och bevis för möjlig kapacitet. Den nya höghastighetsbanan ska byggas för att vara anpassad både för höghastighetståg på hastigheter upp till 380 km/h och interregionala tåg med en hastighet på 250 km/h. För att denna typ av blandad trafik ska gå ihop kommer omkörning av interregionala tåg ske på mellanstationerna. Det innebär att interregionala tågen kommer vänta inne på stationen för att släppa förbi höghastighetståget.

I bilaga 1 presenteras kapaciteten som är möjlig på den nya höghastighetsbanan. Den gröna linjen representerar direkttåget. Direkttåget avgår tre gånger per timme från Stockholm. Två av direkttågen kommer avvika mot Göteborg nere i Jönköping och det tredje tåget kommer köra ner

mot Malmö. Valet av detta fördelningssätt beror just på att Göteborg är Sveriges näst största stad och kommer behöva en högre belastning än Malmö. Enligt Trafikverket ska det ta 2 timmar att resa med direkttåg mellan Stockholm och Göteborg. Det kommer ge goda pendlingsmöjligheter för att jobba i Stockholm eller Göteborg.

Den orangea linjen representerar det interregionala tåget. Det interregionala tåget kommer ha uppehåll på samtliga stationer det passerar. Från Stockholm ska det avgå sex interregionala tåg per timme ner mot sin slutdestination Tranås. Från Linköping till Värnamo har två interregionala tåg lagts in per timme. Det finns plats för ännu fler men är i nuläget ännu inte utrett. Mellan Hässleholm och Malmö belastas sträckan av fyra interregionala tåg per timme samt att det finns möjlighet att stiga på uppehållståget som stannar i Hässleholm och Lund.

Den blåa linjen representerar höghastighetståget som gör uppehåll på fyra stationer. Detta tåg ska avgå två gånger under varje timme. Ett som avviker mot Göteborg och ett som avviker mot Malmö. Vid Lund kommer tåget ha en längre uppehållstid än tre minuter för att släppa förbi direkttåget.

För det interregionala tåget har det antagits att accelerations- och retardationsvärden är samma som för höghastighetståget. Tåget avgår från Stockholm fem gånger varje timme och har en uppehållstid på 2 minuter vid stationsstopp. Uppehållstiden på 2 minuter för interregionala tåg kan fördröjas ibland då ett höghastighetståg ska passera. Från Hässleholm kommer ett interregionalt tåg avgå 4 gånger per timme och 2 höghastighetståg har uppehåll i Hässleholm per timme. På sträckan mellan Jönköping och Hässleholm där höghastighetsbanan har en hastighet på 380 km/h kommer en mindre andel interregionala tåg trafikera sträckan för att minimera störningarna. För att få rimliga tidsvärden mellan två stationer för det interregionala tåget är beräkningarna gjorda med antagande att tåget kör med en medelhastighet och där gör ett påslag på 3 minuter för acceleration och retardation.

5 Resultat

I detta avsnitt presenteras all information som inhämtats och bearbetats. Här redovisas även alla beräkningar och de resultat som har erhållits. Eventuella vidare studier presenteras i avsnitten diskussion och slutsats.

5.1 Acceleration och retardation påverkan

Accelerationen har en väsentlig påverkan vid val av hastighet på de olika delarna av sträckan. För att det ska vara lönsamt att accelerera upp till de högsta hastigheterna bör sträckan vara fri från kurvor och helst ha en längd över 60 km lång. På den planerade höghastighetsbanan är det endast lönsamt att accelerera upp till en hastighet på 380km/h mellan Jönköping och Hässleholm. En hastighet på 320 km/h kommer belasta sträckorna Linköping-Jönköping samt Hässleholm-Lund. Ostlänken bedrivs med en hastighet på 250 km/h med undantag i Norrköping samt Linköping där hastigheten är nere på 125 km/h och 170 km/h.

5.2 Tid och hastighet för Siemens Velaro E

I tabellerna 10 och 11 framgår vilka hastigheter som är mest lämplig på de olika delarna av sträckan. Tabellerna visar hur lång acceleration, konstant hastighet och retardation det ska vara innan nästa förändring inträffar. Till exempel hur lång stäcka och tid tåget kör med en konstant hastighet från accelerationens slut till att det är dags att påbörja en inbromsning.

