



CHALMERS

Kostnadsanalys av spårväxlar hos Trafikverket

**En analys av en uppgradering med
målet att uppnå kostnadsbesparingar**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Eric Thorén
Gabriel Hasl

**INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024

Förord

Vi vill tacka Trafikverket som gav oss möjligheten att utföra detta examensarbete. Detta arbete var en utmärkt möjlighet att kunna tillämpa de kunskaper som vi har samlat på oss från högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik hos Chalmers.

Ett stort tack ska riktas till Arne Nissen, vår handledare på Trafikverket. Utan hans hjälp och stöd hade arbetet inte kunnat uppnå den kvalitet som det gjorde.

Vi vill också tacka dem på Vossloh som gav oss en tur runt deras fabrik i Örebro, vilket ökade vår förståelse för spårväxlar.

Slutligen vill vi även tacka vår examinator Anders Ekberg från Chalmers, som väglett och pekat oss i rätt riktning under arbetets gång. Utan hans feedback och råd hade vi inte lyckats uppnå målet med arbetet.

Sammanfattning

Detta arbete har utförts i samarbete med Trafikverket för att göra en kostnadsanalys av spårväxlar. Den här rapporten redovisar metoderna som använts och resultaten som har nåtts.

Trafikverket är en statlig organisation med ansvar för planering, byggande, drift och underhåll av Sveriges transportinfrastruktur, där järnvägar och spårväxlar även ingår. Syftet med rapporten är att utforska och analysera effekterna av att uppgradera en vanlig växeltyp, nämligen EV-60E-1200-1:18,5, från att ha två driv till att ha tre driv. Rapporten hade som mål att leverera en tillförlitlig kostnadsanalys av denna uppgradering.

Resultaten av denna kostnadsanalys visar de fördelar och kostnader som Trafikverket kan förvänta sig vid uppgraderingen. Genom framtagandet av ett operativt scenario, baserat på data från en excelfil tillhandahållen av Trafikverket, kunde resultatet presenteras i form av kostnadskalkyler och diagram. Scenariot omfattade kostnader gällande lagerhållning, frekvens av komponentbyten, och merförseningskostnader, bland annat. Resultaten visar att kostnaden per växel för växlar med 3-driv är mer kostnadseffektiv än för växlar med 2-driv, förutsatt att en tillräcklig mängd byts ut. Kostnader för lagerhållning visade sig vara en stor kostnadsdrivande faktor, och att ha flera varianter av växeltyper ökar behovet av komponenter i lager. Eftersom Trafikverket redan har en stor spridning av komponenter är det önskvärt att minimera denna spridning.

Projektet visar även vad Trafikverket kan tänka på vid framtida projekt gällande liknande uppgraderingar och allmänna effekter av utgifter. En bedömning av kostnadsanalysens tillförlitlighet och relevans har också diskuterats. Vidare dras även slutsatser utifrån projektet som säger att uppgradering är kostnadseffektiv ur ett långsiktigt perspektiv. Gruppen anser även att Trafikverket kan använda denna rapport som underlag vid framtida kostnadsanalyser av liknande slag.

Abstract

This work has been carried out in collaboration with Trafikverket, the Swedish Transport Administration, to conduct a cost analysis of railway switches. This report presents the methods that are used and the results that are achieved.

Trafikverket is a governmental organization responsible for the planning, construction, operation, and maintenance of Sweden's transport infrastructure, which includes railways and switches. The purpose of this report is to explore and analyze the effects of upgrading a common railway switch type, specifically EV-60E-1200-1:18.5, from having two gear-drives to three gear-drives. This report aims to deliver a reliable cost analysis of this railway switch upgrade.

The results of this cost analysis shows the advantages and costs that Trafikverket can expect from implementing the upgrade. By creating an operational scenario based on data from an extensive Excel file provided by Trafikverket, the results could be presented in the form of cost calculations and diagrams. The scenario includes costs related to inventory holding, frequency of component replacements, and passenger delay costs, among others. The results show that the cost per railway switch for switches with three gear-drives is more cost-effective than for switches with two gear-drives, provided that a sufficient quantity is replaced. Storage costs have proven to be a major cost-driving factor, and having multiple types of railway switches increases the need for the inventory of components. Since Trafikverket already has a wide variety of components, it is desirable to minimize this variety.

The project also highlights considerations for Trafikverket in future projects regarding similar upgrades and the general effects of expenditures. An assessment of the cost analysis's reliability and relevance was also discussed. Furthermore, the conclusions drawn from the project indicate that the upgrade is cost-effective in the long term. The group also believes that Trafikverket can use this report as a basis for future cost analyses of a similar nature.

