

HÖGHASTIGHETSJÄRNVÄG I SVERIGE



Karl Lundstedt

2022-06-09

FÖRORD

Projektet påbörjades 2020-06-26 och har slutförts under mars 2022.

Pandemin har tyvärr påverkat projektet genom att vi inte kunnat åka på studiebesök till Kina och även inneburit förseningar. Studien med hur höghastighetsjärnväg byggs i Kina har dock kunnat genomföras via Teamsmöte med våra kinesiska kontakter.

Projektet har genomförts av följande personer på Skanska Teknik:

- Karl Lundstedt, projektansvarig och skrivit rapport
- Pontus Nyberg, dynamiska beräkningar och samverkan mellan räler och bro
- Martin Nilsson, dynamiska beräkningar SSI
- Jan Olsson, dynamiska beräkningar m.m.
- Per Kettil, statiska beräkningar av överbyggnad och underbyggnad

Referensgrupp för projektet:

- Ola Öhrström, Trafikverket
- Pär Helgesson, SJ
- Lars Hall, NCC
- Nils Ryden, PEAB
- Ulf Håkansson, Skanska Sverige AB
- Anders Kullingsjö, Skanska Teknik

Projektet vill speciellt tacka alla ovanstående samt Lennart Stenman och Petter Stänkelström på Stora Projekt i Skanska.

Önskar också ge ett varmt tack till SBUF som möjliggjort att aktuell projekt kunnat genomföras!

SAMMANFATTNING

Europa och Asien är ledande i utbyggnaden av höghastighetsjärnväg. Det finns mycket att lära av länder som Frankrike, Japan och Kina med flera.

I Kina byggs höghastighetsjärnväg i ett mycket högt tempo på landbroar och här har man en hög prefabriceringsgrad och industrialiserat byggande.

Det är stor samhällsnytta att separera ny höghastighetsjärnväg från godstrafiken eftersom det ger ökad transportvolym, mindre förseningar och möjlighet att optimera projektet.

Sverige står inför ett vägval att bygga ut järnvägsnätet med nya stambanor eller höghastighetsjärnväg. Konceptet med landbroar för höghastighetsjärnväg har möjlighet att skynda på plan- och byggprocessen och hitta bättre samhällsekonomisk lönsamhet. Detta kräver dock politisk enighet och beslutsamhet tillsammans med att Trafikverket och Byggbranschen bidrar.

Projektet har verifierat dynamiska analyser och statiska beräkningar för ett koncept med landbroar med spännvidder på 40 meter. Detta koncept ger möjlighet till mycket hög grad av prefabricering och snabb byggprocess vilket är en förutsättning för att öppna höghastighetsjärnväg mellan våra tre största städer.

Konceptet med landbroar har många fördelar eftersom man tar betydligt mindre mark i anspråk och undviker barriäreffekter för människor och djur vilket är stor fördel för den biologiska mångfalden.

Systemen med ballastfria broar och direkt infästa räler möjliggör att tågen kan öka hastigheten till upp mot 350 km/h i stället för vår traditionella utbyggnad av stambanor med maximalt 250 km/h.

Det är vår förhoppning att denna rapport kan öka kompetensen inom höghastighetsjärnvägstekniken, bidra till diskussion och debatt i ämnet samt möjliggöra säkra samhällsekonomiska kalkyler för projektet som kan bidra till rätt beslut för Sverige.

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	4
2	HÖGHASTIGHETSJÄRNVÄG I ANDRA LÄNDER	6
2.1	EUROPA	6
2.2	JAPAN	9
2.3	KINA	10
3	HUR BYGGS HÖGHASTIGHETSJÄRNVÄG I KINA	11
3.1	KONCEPT	11
3.2	UNDERBYGGNAD.....	11
3.3	ÖVERBYGGNAD	13
4	KONCEPT MED LANDBROAR I SVERIGE	16
5	INDUSTRIALISERAT BYGGANDE	17
5.1	PREFABFABRIK	17
5.2	TRANSPORT OCH MONTAGE AV PREFAB-ELEMENT	20
6	KLIMATEFFEKTER	26
7	TYP AV TÅGTRAFIK	27
7.1	SYNPUNKTER FRÅN EN OPERATÖR.....	27
7.2	TRADITIONELL UTBYGGNAD	27
8	VÄGVAL FÖR SVERIGE	28
9	TÅGLASTER	29
9.1	TÅGLASTER EUROKOD	29
9.2	TÅGLASTER I KINA.....	29
9.3	TÅGLASTER DYNAMISKA BERÄKNINGAR	29
10	DYNAMISKA ANALYSER	31
10.1	DYNAMISK BERÄKNING MED MODALANALYS	31
10.2	DYNAMISK BERÄKNING MED JORD BRO INTERAKTION	38
11	INFÄSTNING AV RÄLER	40
11.1	SLAB TRACK	40
11.2	INTERAKTION MELLAN RÄLER OCH BRO.....	41
11.3	MODELL FÖR INTERAKTION MELLAN BRO OCH RÄLER	42
11.4	BERÄKNINGAR	43
11.5	RAIL EXPANTION JOINTS.....	45
11.6	SLUTSATSER OCH FORTSATT ARBETE.....	45
12	OPTIMERAD BRO FÖR SVENSKA FÖRHÅLLANDE	46
13	BROBANA ELLER JÄRNVÄGSBANK	48
14	ARBETE INOM TRAFIKVERKET	50
14.1	KONCEPT FRÅN JAPAN.....	50
14.2	AKTUELLA PROJEKT	52
15	SKAGERRAKBANAN	53
16	REFERENSER	54

1 INTRODUKTION

I Sverige har "Sverigeförhandlingen" [1 och 2] utrett hur 75 mil nya stambanor skulle kunna byggas med syftet att knyta Stockholm, Göteborg och Malmö närmare varandra samt utveckla mellanliggande regioner med totalt elva stationslägen. Regeringen har beslutat att nya stambanor [3] för höghastighetståg ska färdigställas. Figur 1 nedan visar stambanornas dragning från Sverigeförhandlingen.

För den första etappen Järna-Linköping (Ostlänken) finns medel redan avsatta i nationell plan för infrastruktur under den kommande planperioden fram till 2029. Sträckan Göteborg-Borås har också medel avsatta i nationell plan med byggstart under samma period. En lokaliseringsutredning för sträckan Hässleholm-Lund pågår, se Figur 2 nedan, vilket föreslås ingå i den kommande nationella planen 2022-2033.



Figur 1 : Nya stambanor [2]



Figur 2 : Lund – Hässleholm

Idag räknar man med cirka 35 års projekttid för 15 mil järnväg. I nationella planen från Trafikverket [4, 5 och 16] planeras dom centrala delarna av nya stambanor vara klara till 2045 men hela projektet är inte finansierat idag. Troligen kommer detta dra ut på tiden cirka 20 år och möjligen stå klart 2065. Hur kan Sverige bli effektivare med utbyggnaden av stambanor och höghastighetståg?

Befintliga svenska stambanor är mycket hårt utnyttjade för både gods- och persontransporter. Det finns därför ett stort behov av ökad kapacitet på järnvägen vilket kan erhållas genom nya stambanor och höghastighetsjärnväg.

Maglevtåg (magnet levitation) är ett spårbundet tågssystem som använder magnetiska krafter för att bära upp tåget samt driva tåget framåt.

Utvecklingen av höghastighetsjärnväg startade i Frankrike, Tyskland och Japan. Världens snabbaste tåg är det japanska maglevtåget L0 som har uppnått 603 km/h och det snabbaste konventionella tåget är franska TGV POS med 575 km/h. Världens snabbaste tåg i trafik är maglevtåget Transrapid SMT som kör mellan Shanghai i Kina och stadens internationella flygplats. På den 30 km långa sträckan når tåget som mest 431 km/h. Tågresan tar bara åtta minuter, medan samma sträcka kan ta uppåt en timme i taxi.

Japan är världsledande när det kommer till de riktigt höga hastigheterna. Landets första riktigt snabba maglevlinje är tänkt att invigas 2027 och ska gå mellan Tokyo och Nagoya.

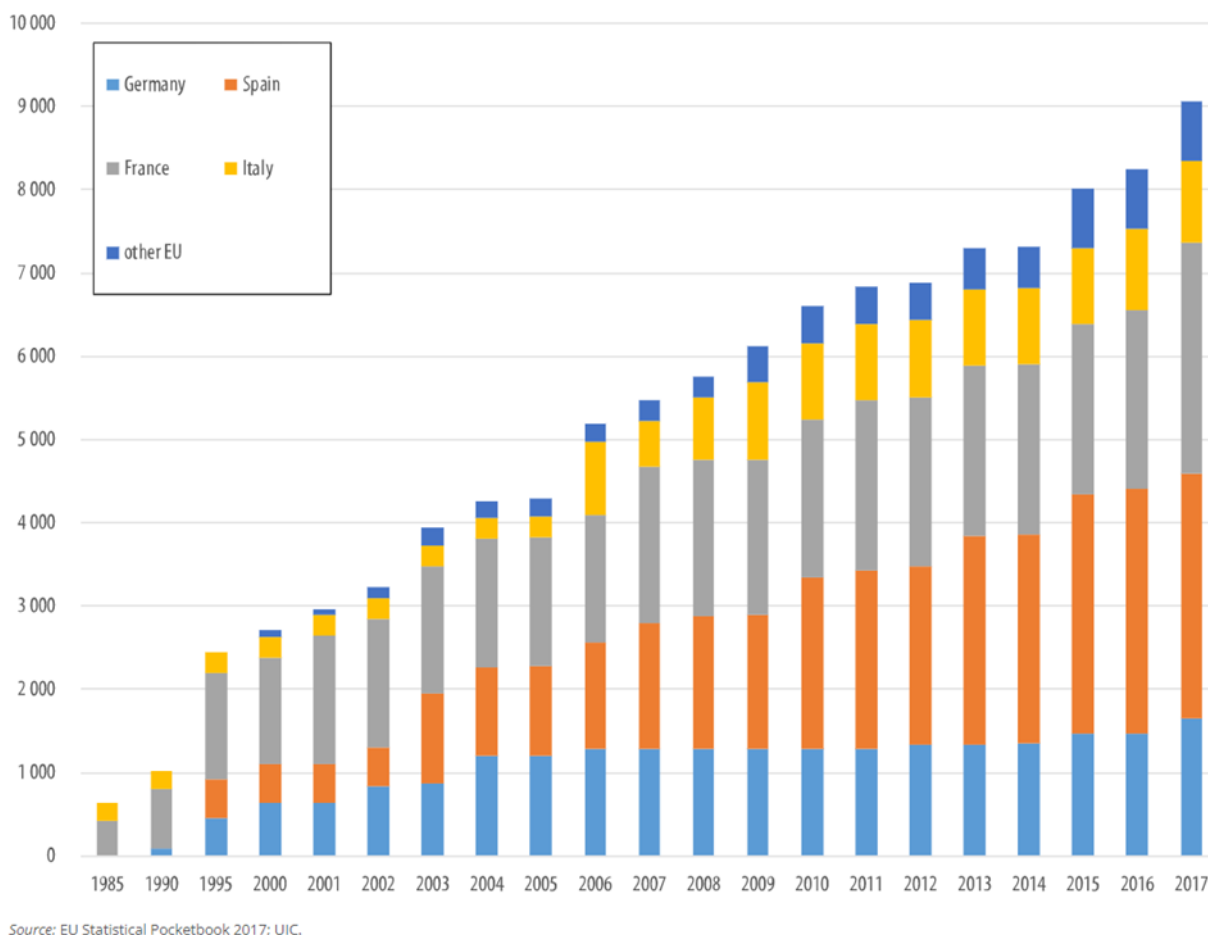
Kinesiska statliga rälsfordonstillverkaren CRRC har också maglevtåg som kommer upp i hastigheter på 600 km/h. I Kina skall man öppna en linje mellan Shanghai och Peking som kapar restiden med två timmar ned till 3,5 timmar.

2 HÖGHASTIGHETSJÄRNVÄG I ANDRA LÄNDER

2.1 Europa

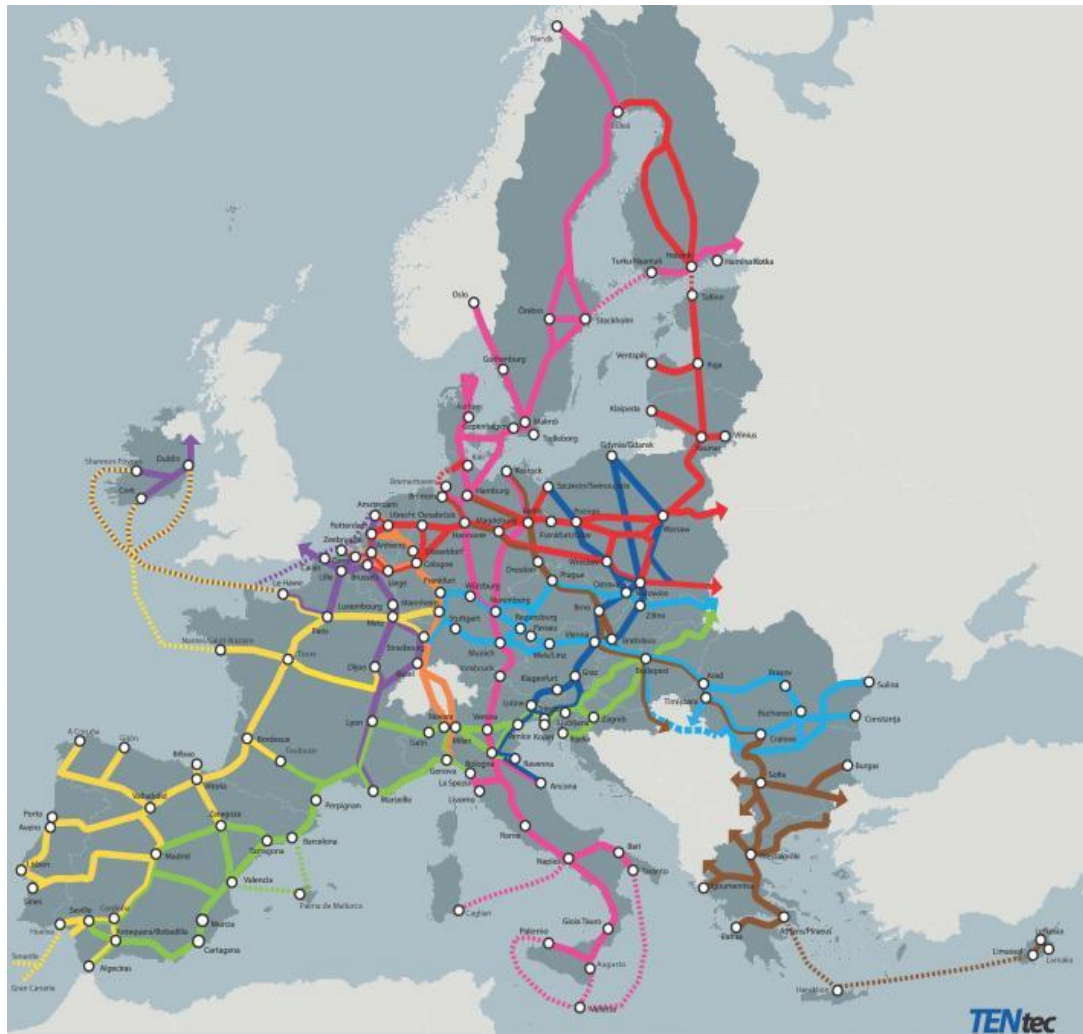
EU-kommissionen har fastlagt ett långsiktigt mål att bygga ett integrerat europeiskt järnvägsnät för höghastighetståg och på kortare sikt att varje medlemsland ska bygga ut sitt eget höghastighetsnät. Figur 3 visar längden av utbyggd höghastighetsjärnväg i Europa och Figur 4 visar en karta över järnvägsnätet i Europa. För att klara klimatmålen har EU-kommissionen beslutat om mål att fördubbla trafiken på höghastighetsbanorna fram till 2030 och tredubbla trafiken på banorna fram till 2050. Ett kritiskt hinder i detta arbete är en satsning på banorna som korsar nationsgränserna.