Direkttåg	Hastighet	Acceleration	Acceleration	Hastighet	Konstant	Konstant	Hastighet	Retardation	Retardation	Hastighet	Acceleration	Acceleration	Hastighet	Konstant	Konstant	Hastighet	Retardation	Retardation	Hastighet	Konstant	Konstant
	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)
Järna-Vagnhärad				210	21000	360															
Vagnhärad-Nyköping				210	3000	51				210-250	3675	58	250	27192	392						
Nyköping-Norrköping				250	53819	775	250-125	3014	58				125	1650	47,52						
Norrköping-Linköping	125-250	7611,68	138,82	250	28940,82	416,75	250-170	2160,5	37				170	3710	79						
Linköping-Tranås	170-320	22213	307	320	19972,13	224,68	320-230	3182,87	42				230	12552	196,47	230-130	2314,81	46	130	1900	52
Tranås-Jönköping	130-320	24068	347	320	26858	302,15	320-230	3182,87	42				230	7790	122						
Jönköping-Värnamo-Hässleholm	230-380	86118,16	934,3	380	89780,38	850,56	380-320	2700,62	28												
Hässleholm-Lund				320	54169,64	609,4	320-200	4012,36	56				200	4467	80,4						
Totalt		140010,84	1727,12		297539,97	3589,54		18253,22	263		3675	58		57361	917,39		2314,81	46		1900	52

Tabell 10: Direkttåg Siemens Velaro E.

Tåg med uppehåll	Hastighet	Acceleration	Acceleration	Hastighet	Konstant	Konstant	Hastighet	Retardation	Retardation	Hastighet	Acceleration	Acceleration	Hastighet	Konstant	Konstant	Hastighet	Retardation	Retardation	Stoppstillägg	Hastighet	Konstant	Konstant
	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Tid (s)	km/h	Sträcka (m)	Tid (s)
Järna-Vagnhärad				210	21000	360																
Vagnhärad-Nyköping				210	3000	51				210-250	3675	58	250	27192	392							
Nyköping-Norrköping				250	53657,22	772,66	250-0	4018,78	115,74										120			
Norrköping-Linköping	0-250	8867,76	208,82	250	27681,47	398,61	250-170	2160,5	37				170	3710	79							
Linköping-Tranås	170-320	22213	307	320	19972,13	224,68	320-230	3182,87	42				230	12552	196,47	230-130	2314,81	46		130	1900	52
Tranås-Jönköping	130-320	24068	347	320	27440	308,7	320-0	6584,36	148										120			
Jönköping-Värnamo-Hässleholm	0-380	92928,59	1112,26	380	80786	765	380-0	9284,97	175,9										120			
Hässleholm-Lund	0-320	25413,59	418	320	31002	348,7	320-0	6584,36	148										120			
Totalt		173490,94	2393,08		264538,82	3229,53		31815,84	666,64		3675	58		43454	667,47		2314,81	46	480		1900	52

Tabell 11: Tåg med uppehåll Siemens Velaro E.

Sträckan mellan Järna och Lund hamnar på 521 km vilket är 4 km kortare avstånd än det tidigare uppskattade avståndet enligt Trafikverket som låg på 525 km. Med de beräknade tiderna för sträckan mellan Järna och Lund adderas tilläggsstiden på 18,5 minuter för Stockholm-Järna samt 11 minuter för Lund-Malmö.

Beräkningarna för referensfordonet Siemens Velaro E resulterar då i en restid på 2 h 20 minuter och 30 sekunder för direkttåget samt 2 h och 36 minuter för tåget med uppehåll på fyra stationer. Detta medför en skillnad på 15,5 minuter kortare restid för direkttåget jämfört med tåget som har uppehåll på fyra stationer.

5.2.1 Tid och hastighet för Shinkansen N700

Jämförelsestudien av referensfordonet Shinkansen N700 resulterade i en kortare restid jämfört med Siemens Velaro E. Det beror främst på att fordonet har en högre acceleration. Trots att Shinkansen N700 både är ett längre och tyngre fordon än Siemens Velaro E blir accelerationen högre var på effekten är högre samt bättre utformning av fordonet.

Beräkningarna för referensfordonen Shinkansen N700 resulterade i en total restid på 2 h och 18 minuter mellan Stockholm och Malmö ifall tåget går direkt. Det medför en 2 minuter och 30 sekunder kortare restid jämfört med fordonet Siemens Velaro E.

Vid beräkning av uppehåll i Norrköping, Jönköping, Hässleholm och Lund blev den totala restiden 2 h 32 minuter och 30 sekunder. Med tilläggsstation Värnamo blev den totala restiden 2 h 37 minuter och 30 sekunder. Beräkningsvärdena för båda fordonstyperna visar på att det går att sänka restiden ytterligare jämfört med Trafikverkets mål på 2 h och 30 minuter för direkttåget.

