

# Höghastighetsbana för järnväg

- Jämförelsestudie av höghastighetsbanan mellan Iran och Sverige



**LUNDS UNIVERSITET**  
Campus Helsingborg

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Byggt teknik - Järnvägsteknik

Examensarbete:  
Dena Ali Akbari



© Copyright Dena Ali Akbari

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  
Lunds universitet  
Lund 2017

## Sammanfattning

Sverige planerar byggnation av höghastighetsbanor för järnväg som sträcker sig mellan Stockholm – Jönköping – Göteborg och Jönköping – Malmö. Den första etappen blir Ostlänken mellan Järna och Linköping. Ostlänken kommer att bli 150 km lång och största tillåtna hastighet på banan ska vara 320 km/h. Hela höghastighetsnätet har förväntad trafikstart 2035 (Sverigeförhandlingen, 2014). Iran planerar också för höghastighetsbana som ska sträcka sig mellan huvudstaden (Teheran) och Esfahan. Sträckan är 410 km lång och banan dimensioneras för en största tillåtna hastighet på 250 km/h. Banan är indelad i två delar och börjar med sträckan Esfahan – Qom. Den andra sträckan Tehran – Qom är under förberedelsestadiet. Banan förväntas få trafikstart 2021. I likhet med den svenska höghastighetsbanan kommer den iranska banan följa kraven hos EU:s tekniska specifikationer för driftskompatibilitet (FS Italien, 2016).

Denna jämförelsestudie beskriver utvalda skillnader mellan Irans och Sveriges höghastighetsbanor. Skillnader som påverkar grunden i hela arbetet. Det som studeras är planerade hastigheter för respektive land, klimatanpassningen, topografiskanpassning och spårgeometri. Rapporten gör en jämförelse om hur olika hastighetsmått påverkar sträckan Teheran - Esfahan i Iran och Stockholm - Malmö i Sverige och de skillnader och konsekvenser olika hastighetsmått medför.

Syftet med rapporten är att skapa en bättre förståelse för skillnader och olika tekniska val, samt hur dessa påverkar den framtida trafikeringen och banans utvecklingsmöjligheter.

Följande skillnader och rekommendationer har rapporten kommit fram till:

- Sverige kommer att ha högre största tillåtna hastighet, dvs 320 km/h, på sina höghastighetsbanor vilket innebär att det kommer ta längre tid för fordonet att accelerera och komma upp till maximal hastighet. Rapporten rekommenderar att Sverige ska bygga sina höghastighetsbanor med stora kurvor och undvika att ha många stopp i syfte att tåget ska kunna ha jämn hastighet och hinna komma upp till hög maxhastighet. I Iran färre stopp innebär att tågen kommer köra maxhastighet större andel av tiden, vilket är ett skäl till att Iran dimensionerar för högre hastighet, dvs 250 km/h, redan från början.

- I Sverige läggs 30 % på den största tillåtna hastighet som är tillåtet på höghastighetsbanan för att ha större kurvradier och för att kunna möta eventuella framtida hastighetshöjningar. I Iran däremot beräknas kurvradier och rälsförhöjning med största tillåtna hastighet som är 250 km/h och därför rekommenderar rapporten att även Iran ska använda sig av samma metod som Sverige för eventuella framtida hastighetshöjningar.
- Sverige kommer att ha ett spåravstånd på 4,50 och Iran på 4,20 meter. Detta bidrar till att Iran inte kommer kunna höja hastigheten på sin höghastighetsbana för framtida behov. Därför rekommenderar rapporten att Iran ska bygga spåravståndet på det maximala värdet 4,50 meter.
- Koniciteten påverkas av fordonens kritiska hastighet och rälsens lutning samt spårvidden. I rapporten rekommenderas att Sverige använder rälsstypen Internationella järnvägsunionen 60 1:20 och i Iran rekommenderas att använda rälsstypen Internationella Järnvägsunionen 60 1:30. Detta för det behövs relativt små åtgärder i början för att höja effektiva koniciteten på banan för att höja hastigheten.
- Temperaturskillnaderna utmed sträckan Tehran-Qom-Esfahan i Iran ligger mellan +3° C till +41° C. Det innebär varma somrar och milda vintrar. Däremot i Sverige ligger temperaturförändring på sträckan Stockholm-Jönköping - Malmö ungefär mellan -4° C till +25° C, vilket innebär att Sverige har en kallare vinter samt en mildare sommar. Rapporten rekommenderar att respektive länderna ska ha en typ av befästning som klarar av just den temperaturskillnaden. Noterbart är att om temperaturen går under 0° C innebär det behov av stora hänsynstagande vid uppbyggnad av banan.

Nyckelord: Höghastighetsbana, järnväg, Iran, Sverige, hastighet, spårgeometri.

## **Abstract**

Sweden is planning the construction of a high-speed railway that extends between Stockholm - Gothenburg and Stockholm - Malmö. The first stage is called Ostlänken which is between Järna and Linköping. The line will be almost 150 km long with a planned top speed of 320 km / h. The high-speed railway is planned to be built and ready for traffic by 2035.

Iran plans for a high-speed railway as well which will be between Tehran and Esfahan. The planned line is 410 km long and planned to be trafficked with a speed of 250 km/h. The line is divided into two parts, the first part is between Esfahan – Qom, which is currently being planned, and the second part between Qom – Tehran which already is under construction. The line is expected to be trafficked in 2021. Like the Swedish high-speed railway, the Iranian track will follow the European technical specifications for interoperability.

This comparative study describes selected differences between Iran's and Sweden's high-speed railway, the differences will be the foundation of the entire study. The study will focus on the planned speeds for each country, climate adaptation, topography adaptation and track geometry. The report compares the impact of respective planned speeds on the Tehran-Esfahan line in Iran and Stockholm-Malmö line in Sweden.

The purpose of the report is to create a better understanding of the different technical choices as well as how these will impact the future traffic and track development.

The following differences and recommendations have been reached:

- Sweden will have a higher speed on its high-speed track, which means that it will take longer time for the vehicle to accelerate to the maximum speed. This report recommends that Sweden builds its high-speed railway with larger curves and avoids many stops so that the train will be able to reach maximum speed. In Iran, the three stops mean that the trains will drive at maximum speed a greater proportion of the runtime, which is one reason for Iran to dimension for higher speed right from the start of the project.
- In Sweden extra 30% of the max-speed of the train is added to have larger curves and to be able to have any future speed increases. In Iran, on the other hand, curvature and cant depends on the planned speed

which is 250 km/h, and therefore the report recommends that Iran should use the same method as Sweden for possible future speed increasing.

- Sweden will have a track distance for 4.50 and Iran at 4.20 meters. This means that Iran will not be able to increase the speed if the demand should arise. Therefore, the report recommends that Iran builds the track distance at the maximum value of 4.50 meters.
- The conicity is influenced by the critical speed of the vehicles and the rail slope as well as the track width. The report recommends that Sweden use the International Union of Railways 1:20 rail and in Iran it is recommended to use the International Union of Railways 1:30 rail.
- Temperature differences along the line Tehran-Qom-Esfahan in Iran is between 3 ° C to 41 ° C. It means warm summers and mild winters. In Sweden, the temperature differs approximately -4 ° C to 25 ° C on the Stockholm-Jönköping-Malmö line. Sweden's winters are much colder and the summers are milder. The report recommends that each country uses a type of cants that can handle the temperature differences. It is noteworthy that if the temperature goes below 0° C it implies great difficulties during the construction stage.

Keywords: High speed railroad, railway, Iran, Sweden, speed, track geometry.

## **Förord**

Jag vill rikta ett stort tack till Sven Assarsson, från Rejlers Sverige AB, som har ställt upp med mycket av sin tid som handledare och sett till att arbetet gått så smidigt som möjligt.

Vill tacka min handledare på Lunds Tekniska Högskola, Ingemar Braathen, för den tid han lagt ner och det stöd han har varit för arbetet.

Helsingborg 2017

Dena Ali Akbari



## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>11</b>
1.1	<b>Bakgrund</b> .....	<b>11</b>
1.2	<b>Syfte</b> .....	<b>13</b>
1.3	<b>Frågeställning</b> .....	<b>13</b>
1.4	<b>Avgränsningar</b> .....	<b>13</b>
1.5	<b>Definitioner och förkortningar</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Metod</b> .....	<b>15</b>
2.1	<b>Litteraturstudie</b> .....	<b>15</b>
2.2	<b>Jämförande analys</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>17</b>
3.1	<b>Resultat av litteraturstudie</b> .....	<b>17</b>
3.2	<b>Jämförande analys mellan planerade Höghastighetståg i Sverige och Iran</b> .....	<b>18</b>
3.2.1	Sverige .....	18
3.2.2	Iran .....	19
<b>4</b>	<b>Analys</b> .....	<b>21</b>
4.1	<b>TSD och standarder</b> .....	<b>21</b>
4.1.1	Åkkomfort .....	21
4.1.2	Ryck och acceleration.....	21
4.1.3	Hastighetens betydelse .....	22
4.1.4	Kurvor.....	23
4.1.4.1	<i>Horisontalkurva</i> .....	23
4.1.5	Rälsförhöjning.....	23
4.1.5.1	<i>Teoretisk rälsförhöjning (ht)</i> .....	24
4.1.5.2	<i>Rälsförhöjningsbrist (hb)</i> .....	24
4.1.5.3	<i>Rälsförhöjningsöverskott (hö)</i> .....	24
4.1.5.4	<i>Anordnad rälsförhöjning (ha)</i> .....	24
4.1.5.5	<i>Vertikalkurvor</i> .....	25
4.1.6	Spåravstånd .....	25
4.1.7	Konicitet och ekvivalent konicitet .....	26
4.2	<b>Klimat</b> .....	<b>28</b>
4.2.1	Iran .....	28
4.2.2	Sverige .....	30
4.3	<b>Resultaträkningar</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion, slutsatser och rekommendationer</b> .....	<b>32</b>
5.1	<b>Åkkomfort</b> .....	<b>32</b>

<b>5.2</b>	<b>Horisontellradier .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3</b>	<b>Rälsförhöjning.....</b>	<b>32</b>
5.3.1	Vertikalkurvor.....	33
<b>5.4</b>	<b>Spåravstånd.....</b>	<b>34</b>
<b>5.5</b>	<b>Konicitet.....</b>	<b>34</b>
<b>5.6</b>	<b>Klimat.....</b>	<b>35</b>
<b>Källor.....</b>		<b>37</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Under tidigt 1800-tal påbörjades utvecklingen av järnvägen. Före järnvägen användes häst och vagn samt en och annan kanal. Järnvägs-kunnandet spreds snabbt vidare till andra länder i Europa och även till andra länder runt om i världen (Populär Historia, 1998).