Shift to Rail (Shift2Rail/S2R) är ett stort samarbetsprojekt inom EU med syfte att satsa på forskning, innovation och marknadsdrivna lösningar för att öka för ny avancerad teknik inom spårbundna transporter [6].



Figur 3 : Längd på nationella järnvägsnät för höghastighetstrafik i EU [7]

Trans-European Transport Network (TEN-T) är ett EU-projekt för att planera ett nätverk av vägar, järnväg, flygplatser och sjöfart inom Europa [8].



Figur 4 : Tran-European Transport Network (TEN-T) [9, 10 och 11].

I Frankrike invigdes den första höghastighetsjärnvägen redan 1981 mellan Paris och Lyon och idag har man 274 mil höghastighetsjärnväg. I starten var dom franska TGV tågen gasdrivna men elektrifierades under 70-talet.

Tyskland startade sin höghastighets satsning en bit in på 1980-talet, benämnt ICE – Intercity express.

Spanien har en bredspårig (1668 mm) järnväg i jämförelse med europeiska standardspårvidden (1435 mm). Vid början på 1990-talet startade man bygga med standardspårvidd och höghastighetsjärnväg och idag har man byggt ut 349 mil.

Italien var relativt tidigt ute med höghastighetsjärnväg och har ett utbredd nätverk mellan några större städer. Det görs en ny satsning på banan från Milano till Neapel vilket benämnes Italo och är Italiens första privatägda höghastighetståg, här skall man trafikera med Ferrari liknande tåg som går i 360 km/h, se Figur 5.



Figur 5: Ferrari tåg i Italien. Bild: Gregorio Borgia/scanpix

I Storbritannien pågår höghastighetsjärnvägsprojektet HS2 som skall knyta samman London med Birmingham, Manchester och Leeds.

Eurostar är höghastighetståg från London till Paris och Bryssel som går genom tunneln under engelska kanalen.

2.2 Japan

Shinkansen är namnet på nätverket med höghastighetsjärnväg i Japan, se Figur 6. Redan 1964 öppnades den första sträckkan och Japan var först med att öppna järnvägslinjer för höghastighets trafik. Shinkansen går också under namnet ”bullet train” på grund av sin skarpa nos och höga hastighet, se Figur 7.

Shinkansen kör idag i hastigheter upp till 320 km/h och kännetecknas av:

- Punktlighet, medelvärdet av förseningar ligger på 36 sekunder!
- Säkerhet, inga dödliga olyckor under 50 års verksamhet!
- 420 000 passagerare på en vanlig arbetsdag

Det planeras för en utbyggnad med maglevtåg mellan Tokyo och Osaka med hastigheter på upp till 505 km/h.



Figur 6 : Nätverk med höghastighetsjärnväg i Japan [12].

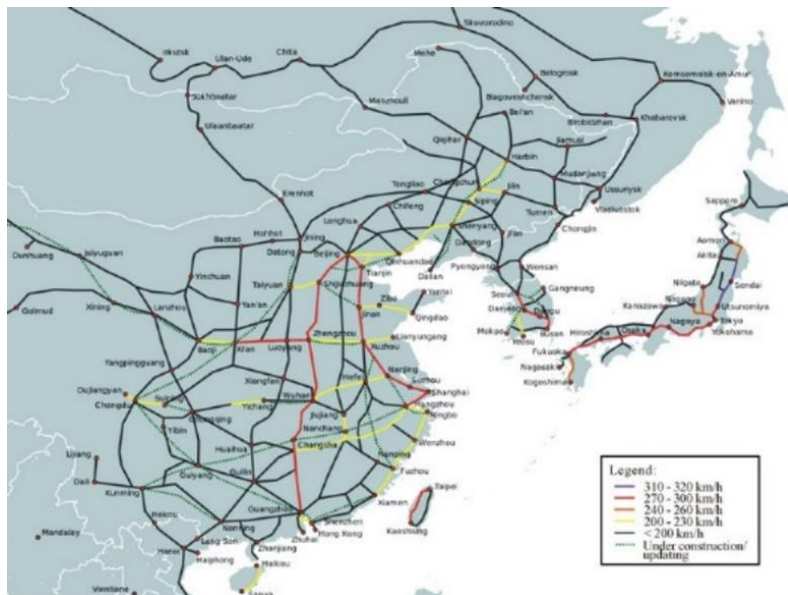


Figur 7: Shinkansen (bullet train) med berget Mt. Fuji i bakgrunden.

2.3 Kina

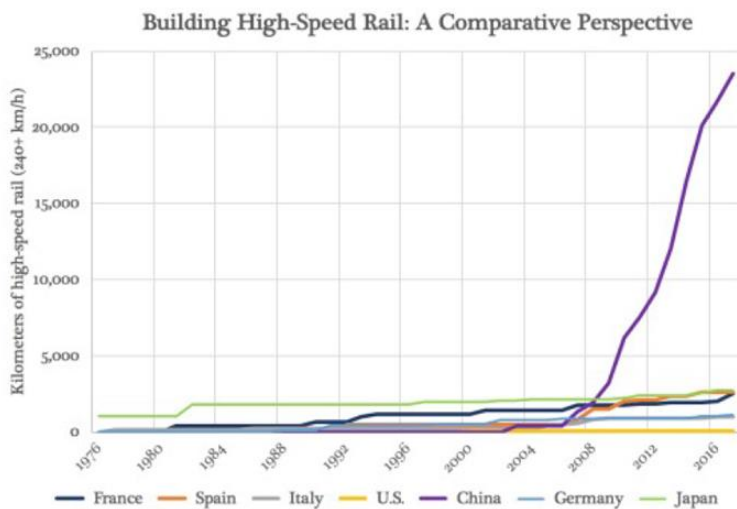
Kina har längst sträcka av höghastighetsjärnväg i världen, närmare 4000 mil. Utbyggnadstakten är mycket snabb och år 2025 beräknas dom ha 5000 mil höghastighetsjärnväg. Nätverket av höghastighetsjärnväg inkluderar dimensionerande hastigheter på 200-350km/h, se Figur 8 nedan.

Under 2020 har Kina startat tester för maglevtåg med hastigheter upp till 600 km/h.



Figur 8: Järnvägsnätet i Kina

Figur 9 nedan visar hur mycket höghastighetsjärnväg som byggts i världen. Det syns tydligt att man var tidigt ute i Japan som ledde utvecklingen länge. I Europa var Frankrike tidigt ute med höghastighetsjärnväg varefter det även startade i Tyskland, Spanien och Italien samt nu även i England. Det anmärkningsvärda är dock hur mycket och snabbt man byggt i Kina sedan 2008.



Figur 9 : Utbyggnad av höghastighetsjärnväg i världen

3 HUR BYGGS HÖGHASTIGHETSJÄRNVÄG I KINA

3.1 Koncept

I Kina jobbar man mycket med standardiserade lösningar för att möjliggöra industrialiserat, snabbt och ekonomisk utbyggnad. Överbyggnaden har normalt spännvidder på 24, 32 eller 40 meter.

Dåligt flyg med stora förseningar har gynnat utbyggnaden av höghastighetsjärnväg i Kina.

Hur har man lyckats bygga 4000 mil höghastighetsjärnväg i Kina på 10 år?

- Organiserade
- Politisk vilja
- Kostnad cirka 60% jämfört med Europa
- Industrialiserat byggande
- Landbroar
- Snabba beslutsprocesser

Trots att byggnationen består av mycket betong och stål så räknar men med att det kommer ge ett stort nettoavtryck på minskning av Kinas koldioxidutsläpp.

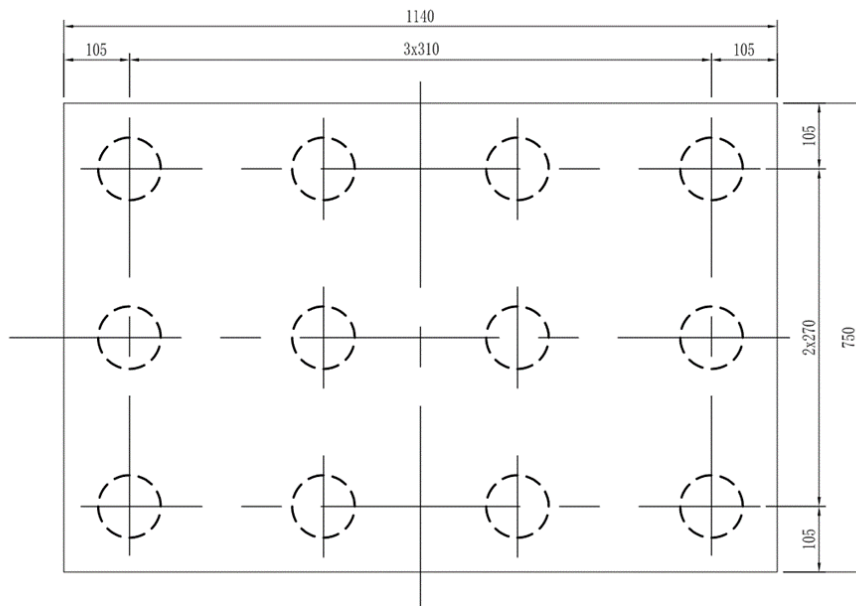
3.2 Underbyggnad

Underbyggnaden består oftast av grävpålar och platsgjutna pelare.

Figur 10 visar hur pelare utformas och Figur 11 visar måtten på en bottenplatta för 40 meters spann med grävpålar med diametern 1,0 meter.

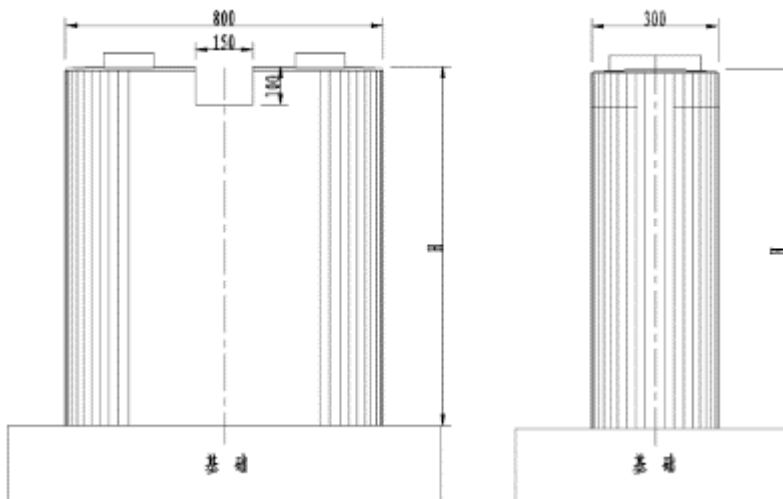


Figur 10 : Pelarstöd för kinesisk höghastighetsjärnväg på landbroar



Figur 11 : Bottenplatta för brostöd med grävpålar, mått i centimeter.

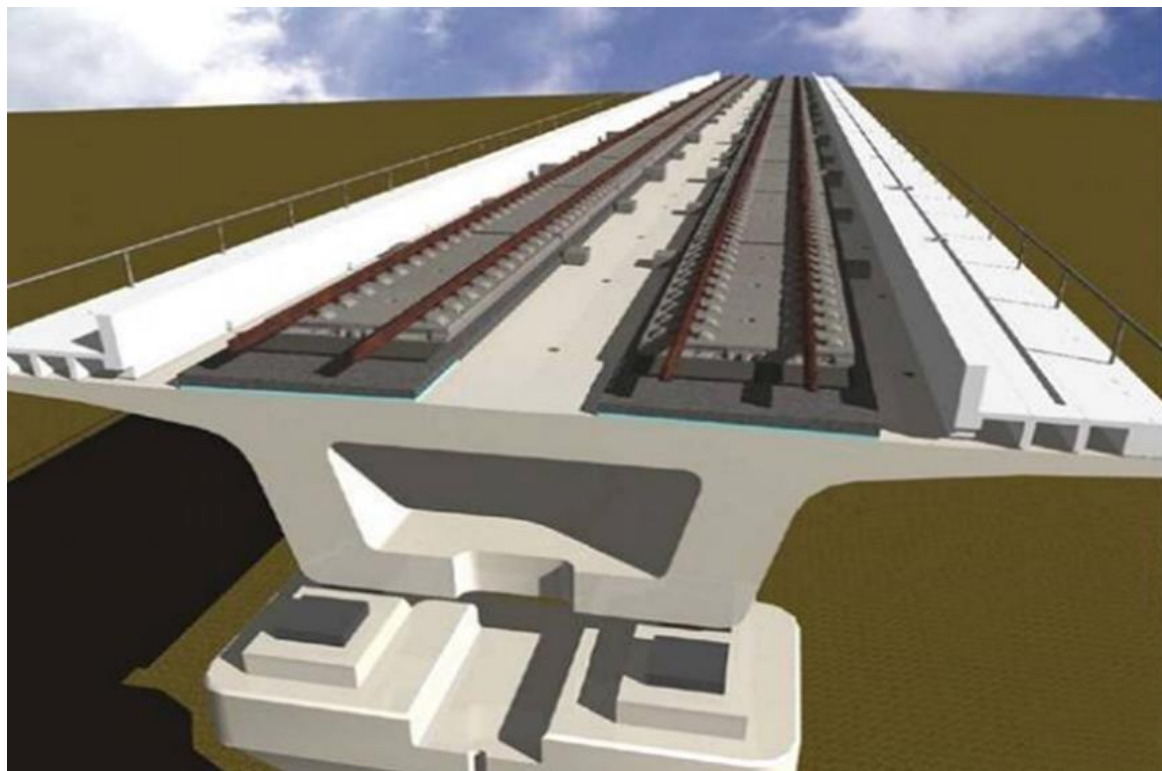
Figur 12 nedan visar ett typiskt pelarstöd med ett skivstöd.



Figur 12 : Exempel på skivstöd med höjd större än 12 meter, mått i centimeter.

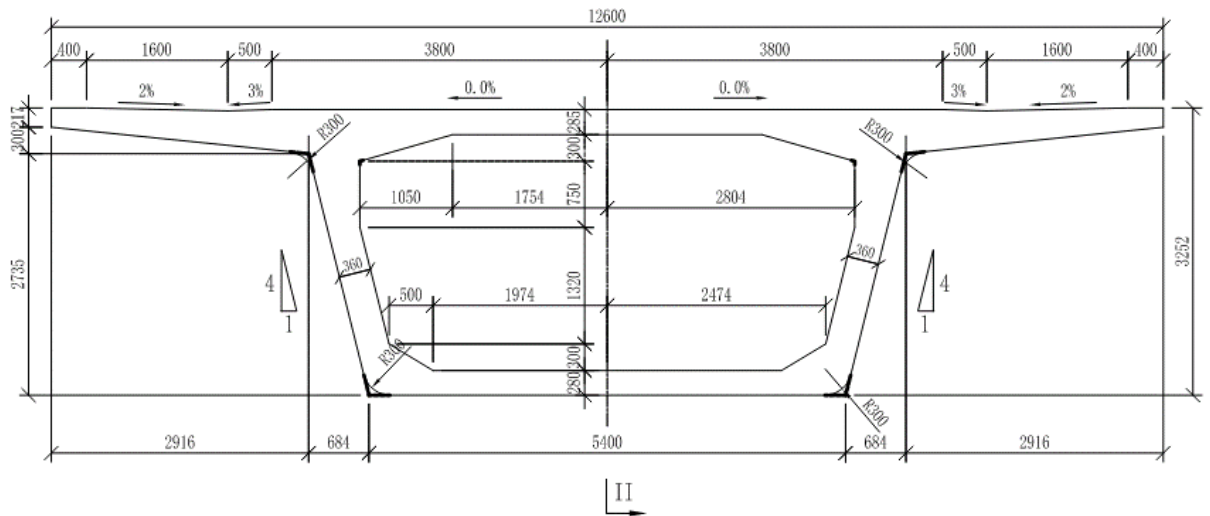
3.3 Överbyggnad

Överbyggnaden består normalt av prefabricerad lådbalkbroar som är spännarmerade. Facken är fritt upplagda med fyra lager per pelare, se Figur 13 nedan. Rälsen är direkt infästa i brobanan med hjälp av "slab tracks".