Direktåg	Acceleration			Konstant			Retardation			Acceleration			Konstant			Retardation			Konstant		
	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)
Järna-Vagnhärad				210	21000	360															
Vagnhärad-Nyköping				210	3000	51				210-250	2595,56	40,53	250	28271,44	407,1						
Nyköping-Norrköping				250	53819	775	250-125	3014	58				125	1650	47,52						
Norrköping-Linköping	125-250	5680,06	105,7	250	30872,44	444,56	250-170	2160,5	37				170	3710	79						
Linköping-Tranås	170-320	12124,58	172,47	320	30060,55	338,18	320-230	3182,87	42				230	12552	196,47	230-130	2314,81	46	130	1900	52
Tranås-Jönköping	130-320	13282,08	200,25	320	37643,92	423,5	320-230	3182,87	42				230	7790	122						
Jönköping-Värnamo-Hässleholm	230-380	19248,89	222,76	380	156649,65	1484	380-320	2700,62	28												
Hässleholm-Lund				320	54169,64	609,4	320-200	4012,36	56				200	4467	80,4						
Totalt		50335,61	701,13		387215,2	4485,64		18253,22	263		2595,56	40,53		58440,44	932,49		2314,81	46	1900	52	

Tabell 12: Direktåg Shinkansen N700

Tåg med uppehåll	Acceleration			Konstant			Retardation			Acceleration			Konstant			Retardation			Stopptillä	Konstant		
	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)	Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)		Hastighet km/h	Sträcka (m)	Tid (s)
Järna-Vagnhärad				210	21000	360																
Vagnhärad-Nyköping				210	3000	51				210-250	2595,56	40,53	250	28271,44	407,1							
Nyköping-Norrköping				250	53657,22	772,66	250-0	4018,78	115,74											120		
Norrköping-Linköping	0-250	6744,71	164,31	250	29804,52	429,19	250-170	2160,5	37				170	3710	79							
Linköping-Tranås	170-320	12124,58	172,47	320	30060,55	338,18	320-230	3182,87	42				230	12552	196,47	230-130	2314,81	46	130	1900	52	
Tranås-Jönköping	130-320	13282,08	200,25	320	38225,95	430	320-0	6584,36	148											120		
Jönköping-Värnamo-Hässleholm	0-380	24568,93	365,7	380	149145,66	1412,96	380-0	9284,97	175,9											120		
Hässleholm-Lund	0-320	14441,29	261,53	320	41974,3	472,21	320-0	6584,36	148											120		
Totalt		71161,59	1164,26		366868,2	4266,2		31815,84	666,64		2595,56	40,53		44533,44	682,57		2314,81	46	480	1900	52	

Tabell 13: tåg med uppehåll Shinkansen N700 uppehåll.

5.3 Kostnadsberäkning

Höjdberäkningen för den projekterade höghastighetsbanan resulterade i att den lägsta punkten var 3 meter över havet och den högsta punkten var 281 meter över havet. Värdena för den totala längden för tunnel respektive bro för den nya höghastighetsbanan presenteras i tabell 14. Det framgår i tabell 14 att Ostlänken består av 184 broar med en totallängd på 6,13 km. Antalet tunnlar blev 34 stycken med en totallängd på 24 km som kan jämföras med Trafikverkets resultat på 30 tunnlar med en totallängd på 20 km.

I Skåne på sträckan Hässleholm till Lund finns den mest plana sträckan och är dessutom fri från tunnlar. Nästan det samma gäller för Värnamo-Hässleholm som består av 2 km tunnel. Flest landsväg/riksvägar, mindre vägar och sjöar passas på sträckan Värnamo-Hässleholm vilket är naturligt då det är den längsta sträckan på 117 km.

Sträcka	Tunnel (km)	Motorväg (m)	Landsväg/riksväg (m)	Mindre väg (m)	Sjöar (m)	Åar (m)
Järna-Vagnhärad	5,4	60	200	450	0	0
Vagnhärad-Nyköping	10,7	60	360	600	300	60
Nyköping-Norrköping	3,65	60	720	1025	260	120
Norrköping-Linköping	4,2	120	840	775	0	120
Linköping-Tranås	11,2	0	960	875	975	90
Tranås-Jönköping	14,7	0	680	1225	1210	150
Jönköping-Värnamo	7,8	0	840	1025	0	0
Värnamo-Hässleholm	2	60	1160	1575	3440	90
Hässleholm-Lund	0	0	920	1000	0	60
Totalt	59,65	360	6680	8550	6185	690

Tabell 14: Totallängd för bro och tunnel.