I slutet av 1800-talet kunde resenärer åka tåg från Turkiet till England vilket skapade stora möjligheter på den tiden där bland annat stora artister och viktiga politiker började åka tåg. Järnvägen blev en symbol för deras ställning och popularitet. Järnvägen blev också det transportmedel på land som var snabbast vilket gynnade samhällets utveckling (Populär Historia, 1998).

Idag är järnvägen på väg att konkurrera ut andra transportmedel då det är en miljövänligare och bekvämare transporter. Höghastighetstågen ligger även i samma restid som flygen utgör idag. Därför är det många länder som bygger ut och investerar på järnvägen. (Travel Report, 2012)

Järnvägen har visat att vara en stor samhällsnytta på flera sätt där det skapar konkurrenskraft och arbeten för regioner. Samtidigt som vi sätter mer trafik på järnvägen blir det lättare att uppnå miljömålen då järnvägen är miljövänligare alternativ i jämförelse med bil-, lastbils- och flygtrafik. Järnvägen är dock överbelastad och behöver ny teknik, nya lösningar och nya banor med till exempel homogen trafik för att klara av den efterfrågan som finns. (Ny Teknik, 2014).

“One belt, one road” (OBOR) är ett, av många, projekt som Kina börjat med och målet är att modernisera sidenvägen större järnvägsnät som ska sammanlänka Asien med Europa och Afrika (THE STATE COUNCIL THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, 2015).

Kina investerar i många länder för att bygga ut OBOR och ett av de länderna är Iran. Järnvägen i Iran anses av Kina vara väldigt högt prioriterad. Detta för Iran är viktig för att det kommer möjliggöra att fler länder kan ansluta sig till OBOR (The Diplomat, 2017).

Europeiska Unionen (EU) har som mål att förbättra relationen och minska gapet mellan länderna. Därför har EU tagit fram Trans European Network (TEN).

TEN är en policy som binder Europa där konsekvensen blir att man får ett starkt transportsystem. Man har även lagt en budget på €24 billion till 2020 för att uppnå TEN (European Commission – Mobility and Transport, 2017)

Trans European Network har två sträckor genom Sverige. Den första är mellan Stockholm och Malmö och den andra går mellan Oslo (Norge) och Malmö genom Göteborg. Detta har även satt press på Sverige att bygga en höghastighetsjärnväg i landet. (Trafikverket, 2017b)

Iran ligger mellan de två viktiga haven Kaspiska havet och Persiska golfen som mynnar till Arabiska havet. Kaspiska havet ligger norr om Iran som sträcker sig upp till Ryssland och Kazakstan och Persiska golfen ligger söder av Iran. Denna tillgång till hav, och dess möjligheter för transporter, har gjort att Iran har fått en central roll inom handel med mera. Landet ligger centralt i Mellanöstern och gränsar till många andra länder. Därför blir goda transportmöjligheter viktigt för Iran. När järnvägen en gång byggdes blev det naturligt att förbinda de två kustlinjerna (Railways of Islamic Republic of Iran, 2005).

"Vi strävar efter att återuppliva Sidenvägen i en modern form inom alla sektorer järnväg, flyg, väg och havet." – Irans transportminister Abbas Akhoundi

Iran har sedan 2016 slutit flera transportrelaterade avtal vilket bland annat innebär att deras järnvägsnät kommer växa med 10 000 km till 2025. En uppgradering ska också göras av järnvägsnätet till elektrifiering för att kunna öka hastigheterna och kapaciteten på nätet (Railway Technology, 2016)

Höghastighetsjärnväg är något som aktuellt världen över. Detta eftersom järnvägen skapar attraktiva, säkrare, snabbare och miljövänligare förbindelser mellan människor och platser på långa och kortare distanser. Både Iran och Sverige är i den fasen där de båda länderna planerar att bygga sina första höghastighetsjärnvägar.

Höghastighetståg kan skapa en stor attraktion för att resa snabbt. Samtidigt ska säkerheten samt åkkomforten bibehålls. Detta görs genom att krav sätts på olika delar av banorna. Kraven varierar från landets klimat, topografi och största tillåtna hastigheten.

Denna rapport beskriver utvalda skillnader mellan Irans och Sveriges höghastighetsbanor. Skillnader som kommer påverka grunden i hela arbetet. Det som studeras är hastigheten, klimatanpassningen, topografisk anpassning och spårgeometri.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att skapa en jämförelsestudie mellan Irans och Sveriges höghastighetsbana och skapa en bättre förståelse till dess skillnader.

Rapporten kommer att göra en jämförelsestudie om hur olika hastighetsmått påverkar sträckan Tehran - Esfahan i Iran och Stockholm - Malmö i Sverige och de skillnader och konsekvenser hastigheten medför.

## 1.3 Frågeställning

- Vad är den stora skillnaden mellan höghastighetsbanan mellan sträckan Teheran - Esfahan i Iran och Stockholm - Malmö i Sverige?
- Hur påverkar olika hastighetsmått bygget av höghastighetsbanan?
- Hur påverkar klimatet och topografin bygget av höghastighetsbana?

## 1.4 Avgränsningar

Jag begränsar mig till de dokument som är tillgängliga då denna rapport är skriven. Rapporten beskriver hur höghastighetsbanan teoretiskt kommer att byggas utifrån EU:s tekniska specifikationer (TSD, 2014), TSD, för driftskompatibilitet då banan inte är byggd.

## 1.5 Definitioner och förkortningar

**Brytpunkt** – På en linje där varje cirkulärkurva, övergångskurva eller raklinje börjar.

**ERTMS** - European Rail Traffic Management System

**GSM-R** - Globalt System för Mobil kommunikation – Rail

**Group FS** - Italian transport operator Ferrovie dello Stato

**Höghastighetsjärnväg** - Järnvägsbana som är dimensionerad för hastighet 250 km/h eller högre.

**Internationella järnvägsunionen (UIC)** - Samling mellan tågoperatörer, främst i Europa som tar fram normer för järnvägen (Wikipedia 2016)

**One belt, One road (OBOR)** - Investeringsprojekt av Kina att skapa bättre transport mellan kontinenter.

**RAI** - (Islamic Republic of Iran Railways) Statliga myndigheten i Iran för järnväg.

**RÖK** - Räls Övre Kant.

**STH** - Största Tillåtna Hastighet.

**Solkurvor** – Solkurva är när det sker en lokal utknäckning eller sidoförskjutning med minst 25 mm på 10 m på grund av solvärmen (Trafikverket 2017a).

**Trafikverket** - Statliga myndigheten i Sverige för transport.

**Trans European Network (TEN)** - Projekt som har extra hög prioritet för EU som spelar en nyckelroll för rörlighet av gods och personer inom EU (Trans-European Transport Network 2016).

**TSD (TSI)** - EU:s tekniska specifikationer för driftskompatibilitet.

## **2 Metod**

Två metoder har använts i studien. En litteraturstudie för att öka kunskapen om höghastighetsjärnväg samt en jämförande analys för att få en ökad förståelse om höghastighetsjärnvägens- och hastighetsbetydelse när det gäller utformning av spårgeometri i Iran och Sverige.

### **2.1 Litteraturstudie**

För att påbörja litteratursökningen samt att förstå vilka termer och ord som kunde vara relevanta och lämpliga gjordes en första fritextsökning i den nationella bibliotekskatalogen i Transguide databas, med termen ”järnväg”. Då denna sökning blev lite för bred. Utifrån denna sökning valdes ut och lästes ett antal titlar som var mer relevanta och därifrån fick nya idéer till nya termer att användas till vidare sökningar. Nästa term som användes var ”höghastighetsbana” där denna sökning gavs en bättre bild av vilka databaser som skulle vara lämpliga att användas i en fortsatt och mer inriktad sökning mot syftet. De databaser som gav flest träffar och mest relevanta titlar var spårgeometri, TSD och banövebyggnad. Där alla titlarna som framkom lästes igenom.

För att anses vara relevant skulle titeln svara till syftet eller innehålla ord kopplade till spårgeometri och hastighets betydelse för utformning av järnväg. De artiklarna som inte ansågs svara till syftet uteslöts och artiklarna som var relevanta lästes i sin helhet. Då efter att artiklarna blev lästa återfanns fyra artiklar som i någon form svarade till syftet.

Litteratursökningen går utifrån de tre huvudsakliga dokumenten avser EU:s Technical Specification of Interoperability, TDOK 2014:0075 (Södergren, B 2015) och TDOK 2014:0159 (Karlsson R, 2014) för både krav och beräkningar i rapporten.

### **2.2 Jämförande analys**

Genomförande av jämförande analysen går utifrån de dokument som finns som underlag till höghastighetsbanan. Rapporten kommer använda sig av de kontakter som vi har fått (Sven Assarsson handledare på Rejlers och Melody Khadem Sameni handledare på RAI i Iran).