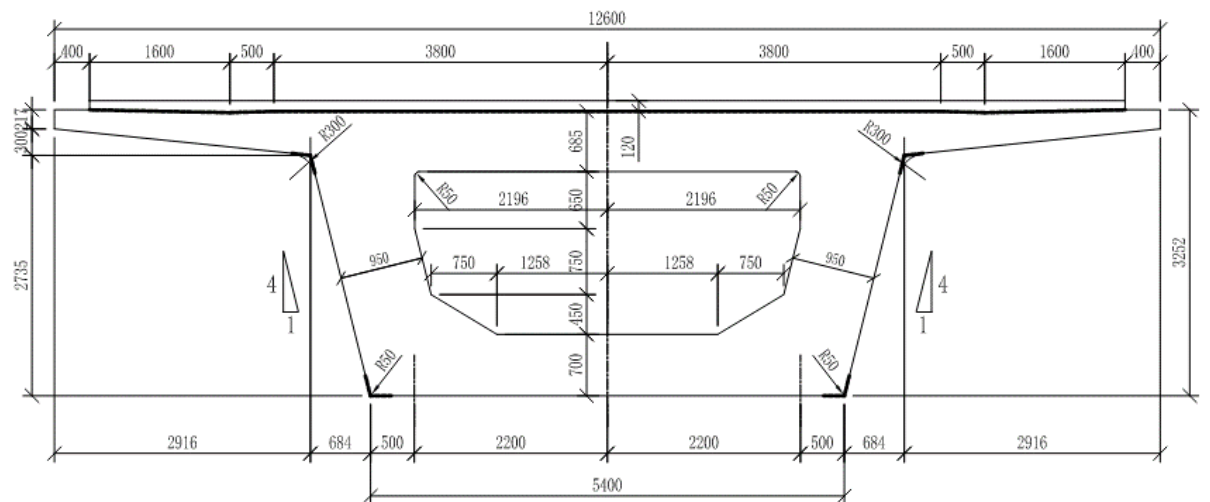


Figur 13 : Brobana med direkt infästa räler

Figur 14 nedan visar en måttsatt tvärsnitt av brobanan i fältmitt för dubbelspårstrafik och Figur 15 visar en tvärsnitt vid stöd där tjocklekarna i brobanan ökar. Intressant att notera är att brobanelementen inte innehåller tvärbalkar.



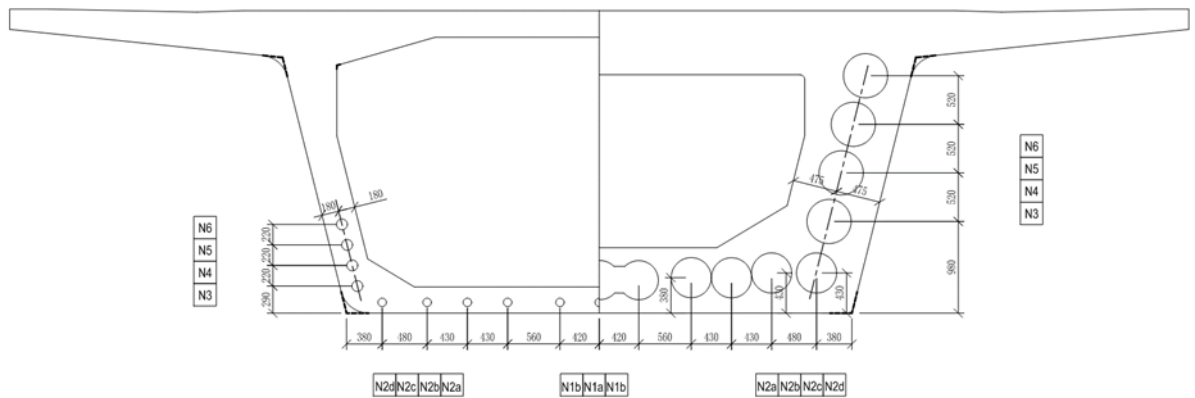
Figur 14 : Sektion i fältmitt av brobana med betonglåda.



Figur 15 : Sektion i balkände av brobana med betonglåda.

Den tjockare sektionen i broändan är 1,5 meter lång. Syftet är här att ta hand om lagerreaktioner och förankring av spännarmering. Övergångszonen mot tunnare tvärsnitt är 3,0 meter långt.

Figur 16 nedan visar utformning och placering av spännarmering av brobanan i fältmitt (vänster) och stöd (höger).



Figur 16 : Sektion som visar placeringen av spännarmeringen i fältmitt och vid stöd.

4 KONCEPT MED LANDBROAR I SVERIGE

Konceptet med landbroar kan definitivt vara en intressant lösning för Sverige. Vi bedömer att konceptet kan passa i olika typer av landskap både vad det gäller platt landskap såsom i Skåne men även vid mer kuperad terräng i kombination tunnlar.

Det kinesiska konceptet med spännvidder runt 40 meter är en möjlig lösning som passar vid större utbyggnadsetapper och möjliggör ett industrialiserat och prefabricerat byggande. Det finns dock många andra typer av lösningar med landbroar, se mer i kapitel 14.1.

Det finns flera fördelar med landbroar kontra en mer traditionell utbyggnad på järnvägsbankar, se kapitel 14.

5 INDUSTRIALISERAT BYGGANDE

5.1 Prefabfabrik

Prefabfabrikerna byggs upp längs den tilltänkta järnvägslinjen. För att minimera transportlängderna byggs fabrikerna upp på ett avstånd av cirka 40 km längs med järnvägslinjen.

I fabriken produceras alla överbyggnadsdelarna till bron.

Fabriken innehåller följande huvuddelar:

- Bockningsstation och hall för armeringen
- Stationer för uppbyggnad av armeringskorg
- Betongstation för tillverkning av betongen
- Gjutnings stationer
- Uppspänningsstation för spännarmering
- Lagringsytor för färdiga element

Figur 17 nedan visat en bild över hela prefabfabriken som är placerad intill nya järnvägsspåret och Figur 18 visar huvudbyggnaden för armeringsbockningen.



Figur 17 : Figur över hela prefabfabriken.

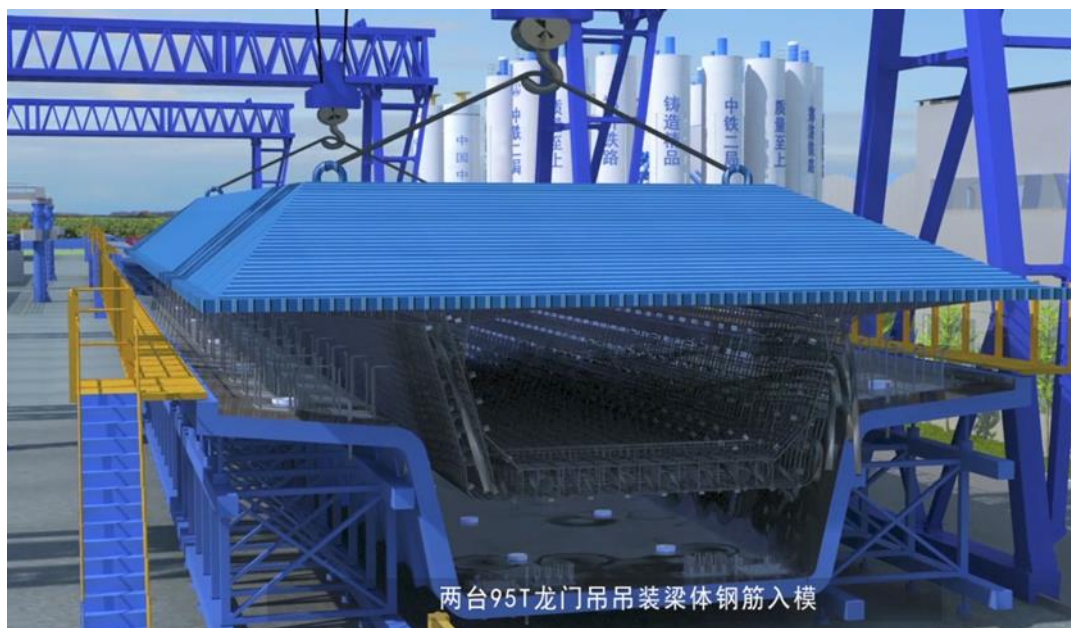


Figur 18: Figur över huvudbyggnad för armeringsbockning.

Armeringen för ett brobanelement byggs upp som en korg för hela brobaneelementet, se Figur 19 nedan. Armeringskorgen lyft sedan ut med hjälp av ett överliggande stabiliserande fackverk och placeras i gjutformen, se Figur 20 och Figur 21 nedan.



Figur 19 : Figur över hur armeringskorgen till brobanan byggs upp.

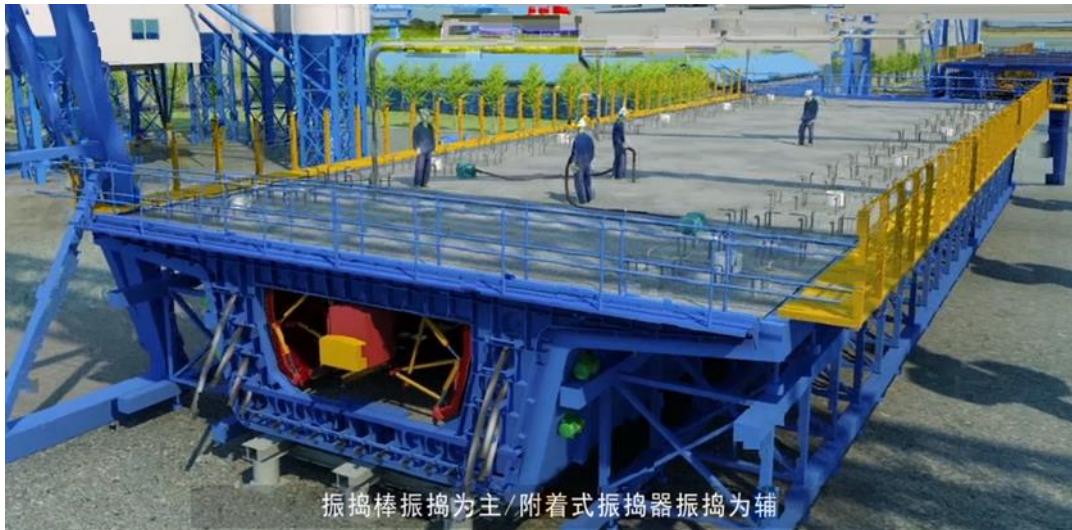


Figur 20 : Figur som visar hur armeringskorgen lyft ut och flyttas till gjutformen.



Figur 21: Foto som visar lyft av armeringskorg.

Betongen tillverkas i prefabfabriken och Figur 22 nedan visar gjutningen.



Figur 22 : Figur som visar gjutningen av brobanan.

5.2 Transport och montage av prefab-element

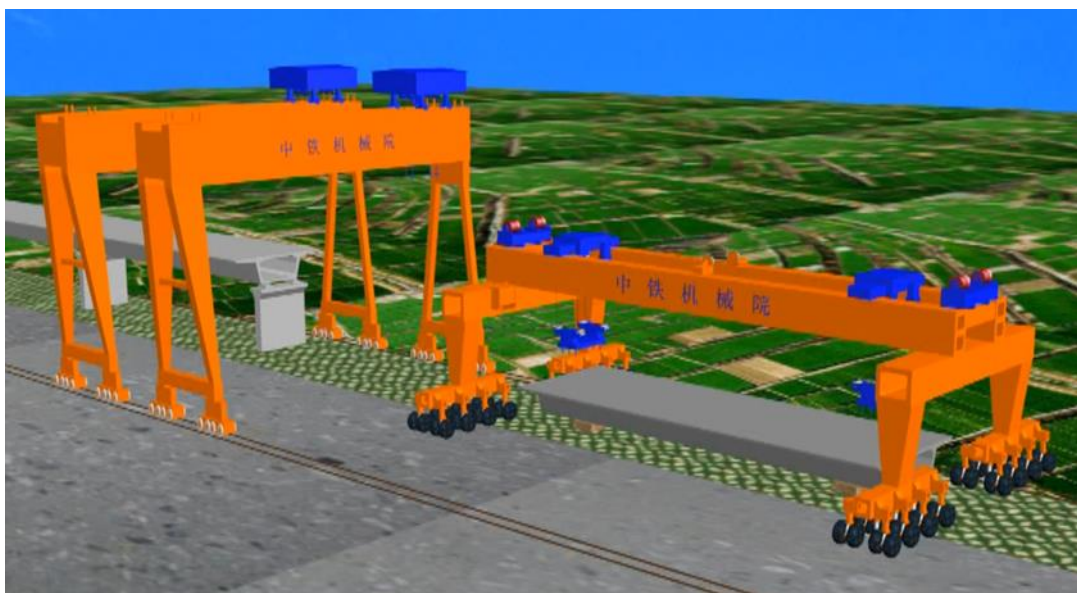
5.2.1 Portalkran (gantry crane)

Portalkranar användes normalt utomhus på prefabfabriken och körs på räls.

Figur 23 och Figur 24 nedan visar portalkranar som lyfter brobaneelementen.



Figur 23 : Portalkran som lyfter ett brobane element.



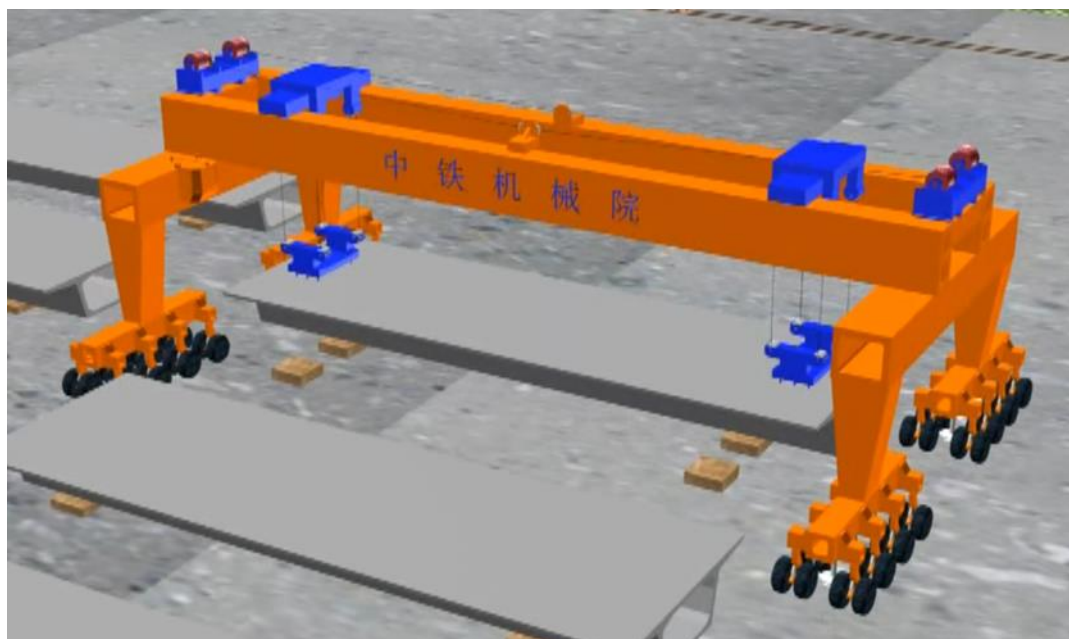
Figur 24 : Portalkran och Straddle carrier

5.2.2 Straddle carrier

Straddle carrier är en lyftutrustning monterad på hjul och kompletterar portalkranarna i prefabfabriken. Fördelen med Straddle carrier är att dom kan lyfta och köra element i alla riktningar på de motoriserade hjulen. Figur 25 och Figur 26 nedan visar bilder på en straddle carrier.