1. Inledning.....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte.....	6
1.3 Avgränsningar.....	7
2. Teoretiskt ramverk.....	8
2.1 Systembeskrivning av spårväxlar.....	8
2.1.1 Spårväxelns komponenter.....	9
2.2 Rapportens växeltyper.....	12
2.3 Hur en spårväxel påverkas vid en uppgradering av växeldriv.....	13
2.4 Bandelar.....	14
3. Metod.....	15
3.1 Val av komponenter.....	15
3.2 Datainsamling.....	15
3.2.1 Besiktnings- och underhållsanalys.....	16
3.2.2 Expanding av sökning efter byte.....	17
3.3 Metoder för framtagning av scenario.....	18
3.3.1 Beskrivning av ASEK-8.....	18
3.3.2 Val av scenario.....	18
3.3.3 Västra stambanan.....	19
3.3.4 Undersökning och motivering av restid.....	20
3.3.5 Undersökning av lagerstatus och reservdelsförbrukning.....	21
3.3.6 Snittantalet passagerare per tåg.....	21
3.3.7 Merförseningsminuter.....	24
3.3.8 Trafikverkets arbets- och materialkostnad.....	25
4. Resultat.....	26
4.1 Kostnader utifrån datainsamlingen och dess ingående faktorer.....	26
4.2 Restid, lagerkostnad och passagerarantal.....	28
4.2.1 Restid.....	28
4.2.2 Lagerkostnaden för en växel.....	28
4.2.3 Merförseningskostnad för passagerare.....	29
4.2.4 Merförseningskostnad för godsleveranser.....	31
4.3 Kostnadsanalys av scenariot.....	31
4.4 Resultat från uppgraderingen till 3-driv.....	34
5. Analys och diskussion.....	36
5.1 Diskussion.....	36
5.2 Bedömning av kostnadsanalysens tillförlitlighet och relevans.....	37
6. Slutsats.....	40
Referenser.....	41

1. Inledning

Följande kapitel behandlar projektets bakgrund och relevans.

1.1 Bakgrund

Inom järnvägstrafiken utgör spårväxlar kritiska komponenter som spelar en avgörande roll för säker och effektiv tågtrafik. För Trafikverket är en fungerande spårväxel av yttersta vikt för att undvika kostsamma störningar i järnvägssystemet. Om dessa kritiska komponenter inte fungerar resulterar det i förseningar som påverkar resenärer och godsleveranser, och ser stora ekonomiska effekter på samhället. På grund av olika orsaker, varav en är att olika delar av järnvägen konstruerats vid olika tidpunkter, har det uppstått en bred mångfald av komponenter och tekniska lösningar.

Enligt Växelboken (*Lundwall, B., & Ahlquist, A. 2020*) finns det drygt 11 000 spårväxlar av cirka 110 olika typer i Sverige. Antalet typer minskar med tiden eftersom gamla spårväxlar allteftersom byts ut till modernare varianter. Mångfalden av spårväxlar har bidragit till stora kostnader, vilket arbetet har som mål att utforska. Det nyaste växelsortimentet från företaget Vossloh som tillverkar spårväxlar till Trafikverket heter 60E och ska ersätta de tidigare växelsortimenten.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utforska och analysera effekterna av att uppgradera en vanlig växeltyp, nämligen EV-60E-1200-1:18,5, från att ha två driv till att ha tre driv. Genom att öka antalet driv till tre får man extra kraft och kan minska antalet tungkontrollkontakter (TKK), vilka står för många driftstörningar hos Trafikverket. Rapporten syftar först till att undersöka den aktuella kostnaden för spårväxlarna och sen vilka extra kostnader som Trafikverket kan förvänta sig vid att ha två varianter av växeln med samma funktion och snarlik spårgeometri, men olika antal driv och TKK:er.

1.3 Avgränsningar

För att examensarbetet ska kunna genomföras inom den angivna tidsramen måste projektet avgränsas. Avgränsningar listas i punktform nedan.

- Bara två växeltyper ska undersökas: EV-60E-1200-1:18,5 och EV-UIC60-1200-1:18,5.
- Ett generellt scenario definieras och utreds för att kunna komma fram till en kostnadsanalys.
- Kostnadsanalysen genomförs för enbart ett operativt scenario.
- Kostnad för den uppgraderade växeltypen kommer att utgå från värden uppskattade av experter inom området.
- Beräkningen av kostnaden omfattar bara de komponenter som skiljer sig mellan att ha 2-driv respektive 3-driv på en spårväxel.
- Kostnader som inte skiljer sig efter växeluppgraderingen kommer inte att räknas med i kalkylen.