Den totala längden för tunnel beräknas till 59650 spårmeter respektive 22465 spårmeter för bro. Värdena multipliceras med 500000 kronor för tunnel respektive 160000 kronor för bro. Addition av broar och tunnlar medför ett värde på 82,12 km som utgör cirka 16 % av den totala sträckan.

$$\text{Kostnad tunnel} = 59650 \cdot 500000 = 29,83 \text{ Mdr kr}$$

$$\text{Kostnad bro} = 22465 \cdot 160000 = 3,6 \text{ Mdr kr}$$

Addering av de totala kostnaderna för bro och tunnel resulterar då i 33,43 \approx 33,5 Mdr kronor.

5.4 Kapacitet

För att se resultat för kapacitetsberäkningens fördelning på banan se bilaga 1. Med hjälp av den beräknade kapaciteten går det att se hur hårt det går att belasta den nya höghastighetsbanan. Elva avgångar från Stockholm per timme är inga problem att uppnå. Dessa elva avgångar per timme består av blandad trafik. Höghastighetståg som går direkt eller har uppehåll på fyra mellanstationer samt interregionala tåg med uppehåll på samtliga stationer. Tanken är att det ska börja med ett direkttåg följt av ett interregionaltåg. Med den längre restiden för interregionaltåg på grund av sina uppehåll måste de snabbare tågen passera det stillastående tåget vid uppehåll på station.

Resultatet säger att 17 tåg kommer belasta sträckan Stockholm-Malmö under varje timme var av sex interregionala tåg kommer lämna Stockholm och gå ner till Tranås varje timme. Mellan Linköping och Värnamo ska det gå två interregionaltåg per timme samt fyra interregionaltåg mellan Hässleholm och Malmö. Den grafiska tidtabellen visar att kraven som är ställda uppfylls utan några tecken på överbelastning.

5.4.1 Tider

Sträcka	Direkttåg	Tåg med uppehåll	Sträcka	Regionaltåg
Stockholm-Järna	18 min 30 s	18 min 30 s	Stockholm-Järna	18 min 30 s
Järna-Vagnhärad	6 min	6 min	Järna-Vagnhärad	7 min
Vagnhärad-Nyköping	8 min 21 s	8 min 21 s	Vagnhärad-Nyköping	11 min
Nyköping-Norrköping	15 min 13 s	15 min	Nyköping-Norrköping	17 min
Norrköping-Linköping	11 min 27 s	12 min 3 s	Norrköping-Linköping	13 min
Linköping-Tranås	14 min 28 s	14 min 28 s	Linköping-Tranås	18 min
Tranås-Jönköping	13 min 33 s	13 min 24 s	Tranås-Jönköping	17 min
Jönköping-Värnamo-Hässleholm	30 min 13 s	34 min 13 s	Jönköping-Värnamo	19 min
Hässleholm-Lund	12 min 26 s	15 min 15 s	Värnamo-Hässleholm	
Lund-Malmö	11 min	11 min	Hässleholm-Lund	18 min
			Lund-Malmö	11 min

Tabell 15: Gångtider mellan stationer för olika tågkategorier.

Gångtiden mellan stationerna har beräknats för tre fordonstyper. En gångtid för när tåget gör uppehåll på fyra mellanstationer och ett alternativ för när tåget kör hela sträckan utan stationsuppehåll. För de tåg som ska stanna på alla mellanstationer beräknas även stationsuppehållstiden med. Normalt för höghastighetståg brukar den tiden ligga på 2 minuter och det samma gäller för interregionaltåg. (Sven Assarsson) För tåget som kör direkt från Malmö till Stockholm beräknas endast acceleration och retardation med på de sträckorna

där en hastighetsnedsättning är tvungen. I nedan tabell är gångtiderna mellan stationerna för direkttåget, tåget med uppehåll och interregionaltåget listade.

Med en rymlighet på 405 resenärer för Siemens Velaro E kommer en möjlighet på 2025 resenärer kunna resa från Stockholm varje timme med höghastighetståg. För interregionaltåget är ingen data framtagen. Shinkansen N700 rymmer 1323 passagerare vilket blir 6615 passagerare per timme från Stockholm.

6 Diskussion

6.1 Referensfordon

Exempelfordonet Siemens Velaro E har en låg acceleration vid högre hastigheter. Det medför att det endast är lönsamt att köra i de högsta hastigheterna på de längre sträckorna som är mindre påverkade av kurvor. Med en accelerationstid på drygt 90 km för att uppnå topphastigheten på 380 km/h är mindre lönsam. Dimensioneras banan för högsta hastighet på 320 km/h är det rimligt att använda sig av en likande modell av exempeltåget, men i och med att en järnväg utvecklas för att vara hållbar i många år fram över behövs ett tåg med en högre kapacitet för att följa med i utvecklingen.