Jämförelsestudien baseras på intervjuer samt tre huvudsakliga dokument. Intervjuerna gjordes med Sven Assarsson och Melody Khadem Sameni. De tre huvudsakliga dokumenten avser EU:s Technical Specification of Interoperability, TDOK 2014:0075 (Södergren, B 2015) och TDOK 2014:0159 (Karlsson R, 2014) för både krav och beräkningar i rapporten.

Genom att använda materialet ovan samlade jag information på hastighetsbetydelse när det gäller utformning av spårgeometri samt formler för att kunna beräkna spårgeometriska element såsom konicitet, kurvradier, rälsförhöjning och spåravstånd. Sedan jämförde jag dessa element mellan höghastighetsbanan i respektive land. Den här jämförande analysen användes sedan för att formulera rekommendationer i enlighet med säregenskaperna hos respektive höghastighetsbana i Iran och Sverige.



## 3 Resultat

### 3.1 Resultat av litteraturstudie

Höghastighetståg definieras som trafik av fordon med hastigheter som överstiger 250 km/h. Hastigheten är en viktig parameter när det gäller utformning av spårgeometri samt beräkning av spårgeometriska element såsom rälsförhöjning, kurvradier, spåravstånd, konicitet, etc. (Spårgeometri för höghastighetsbanor, examensarbete av Martin Lindahl KTH, 2001)

För att bygga höghastighetsbana ställs en del krav på de faktorer som påverkar spårgeometri:

Att ha rälsförhöjning i kurvor innebär att rälerna ligger med en höjdskillnad i förhållande till varandra. Där ytterrälen ligger då förhöjd i förhållande till innerrälen och på så sätt får spåret en lutning i förhållande till omkringliggande mark. Rälsförhöjning är hastighetsberoende och används i kurvor för att skapa en mer komfortabel färd för passagerare och för att minska räls slitaget (Trafikverket, 2015).

Spåravstånd är det avståndet mellan två eller fler separata närliggande spår. Värdet på spåravstånd för respektive bana beror på tågets STH. Att ha rätt spåravstånd innebär att fordon skall kunna passera eller stanna på säkert avstånd från det andra spåret (Trafikverket, 2015).

Vid bygget av en höghastighetsbana bör små kurvradier undvikas. Ju större hastighet tåget har desto större kurvradier behövs. Att ha rätt kurvradie ger en bättre åkkomfort för passagerare (Trafikverket, 2015).

Koniciteten påverkas av den tillåtna hastigheten men också av rälsens lutning och av spårvidden då konicitet är en indikation på styrförmågan hos hjulparen. Rätt konicitet värde innebär mindre hjul- och räls slitage (Andersson, 1999).

Syftet med att ha rätt spårgeometri är att förbättra komforten för passagerare samt att ge möjligheten att kunna öka hastigheten vid framtida behov.

## **3.2 Jämförande analys mellan planerade Höghastighetståg i Sverige och Iran**

Resultatet i studien redovisas med löpande text samt tabeller. Där beskrivs höghastighetsbetydelse för respektive land samt hur Iran och Sverige kan förbättra sina höghastighetsbanor utifrån de resultatet arbetet har kommit fram till.

### **3.2.1 Sverige**

Sverige kommer bygga en höghastighetsjärnväg mellan Stockholm - Jönköping - Göteborg och Jönköping - Malmö där den första etappen blir Ostlänken som sträcker sig mellan Järna och Linköping (se figur 1). Sträckan kommer vara 150 km, innehålla 200 broar och 20 km tunnel samt en STH på 320 km/h. Hela höghastighetsnätet förväntas vara i trafik 2035 (Sverigeförhandlingen, 2014).

Sverige ligger i norra Europa och är det största landet i Norden. Sverige är avlångt land och det är 1572 km långt mellan norr och söder. Landet har en befolkning på strax över 10 000 000 invånare och en area på 447 435 km<sup>2</sup>. Den största andelen av befolkningen bor i södra Sverige. Den största staden är Stockholm, andra största är Göteborg och tredje största Malmö (Nordiskt samarbete, 2017).



Figur 1. Sverigeförhandlingens förslag till höghastighetsbana (Andersson U, 2017)

### 3.2.2 Iran

Mellan huvudstaden Teheran och Esfahan kommer det att byggas höghastighetsbana. Den banan kommer att dimensioneras för STH 250 km/h. Banan förväntas få trafikstart 2021 och sträckan kommer bli 410 km. Banan är indelad i två delar som börjar med sträckan Esfahan - Qom. Den andra sträckan Teheran - Qom är under förberedelsestadiet (FS Italien, 2016).

Via ett telefonmöte med Melody Khadem Sameni (mars 2017) så beskriver hon att Irans höghastighetsbana kommer ha en hastighet på 250 km/h. Grupp FS från Italien kommer projektera och bygga projektet tillsammans med Kina. Projektet kommer följa kraven hos TSD. Vidare förklarar hon att det inte finns några tekniska dokument dokumenterad i dagsläget och alla ändringar kommer att bli dokumenterad under tiden projektet pågår. Hon misstänker att banan kommer att byggas likadant som Italiens höghastighetsbana.

Iran är världens 17:e störst befolkade land i världen med en befolkning på över 81 miljoner. Den största staden är Teheran vilket har en befolkning som

överstiger 7 miljoner. Teheran ligger i nord centrala Iran, söder om Kaspiska havet, se figur 2.



Figur 2. Karta över Iran nuvarande och framtida järnvägsnät (Global Construction Review, 2015)

Irans stora städer är åtskilda av öknar och höga berg. Långa bilresor på väg är utmattande och farliga och även om flygtransporter expanderar snabbt kan den inte lita enbart på flygplan för att möta den inhemska efterfrågan på goda och passagerartrafik.

Spårsystemet består av i stor del av oelektrifierad, enkelspåriga linjer som är anslutna till Teheran. Samtidigt har stora städer som har en befolkning större än 500 000 saknar tågtrafik vilket innebär att det krävs långsamma och krokiga resor för att resa mellan närliggande städer som Shiraz och Bandar Khomeyni. Det betyder att endast cirka 11 % av de personer som reser i Iran väljer att åka med tåg idag (Global Construction Review, 2015).

Teheran - Qom - Esfahan höghastighetsbana kommer att byggas enligt europeiska TSD-standarder, enligt nationell järnvägs RAIs projektdirektör Dr Jabar Ali Zakeri.

För närvarande dominerar kollektivtrafiken mellan Teheran och Esfahan av busslinjer. Det är dock långa sträckor och endast två persontåg trafikerar städerna var dag. Höghastighetsbanan kommer minska järnvägstiden från cirka 7 timmar till 2 timmar, enligt RAI (Railway Gazette, 2016).

## 4 Analys

### 4.1 TSD och standarder

TSD står för EU:s Technical Specification of Interoperability som är relaterad till det europeiska standarder (CEN) när det talas om tekniska krav för järnväg. TSD:n, TDOK 2014:0075 (Södergren, B 2015) och TDOK 2014:0159 (Karlsson R, 2014) är de standarder som har använts för både krav och beräkningar i rapporten om inget annat anges.

Samtidigt i Sverige har Trafikverket tagit fram en handbok, BVH 586.40 samt en regelbok (BVF 586.41) som följs när det gäller järnväg.

#### 4.1.1 Åkkomfort

Kort resetid, säkert resa och åkkomfort är de viktigaste faktorerna för resenärer. Restiden påverkas av antal stopp på en sträcka. Det innebär att större avstånd mellan stationerna möjliggör hastighetshöjning vid framtida behov.

Kottenhoff beskriver åkkomforten i sin rapport som en resa utan upplevelse av störande vibrationer, krafter, rörelser, krängningar och ryck som också känns trygg och säker och inte framkallar åksjuka.

#### 4.1.2 Ryck och acceleration

Ryck och acceleration är viktiga för åkkomforten och olycksrisken. Acceleration anger hastighetsförändring per tidsenhet, vilket enklare sagt beskriver hur hastigheten varierar över tiden (se formel 1). Ett normalt värde på acceleration i spårfordon är  $1,2 \frac{m}{s^2}$ . (Hansson J, 2013)

$$\text{Formel (1)} \quad a = \frac{v}{t}$$

Sidoaccelerationen (formel 2) och horisontalacceleration (formel 3) beräknas genom formeln nedan:

$$\text{Formel (2)} \quad a_y = \frac{v^2}{R} * \cos\varphi - g * \sin\varphi$$

$$\text{Formel (3)} \quad a_y = \frac{v^2}{R}$$

Matematiskt kan ryck beskrivas som ett fordons accelerationsförändring per tidsenhet. Det vill säga förändring av acceleration ( $\frac{m}{s^2}$ ) samt hur snabbt den här

förändringen sker till exempel vid inbromsning och sidoacceleration. Detta leder till att resenärer i fordonen tappar balansen.