Figur 25 : Straddle carrier som lyfter ett brobane element



Figur 26 : Straddle carrier

5.2.3 Tyre transporter

Tyre transporters är ett fordon på många hjul. Dessa användes för att transportera brobancelement på den färdigbyggda bron fram till montage platsen. Dessa fordon kan normalt bara köra i 5 km/h med last och 10 km/h utan last. Figur 27 nedan visar en bild på en tyre transporter.



Figur 27 : Tyre transporter

5.2.4 Segmental bridge launching machine

Segmental bridge launching machine monterar brobaneanlement mellan två pelare. Tyre transporter fordonet kör fram brobaneanlementet till bakomliggande fack. Figur 28 och Figur 29 nedan visar bilder på en segmental bridge launching machine.



Figur 28 : Segmental bridge launching machine

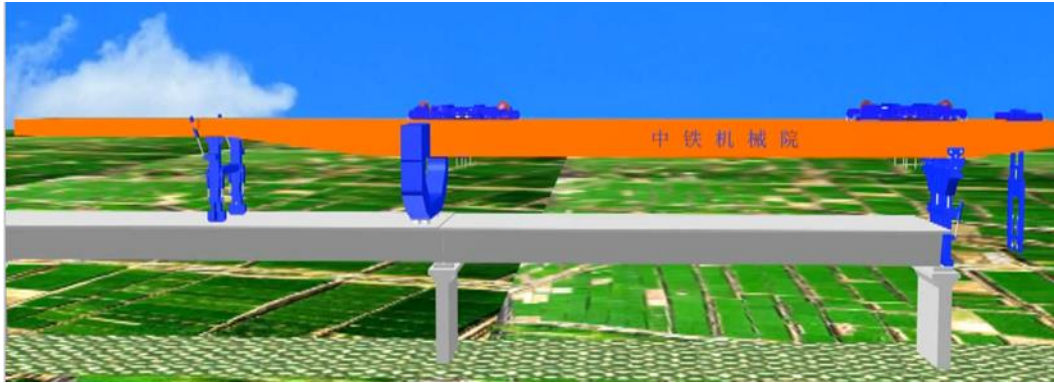


Figur 29 : Segmental bridge launching machine

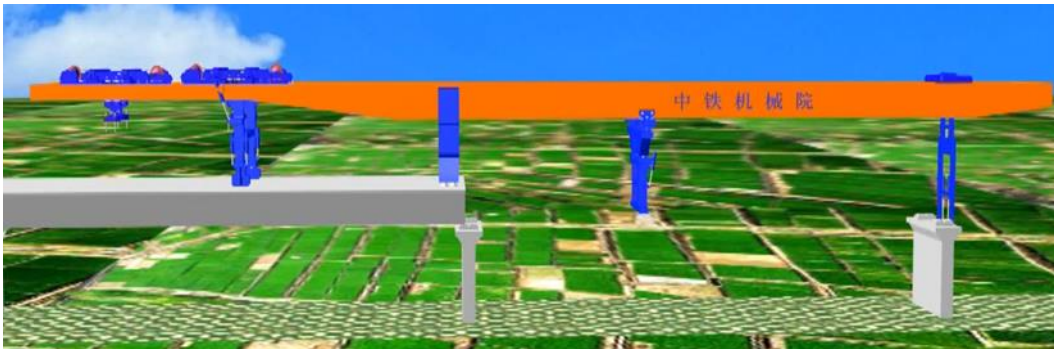
Segmental bridge launching machine är den mest avancerade maskinen eftersom den skall klara av många olika montage och trasportskede såsom:

- Flyttas fram från befintlig brobana till nästkommande fristående stöd
- Ta emot tyre transporter med ett nytt brobaneanlement och lyfta upp detta
- Transportera brobaneanlementet horisontell framåt samt lyfta ner det i rätt position
- Demontera utrustningen och monteras på en tyre transporter så det kan köras genom tunnlar

Figur 30 till 35 visar sekvenser på hur brobancelementet monteras.



Figur 30 : Maskinen förbereds för att köra ut till nästa pelare.



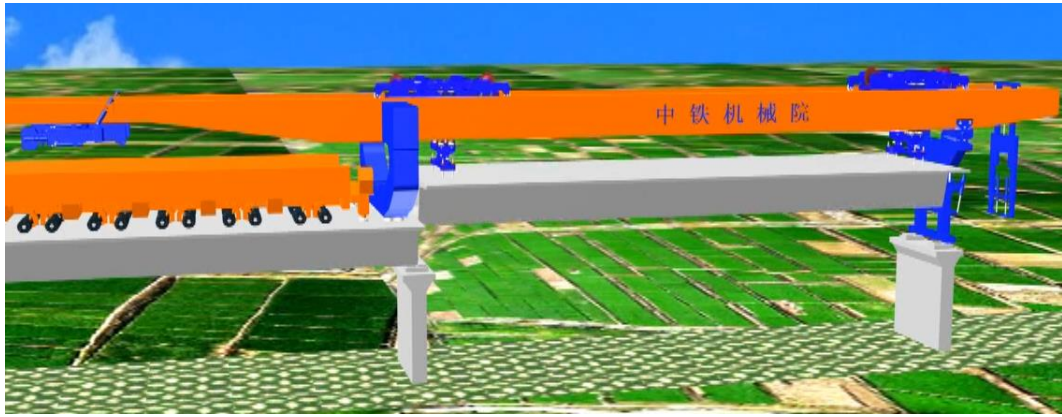
Figur 31 : Maskinen har körts fram till nästa pelare.



Figur 32 : Nytt brobane element är framkört och lyftning förbereds.



Figur 33 : Nytt brobane element monteras.



Figur 34 : Nytt brobancelement lyfts ner.



Figur 35 : Maskinen är demonterad och kör igenom en tunnel.

6 KLIMATEFFEKTER

Trafikverket har utfört utredningar för klimatpåverkan av höghastighetsjärnväg (publikation 2017:162, [13]). Resultatet visar för huvudkalkylen att de ackumulerade nettoutsläppen av växthusgaser är noll efter 25-35 år efter trafiken startar. Det finns även gynnsammare scenarion som visar på betydligt kortare tid av 15 år till noll nettoutsläpp av växthusgaser.

Genomförda analyser visar att höghastighetsjärnvägen kan bidra till att vi når klimatmålen för Sverige.

Viktigt för att uppnå klimatmålen och klimat neutralitet är att höghastighetsjärnvägen byggs snabbt på alla sträckorna så att effekterna av överflyttning av trafik från andra transportmedel påbörjas så snabbt som möjligt.

Betong har en stor inverkan på klimatet beroende på koldioxidutsläpp vid cementtillverkningen. I dag är cementtillverkningen ansvarig för 4% av vårt totala utsläpp av koldioxid i Sverige.

På kort sikt kan vi minska koldioxidutsläppen från betongen med 25-50% med hjälp av receptoptimering och återvinning [14]. Ett bra exempel på detta är projekt Hamnbanan i Göteborg där man lyckats minska av utsläppen med 50%. Det kan dock finnas problem med att växla upp ersättningen av cement med flygaska och slagg i stor skala eftersom tillgången på dessa ersättningsprodukter är begränsad.

I det längre perspektivet för att uppnå klimatneutralitet krävs det alternativa bindemedel och koldioxidavskiljning eller lagring. Norcem och Heidelberg cement group arbetar med ett koncept med klimatneutral betong som planeras vara klart år 2030 [15].

Med hjälp av dessa nya tekniker med receptoptimering och alternativa bindemedel tillsammans med en höghastighetsjärnväg på landbroar finns det stora möjligheter att nå Sveriges klimatmål. Övergripande klimatmålet är att Sverige inte skall ha några nettoutsläpp av växthusgaser år 2045.

7 TYP AV TÅGTRAFIK

7.1 Synpunkter från en operatör

Renodlade spår för höghastighets järnväg och persontrafik är en stor fördel eftersom:

- Separerar snabba och långsamma tåg så man kan packa dom tätare och öka passagerarvolymen
- Effektiviteten ökar
- Mindre hastighetskillnader medför högre punktlighet och fler tåg som anländer i tid, se erfarenheter från Japan
- Bättre avkastning och lönsamhet för operatören.
- Kan man lita på tågets avgångs- och ankomsttid erbjuder man en tjänst som är förutsägbar vilket är mycket viktigt för både företags- och privatkunder
- Standarden och kraven på fordonen kan specialiseras
- Mindre laster och bättre lutningar på spåret
- Tåg med hög hastighet har en tryckkabin vilket möjliggör betydligt mindre tvärsektioner för tunnlar

Målet med de nya stambanorna är att tillföra rejält med kapacitet i järnvägssystemet. Det mest ändamålsenliga och effektiva sättet att göra detta är att renodla dem för höghastighetståg vilket innebär betydligt kortare restider både mellan ändpunkterna och alla mellanliggande städer med avsevärd regionförstoring som följd. (Cirka 75% av alla resor som genomförs kommer inte att gå mellan ändpunkterna).

Det är viktigt att linjerna höghastighetsjärnväg byggs ut snabbt så att trafiken kan köra mellan våra större städer såsom Stockholm – Göteborg, Stockholm – Malmö och Göteborg – Malmö.

Se även mer material från SJ under referenserna [17] och [18].

7.2 Traditionell utbyggnad

Traditionellt byggs järnväg i Sverige för kombinerad trafik av gods-, lokal, regional- och fjärrtåg. Fördelen är att man är flexibel inför framtiden men det innebär också att man blandar tåg med stora hastighetskillnader vilket medför att man minskar den tillgängliga kapaciteten (plats för färre tåg) och sämre punktlighet.

Normalt räknas det med 35 års projekttid för 15 mil järnväg i Sverige.

8 VÄGVAL FÖR SVERIGE

Det finns många olika alternativ för att bygga ut järnvägen på i Sverige men om man skall förverkliga resultatet från Sverigeförhandlingarna så kan man dissekera två huvudalternativ:

- Successiv utbyggnad med traditionell teknik av nya stambanor
- Sammanhållen utbyggnad av höghastighetsjärnväg med landbroar i snabb takt

Vad är då skillnaden mellan dessa två alternativ:

Ämne	Nya stambanor	Höghastighetsjärnväg
Tåghastighet	250 km/h	350km/h
Utbyggnadshastighet	Trafikverkets plan visar att nya stambanor kan vara klara år 2045.	Bygg alla sträckor på 10-15 år för att få en snabb avkastning och lönsamhet
Spår teknik	Traditionella ballasterade spår	Slab track med direktinfästa räler vilket möjliggör höga hastigheter
Rationellt och industrialiserat byggande.	Fortsätter bygga på traditionella och beprövade sätt men begränsad effektivitetsförbättring	Möjliggör storskalighet och investeringar i ny teknik. Produktionen kan rationaliseras och prefabriceras
Miljö	Ungefär som idag med mindre ökning av persontågtrafiken. Betydligt fler godståg.	Flyget konkurreras ut på sträckor inom södra delen av Sverige. Betydligt fler godståg.
Landskap	Vi bygger barriärer för människor och djur samt tar ett stort landområde i bruk som kan användas till bättre saker	Landbroar frigör markområdet och bygger inga barriärer
Tågresenärer	Ungefär som idag men lite bättre.	Betydligt kortare restid, fler avgångar och mindre förseningar med specialiserad höghastighetsjärnväg
Industrilyft för branschen och Sverige	Traditionell teknik och utveckling	Skulle kunna innebära ett Tekniklyft för Sverige som påminner om när man utvecklade JAS-planen eller miljonprogrammet

Vad behöver då göras för att förverkliga ett koncept med höghastighetsjärnväg:

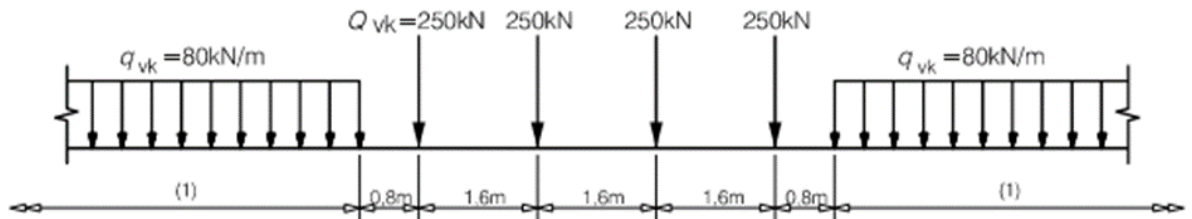
- Politisk enighet och beslutskraft med långsiktiga beslut
- Finansiering
- Trafikverket skapar en beställarorganisation som bryts ut för enkom detta projekt
- Effektivare planhandläggning från myndigheter
- Byggbranschen måste bemanna upp med mycket arbetskraft och kompetensutveckla sin verksamhet
- Byggbranschen stöttar Trafikverket i realistiska kalkyler och tidplaner för projektet
- Internationella samarbetspartners
- Utveckling på våra tekniska högskolor inom höghastighetsjärnväg och samarbete med industrin

9 TÅGLASTER

9.1 Tåglaster Eurokod

Tåglaster enligt SS-EN 1991-2:2003 kapitel 6.3.2 [19]:

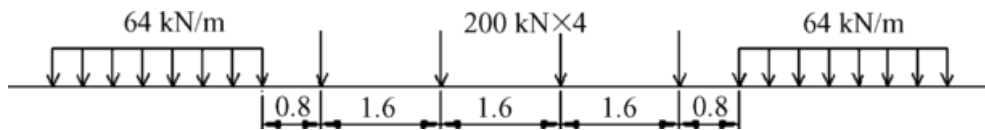
- LM71 (Figur 36 nedan)
 - $P = 250 \text{ kN}$ och $q = 80 \text{ kN/m}$
 - $\alpha = 1,33$
 - Dynamisk faktor ϕ
 - Partialkoefficient
- SW/0 behandlas inte här eftersom den bara används på kontinuerliga broar



Figur 36 : LM 71

9.2 Tåglaster i Kina

I Kina används lastmodell ZK för tåglasten med lastuppgifter enligt Figur 37 nedan.



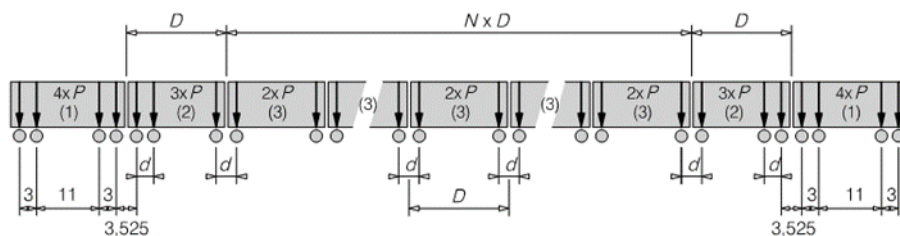
Figur 37 : Tåglast i Kina

Lastmodell ZK från Kina är geometriskt identisk med lastmodell LM 71 men lägre laster. Den kinesiska lastmodellen motsvarar 80% av lastmodell LM 71. Denna lastmodell från Kina användes bara i jämförande syfte och användes inte i några beräkningar.