Studien av referensfordonet CRH380BL resulterade i liknande accelerationsintervall. Problematiken som uppstår är även här accelerationen från 320-380 km/h. Referensfordonet CRH380BL har en totallängd på 400 meter vilket ger en ökad massa som bidrar till en lägre acceleration. En totallängd på 200 meter även för CRH380BL hade resulterat i en betydligt högre acceleration. Vid studie av det tredje referensfordonet Shinkansen N700 visade det sig att detta fordon ge mest lämpliga beräkningsresultat. Med en betydligt bättre acceleration går det att komma upp i de högre hastigheterna under rimliga förhållanden.

I framtiden kommer utmaningen ligga på att ta fram ett tåg som har en högre kapacitet där det är möjligt att ha en högre effekt och lägre ekvivalent massa. Då kommer en högre acceleration vara möjlig även i de högre hastigheterna. Med en högre acceleration kommer accelerationssträckan bli kortare och det blir möjligt att höja hastigheten på vissa delar av de kortare sträckorna där det inte är lönsamt i dagens läge.

6.2 Höghastighetsbanan

Den teoretiska höghastighetsbanan som beräkningarna är utförda på är ett förslag på hur den framtida höghastighetsbanan skulle kunna se ut. Trafikverket håller för tillfället på med samma utredningar, så ingen fastställd korridor för hela sträckningen finns tillgänglig under arbetets gång. För att fördjupa arbetet ytterligare behöver en djupare studie på själva projekteringen utföras med hänsyn till miljö och kulturminne. Sträckningen som är dragen i detta arbete är inte projekterad med hänsyn till naturreservat och kulturminne.

Det är en ungefärlig projektering som förväntas att avvika sig en del i verkligheten och påverka avstånden.

Att anlägga många fler stationer under sträckningen har både för och nackdelar. fördelarna är att det kommer locka fler resenärer att pendla samt att omkörning av interregionaltåg sker smidigare. Nackdelen är att restiden kommer bli länge med fler mellanstationer och enligt Mats Berg på KTH är det inte lönt att köra med hastigheter på 320 km/h om stationsavstånden är lägre än 60 km.

Kurvan i Norrköping på 660 meter som begränsar hastigheten till 125 km/h påverkar restiden avsevärt. För att få en ännu kortare restid skulle en lösning kunna vara att dra den nya höghastighetsjärnvägen norr eller söder om Norrköping. Då kommer ett nytt resecentrum att behöva byggas som ger högre kostnader och antalet resenärer kanske minskar då stationen inte är placerad lika centralt.

6.3 Kostnader

Diskussionen kring kostnader baseras på var höjdpunkten är placerad. Med en hög höjdpunkt kommer antalet tunnlar att bli lägre och med en låg höjdpunkt kommer antalet tunnlar kunna minskas. Tunnlar och broar kommer ha lutning de också det vill säga att de inte är plana utan följer spårgeometrin precis som övrig banöverbyggnad.

I undersökningen är beräkningar för broar gjorda för alla mindre småvägar. I verkligheten kommer många grusvägar och mindre infarter att avlägsnas på grund av för höga kostnader för att bygga bro över de då de har mindre betydelse. För att ta reda på vilka vägar som ska behållas och vilka som ska elimineras behöver en mer fördjupad studie utföras och den tiden finns inte tillgänglig under ett examensarbete.

På sträckan mellan Tranås och Jönköping blir den totala längden 14,7 km av 35 km bestående av tunnel som är det högsta värdet på sträckan. För att undvika detta skulle en möjlig lösning kunna vara att bygga spåret på en upphöjning för att få ner den totala tunnellängden.

6.4 Kapacitet på banan

Ju fler mellanstationer som sträckan består av desto fler avgångar från Stockholm per timme bli möjliga. Det beror på att interregionaltågen får fler uppehållsstationer och då får höghastighetstågen fler möjligheter att passera dessa under tiden som interregionaltåget står still. Från en annan synvinkel blir det istället mer problematik vid signalfel, underhåll och tekniska fel med fler avgångar och mellanstationer. Ju mer belastning banan utsätts för desto mer slitage kommer förekomma och då ökar underhållet. Det gäller att hitta en jämnvikt för hur många avgångar per timme med hänsyn till tekniska fel för en så lönsam järnväg som möjligt.