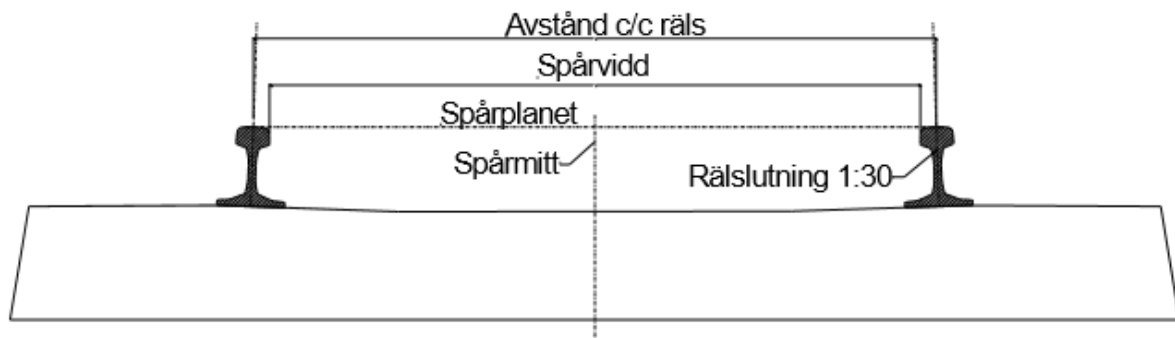
Ryck kan beräknas på följande sätt:

$$\text{Formel (4)} \quad J = \frac{a}{t} = \frac{\frac{v}{t}}{t} = \frac{v}{t^2}$$

Enheten för ryck är  $\frac{m}{s^3}$ . (Ringqvist S, 2015)

#### 4.1.3 Hastighetens betydelse

Höghastighetståg definieras som trafik av fordon med hastigheter som överstiger 250 km/h. Långa transportavstånd både när det gäller godstrafik och persontrafik medför behov av korta restider, detta talar för högre hastigheter. I både Sverige och Iran finns behov av väl anpassad spårgeometri för höghastighetsbanor, vilket används i samband med TSD standarder.



Figur 3. Spårdefinitioner. (Södergren B, 2015)

Hastigheten  $V$  är en viktig parameter när det gäller utformning av spårgeometri samt beräkning av spårgeometriska element såsom rälsförhöjning, rälsförhöjningsbrist (hb), spåravstånd, konicitet och etc. (se figur 3)

Syftet med att ha rätt spårgeometri är att förbättra komforten för passagerare samt att ge möjligheten att kunna öka hastigheten vid framtida behov.

(Spårgeometri för höghastighetsbanor, examensarbete av Martin Lindahl KTH, 2001)

#### 4.1.4 Kurvor

För att bygga höghastighetsbana ställs en del krav på de faktorer som påverkar spårgeometri. Ett krav kan vara att inte ska bygga för små eller stora kurvradier mer än nödvändig.

##### 4.1.4.1 Horisontalkurva

Före cirkulärkurvan behövs en övergångskurva som skapar en successiv rälsförhöjning och kurvradie för att öka säkerheten och åkkomforten av banan. (Veltefare semi, 2012).

Enligt TSD den största radien ska vara 90 000 m.

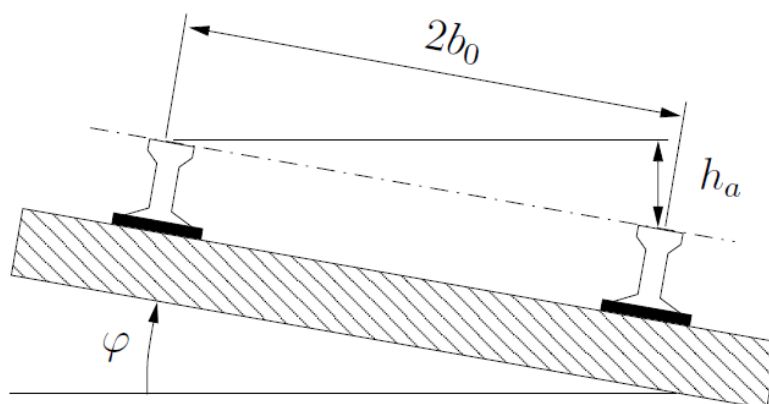
Kurvradien beräknas genom:

$$\text{Formel (5)} \quad R = 11,8 \frac{v^2}{h_b + h_a} = 11,8 \frac{v^2}{h_t}$$

I Sverige läggs det på 30 % på den STH som är tillåtet på banan. Detta görs för att förbereda en höjning av STH på banan. Tabell 1 visar slut resultatet på rekommenderad kurvradie för Iran respektive Sverige.

#### 4.1.5 Rälsförhöjning

Enligt TSD är den högsta tillåtna rälsförhöjning 160 mm för godstrafik och 180 mm för ren persontrafik. Det beskrivs att minsta värde på rälsförhöjningsbrist inte får understiga 30 mm men samtidigt ska det finnas stora marginaler till hastighetshöjningar. I Sverige gör Trafikverket bedömning på de värdena för både hastighetsprofil och rälsförhöjning.



Figur 4. Rälsförhöjning.

#### 4.1.5.1 Teoretisk rälsförhöjning ( $h_t$ )

Den teoretiska rälsförhöjning  $h_t$  är den rälsförhöjning som skulle krävas för att balansera ut sidokrafterna i en kurva och beräknas enligt formeln 5.

#### 4.1.5.2 Rälsförhöjningsbrist ( $h_b$ )

Rälsförhöjningsbrist är skillnaden mellan den teoretiska rälsförhöjningen ( $h_t$ ) och den anordnade rälsförhöjningen ( $h_a$ ). I Sverige, med en hastighet på 320 km/h, kommer högsta värde på rälsförhöjningsbrist vara 100 mm.

Enligt TSD kommer Iran, med en hastighet på 250 km/h, ha en maximal rälsförhöjningsbrist på 153 mm. Samtidigt finns det ett minimumvärde på rälsförhöjningsbrist vilket innebär att den inte ska understiga 30 mm..

Rälsförhöjningsbristen beräknas enligt formeln nedan:

$$\text{Formel (8)} \quad h_b = h_t - h_a$$

Tabell 2. Maximala rälsförhöjningsbrist (mm) för spår och växlar ur TSD

Dimensionerande hastighet (km/tim)	$v \leq 160$	$160 < v \leq 300$	$v > 300$
Vid trafikering med rullande materiel som följer TSD Rullande materiel – Lok och passagerarfordon	153		100
Vid trafikering med rullande materiel som följer TSD Rullande materiel – Godsvagnar	130	—	—

#### 4.1.5.3 Rälsförhöjningsöverskott ( $h_ö$ )

Rälsförhöjningsöverskott ( $h_ö$ ) är skillnaden mellan den anordnad rälsförhöjning ( $h_a$ ) och teoretisk rälsförhöjning ( $h_t$ ) för en viss hastighet. Det är viktigt att ta hänsyn till vad det gäller åkkomforten för resenärer beroende av vilken hastighet tåget har. Rälsförhöjningsöverskott beräknas enligt formeln:

$$\text{Formel (9)} \quad h_ö = h_a - h_t$$

#### 4.1.5.4 Anordnad rälsförhöjning ( $h_a$ )

Anordnad rälsförhöjning ( $h_a$ ) är konstant. Det innebär att den yttre rälen i en kurva anordnas högre än den inre rälen eller tvärtom.



#### 4.1.5.5 Vertikalkurvor

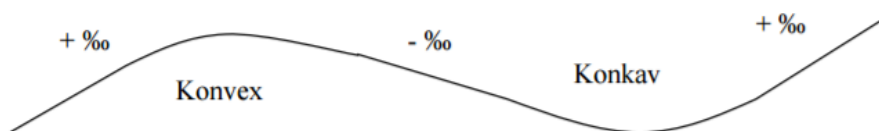
Vertikalkurvor förmedlar övergången i banans profil mellan två korsande balanslinjer. Brytpunkt i spårets längdprofil skall avrundas med vertikalkurva, som beskrivs som konvex eller konkav (se figur 5), beskriver Trafikverket.

Enligt TSD är vertikalradier beroende av den tillåtna hastigheten  $V$ , vilket framgår av två formler nedan:

Formel (6)  $R_v = 0,3 \cdot v^2$  Rekommenderad vertikalradie

Formel (7)  $R_{min} = 0,175 \cdot v^2$  Minsta vertikalradie

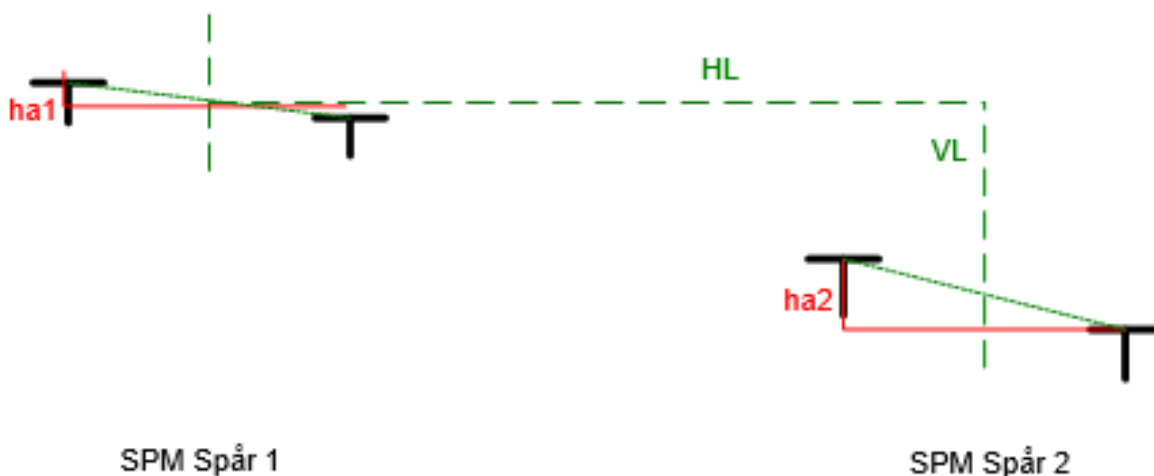
Beräkningar ger ett värde på den minsta och högsta kurvradien för Iran och Sverige.



Figur 5. Vertikalkurvor.

#### 4.1.6 Spåravstånd

Spåravstånd är det avstånd mellan två eller fler separata närliggande spår (se figur 6). Beroende på vilken hastighet tåget har kan beräknas fram spåravståndet för respektive bana.