9.3 Tåglaster dynamiska beräkningar

Lastmodell HSLM enligt SS-EN 1991-2:2003 representerar belastning av persontåg vid hastigheter överskridande 200 km/h.

HSLM fordonen beskrivs i SS-EN 1991-2 kapitel 6.4.6.1, se även Figur 38 nedan.



Förklaring

- (1) Motorvagn (identiska motorvagnar först och sist i tåget)
- (2) Personvagn närmast motorvagn (identiska vagnar främst och längst bak)
- (3) Mellanplacerade personvagnar

Figur 38 : Lastmodell HSLM – A (SS-EN 1991–2:2003)

Det finns 10 stycken olika HSLM-A fordon, A1-A10, enligt Tabell 1 nedan.

Universaltåg	Antal vagnar N	Längd av personvagn D [m]	Avstånd mellan boggiar d [m]	Punktlast P [kN]
A1	18	18	2,0	170
A2	17	19	3,5	200
A3	16	20	2,0	180
A4	15	21	3,0	190
A5	14	22	2,0	170
A6	13	23	2,0	180
A7	13	24	2,0	190
A8	12	25	2,5	190
A9	11	26	2,0	210
A10	11	27	2,0	210

Tabell 1: HSLM-A fordon

10 DYNAMISKA ANALYSER

Krav på dynamisk analys anges i SS-EN 1991-2 kapitel 6.4.4 och figur 6.9, [19].

Dynamiska analyser skall utföras för hastigheter upp till 1,2 gånger största tillåtna hastighet för bron.

Den dynamiska analysen skall verifiera enligt SS-EN 1991-2 kapitel 6.4.6.5 varav de viktigaste kraven är följande:

- 1) Maximalt toppvärde av accelerationen hos broöverbyggnaden
- 2) Resultatet från dynamiska analysens snittkrafter skall jämföras med statiska belastningen multiplicerad med faktorn Φ och α . Ogynnsammaste lasteffekten skall användas.

Dynamiska beräkningar är utförda för aktuell brotyp med:

- Fritt upplagt fack
- Spännvidd 40,6 meter
- Överbyggnad med spännarmerad prefabricerad lådsektion, se kapitel 3.3
- Ballastfri bro med slabtrack

10.1 Dynamisk beräkning med modalanalys

Dynamiken utvärderas genom nyttjande av FEA programvaran BRIGADE/Plus v. 2021–4. Aktuellt steg i dynamikutredningen nyttjar lösningsmetoden modal superpositionering, innebärande att strukturens respons utvärderas vid frekvenserna för dess egenmoder. Högsta undersökta frekvens bestäms ur ekvation (10.1) enligt EN 1990 A2.4.4.2.1.

$$f_{max} = \max(30; 1.5 \cdot n_0; n_2) \quad (10.1)$$

n_0 – Första böjmoden
 n_2 – Tredje böjmoden

10.1.1 Modell

Beräkningarna utförs för en bro med spännarmerad lådtvärsnitt med spännvidd 40 meter.

Vid dynamisk analys nyttjas materialegenskaper för korttidslasteffekter.

Materialegenskaper (EN 1992-1-1):

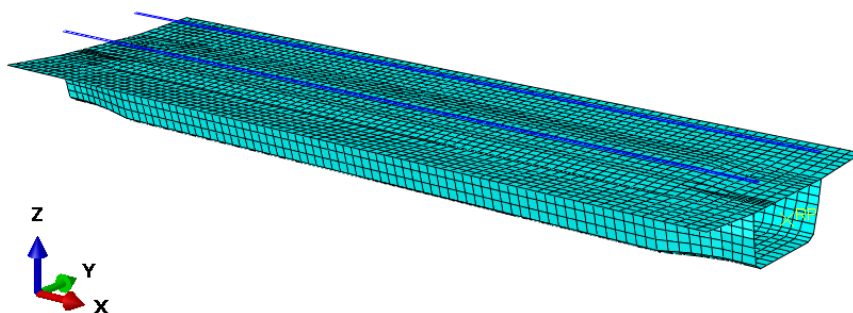
Material	Elasticitetsmodul E_{cm} [GPa]	Tvärkontraktionstal [-]
Betong C50/60	37	0.2

För dynamisk undersökning ansätts dämpning enligt EN 1991–2:2003, Tabell 6.6.

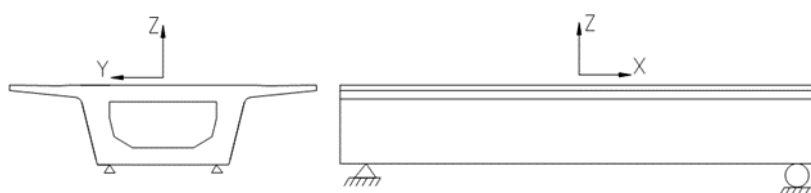
Ingångsparametrarna förspänd betong och spännvidd $L \leq 20$ m ger kritisk dämpning enligt ekvation (10.2).

$$\zeta = 1.0 \quad (10.2)$$

Modell med elementindelning redovisas i Figur 39 och Figur 40.



Figur 39 : Skalmmodell av brobanan



Figur 40 : Upplagsvillkor & riktningdefinitioner

10.1.2 Dynamiska förstöringsfaktorer

SS-EN 1991-2:2003 fastställer krav på nyttjande av förstöringsfaktorer vid dynamisk analys, se Tabell 2 för ingående parametrar.

Namn	Kommentar
$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.82$	EN 1991-2:2003, ekv. (6.4) Beaktar den dynamiska förstöringen av spänningar och svängningar i bärverket.
$\varphi'_{dyn} = \frac{y_{stat}}{y_{dyn}} - 1$	EN 1991-2:2003, ekv. (6.15) Beaktar förstöringen av respons för HSLM-tåg vid statikanalys
$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \left[56e^{-\left(\frac{L_\phi}{10}\right)^2} + 50 \left(\frac{L_\phi n_0}{80} - 1 \right) e^{-\left(\frac{L_\phi}{20}\right)^2} \right]$	EN 1991-2:2003, Bilaga C Beaktar effekter av spårdefekter och imperfektioner.

Tabell 2: Förstöringsparameter för dynamisk analys (EN 1991-2:2003)

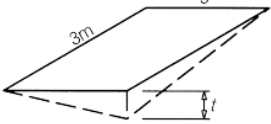
Parametrarna i Tabell 2 kombineras för att skapa slutgiltiga förstöringsfaktorer. Kombinationen är olika beroende på vilken last och typ av analys som utförs, se Tabell 3.

Last	Förstöringsfaktor
LM71 – Statisk	Φ_2
HSLM – Statisk	$1 + \varphi'_{dyn} + \frac{\varphi''}{2}$
HSLM – Dynamisk	$1 + \frac{\varphi''}{2}$

Tabell 3: Förstöringsfaktorer (EN 1991-2:2003)

10.1.3 Kontroll och gränsvärde

Kontroller och gränsvärden vid dynamisk analys definieras för storheter presenterade i Tabell 4 (EN 1991-2:2003, EN 1990 bilaga A2 & TDOK 2016:0204).

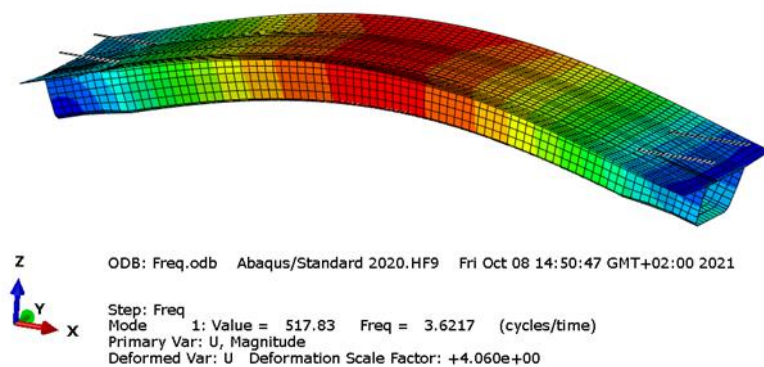
Storhet	Krav/Gränsvärde	Kommentar
Vertikal acceleration	Ballasterat spår: 3.5 m/s ² Icke ballasterat spår: 5 m/s ²	För aktuellt projekt gäller icke ballasterat spår
Snittkrafter	HSLM ≤ LM71	Inklusive förstoringfaktorer
Nedböjningar	L/600	Alt. enligt EN 1990 A2.4.4.3.2
Rotation vid upplag	$\theta = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{h_{(m)}}$	h _(m) = avstånd mellan RÖK och rotationscentrum för lager
Vridning		v ≥ 200 km/h → t _{max} = 1.5 mm

Tabell 4: Kontroller & gränsvärden

I aktuellt projekt läggs fokus på storheterna vertikal acceleration och snittkrafter. Vertikal acceleration i brobanepattan tenderar att vara den dimensionerande storheten vid dynamisk analys. Kontrollen av snittkrafter, vid belastning från olika lastmodeller, ses som extra intressant då sträckan endast trafikeras av tåg för persontransport.

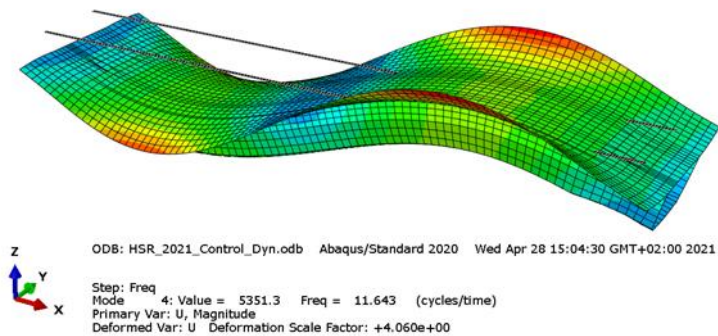
10.1.4 Kontroll av egenfrekvenser

Högsta undersökta frekvens bestäms till 30 Hz. Första böjmoden visas i Figur 41 nedan.

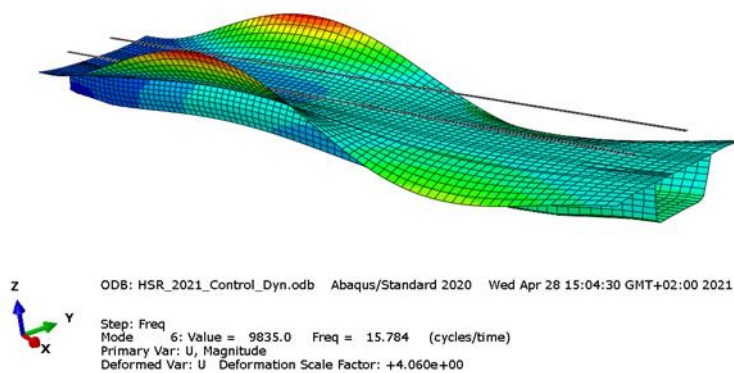


Figur 41 : Första böjmoden, 3.62 Hz

Andra och tredje böjmoden visas i Figur 42 och Figur 43 nedan.



Figur 42 : Andra böjmoden, 11.64 Hz



Figur 43 : Tredje böjmoden, 15.78 Hz

10.1.5 Kontroll av vertikal acceleration

Erhållna accelerationer förstoras med dynamikfaktor för HSLM enligt ekvation (10.3).

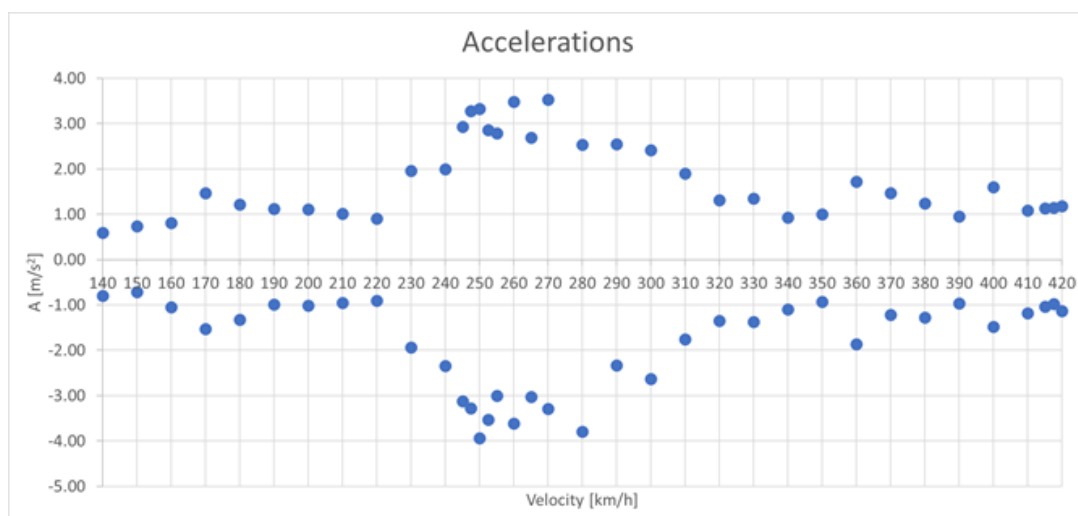
$$1 + \frac{\varphi''}{2} = 1.00 \quad (10.3)$$

Högsta erhållna vertikala acceleration orsakas av HSLM-A2 vid 250 km/h. Inklusive dynamisk faktor uppgår den till 4 m/s², vilket är väl under gränsvärdet för icke ballasterat spår (5 m/s²), se Tabell 5.

Tåglast	Acceleration [m/s ²]	Hastighet [km/h]
HSLM-A01	2.35	240
HSLM-A02	3.96	250
HSLM-A03	3.62	260
HSLM-A04	3.81	280
HSLM-A05	2.56	290
HSLM-A06	2.64	300
HSLM-A07	1.90	310
HSLM-A08	1.33	320
HSLM-A09	1.53	170
HSLM-A10	1.33	180
Max	3.96	250

Tabell 5: Accelerationer inklusive förstoringfaktor.

Figur 44 nedan visar ett diagram över acceleration från alla HSLM fordon vid olika hastigheter, max acceleration uppträder vid hastigheten 270 km/h.



Figur 44 : Diagram över acceleration vid olika hastigheter

10.1.6 Kontroll av snittkrafter

Moment i huvudbalken kontrolleras enligt metod beskriven i EN 1991–2:2003, avsnitt 6.4.6.5. För ekvation bakom respektive förstöringsfaktor hänvisas till Tabell 2 och Tabell 3.

Maximalt böjmoment i fältmitt har beräknats för olika typer av tåglaster varvid dynamiska effekter inkluderats, se Tabell 6 och Tabell 7 nedan.

Tåglast	LM 71		ZK
α	1.33	1.0	1.0
P/q [kN/m & kN]	250/80	250/80	200/64
Dynamisk förstöringsfaktor	1.06	1.06	1.06
Maxmoment fältmitt [MNm]	56.2	42.3	33.8
Jämförelse	100%	75%	60%

Tabell 6: Lasterna LM71 och ZK med maximala fältmoment

Tåglast	HSLM									
	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10
α	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
P/q [kN/m & kN]	170/0	200/0	180/0	190/0	170/0	180/0	190/0	190/0	210/0	210/0
Dynamisk förstöringsfaktor	2.21	2.67	3.03	2.73	2.50	2.25	1.83	1.41	1.63	1.46
Maxmoment fältmitt [MNm]	28.5	39.4	40.9	38.2	31.7	30.3	26.0	20.0	25.5	22.9
Jämförelse	51%	70%	73%	68%	56%	54%	46%	36%	45%	41%

Tabell 7: HSLM laster och maximala fältmoment

Ovanstående tabell visar att den kinesiska tåglasten ZK motsvarar 60% av lastmodell LM71 med α -faktor 1,33. Tabellerna ovan visar att HSLM-fordonens lasteffekt motsvarar 73% av lastmodell LM 71 med α -faktor 1,33.