Att få in fler än elva avgångar från Stockholm är möjligt, dock så går det att lägga till betydligt fler interregionaltåg på mellanstationerna. Det är något som får behandlas vid vidare studier av kapacitetsberäkningar. I vidare studier bör även fokus ligga på att beräkna lönsamheten för antal avgångar per timme. Även om det går att få in fler tåg och höja kapaciteten är det kanske inte hållbart lönsamt då tågen kanske blir i princip ”tomma” kan utredas. Med för få resenärer på tågen kommer onödiga kostnader och energiåtgång framhållas. I rusningstrafik under morgon och sen eftermiddag är detta höga antal kanske rimligt.

7 Slutsatser

I slutsatser besvaras undersökningsfrågorna från kapitel 1.2 enligt studiens resultatdel. Slutsatsen kan vara rådgivande i hur den svenska höghastighetsjärnvägen bör utformas enligt de förutsättningar och krav som ställts från Trafikverket.

7.1 Höghastighetsbanan

Ett resultat på 2 h 20 minuter och 30 sekunder för Siemens Velaro E och 2 h och 18 minuter för Shinkansen N700 ger slutsatsen att Trafikverkets mål på 2 h och 30 minuter inte är omöjligt att förbättra. En utbyggnad av en höghastighetsjärnväg som stannar på ett flertal mellanstationer kommer bidra till fler antal resenärer, dock kommer tiden att förlängas drastiskt för varje stopp som vi kan se i beräkningarna när fordonet stannar på fyra respektive fem mellanstationer. Det bästa är då att ha snabba interregionaltåg med en hastighet på 250 km/h som kan göra stopp på fler mellanstationer och att höghastighetstågen kör direkt eller endast har uppehåll på ett fåtal stationer.

Hastigheterna på sträckan ger en godtagbar jämn gång med hastigheter på 250 km/h och uppåt. Det är endast på delsträckorna vid Norrköping och Linköping som hastigheten är nere på 125 km/h samt 170 km/h, vilket är låga hastigheter för att vara på en höghastighetsbana. Ostlänkens hastighetssänkningar till 250 km/h kompenseras med hastighetshöjningar på 380 km/h i Småland. På sträckans södra del mellan Hässleholm och Lund är hastigheten 320 km/h.

Enligt Sverigeförhandlingen (2016) ska den nya höghastighetsjärnvägen stå färdig år 2035. Det är en lång byggprocess som riskerar att den nya höghastighetsjärnvägen är omodern redan vid invigning då flera länder i världen redan uppnått dessa mål och förväntas utvecklas mer. Höghastighetsbanan är ett av Sveriges största projekt och kommer att ha en teknisk livslängd på 120 år (Sverigeförhandlingen 2016).

I vidare studier bör även beräkningar på energiåtgång och lönsamhet för att köra med hastigheter på 380 km/h göras. Det kanske tar för mycket energi att komma upp i dessa höga hastigheter i och med att körsträckan under 380 km/h endast hålls konstant i cirka 80 km.

Enligt Trafikverkets beskrivning av sträckan mellan Värnamo och Hässleholm kommer det ta 26 minuter med ett fullt påslag. Detta kan jämföras med rapporten som får ett resultat på 22 minuter med en hastighet på 380 km/h där accelerationstiden är inräknad.

7.2 Kostnader

Det är sträckan nordöst om Jönköping som höjer kostnaden avsevärt. Med ett mer ojämnt landskap kommer fler tunnlar att behöva byggas som ger en ökad kostnad. En fastställd dragning av banan är inte gjord under arbetets gång och medför att kostnaderna kommer skiljas åt i framtiden. Den mest kostsamma sträckan är mellan Linköping och Jönköping med en tunnellängd på cirka 26 km.

7.3 Kapacitet på banan

Analys av kapaciteten på banan visar att det går att transportera en betydligt större mängd höghastighetståg samt interregionaltåg än vad det framtagna resultatet visar. Detta arbete baseras på 11 avgångar från Stockholm varje timme vilket inte påvisar någon typ av maxbelastning. De slutsatser som är möjliga att dra är att höghastighetsbanan är kapabel till en oerhört stor belastning. Med en dubbelspårig järnväg går det att få in många avgångar från de olika stationerna. I vidare studier bör fokus ligga på att beräkna fram hur många resenärer som förväntas pendla under dygnets timmar för att få fram den mest lönsamma kapaciteten.

7.4 Felkällor på beräkningar

Här behandlas de beräkningar som blivit fel med liten marginal och orsakerna till det. I ett examensarbete finns inte tid och möjligheter till att studera allt in i minsta detalj och därför förekommer vissa små marginalfel.