Figur 6. Spåravstånd mellan spår 1 och spår 2. HL står för horisontellt avstånd och VL står för vertikalt avstånd mellan spår 1 och spår 2 (Svärdby-Bergman A, 2012)

I tabell 3 anges spåravståndet för Iran vilket är max 4,20 meter och för Sverige till maximal 4,50 meter.

Tabell 3. Minsta spåravstånd enligt TSD

Högsta tillåtna hastighet för tåg som överensstämmer med TSD högh. Rullande materiel	Minsta spåravstånd
$V \leq 230 \text{ km/h}$	Om < 4,00 m, fastställt på grundval av den kinematiska referensprofilen (avsnitt 4.2.3)
$230 \text{ km/h} < V \leq 250 \text{ km/h}$	4,00 m
$250 \text{ km/h} < V \leq 300 \text{ km/h}$	4,20 m
$V \geq 300 \text{ km/h}$	4,50 m

#### 4.1.7 Konicitet och ekvivalent konicitet

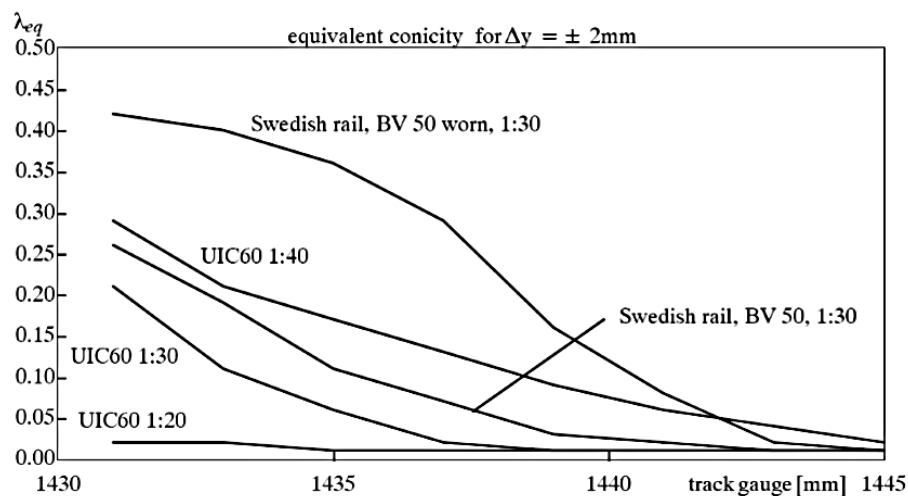
Koniciteten ( $\lambda$ ) definieras som deltaradien på hjulet ( $r_0$ ) delat med deltaförskjutnings avstånd av kontaktytan i sidled ( $y$ ) (se formel 10). Detta ger en konlutning på hjul-räl kontakten. Koniciteten påverkas också av rälsens lutning och av spårvidden då konicitet är en indikation på styrförmågan hos hjulparen (Andersson, 1999).

$$\text{Formel (10)} \quad \lambda = \frac{\Delta r}{\Delta y}$$

Effektiv konicitet ( $\lambda_{eff}$ ) är deltaradie skillnaden mellan vänster ( $r_v$ ) och höger hjul ( $r_h$ ) delat med två gånger delta förskjutnings avstånd av kontaktytan i sidled (se formel 11). Effektiv konicitet gäller endast för förslitningsanpassat hjulpar (S1002) då tangenten ändras beroende var på hjulet den befinner sig (Andersson, 1999).

$$\text{Formel (11)} \quad \lambda_{eff} = \frac{r_h - r_v}{2\Delta y}$$

En låg effektiv konicitet fås genom att spåret ligger bredare än 1435 mm, det vill säga flackare profil på rälsen, inga slitna räl eller genom lägre konicitet på hjulet (se figur 7). En låg effektiv konicitet ger en ökad sinusgång, bättre stabilitet i rakspår och högre kritisk hastighet (Andersson, 1999).



Figur 7. Förklarar hur förslitningsanpassad hjulprofil (S1002), räلتyp och spårvidd påverkar ekvivalenta koniciteten (Andersson, 1999)

Den kritiska hastigheten är då fordonet drivs fram i den hastigheten att fordonet skapar självgenererande svängningsrörelser i sidled. Detta skapar en instabilitet vilket begränsar fordonets maximala hastighet. Den kritiska hastigheten varierar beroende efter fordon. I och med detta så har TSD satt gränsvärden på den ekvivalenta koniciteten (se tabell 4) (Jönsson, 2004).

Tabell 4. Visar gränsvärden för ekvivalenta koniciteten beroende av hastigheten enligt TSD

Hastighetsområde (km/h)	Gränsvärden för ekvivalent konicitet
≤ 160	Bedömning krävs ej
>160 och ≤ 200	0,20
>200 och ≤ 230	0,20
>230 och ≤ 250	0,20
>250 och ≤ 280	0,20
>280 och ≤ 300	0,10
> 300	0,10

## 4.2 Klimat

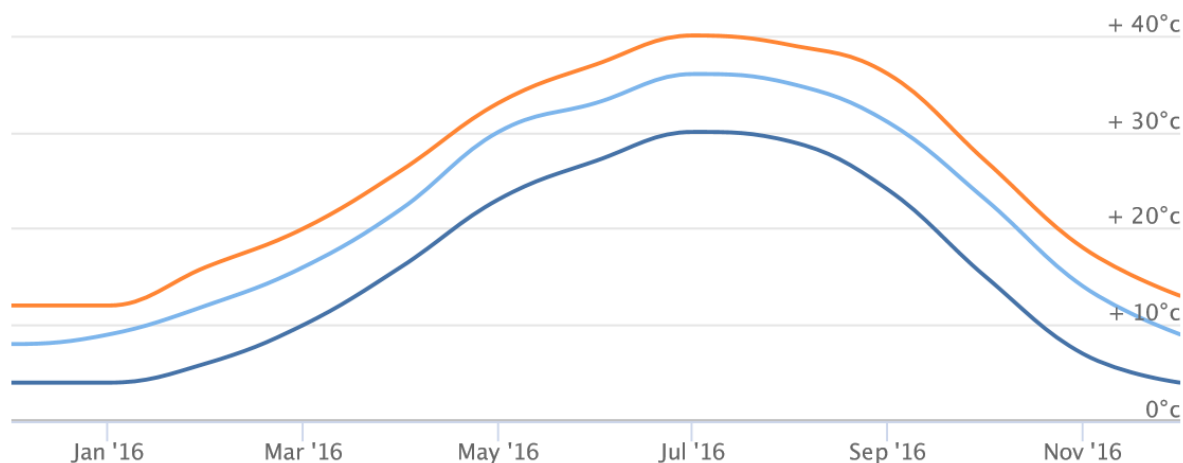
### 4.2.1 Iran

Idag ligger Irans huvudstad långt från andra stora städer i landet. Staden ligger på den gamla sidenvägen från Anatolien (Turkiet) till Indien och Kina längs Alborzbergen.

Teheran är en bergsstad som ligger 900 till 1700 meter över havsnivån. Dess stadsområde sprider sig helt över den iranska högplatån, på sluttningarna av en mycket hög och tät bergskedja, med en topp på 3933 m (bättre känd som Towchal). (Teheran municipality, 2017).

I södra Teheran börjar ökenområdet. Torrt och varmt på somrarna och ibland väldigt kallt på vintrarna (se figur 8), vilket symboliserar ett typiskt inlandsklimat). Även detta öppna och nakna område spelar ett strategiskt reserverat utrymme för Tehran Metropolis och dess 7 miljoner invånare (World Population Review, 2017).

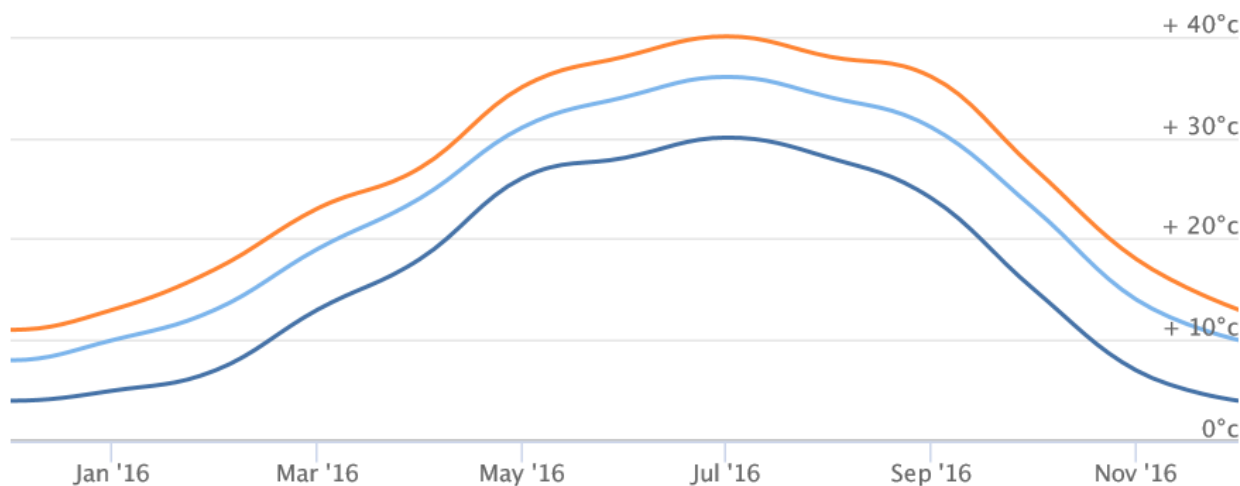
I figur 8 kan det avläsas att temperaturskillnaden under ett år varierar mellan 4° C och upp till 41° C.