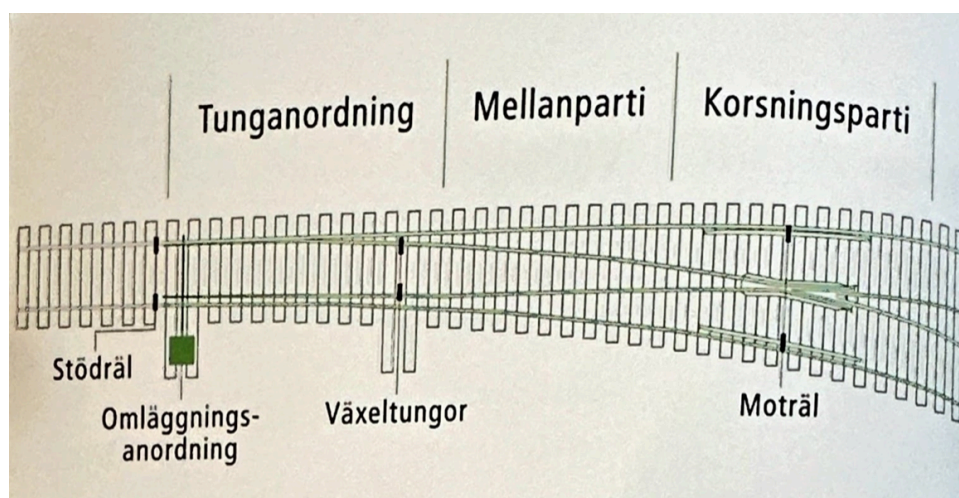
2. Teoretiskt ramverk

För att förstå hur spårväxlar fungerar kommer följande kapitel innehålla en systembeskrivning. Problemet som Trafikverket har med den befintliga växeltypen samt de fördelar som motiverar uppgraderingen kommer också att förklaras.

2.1 Systembeskrivning av spårväxlar

Spårväxlar huvudsakliga funktion är att möjliggöra en smidig övergång mellan olika järnvägsspår. Detta görs med hjälp av flera komponenter som listas i detalj senare i kapitlet. Enligt Växelboken (Lundwall, B., & Ahlquist, A. 2020) består alla växlar av följande sektioner:

- **Tunganordning** - Den första sektionen på en spårväxel. Tunganordningen är den rörliga del som styr in tåget i önskad riktning. De yttre rälerna kallas i denna del för stödräl och de inre för växeltungor.
- **Mellanparti** - Andra sektionen består av räler, sliprar och isolerskarvar.
- **Korsningsparti** - Del som bildar en öppning i rälen som släpper igenom tåghjulens flänsar till den anslutande rälen.
- **Omläggingsanordning** - För att möjliggöra förflyttningen av växeltungor så används olika typer av omläggingsanordningar, även kallade växeldriv. De finns i tre olika varianter: maskinella, mekaniska och manuella. I denna rapport kommer fokuset ligga på den maskinella varianten.



Figur 1: Växels sektioner (Växelboken, Lundwall, B., & Ahlquist, A. 2020)

Dessa sektioner går tillsammans och möjliggör växlingen, som beskrivs bäst på följande sätt:

“1. När ett tåg kör in i växeln så har omlägningsanordningen lagt växeln i det läge som behövs för att styra upp tåget i önskad riktning. Hjulen bärs inledningsvis upp av båda stödrälerna. Det är först när ena tungan blivit tjockare och fått full bärighet som tåget bärs upp av tungan samt en stödräl. Själva tungspetsen belastas därför aldrig.

2. Mellanpartiet leder tåget vidare mot det bakre korsningspartiet.

3. I korsningspartiet skapas en öppning i rälen som släpper igenom flänsen på tåghjulen, så att tåget kan komma in på den anslutande rälen.

4. Om korsningsspetsen är fast så fångar en moträl upp ena tåghjulet och styr hjulaxeln så att det andra hjulet, som befinner sig i korsningen, inte hamnar på fel sida om korsningsspetsen. I de fall korsningsspetsen är rörlig läggs spetsen om, precis som en rörlig tunga, efter önskad färdriktning- och då behövs ingen moträl.” Växelboken (Lundwall, B., & Ahlquist, A. 2020)