10.1.7 Slutsatser

Utifrån ovan presenterat resultat och diskussion dras följande slutsatser.

- Gränsvärden för vertikal acceleration är inga problem för aktuell brotyp.
- Lastmodell ZK från Kina ger upphov till lägre respons än HSLM-fordon, varför denna anses opassande för bruk i Sverige.
- För aktuell brotyp motsvarar höghastighetsfordonen med lastmodell HSLM 75% av motsvarande last från LM71 med $\alpha = 1.33$. Broar av aktuell utformning som enbart trafikeras av persontåg bör därför kunna dimensioneras för 75% av normalt belastade järnvägsbroar.

10.2 Dynamisk beräkning med jord bro interaktion

I tidigare kapitel har det utförts dynamiska analyser med vertikalt fixa upplag.

Detta kapitel behandlar en modell med interaktion med underliggande jord vilket modelleras med vertikala fjädrar och dashpots. Denna typ av beräkning förkortas ofta med SSI, Soil Structure Interaction.

10.2.1 Direkt tidsintegration

Linjär dynamisk analys bygger vanligtvis på modalanalys. Metoden stödjer bara linjära modeller men har fördelen av att den är beräkningsmässigt snabb relativt andra metoder.

Vid icke linjär dynamisk analys används vanligtvis den mer tidskrävande metoden ”direkt tidsintegration”. Implementering av fjädrar och dashpots görs med koefficienter oberoende av frekvens, vilket kräver att analysmetoden direkt tidsintegration används i stället för modalanalys.

Med modalanalys kan direkt dämpning ansättas för hela strukturen. För direkt tidsintegration däremot används Rayleigh dämpning med α -faktor som är proportionerlig mot massdämpning och β -faktor proportionerlig mot strukturell dämpning. Dämpningsfaktorerna α och β approximeras med hjälp av metod som baseras på första och andra egenfrekvensen.

10.2.2 Fjädrar och dashpots

Teori och ekvationer från referens [20].

Fjäderstyvhetsen beräknas enligt ekvation (10.4):

$$K_V = \frac{(4,7 * G_0 * a)}{1 - \nu} = 3.0 \text{ GN/m} \quad (10.4)$$

$$E_k = 50 \text{ MPa}$$

$$G_0 = \text{Skjuvmodul} = 96 \text{ MPa}$$

$$a = \text{Halva fundamentsbredden}$$

$$\nu = \text{Tvärkontraktionstalet}$$

Dashpot koefficienten beräknas enligt ekvation (10.5):

$$C_V = \frac{0,8 * a * K_V}{V_s} = 50 \text{ MNs/m} \quad (10.5)$$

Utbredningshastigheten för skjuvvågor, V_s , beräknas enligt ekvation (10.6):

$$V_s = \sqrt{\frac{G_0}{\rho}} \quad (10.6)$$

$$\rho = \text{Jordens densitet}$$

För beräkning av G_0 används den dynamisk elasticitetsmodulen, vilken antas vara 5 gånger större än den karakteristiska E-modulen.

10.2.3 Rayleigh dämpning

Utifrån frekvensanalys beräknades den första och andra longitudinella egenfrekvensen till:

$$f_1 = 3,60 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 13,78 \text{ Hz}$$

Utifrån egenfrekvenserna kan Rayleigh dämpningen beräknas till:

$$\alpha = 0,3586$$

$$\beta = 0,000183$$

10.2.4 Resultat

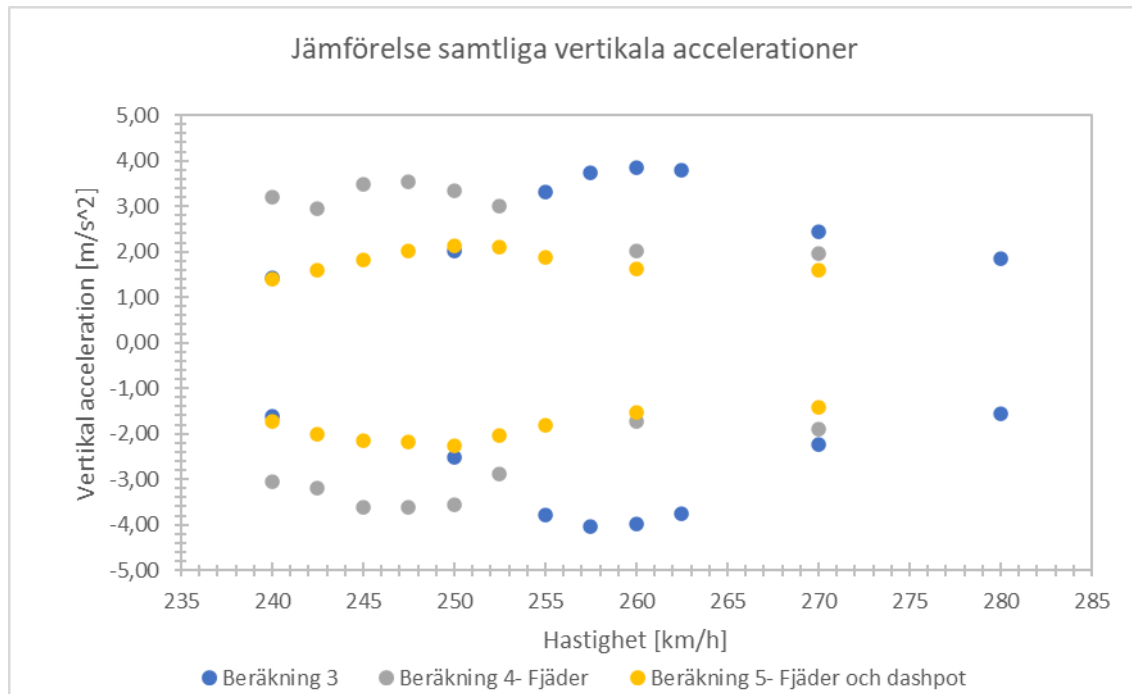
Resultatet från beräkningar av olika modeller presenteras i nedanstående Tabell 8.

Beräkning	Modalanalys		Direkt tidsintegration (DTI)		
	1	2	3	4	5
Förklaring	3D modell	2D modell	2D Modell DTI Utan SSI	2D Modell DTI Vertikalfjäder	2D Modell DTI Vertikalfjäder och dashpots
Vertikalfjäder	---	---	---	$K_v=3,0 \text{ GN/m}$	$K_v=3,0 \text{ GN/m}$
Dashpot	---	---	---	---	$C_v=50 \text{ MNs/m}$
Load: P/q	HSLM A3 190/0	HSLM A3 190/0	HSLM A3 190/0	HSLM A3 190/0	HSLM A3 190/0
y_dyn [mm]	-9,29	-9,30	9,26	9,15	6,32
y_stat [mm]	-3,07	-2,74	2,75	2,93	2,93
Dynamisk faktor:	3,03	3,39	3,37	3,13	2,16
Jämförelse:	100%	112%	111%	103%	71%

Tabell 8: Resultat från beräkning

Beräkningen med vertikalfjäder och dashpots visar att dynamiska förstoringfaktorerna minskar.

Max acceleration inträffar vid hastigheten 260 km/h enligt Figur 45 nedan.



Figur 45: Jämförelse av vertikala accelerationerna för analyserna över hastighetsintervallet 240-280 km/h

10.2.5 Slutsatser

Resultatet för körningarna som inkluderar jord bro interaktion visar att dynamiska förstoringfaktorn minskar för den aktuella brotypen.

Rapporter från KTH visar på liknande slutsatser enligt referenserna [21] kapitel 6.1 och [22] kapitel 7.1.

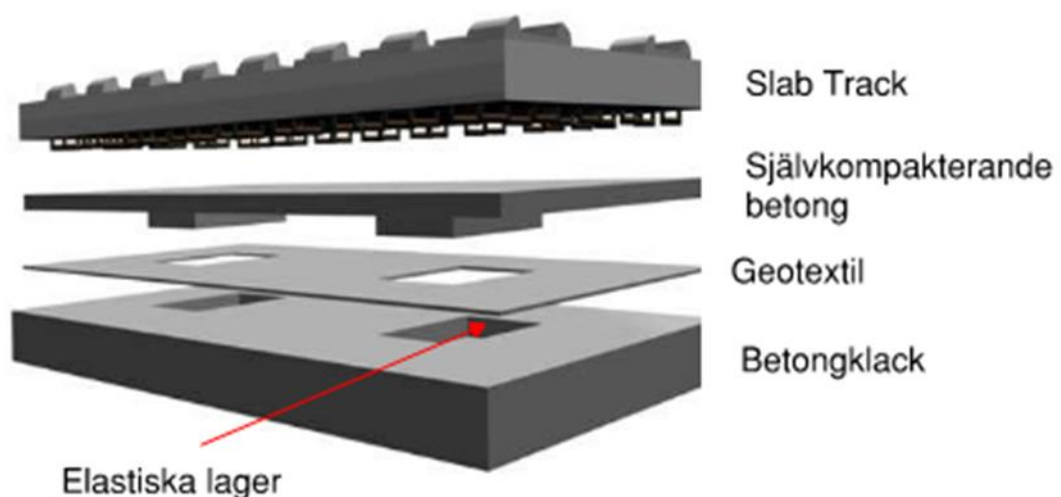
11 INFÄSTNING AV RÄLER

11.1 Slab track

Slab track är ett system för ballast fria spår där rälerna fästs in i en betongplatta. På broar samverkar sedan slab track plattan med underliggande konstruktion via betonggjutningar och mellanliggande elastiska lager, se Figur 46 nedan.

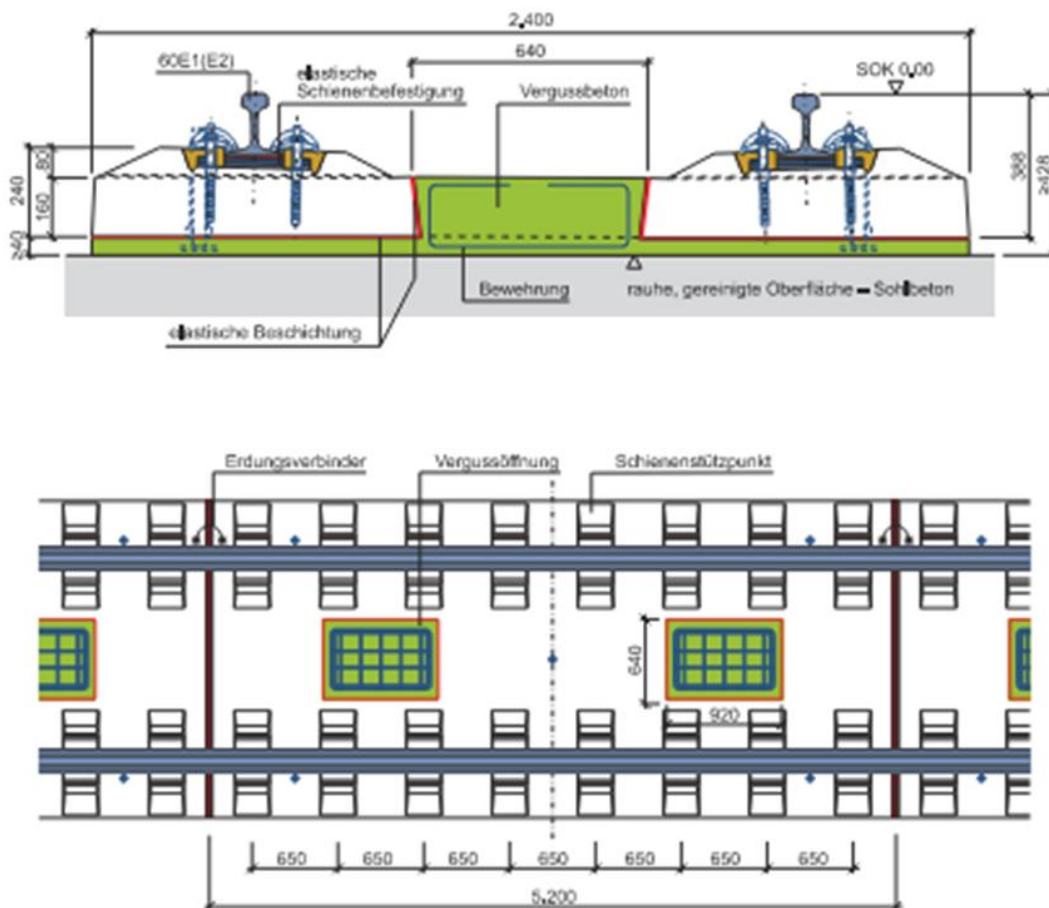
Det finns många fördelar med direkt infästa räler:

- Lägre underhållskostnad
- Lägre konstruktionshöjd
- Lägre laster på bron
- Möjligheter till högre hastigheter
- Lägre livscykelkostnad



Figur 46: Slab tracks system på broar

Det finns många internationella leverantörer av slab tracks system för järnväg. Vi har varit i kontakt med den österrikiske leverantören PORR, se Figur 47 nedan på deras system.



Figur 47: Slab tracks lösningar från österrikiska företaget PORR.

11.2 Interaktion mellan räler och bro

SS-EN 1991-2:2003 kapitel 6.5.4 behandlar kombinerad respons på bärverk och spår.

Brons statiska system med kontinuerlig konstruktion eller fritt upplagda fack har härvid en stor betydelse.

SS-EN 1991-2:2003 kapitel 6.5.4.5 anger dimensioneringskriterier. Här anges att för broar med landfäste bör tilläggs-spänningarna av kombinerad respons från variabla laster begränsas till:

- σ_s , tryck < 72 MPa
- σ_s , drag < 92 MPa

Det är dock vår tolkning att detta gäller variabla laster såsom temperatur och bromslaster men inte vertikal tåglast.

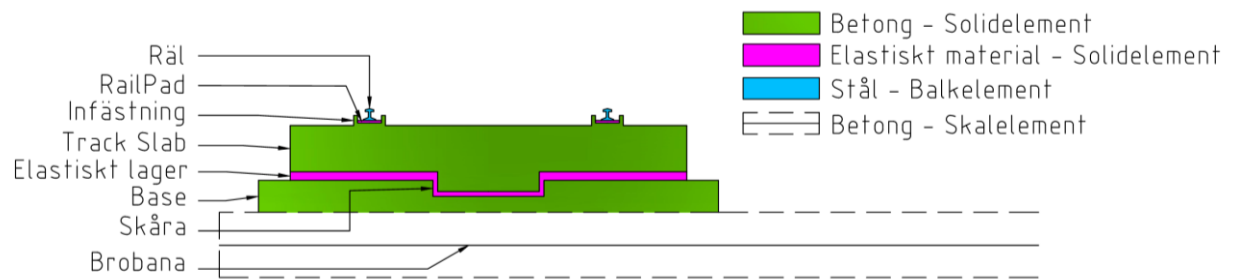
Det finns även flera deformationskrav som skall verifieras.

Den kombinerade analysen har stor inverkan på hur bronns underbyggnad dimensioneras och vilka horisontalaster som förs ner i olika stöd.