Figur 8. Tehrans temperaturförändring under en årsperiod (World Wide weather online, 2017)

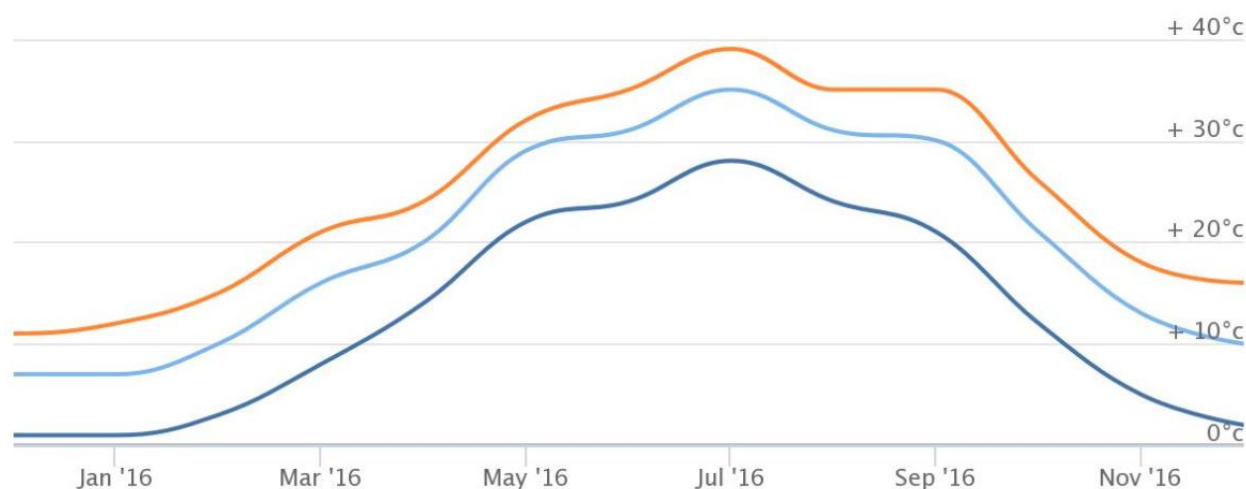
Qom, med 900 000 invånare, söder om Teheran men har andra geografiska förhållanden, har nära anknytning till Teheran. Mellan Teheran och Qom ligger Kavir öknen (World Population Review, 2017).

Figur 9 visar hur temperaturen förändras under ett år, från en maximal temperatur på +40° C till ett minimum temperatur på +3° C.



Figur 9. Qoms temperaturförändring under en årsperiod (World Wide weather online, 2017)

Esfahan ligger på en höjd av 1 578 meter över havet. Staden har en befolkning på 1 000 000 vilket gör den till den tredje största staden i Iran (World Population Review 2017) Esfahan har ett halvtorr klimat. Esfahan kännetecknas av relativt höga sommartemperaturer, lite regn och låg luftfuktighet. Vintertemperaturen är kall och trots sitt höjdläge är Esfahan fortfarande mycket varmt under sommaren med maximala, temperaturer upp till +37° C (se figur 10). Under vintern är dagarna milda men nätterna kan vara väldigt kalla och snö förekommer vissa vintrar.

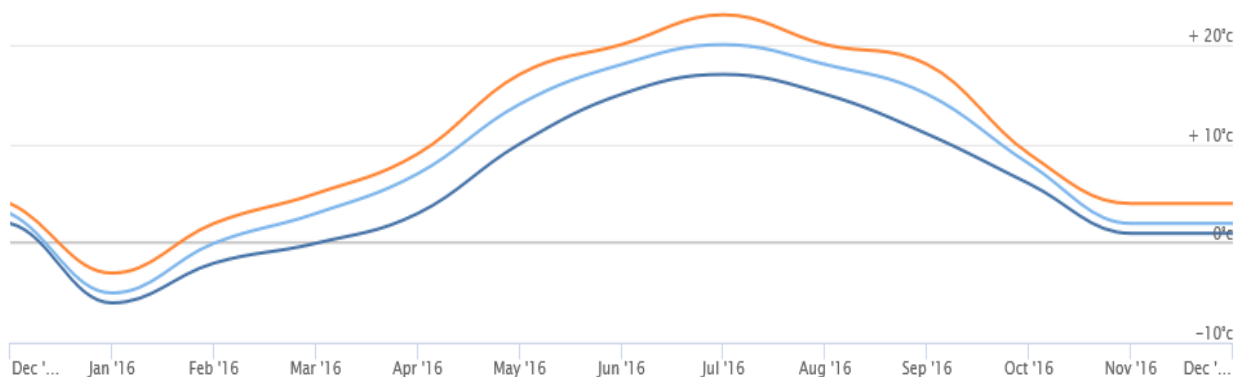


Figur 10. Esfahans temperaturförändring under en årsperiod (World Wide weather online, 2017)

## 4.2.2 Sverige

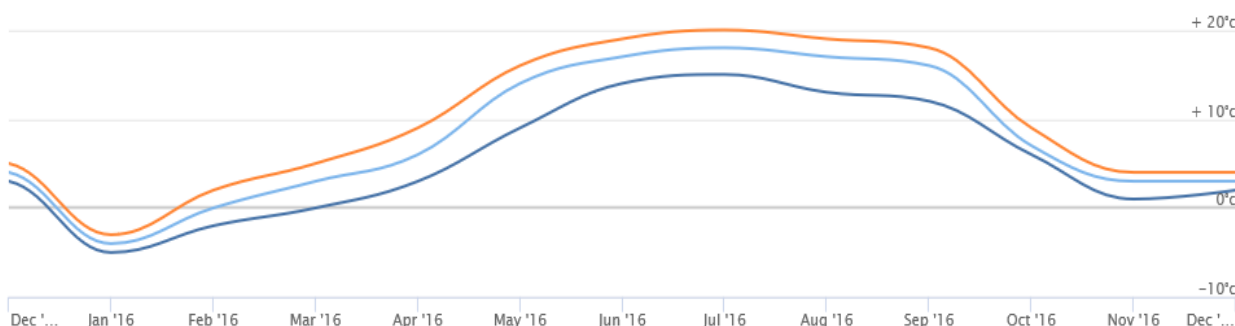
Stockholm har en befolkning på 1 300 000 och ligger på väldigt låg höjdnivå (Statistiska centralbyrån, 2016). Stockholm ligger på Ostkusten där Mälaren strömmar ut i Östersjön. De centrala delarna av staden består av fjorton öar som är kontinuerliga med Stockholms skärgård. Över 30 % av stadsområdet består av vattendrag och ytterligare 30 % består av parker och gröna utrymmen.

De skogklädda höjderna i södra och norra Östergötland skapar klimatproblem med större temperaturvariationer. Medeltemperaturen i januari varierar från  $-2^{\circ}\text{C}$  till  $-4^{\circ}\text{C}$  vid gränsen mot Småland längst i sydväst samt under juli är medeltemperaturen omkring  $+16^{\circ}\text{C}$ , lite över i öster och lite under i väster (se figur 11).



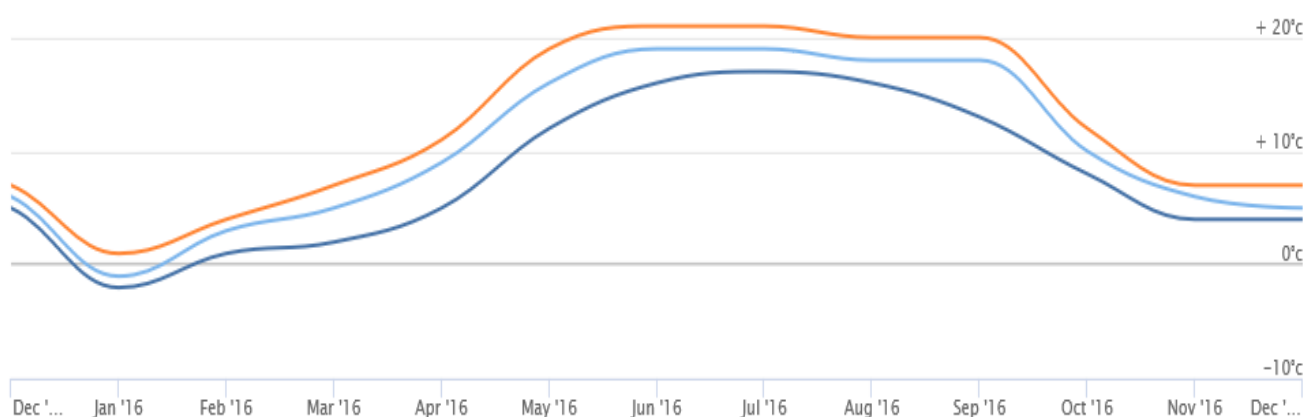
Figur 11. Stockholms temperaturförändring under en årsperiod (World Wide weather online, 2017)

Jönköping ligger i norra Småland och har en befolkning på cirka 135 000 invånare. Småland är Sveriges tredje största landskap med en höjdskillnad på 377 meter, vilket innebär stora klimatskillnader (Statistiska centralbyrån 2016). Medeltemperaturen, under januari, varierar mellan  $-1^{\circ}\text{C}$  till  $-4^{\circ}\text{C}$  och under juli månad varierar mellan  $+14^{\circ}\text{C}$  till  $+16^{\circ}\text{C}$  (se figur 12).



Figur 12. Jönköpingstemperaturförändring under en årsperiod (World Wide weather online, 2017)

Idag bor ungefär 370 000 invånare i Malmö som ligger i södra Sverige (Skåne) och är den tredje största stad i Sverige (Statistiska centralbyrån, 2016). Staden har ett öppet landskap vilket medför att det blåser ofta och kraftigt med följd av allvarliga skador. Under vintern är det snö och blåst som tillsammans orsakar stora väderproblem i Skåne. Medeltemperaturen under januari varierar mellan 0° C och -2° C vid gränsen till Småland, samt under juli månad från +15° C till +17° C i Malmö (se figur 13).