- Sträckorna mellan stationerna är beräknade utifrån Google Earth pro och kan i verkligheten skilja sig med några kilometer.
- Gångmotståndet vid acceleration består av de fyra faktorerna, luftmotstånd, mekaniskt motstånd, stignings motstånd och kurvmotstånd. Stigningsmotstånd och kurvmotstånd har eliminerats i denna rapport.

- Vid beräkning av kurvradie kan den verkliga radien variera lite då beräkningarna är utförda i Google Earth Pro som är ett enklare beräkningsprogram.
- Vid beräkning av den totala sträckan mellan Järna och Lund blev sträckan 521 198 meter för tåget med uppehåll medan sträckan blev 521 055 meter för direkttåget. Det blir en skillnad på 143 meter. Felet har uppstått vid beräkning i programmet Google Earth Pro men är en så liten marginal att det inte gör någon större skillnad.
- Vid beräkning av höjdprofiler på banan skiljer sig de värden som är framtagna för varje delsträcka ifrån diagrammet som visar den totala sträckan. Detta beror på att det totala diagrammet är ihop tryckt och missar på smådetaljer förekommer.

7.5 Referensfordon

För att höghastighetsbanan ska kunna belastas med högre hastigheter än 320km/h behövs ett fordon med en hög startdragkraft och en relativt låg massa. Siemens Velaro E och Shinkansen N700 ger mest relevant beräkningsunderlag då fordon med högre acceleration inte har en tillräcklig maximal hastighet. Övriga fordon som klarar av hastigheter på 380 km/h eller mer har en liknande acceleration som Siemens Velaro E.

Sträckan mellan Jönköping och Värnamo är 66 km lång och kräver ett referensfordon likt Shinkansen N700, med en accelerationssträcka på 25 km, för att det ska vara lönsamt att komma upp i hastigheten 380 km/h. Siemens Velaro E har inte tillräckligt hög acceleration för att uppnå detta kriterium.

8 Referenser

- Andersson, E., Berg, M. & Stichel, S., 2014. *Rail Vehicle Dynamic*. Stockholm: KTH.
- Banguiden (n.d.). *Kort Svensk järnvägshistoria*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.jarnvag.net/banguide/historia>. [Hämtad 2018-01-11].
- CRC (2013). *CRC high speed train manufacturing strength presentation*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <https://web.archive.org/web/20130704164527/http://www.eng.ku.ac.th/blog/wp-content/uploads/rolling/16/CNR%20After.pdf> (Hämtad 2018-04-05).
- Daniels, Anthony (2008). *Selected Train Technologies*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.hsr.ca.gov/docs/programs/eir_memos/Proj_Guidelines_TM6_1R00.pdf (Hämtad 2018-04-05).
- Etc (2014). *Järnvägen klarar inte av mer-spåren räcker inte till*. Etc.se, 21 Mars. Tillgänglig: <https://www.etc.se/inrikes/jarnvagen-klarar-inte-av-mer-sporen-racker-inte-till> .[Hämtad 2018-03-15].
- Färnlöf, Pär., *Trafikverket Borlänge*. [Intervju]. (7 februari 2018).
- Hydén, Christer. 2010. *Trafiken i den hållbara staden*. Studentlitteratur AB.
- Lindfeldt, A., (2009). *Kapacitetsanalys av järnvägsnätet i Sverige-Delrapport 1*, Stockholm: n.d.
- Ljungby kommun (2017). *Fördjupat underlag till Sverigeförhandlingen*. 2017-06-29. Tillgänglig: <https://www.ljungby.se/globalassets/dokument-och-innehall/trafik-och-samhallsplanering/hoghastighetstag/sverigeforhandlingen-ljungby-fordjupat-underlag.pdf>. [Hämtad 2018-03-25].
- PWC, 2015. *Kommersiella förutsättningar för höghastighetståg i Sverige*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://media.sverigeforhandlingen.se/2015/09/Extern-rapport-Kommersiella-forutsattningar-hoghastighetstag.pdf>. [Hämtad 2018-03-05].
- Siemens (n.d.). *High Speed Trainset Velaro E*. [Elektronisk]. Tillgänglig: https://www.siemens.com/press/pool/de/materials/industry/imo/velaro_e_en.pdf [Hämtad 2018-01-28].
- SJ (2018). *Vårt snabbaste tåg*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <https://www.sj.se/sv/om/om-sj/trafik-och-tag/sj-snabbtag-x-2000.html> [Hämtad 2018-02-12].