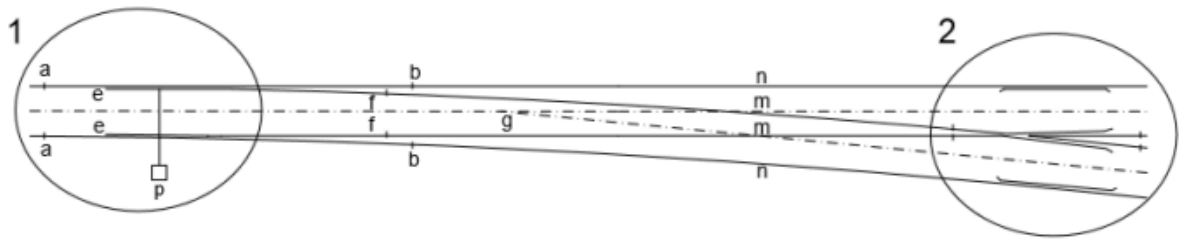
2.1.1 Spårväxelns komponenter

En spårväxel består av många komponenter. Fler komponenter finns än de som listas nedan, men för att hålla det relevant till rapporten har följande komponenter valts att förklaras:

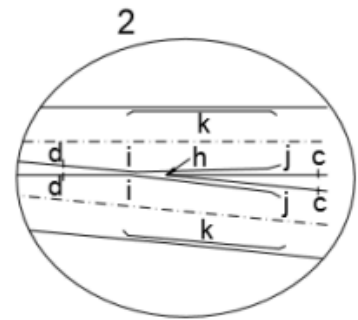
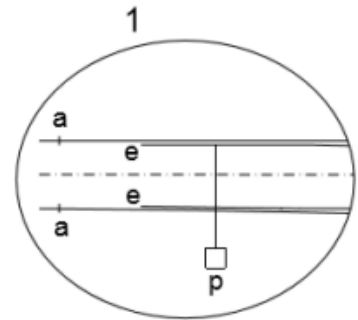
- **Främre stödrälsskarv** - Skarv i spårväxelns och tunganordningens främre del där anslutande räl är infäst i stödrälen.
- **Bakre stödrälsskarv** - Skarv i tunganordningens bakre del där stödrälen är infäst i anslutande mellanräl.
- **Främre korsningsskarv** - Skarv i korsningspartiets främre del där anslutande mellanräl är infäst.
- **Bakre korsningsskarv** - Växelns och korsningspartiets bakre skarv där spårväxeln är infäst i anslutande räl.
- **Tunganordning** - Den rörliga delen som styr in tåget i önskad riktning.
- **Växeltunga/Tunga**- Rörlig räl som kan förflyttas för att möjliggöra spårbyte.
- **Tungspets** - Växeltungans framkant.
- **Tungrot** - Växeltungans bakre del.

- **Tungskontrollkontakt, TKK** - Sensor som känner av i vilket läge växeltunga ligger.
- **Omläggingsanordning/Växeldriv** - Del av anordning som förflyttar växeltungan (eller den rörliga korsningsspetsen i de fallen en sådan används.)
- **Vingräl** - Rälerna utanför korsningsspetsen.
- **Spetsräl** - Två sammanstrålande räl som monteras ihop och bildar en korsningsspets.
- **Moträl** - Förhindrar hjulen att hamna på fel sida korsningsspetsen.
- **Farräl** - Yttre räl i korsningspartiet.
- **Stödräl** - Benämning på räl som löper längs växeltungan.
- **Mellanräl** - Räl i mellanpartiet.
- **Sliper** - Balk som fördelar belastningen från järnvägsspåret ner i banvallen.
- **Ställverk** - Styr elektroniken som behövs för att ändra läge på växeldriven. Två typer av ställverk, relä- och datorställverk.
- **Glidplattor** - Ligger under växeltungan för att underlätta tungans omläggning. Minskar friktionen genom att tungan glider på rullar/kulor.

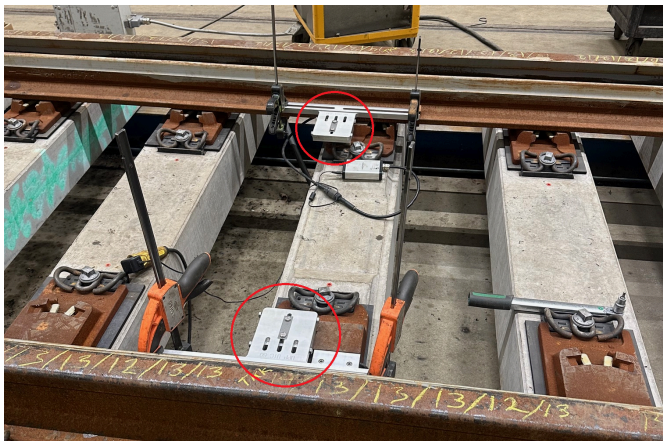
Samtliga komponenter och beskrivningar är hämtade från *Växelboken* (Lundwall, B., & Ahlquist, A. 2020).