Figur 13. Malmös temperaturförändring under en årsperiod (World Wide weather online, 2017)

### 4.3 Resultaträkningar

Tabell 1 visar resultat på de rekommenderade värde för horisontalradie, vertikalradie och rälsförhöjningar för respektive land.

Tabell 1. Resultat på beräkningar av spårgeometri

	V (km/t)	R (m)	$h_a$ (mm)	$h_b$ (mm)	$h_t$ (mm)	$h_ö$ (mm)	$R_v$ (m)	$R_{min}$ (m)
				Maximal				
<b>Iran</b>	250	2215	180	153	333	-153	18 750	10 937,5
<b>Sverige</b>	320	4315 (7293 <sup>1</sup> )	180	100	280	-100	30 720	17 920

<sup>1</sup> STH = 416 km/h

## **5 Diskussion, slutsatser och rekommendationer**

### **5.1 Åkkomfort**

Rycket har ett maximalt värde som ligger på  $0,69 \frac{m}{s^3}$  då det innebär att resenärer kan börja känna obehag när rycket överstiger  $0,4 \frac{m}{s^3}$  (riktvärde).

Sverige kommer att ha högre STH på sin bana jämfört med Iran vilket innebär att det kommer ta längre tid för fordonet att accelerera och komma upp till dess maximala hastighet. Iran planerar att bygga sin bana med endast tre stationer på sträckan, vilket innebär att tågen kommer att ha färre stopp samt att tågen kommer köra maxhastighet större andel av tiden.

I och med att inbromsning och sidoacceleration i kurvor leder till att rycket ändrar sin storlek så rekommenderar jag att Sverige ska bygga sin sträcka med stora kurvor och undvika att ha många stopp. Detta för att tåget ska kunna ha jämn hastighet och hinna komma upp till maxhastighet.

Jag rekommenderar att Iran dimensionera för högre hastighet redan från början på grund av färre stopp på sträckan.

### **5.2 Horisontellradier**

Irans- och Sveriges rekommenderade kurvradie kommer ligga på 2 till 2634 m respektive 7854 m. (se tabell 1)

I Sverige läggs 30 % på den STH som är tillåtet på höghastighetsbanan. Detta görs för att förbereda en höjning av STH på banan. Däremot kurvradien för Iran beräknas med STH som är 250 km/h vilket bidrar till att Irans STH på banan inte kommer kunna höjas vid framtida behov.

Jag rekommenderar att även Iran ska lägga till 30 % på sin STH på höghastighetsbanan för att förbereda banan för framtida hastighetshöjning. Det blir en hastighet på 325 km/h och rekommenderad radie för Irans höghastighetsbana kommer ligga på 4451 m.

### **5.3 Rälsförhöjning**

Resultatet blir 333 mm för 250 km/h och 280 mm för 320 km/h.

Rälsförhöjningsbrist är hastighetsberoende. Enligt tabell 1 fick jag fram ett värde på rälsförhöjningsbrist för respektive länder. Iran kommer att ha en



maximal rälsförhöjningsbrist på 153 mm. I Sverige, med en hastighet på 320 km/h, är högsta rälsförhöjningsbristen 100 mm.

Rälsförhöjningsöverskott beräknas enligt formel 9. Genom beräkningar fick jag fram ett värde på rälsförhöjningsöverskott för Iran och Sverige. Då resultatet blev -153 för 250 km/h och -100 för 320 km/h.

Olika faktorer kan påverka anordnad rälsförhöjning för ett spår. Det finns därför inga specifika krav på hur anordnad rälsförhöjning ska dimensioneras. Anordnad rälsförhöjning varierar beroende på hur mycket persontrafik eller godstrafik trafikeras på banan. Genom att ta hänsyn till typ av tåg och tåg kapacitet på en sträcka kan vi få ett ungefärligt värde på respektive anordnad rälsförhöjning.

Radien och rälsförhöjning är beroende av varandra. Det innebär att med ändring av storlek på kurvradier kommer storleken på rälsförhöjning, rälsförhöjningsbrist, rälsförhöjningsöverskott och den anordnad rälsförhöjning att förändras.

Jag rekommenderar att Iran ska lägga till 30 % på sin STH på höghastighetsbanan för att förbereda banan för framtida hastighetshöjning. Resultatet på den rekommenderad radie för Irans höghastighetsbana kommer ligga på 3743 m, vilket innebär att värde på den anordnad rälsförhöjning kommer att bli 180 mm.

### 5.3.1 Vertikalkurvor

Beräkningar ger ett värde på den minsta och högsta kurvradien för både Iran och Sverige. Beräkningar ger en minsta vertikalradie på 18 000 meter och en rekommenderad radie på 31 000 meter för 320 km/h.

För Iran med en hastighet på 250 km/h blir den minsta vertikalradie cirka 11 000 meter och för rekommenderad radie blir ett värde på 19 000 meter.

Iran kommer att ha en lägre STH på sin bana jämfört med Sverige. Befolkningen i Iran är ungefär 10 gånger så stor som Sveriges befolkning vilket innebär att resenärskapacitet på tåget kan höjas med tiden. På grund av ökning av antalet resenärer på sträckan kommer det behövas fler tåg. Detta innebär att hastighetshöjning skulle vara en bra lösning för att kunna möta högre kapacitetskrav sträckan.

Jag rekommenderar att Iran ska bygga med större vertikalkurvradier för framtida hastighetshöjning. Eventuellt ska Iran investera på korglutade tåg dock korglutade tåg skapar mindre komfort och mer åksjuka problem för resenärer.

#### **5.4 Spåravstånd**

Iran kommer bygga sina spår med ett avstånd på 4,20 meter vilket enligt tabell 3 innebär att den maximala hastigheten tåget kommer kunna ha i framtiden är 300 km/h. Sveriges höghastighetsbana dimensioneras med en hastighet på 320 km/h och kommer ha ett spåravstånd på 4,50 meter. Det innebär att vid framtida behov av högre hastigheter kommer spåravståndet inte vara ett hinder.

Spåravstånd är hastighetsberoende och viktig att man tänker på framtida hastighetshöjning på grund av olika trafikbehov såsom ökning av tågkapacitet på sträckan. Iran med ett spåravstånd på 4,20 meter kommer inte kunna höga hastigheten på sin höghastighetsbana vid framtida behov.

Därför rekommenderas att spåravståndet byggas på det maximala värdet 4,50 meter för att slippa stora kostnader först och främst för att bygga om banan vid uppgradering till högre hastigheter.

#### **5.5 Konicitet**

Vid högre hastigheter behövs en högre kritisk hastighet för att tåget inte ska generera större svängningar i fordonet. Den kritiska hastigheten höjs genom att ha en låg konicitet/ effektiv konicitet.

Enligt TSD finns en gräns för ekvivalent konicitet som berör de högre hastigheterna (se tabell 4) och den gränsen går vid 280 km/h. Det betyder att om banan byggs för en lägre hastighet än 280 km/h och om förvaltaren sedan skulle vill höja hastigheten till över 280 km/h måste banan uppgraderas så att den får en lägre effektiv konicitet.

Då figuren 8 studeras kan vi se att spårvidden och rärlutningen har en stor betydelse för järnvägen. Vi kan utifrån figuren se att den bästa rälen är UIC60 1:20 (1:20 står för rärlutningen) för alla spårvidder i tabellen. Rärlutningen skapar en stabilare gång då tågen kör i högre hastigheter. Därför är det inte lämpligt att använda rärl med större lutning som till exempel 1:30 eller 1:40. Rälen är dock inte optimalt för kurvor för den har en sämre

kurvtagningsförmåga. I och med att man bygger en höghastighetsbana förutsätts det att det blir färre kurvor och större radier än de banor som finns idag.

Om vi bygger med en räl som blir känsligare för spårlägesfel bör banan konstrueras i syfte att minska risken för fel. Risken för spårlägesfel minskas genom att bygga med fixerat spår. Därför har fixerat spår en betydelsefull roll för ekvivalent konicitet.

Den ekvivalenta koniciteten kan ändras i efterhand genom att göra större spårvidd och mindre rärlutningen. När rapporten nämner "göra större spårvidd" syftas det inte på att man dimensionerar en spårvidd större än 1435 mm utan att den anordnade spårvidden blir över 1435 mm.

Spårvidden och rärlutningen är lättare att ändra i byggskedet än åtgärda senare när banan är färdig konstruerad.

Jag rekommenderar att Sverige använder räl typen UIC60 1:20 för den är mindre känsligt för spårlägesfel och har bättre stabilitet på rakspår. Samtidigt om det byggs räiltyper men en rärlutning på 1:30 eller 1:40 skapas en instabilare gång på banan och då rekommenderas det att inte bygga över 300 km/h.

För Iran rekommenderar jag att banan byggs med effektiv konicitet under 0,1. Det behövs relativt små åtgärder i början för att höja effektiva koniciteten på banan för att höja hastigheten.

## **5.6 Klimat**

Genom att studera figur 8, 9 och 10 erhålls en ungefärlig temperaturskillnad på sträckan Tehran-Qom-Esfahan. Under året varierar temperaturen mellan +3° C till +41° C. Det innebär varma somrar och milda vintrar. Till skillnad från temperaturförändring på sträckan Stockholm - Jönköping - Malmö i Sverige som ligger på ungefär mellan -4° C till +25° C, har Sverige en mycket kallare vinter samt mildare sommar.

Höga temperaturskillnader bidrar till en ökning av tryckkraft i spåret vilket kan orsaka solkurvor. I och med att Iran har en stora temperaturskillnader blir risken för solkurvor större då det uppstår större kraftförändringar.

När temperaturen kommer under fryspunkten (under 0° C) blir material känsligare för stötar och andra påfrestningar och mellanlägget förlorar sin elastiska förmåga och kan bli sprickbildning. Även vatten som har trängt sig mellan i befästningen kan frysa till och frostsprängning kan uppstå.