- Sverigeförhandlingen (n.d.). *Höghastighetsjärnväg* [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://sverigeforhandlingen.se/uppdrag-hoghastighetsjarnvag/> [Hämtad 2018-01-12].
- Sverigeförhandlingen (2017). *Götalandsbanan delen Jönköping-Ulricehamn-Borås*. [Elektronisk].
Tillgänglig: <https://www.ulricehamn.se/innehall/2017/06/170621-konsultrapport-Sverigef%C3%B6rhandlingen-J%C3%B6nk%C3%B6ping-Bor%C3%A5s.pdf>
- Trafikverket (n.d.). *Lägesbeskrivning höghastighetsjärnväg*. [Elektronisk].
Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/contentassets/43799aa1bec0454c9fbec0b4057c4cc7/lagesbeskrivning_jonkoping_malmo.pdf [Hämtad 2018-03-10].
- Trafikverket (2004-05). *Horisontalkurvor*. [Elektronisk].
Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Vag/Vagutformning/Dokument_vag_och_gatuutformning/Vagar_och_gators_utformning/Linjeforing/06_horisontalkurvor.pdf [Hämtad 2018-01-20].
- Trafikverket (2013-01-22). *Räslförlöjning*. [Elektronisk].
Tillgänglig: [https://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Jarnvag/BIS/Dataproduktspecifikationer%20\(DPS\)/Dps_a_nlaggningsdata/%C3%96vriga%20objekttyper/R%C3%A4lsf%C3%B6rh%C3%B6jning.pdf](https://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Jarnvag/BIS/Dataproduktspecifikationer%20(DPS)/Dps_a_nlaggningsdata/%C3%96vriga%20objekttyper/R%C3%A4lsf%C3%B6rh%C3%B6jning.pdf) [Hämtad 2018-01-20].
- Trafikverket (2014). *Här börjar framtiden*. [Elektronisk]. Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/contentassets/81549f78ab3f47a0971f4051a0e370cf/folder_ostlanken_april_2014.pd [Hämtad 2018-01-15].
- Trafikverket (2016a). *Trafikverkets prognoser och analyser för höghastighetsbanorna*. [Elektronisk]. Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/contentassets/2b41567b3630421f8ccb21ba642af7c6/trafikverkets_prognoser_och_analyser_for_hoghastighetsbanorna_webb.pdf [Hämtad 2018-03-22].
- Trafikverket (2016b). *Trafikökning på järnvägen*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-jarnvagar/Jarnvagens-utmaningar/Trafikokning-pa-jarnvagen/> [Hämtad 2018-03-05].
- Trafikverket (2017a). *Åtgärdsvalsstudie Höghastighetsjärnväg Linköping-Borås*. [Elektronisk]. Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Planera_o_utreda/en_ny_generation_jarnvag/linkoping_boras/Rapport%20Åtgärdsvalsstudie/avs_linkoping_boras_fk_20170215.pdf [Hämtad 2018-03-20].

- Trafikverket (2017b). *En ny generation järnväg-höghastighetjärnväg i Sverige*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/nygenerationjarnvag/> [Hämtad 2018-03-14].
- Trafikverket (2017c). *Höghastighetsbanor för 250 km/h definieras*. [Elektronisk]. Tillgänglig: Trafikverket.se.
- Trafikverket (2017d). *Sträckorna in mot de större städerna med utbyggnad av höghastighetsjärnväg*. [Elektronisk]. Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/40596/Ineko.Product.RelatedFiles/2017_170_strackorna_in_mot_de_storre_staderna_med_utbyggnad_av_hoghastighetjarnvag.pdf [Hämtad 2018-04-03].
- Trafikverket (2017e). *Ostlänken bidrar till ett hållbart transportsystem*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-lan/Ostlanken/Nyheter-Ostlanken/2017-09/ostlanken-bidrar-till-ett-hallbart-transportsystem/> [Hämtad 2018-03-29].
- Trafikverket (2017f). *Sträckorna in mot de större städerna med utbyggnad av höghastighetsjärnväg*. [Elektronisk]. Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/40596/Ineko.Product.RelatedFiles/2017_170_strackorna_in_mot_de_storre_staderna_med_utbyggnad_av_hoghastighetjarnvag.pdf [Hämtad 2018-04-10].
- Trafikverket (2018). *Höghastighetsbanor*. [Elektronisk]. Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/43499/Ineko.Product.RelatedFiles/2018_060_hoghastighetsbanor_effekter_av_hastighet_250_km_h_jamfort_med_350_km_h.pdf [Hämtad 2018-02-29].
- VA (2016). *Höghastighetstågen erövrar-kan konkurrera ut flyget*. VA.se, 27 januari. [Hämtad 2018-03-15].

Bilaga 1