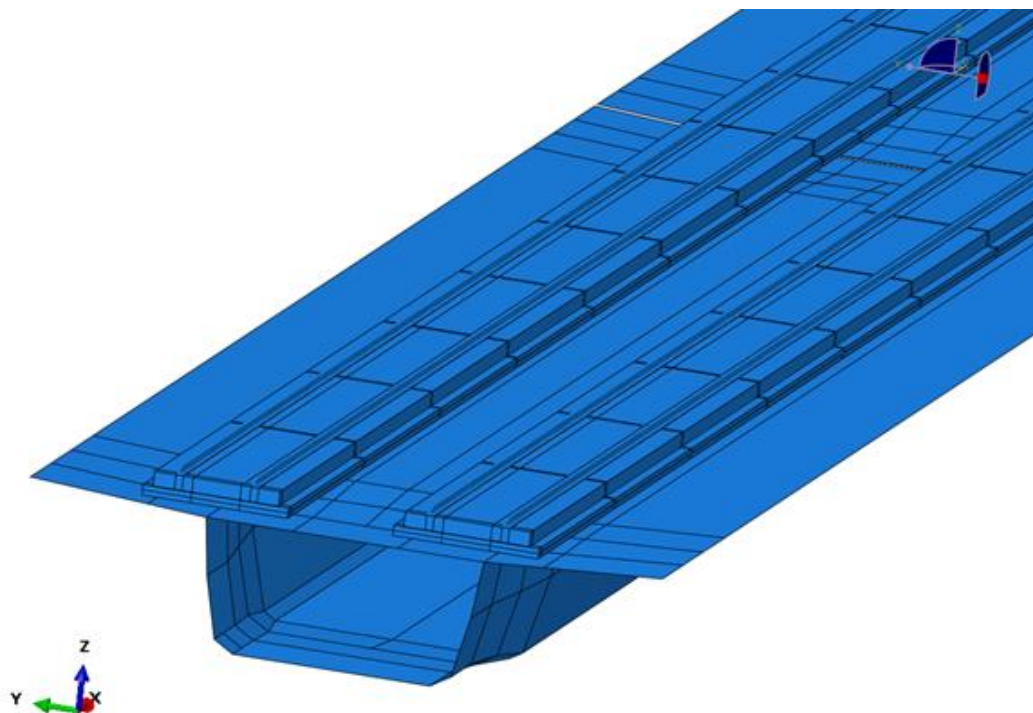
11.3 Modell för interaktion mellan bro och räler

Finita element beräkningar har utförts för att beräkna effekterna av samverkan mellan räler och bro. Figur 48 och Figur 49 nedan visar figurer på dessa modeller.

Modellen inkluderar horisontella och vertikala fjäderkopplingar mellan räl och slab track samt mellan slab track och brobana. Fjädrarna utförs delvis bilinjära i enlighet med UIC 774-3 vilket innebär konstant kraft vid större rörelseskillnad än 0,5 mm.



Figur 48: Modellering av samverkan mellan bro och räler



Figur 49: FEM-modell

11.4 Beräkningar

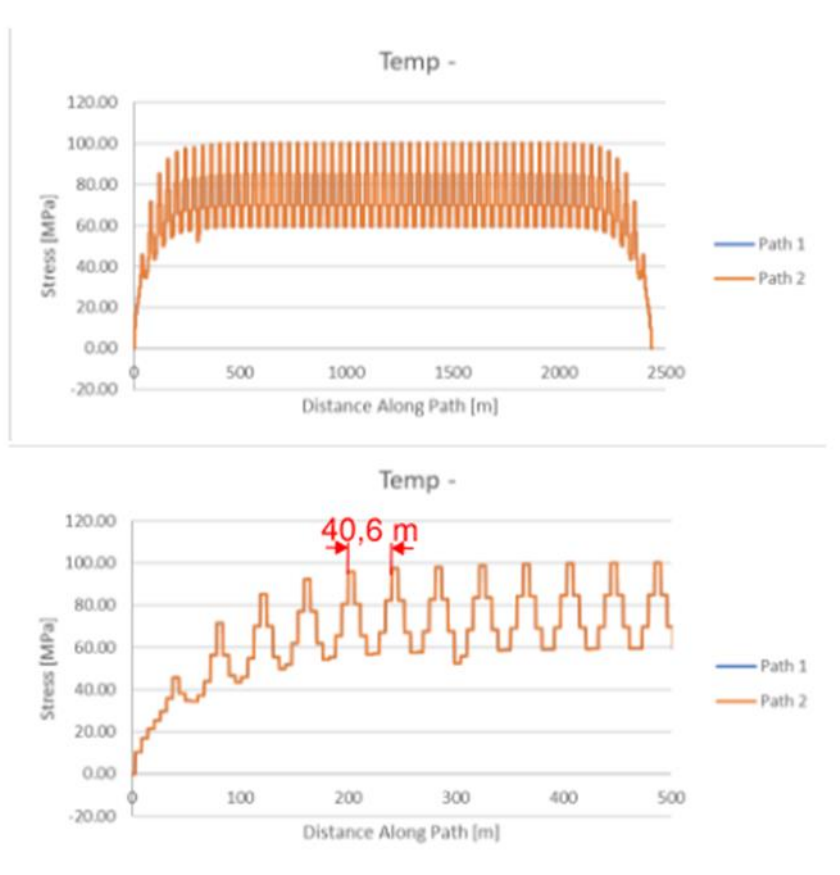
Beräkning har utförts med en brobana med längden 2500 meter och spännvidderna 40 meter.

Figur 50 nedan visar spänningar i rälsen från lastfallet med negativ temperatur. Övre diagrammet visar spänningarna över hela bro längden och nedre diagrammet visar en förstoring av broändan, första 500 metrarna.

Hoppen i diagrammet beror på:

- Krafter som upptages i stöden
- Krafter som överförs mellan slab tracks och brobana

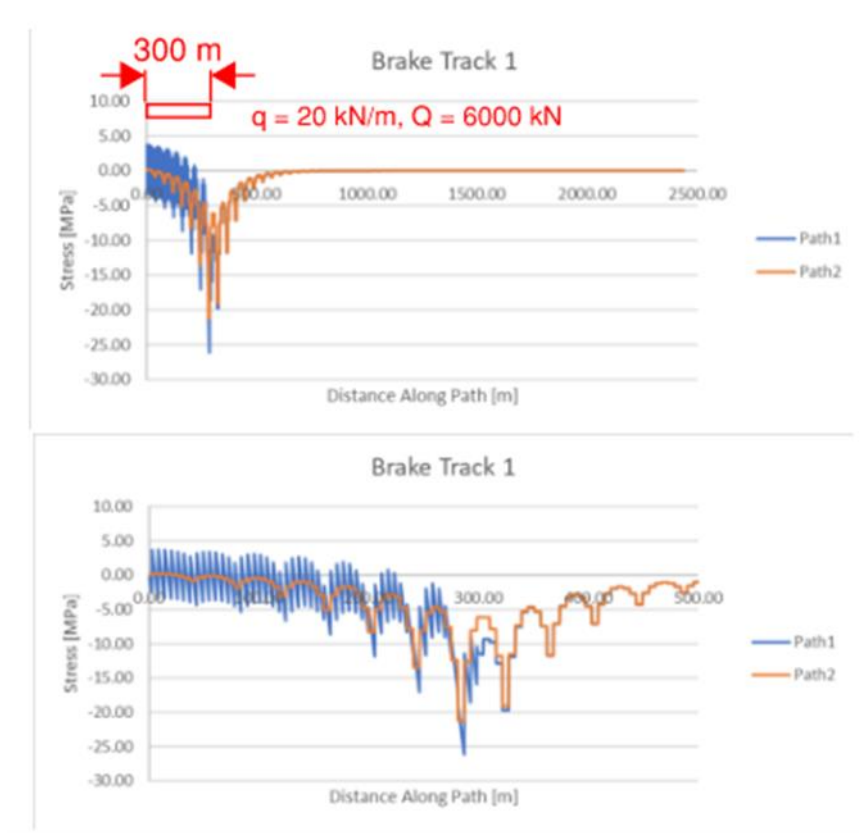
Nedre diagrammet i Figur 50 visar att spänningarna i rälsen erhåller en maximal nivå efter cirka 250 meter vilket innebär att om bron är längre än 500 meter så kommer spänningarna ligga på en konstant nivå av detta lastfall.



Figur 50: Resultat med spänningar i räl från lastfall med negativ temperatur

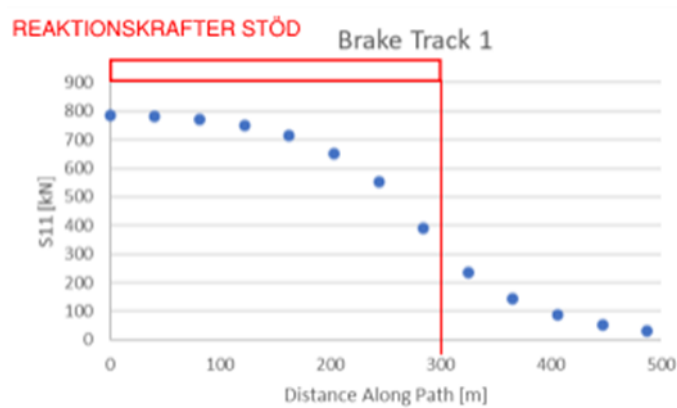
Figur 51 nedan visar beräkning av lastfall med bromslast. Bromslasten är 20 kN/m och verkar i broänden på de första 300 meterna. Maximal spänning i rälen uppkommer efter 300 meter där lasten slutar.

Bron har två spår och path 1 visar spåret där lasten angriper och path 2 visar intilliggande spår.



Figur 51: Resultat med spänningar i räl från lastfall med bromslast

Figur 52 nedan visar hur bromslasten fördelas över de första 13 stöden på bron för aktuellt lastfall.



Figur 52: Resultat med reaktionskrafter i stöd med bromslast

11.5 Rail expansion joints

Rail expansion joint är en dilatationsfog som delar rälsen, se Figur 53. Detta kan erfordras för att minska krafterna i rälsen på grund av temperaturrörelser eller uppta stora rörelser som kan uppkomma.

Dessa konstruktioner är relativt dyra och kräver mycket underhåll varför det är viktigt att minimera antalet rörelsefogar i rälsen.

För kontinuerliga broar med direktinfästa räler kan det behövas denna typ av expansionsfogar om bron kommer upp i längder på några hundra meter.

Aktuellt kinesiska koncept med fritt upplagda fack kan utföras betydligt länge innan det erfordras expansionsfogar, upp till 3-4 km minst.



Figur 53 : Rail expansion joint

Det krävs dock djupare analyser av detta vilket ligger utanför denna rapport.

11.6 Slutsatser och fortsatt arbete

Det återstår mycket arbete för att göra en komplett analys av en kombinerad respons och interaktionen mellan räler och bro. Standarderna är skrivna för analyser av ballasterade spår och här finns det utrymme för olika tolkningar.

Viktiga område för fortsatt utredningar är:

- Vilka laster skall inkluderas?
- Hur fungerar dom bilinjära fjädrarna och vilka styvheter bör användas?
- Bör man inkludera en total bedömning av spänningarna i rälen för alla laster?
- Bör man kontrollera utmattningen av rälen?

Det pågår diskussioner mellan LTH, KTH och Trafikverket att starta ett doktorandprojekt inom detta område vilken kan bidra till att öka den tekniska kompetensen inom området.

12 OPTIMERAD BRO FÖR SVENSKA FÖRHÅLLANDE

Kinesiska landbroar för höghastighetsjärnväg för hastigheter på 350 km/h byggs enligt kapitel 3.

De kinesiska landbroarna är dimensionerade för tåglaster enligt kapitel 9.2, dessa tåglaster motsvarar endast 60% av tåglasten LM71 enligt SS-EN 1991-2:2003 med tillhörande α -faktor på 1,33 inkluderad.

Dynamiska beräkningar i kapitel 10.1.6 visar att HSLM-fordonen inklusive dynamiska effekter motsvarar 73% av LM71 enligt SS-EN 1991-2:2003 med tillhörande α -faktor på 1,33 inkluderad.

Bygger vi liknande landbroar i Sverige för höghastighetsjärnväg och persontåg kan alltså dessa dimensioneras för en mindre last än vad traditionella järnvägsbroar dimensioneras för. Vi har valt att utföra statiska beräkningar för en tåglast motsvarande 75% av LM71 enligt SS-EN 1991-2:2003 med tillhörande α -faktor på 1,33 inkluderad.

Aktuell vald tåglast (75% av LM71) är 25% större än de kinesiska lasterna.

Tabell 9 nedan visar en jämförelse mellan lasteffekten för olika tåglaster.

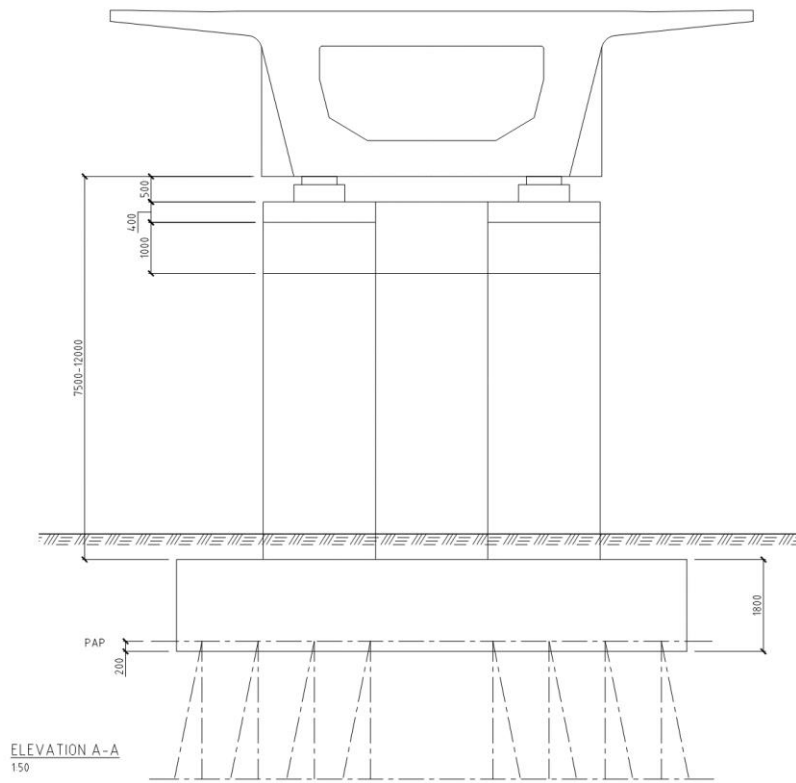
	P [kN]	q [kN/m]	α -faktor	Jämförelse
Eurokod LM71	250	80	1,33	100%
Kinesiska laster	200	64	1,0	60%
HSLM fordon	---	---	---	73%
Vald tåglast	250	80	1,0	75%

Tabell 9: Jämförelse mellan lasteffekt för olika tåglaster

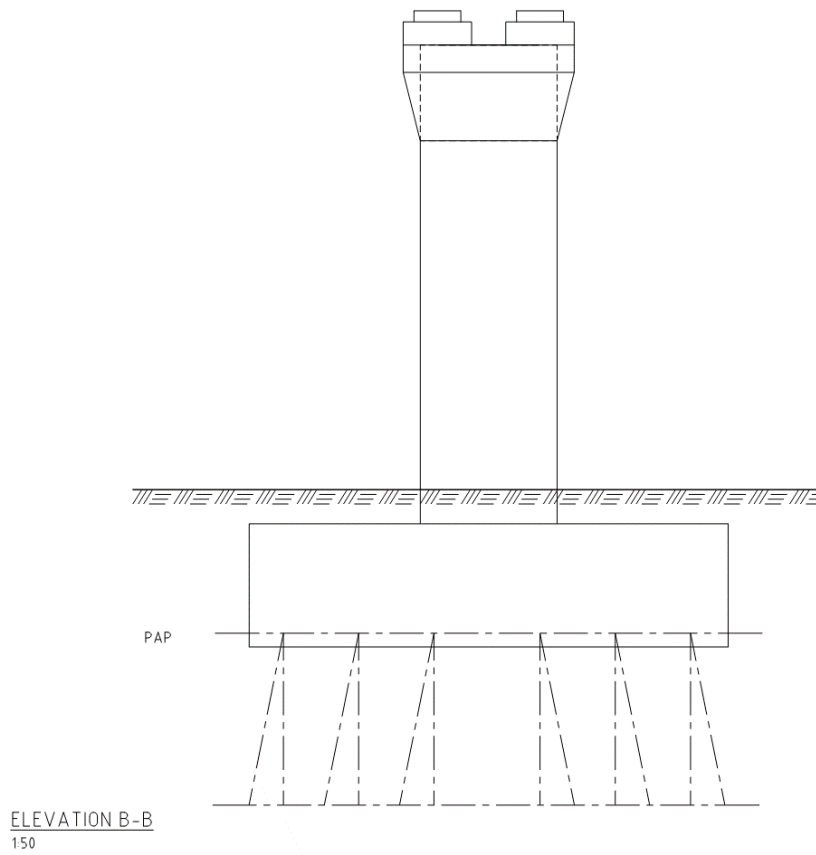
Statiska beräkningar av en landbro enligt det kinesiska konceptet med vald tåglast visar att det kinesiska konceptet är robust och konservativt vad det gäller materialutnyttjande.