Konsekvens av att Iran har större temperaturskillnader blir att de får större kraftpåverkan på befästningen och därmed rekommenderas att Iran ska ha befästningar som klara av de högre spänningarna som uppstår i spåret. Däremot ska befästningen i Sverige klara av temperaturer under 0° C. Då lägre temperaturer än 0° C kan göra befästningen sprött och mer känsligt för stöttar eller liknade kraftpåverkningar.

## Källor

Andersson, E. (1999). *Järnvägssystem och Spårfordon Del: 1. Järnvägssystem*  
Stockholm: Järnvägsgruppen KTH

Andersson, U. (2017) *Lönsam länk hävdar handelskammare*  
[http://www.entreprenad.com/article/view/394079/lonsam\\_lank\\_havdar\\_handels\\_kammare#](http://www.entreprenad.com/article/view/394079/lonsam_lank_havdar_handels_kammare#)  
[2017-04-28]

European Commission – Mobility and Transport (2017) *Infrastructure - TEN-T - Connecting Europe*  
[http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure\\_en](http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure_en) [2017-03-28]

FS Italien (2016) *FS Italiane in Teheran: cooperation with Iranian railways for the construction of High-Speed railway lines*  
<http://www.fsitaliane.it/fsi-en/Media-and-events/Press-releases-and-news/FS-Italiane-in-Teheran-cooperation-with-Iranian-railways-for-the-construction-of-High-Speed-railway-lines>

Global Construction Review (2015) *Iran's railway revolution*  
<http://www.globalconstructionreview.com/markets/how-islamic-republic-set-become-land-br8i8d8ge/> [2017-05-08]

Hansson, J (2013), *Ändrings-PM till Handledning för spårvägsplanering i Skåne*  
[http://projektering.nu/files/2013\\_14\\_Andrings-PM\\_handledningen\\_131206.pdf](http://projektering.nu/files/2013_14_Andrings-PM_handledningen_131206.pdf)  
[2017-05-13]

Jacques Barrot (2014), *Europeiska unionens officiella tidning*  
[https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/tsd/svenska/tsd\\_ho\\_ghastighet\\_drift\\_lagtext\\_samt\\_teknisktext\\_2014\\_02\\_01.pdf](https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/tsd/svenska/tsd_ho_ghastighet_drift_lagtext_samt_teknisktext_2014_02_01.pdf) [2017-03-10]

Jönsson, P. (2004) *Löpverk för högre axellast och hastighet* (Järnvägsgruppen KTH Rapport 0506B). Stockholm: Järnvägsgruppen KTH  
[https://www.kth.se/polopoly\\_fs/1.87122%21/Menu/general/column-content/attachment/0506B\\_inlaga.pdf](https://www.kth.se/polopoly_fs/1.87122%21/Menu/general/column-content/attachment/0506B_inlaga.pdf)

Karlén, H (2014) *BANSTANDARD I GÖTEBORG, KONSTRUKTION*  
<http://www.bana.tkgbg.se/Pdf/K%201.1.3%20R%E41f%F6rh%F6jning,%20vignol.pdf> [2017-04-30]

Karlsson, R (2014) *Teknisk systemstandard för höghastighetsbanor*  
[http://www.trafikverket.se/contentassets/153371e438784d52b3e3c364a55662a8/teknisk\\_systemstandard\\_tdok2014\\_159.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/153371e438784d52b3e3c364a55662a8/teknisk_systemstandard_tdok2014_159.pdf) [2017-03-28]

Kottenhoff, K (2011) *Samband mellan körstil och åkkomfort*  
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:674107/FULLTEXT01.pdf> [2017-05-03]

Nordiskt samarbete (2017) *Fakta om Sverige*  
<http://www.norden.org/sv/fakta-om-norden/nordiska-laender-och-faeroearna-groenland-och-aaland/fakta-om-sverige> [2017-05-05]

Ny Teknik (2014) *”Investera i järnväg för ökad konkurrenskraft”*  
<http://www.nyteknik.se/opinion/investera-i-jarnvag-for-okad-konkurrenskraft-6398850> [2017-03-23]

Populär Historia (1998) *Alla tiders tåg*  
<http://popularhistoria.se/artiklar/alla-tiders-tag> [2017-03-23]

Railway Gazette (2016) *Tehran – Esfahan line should be TSI-compliant, RAI tells Chinese contractors*  
<http://www.railwaygazette.com/news/high-speed/single-view/view/tehran-esfahan-line-should-be-tsi-compliant-rai-tells-chinese-contractors.html>

Railways of Islamic Republic of Iran (2005) *Opens Bafq-Mashad Line*  
[http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr41/pdf/f34\\_rai.pdf](http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr41/pdf/f34_rai.pdf) [2017-04-03]

Railway Technology (2016) *Rapid transit: why Europe is lining up to fast-track Iran’s rail revolution*  
<http://www.railway-technology.com/features/featurerapid-transit-why-europe-is-lining-up-to-fast-track-irans-rail-revolution-4893218/> [2017-04-11]

Ringqvist, S (2015) *Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på BRT*  
[http://www.k2centrum.se/sites/default/files/fields/field\\_uppladdad\\_rapport/rapp\\_ort\\_brtguideliines\\_x2ab\\_jan\\_2015.pdf](http://www.k2centrum.se/sites/default/files/fields/field_uppladdad_rapport/rapp_ort_brtguideliines_x2ab_jan_2015.pdf) [2017-05-13]

Statistiska centralbyrån (2016) *Folkmängden efter region, civilstånd, ålder och kön. År 1968 - 2016*

[http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_BE\\_BE0101\\_BE0101A/BefolkningNy/?rxid=787f4b13-c605-48a5-9c1a-4b55fe71c69a](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_BE_BE0101_BE0101A/BefolkningNy/?rxid=787f4b13-c605-48a5-9c1a-4b55fe71c69a) [2017-05-02]

Sverigeförhandlingen (2014) *Mellan Göteborg och Stockholm på två timmar. Malmö-Stockholm på två och en halv*  
<http://sverigeforhandlingen.se/uppdrag-hoghastighetsjarnvag/> [2017-04-11]

Svärdby-Bergman, A. (2012) *FOMUL-inmätning (årtal)* (Trafikverket Dataproduktspecifikation)  
[http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga\\_och\\_underhalla/Jarnvag/BIS/Dataproduktspecifikationer%20\(DPS\)/Dps\\_anlaggningsdata/Anl%C3%A4ggningsdata%20f%C3%B6r%20specialtransporter/Inm%C3%A4tning\\_%C3%A5rtal.pdf](http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Jarnvag/BIS/Dataproduktspecifikationer%20(DPS)/Dps_anlaggningsdata/Anl%C3%A4ggningsdata%20f%C3%B6r%20specialtransporter/Inm%C3%A4tning_%C3%A5rtal.pdf)

Södergren, B. (2015) *Banöverbyggnad - Spårgeometri Krav på spårets geometri vid nybyggnad, reinvestering/upprustning, underhåll och drift*. Trafikverket Chef VO Underhåll.

Tehran municipality (2017) *Tehran, Environment & Geography*  
<http://en.tehran.ir/Default.aspx?tabid=97> [2017-05-02]

The Diplomat (2017) *China, Russia, Iran: Ports and Power Along the Belt and Road*  
<http://thediplomat.com/2017/03/china-russia-iran-ports-and-power-along-the-belt-and-road/> [2017-03-28]

THE STATE COUNCIL THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA (2015) *China's Belt and Road plan 'open' to all nations*  
[http://english.gov.cn/news/top\\_news/2015/04/18/content\\_281475091262006.htm](http://english.gov.cn/news/top_news/2015/04/18/content_281475091262006.htm) [2017-03-28]

Trafikverket (2015) *Banteknik*  
[http://www.moodle2.tfe.umu.se/pluginfile.php/20678/mod\\_resource/content/1/Kompendium\\_BAIOE.pdf](http://www.moodle2.tfe.umu.se/pluginfile.php/20678/mod_resource/content/1/Kompendium_BAIOE.pdf)

Trafikverket (2017a) *Solkurvor*

<http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/Banarbeten/Arstidsrelaterat-underhall/Solkurvor/> [2017-05-11]

Trafikverket (2017b) *Finansiellt stöd inom ramen för Fonden för ett sammanlänkat Europa (TEN-T-finansiering)*  
<http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Finansieringsmetoder/finansiering/> [2017-03-28]

Trans-European Transport Network (2016) *WELCOME TO OUR PUBLIC PORTAL*  
<http://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/site/en/abouttent.htm> [2017-03-28]

Travel report (2012) *Världens längsta järnväg är klar i Kina*  
<http://www.travelreport.se/2012/12/28/varldens-langsta-jarnvag-ar-klar-i-kina/> [2017-03-23]

TSD (2014) *Europeiska unionens officiella tidning*  
<https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/tsd/svenska/tsd-infrastruktur-1299-2014.pdf> [2017-01-30]

*Veltefare semi* (2012) [video] Steinar Myhre  
<https://www.youtube.com/watch?v=-57zi9715hw> [2017-05-05]

Wikipedia (2016). *Internationella järnvägsunionen*.  
[https://sv.m.wikipedia.org/wiki/Internationella\\_järnvägsunionen](https://sv.m.wikipedia.org/wiki/Internationella_järnvägsunionen) [2017-03-28]

World Population Review (2017) *Population of Cities in Iran*  
<http://worldpopulationreview.com/countries/iran-population/cities/> [2017-05-02]

World Wide weather online (2017) *Yearly Monthly Weather Averages*  
<https://www.worldweatheronline.com/tehran-weather/tehran/ir.aspx> [2017-05-02]