Våra beräkningar visar på att man kan göra en materialbesparing på cirka 15% vad det gäller betong, armering och spännarmering i jämförelse med det kinesiska lösningarna. Detta är en viktig slutsats för att göra konceptet samhällsekonomisk lönsamt samt klimatsmart. Vi hoppas att detta kan bidra till korrekta kalkyler och förutsägbara kostnader för en investering.

Figur 54 och Figur 55 visar figurer på hur vi har optimerat stöden för svenska förhållande.



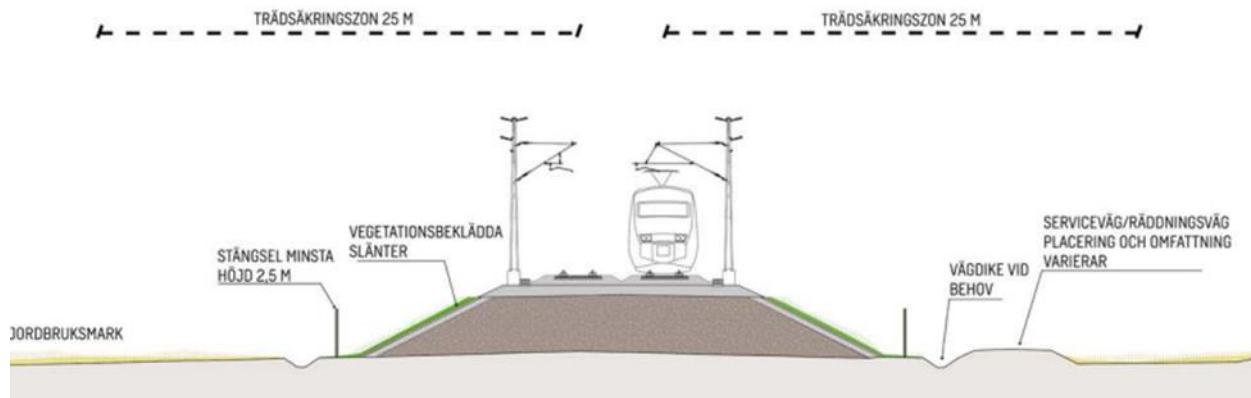
Figur 54: Brostöd för "Svensk" landbro, elevation tvärs bron



Figur 55: Brostöd för "Svensk" landbro, elevation längst med bron

13 BROBANA ELLER JÄRNVÄGSBANK

Traditionellt byggs järnväg med bana som grundlägges direkt på mark, det vill säga en lösning med järnvägsbank. Figur 56 nedan visar en traditionell järnvägsbank.



Figur 56: Järnvägsbank

Lösningen med en landbroar där tågen kör på långa broar upplyfta från marknivån har många fördelar. Figur 57 nedan visar en lösning med landbro konceptet.



Figur 57: Landbro

Lösningen med landbroar har många fördelar:

- Luftig lösning
- Ökade grönytor och jordbruksmark
- Ingen barriäreffekt
- Lättare planändren med markfrågor och mindre expropriering
- Biologisk mångfald
- Kortare byggtid
- Billigare lösning
- Direktinfästa räler med mindre underhåll

Traditionell järnvägsbank har flera nackdelar jämfört med landbroar:

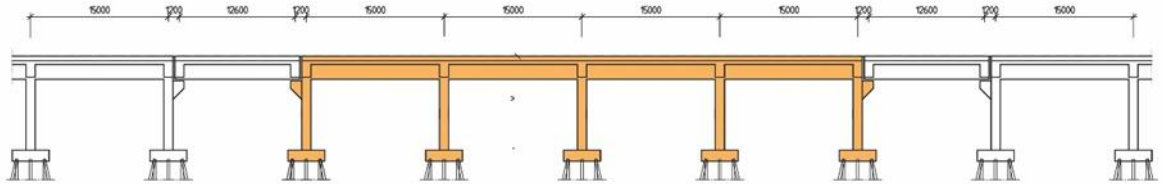
- Stora mängder massor att hantera
- Grundförstärkningar (när det erfordras grundförstärkning krävs det mycket extra åtgärder för dom permanenta lasterna från banken)
- Svårt hinna med ett snabbt byggande eftersom det är mycket stora volymer av schaktmassor samt väldigt många maskiner i arbete
- Kräver flera broar, tunnlar och faunapassager

14 ARBETE INOM TRAFIKVERKET

Trafikverket har tagit fram en lösning med platsbyggda landbroar med inspiration från Japan.

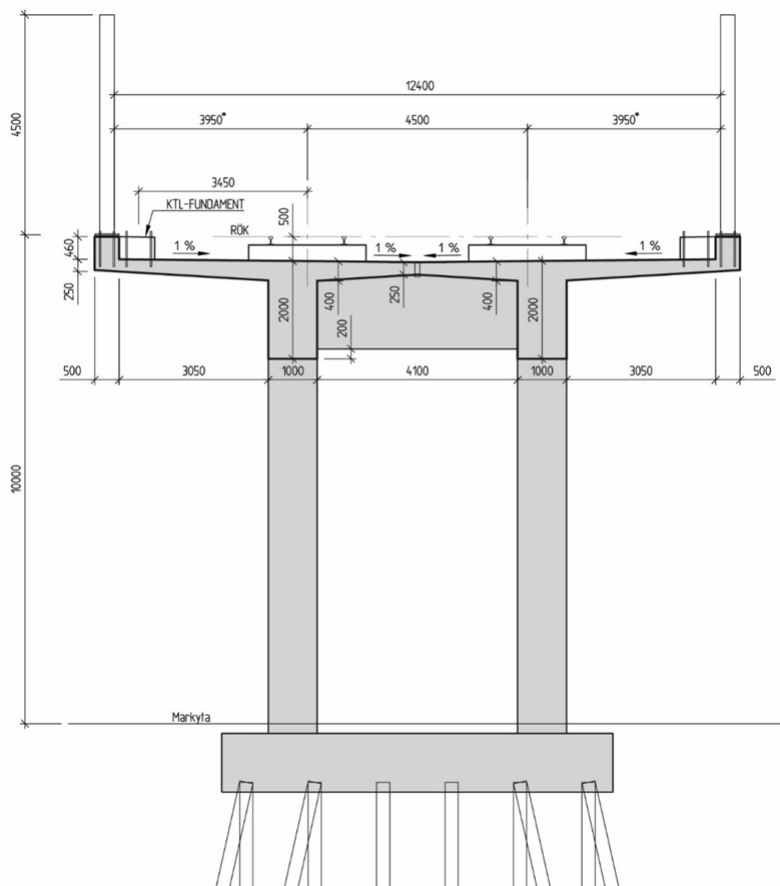
14.1 Koncept från Japan

Konceptet bygger på en platsgjuten konstruktion med spännvidder på 15 meter. Bron delas upp i mindre broar om fyra stycken fack med mellanliggande länkbros, se Figur 58 nedan.



Figur 58: Elevation av landbro

Brobanan är platsgjuten och består av två huvudbalkar och underbyggnaden består av pelare som har kontinuitet med överbyggnaden, se Figur 59 nedan.



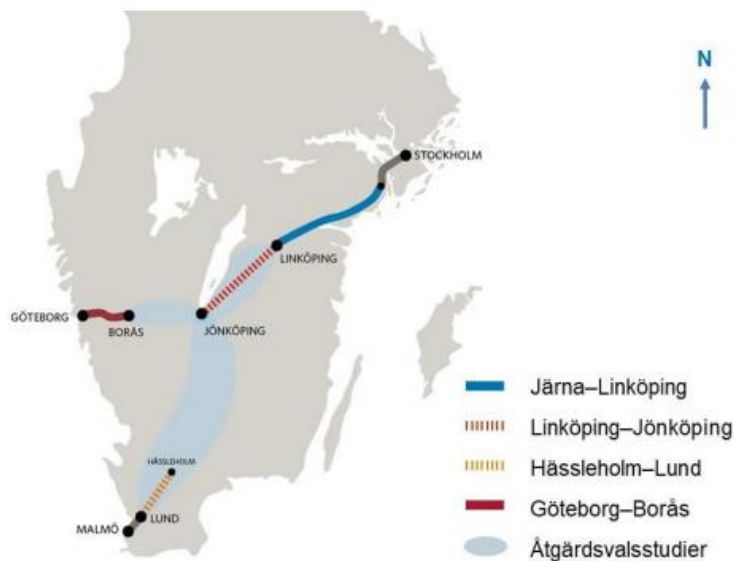
Figur 59: Sektion av brostöd och brobana

Trafikverkets kalkyler visar att produktionskostnad för denna typ av landbro blir betydligt lägre än att bygga enstaka broar. Vid en brolängd på 2000 meter minskar kostnaden till 50% jämfört med en kort individuell bro och med brolängden 4000 meter kan kostnaden komma ner till 40%.

Det är vår bedömning att detta alternativ kan vara mycket intressant för landbroar med medellånga längder upp till en mil. Problemet med längre längder för denna typ av landbro är att mycket arbete är platsbyggt vilket medför att det är tidsödande i fält. Alla arbeten i detta koncept utförs längst med linjen nere från mark med mycket logistisk planering. Vi bedömer därför koncept med högre prefabriceringsgrad och längre spännvidder blir mer konkurrenskraftigt för riktigt långa landbroar.

14.2 Aktuella projekt

Trafikverkets plan för sträckor med nya stambanor visas i Figur 60.



Figur 60: Figuren från Trafikverket visar aktuella etapper på nya stambanor.

14.2.1 Ostlänken

Ostlänken mellan Järna och Linköping är en 16 mil lång järnväg och första delen av nya stambanor i Sverige. Hastigheten på banan är 250 km/h och arbetet planeras vara klart 2035.

Ostlänken byggs med traditionella ballasterade spår och tyvärr projekteras inte detta för höghastighetsjärnväg med hastigheter upp på 300-350 km/h. Järnvägskorridoren är dock ursprungligen planerad för hastigheter på 320-360 km/h varför det bör finnas möjligheter omprövning av dessa beslut och öka hastigheten utan att det påverkar linjedragningen.

14.2.2 Borås till Göteborg

Trafikverket planerar ny stambana för höghastighetståg mellan Göteborg och Borås via Landvetter flygplats som är 6 mil lång [23]. Under 2022 skall planarbetet med den exakta sträckningen påbörjas och byggstart är beräknad till 2025-2027. Här planeras för hastigheter på 250 km/h.

14.2.3 Teststräcka Lund – Hässleholm

Trafikverket planerar för en 7 mil dubbelspårig järnväg för höghastighetståg mellan Hässleholm och Lund [24]. Byggstart är planerat till slutet av planperioden 2018-2029. Här planeras för tåg med hastigheten 320 km/h och en byggtid på tio år. Lösningen med landbroar kan definitivt vara högtintressant på detta projekt.

14.2.4 Höghastighet mellan våra tre största städer

För att knyta ihop Stockholm, Göteborg och Malmö återstår sedan etapperna:

- Linköping – Jönköping
- Jönköping – Göteborg
- Jönköping – Hässleholm
- Lund – Malmö
- Stockholm – Järna

15 SKAGERRAKBANAN

Skagerrakbanan mellan Oslo och Göteborg är 25,6 mil lång [25 och 26]. Kostnaden för projektet är bedömt till 100 miljarder och planeras att byggas på nio år. Banan planeras byggas med landbroar vilket halverar priset och byggs fem gånger snabbare än traditionell mark byggd bana. Projektet drivs av Skagerrak-konsortiet och planeras att finansieras genom lån och europeiska investeringsbanken. Liknande Öresundsbron så är det sedan biljettintäkterna som skall finansiera projektet. Hastigheten på banan planeras vara 400 km/h och det skulle ta en timme att åka mellan Oslo och Göteborg.

16 REFERENSER

- [1] <https://sverigeforhandlingen.se/>
- [2] Statens offentliga utredningar, Slutrapport från Sverigeförhandlingen, SOU 2017:107
- [3] <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-som-stracker-sig-over-flera-lan/nya-stambanor-mellan-stockholm-goteborg-och-malmo/>
- [4] Trafikverket, TRV 2020/20048, Trafikverkets verksamhetsplan 2021-2023
- [5] Trafikverket, TRV 2021/79143, Förslag till nationell plan för transportinfrastrukturen 2022-2033
<https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/langsiktig-planering-av-infrastruktur/nationell-plan/>
- [6] <https://shift2rail.org/>
- [7] <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/high-speed-rail-19-2018/en/>
- [8] <https://active-traffic.tti.tamu.edu/trans-european-transport-network-ten-t-priority-axes-and-projects-2005>
- [9] https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en
- [10] <https://uic.org/IMG/pdf/uic-atlas-high-speed-2021.pdf>
- [11] <https://www.eib.org/en/publications/the-route-map-to-a-connected-europe>
- [12] <https://www.japanstation.com/map-of-shinkansen-high-speed-train-network-in-japan/>
- [13] Trafikverket publikation 2017:162, Klimatpåverkan från Höghastighetsjärnväg
- [14] CIR-dagen 1 februari 2022: Höghastighetsjärnväg, CIB/IABSE/RILEM
<http://rilem.se/evenemang-2022/>
- [15] <https://www.norcem.no/en/CCS>
- [16] Trafik Analys, Rapport 2022:7 Kvalitetsgranskning av Trafikverkets förslag till nationell plan för transportinfrastrukturen 2022-2033 (2022-02-28)
- [17] <https://www.sj.se/sv/om/om-sj/trafik-och-tag/hoghastighetstag.html>
- [18] <https://www.sj.se/content/dam/SJ/pdf/H%C3%B6ghastighetst%C3%A5g/Hoghastighetsbana-i-Sverige.pdf>
- [19] SS-EN 1991-2, Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar
- [20] G. Minasidis, G.D. Hatzigeorgiou, D.E. Beskos 2014, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.06.030>
- [21] Johan Lind Östlund, Andreas Andersson, Mahir Ulker Kaustell och Jean-Marc Battini , 2017. Soil-Structure Interaction for foundations on High-Speed Railway, TRITA-BKN Report 166 från KTH
- [22] Abbas Zangeneh Kamali, 2021. Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis of High-Speed Railway Bridges från KTH

[23] Trafikverket, TRV 2021/128691 Göteborg-Borås en del av nya stambanor (2022-02-28)

[24] Trafikverket, TRV 2020/66057 Hässleholm-Lund, del av nya stambanor (2021-11-30)

[25] <https://www.norden.no/artikler/skagerrakbanen>

[26] <https://www.infrastrukturnyheter.se/20210924/25342/skagerrakbanan-goteborg-oslo-pa-en-timme-byggtid-9-ar>