Beteckning	Beskrivning
a	Främre stödrälsskarv
b	Bakre stödrälsskarv
c	Bakre korsningsskarv
d	Främre korsningsskarv
e	Tungspets
f	Tungrot
g	Matematisk korsningspunkt
h	Matematisk korsningsspets
i	Vingräl
j	Spetsräl
k	Moträl
n	Farräl
m	Mellanräl
p	Omläggningsanordning



Figur 2: Enkel spårväxel, (Trafikverket, 2015)



Figur 3: TKK:er inringade

(Bilder tagna i Vosslohs fabrik i Örebro.)



Figur 4: Glidplatta

2.2 Rapportens växeltyper

Det finns flera typer av spårväxlar. Några av de olika typerna är enkelväxlar, spårkorsningar och kryssväxlar. Till varje spårväxel ingår en korsningsspets, som kan vara av två varianter; fast eller rörlig. Den rörliga varianten drivs av en eller två egna växeldriv, medan den fasta inte kan röra på sig. Den växeltyp som ingår i denna rapport är av sorten enkelväxel med en fast korsning. Den kan svänga åt höger eller vänster beroende på vad som efterfrågas.

Växlarna som utreds i rapporten kallas för EV-60E-1200-1:18,5 och EV-UIC60-1200-1:18,5. Den första delen av namnet beskriver växeltypen och den andra delen är namnet på växelsortimentet. Siffrorna som står efter namnet på växelsortimentet beskriver specifika geometrier. Se nedanstående lista för fullständig beskrivning av förkortningar och beteckningar.

- **EV** - Växeltypen är enkelväxel. En enkelväxel består av ett rakspår plus ett grenspår och har inte en rörlig korsningsspets.
- **60E/UIC60** - Olika växelsortiment. Bokstavsförkortningarna står för upphavsorganisationen bakom standarden av den räl som är grunden i växeln. Siffran "60" beskriver vikten på rälen i kg/meter.
- **1200** - Beskriver radien på grenspåret i meter.
- **1:18,5** - Växelns vinkelförhållande. Kvoter används i järnvägssammanget för att ge exakta vinklar.

Samtliga beskrivningar är hämtade från *Växelboken* (Lundwall, B., & Ahlquist, A. 2020).

Växlarna har alltså liknande geometrier men är av olika generationer och kan därför jämföras. 60E är den nyttillkomna växelgenerationen som skall ersätta äldre modeller såsom UIC60. 60E-varianten sattes i bruk 2014 och har därför kort händelsehistorik. UIC60 sattes i bruk redan 1988. Genom att använda samma växeltyp från tidigare generationer kan korrekt och realistisk information tillhandahållas om utbyten av komponenter.

2.3 Hur en spårväxel påverkas vid en uppgradering av växeldriv

Projektets problemformulering grundas i att Trafikverket har som mål att uppgradera deras befintliga 60E-växlar från 2-driv till 3-driv för att öka den övergripande driftsäkerheten och minska det befintliga underhållsbehovet. Genom att minska antalet driftstörningar resulterar det i att pengar och tid sparas under växelns livslängd. Enligt Arne Nissen från Trafikverket kommer uppgraderingen betyda att lasterna fördelas över fler växeldriv. Adderingen av ytterligare ett driv betyder i sin tur att antalet tungkontrollkontakter minskar. Detta på grund av att växeluppgraderingen ersätter de två bakre TKK:er som stör mest, med ett tredje växeldriv. De bakre TKK:erna står för 75% av TKK-felen då de har en liten rörelse jämfört med de främre TKK:erna. Bedömningen av Trafikverket är att förhållandet av antalet fel är 1:3 för de främre TKK:erna jämfört med de bakre.

Tungkontrollkontakten är en vanlig orsak till driftstörningar och därför är det fördelaktigt att minska antalet TKK:er i spårväxeln. Orsaken till att tungkontrollkontakten behöver bytas ofta är på grund av att olika elfel uppstår som leder till att hela enheten behöver omkalibreras eller bytas ut, och därmed stoppar tågtrafik. Båda alternativen innebär kostsamma och tidskrävande reparationer. Utöver detta så leder uppgraderingen av den nya spårväxeln även till följande konstruktionsmässiga fördelar:

- Ökad styvhet mellan tunghalvorna vilket ökar livslängden.
- Klarar en extra kraft på 6000N per driv.

Resultatet av uppgraderingen blir att den nya spårväxeln har en längre livslängd totalt, eftersom flera komponenter påverkas positivt vid fördelning av lasten. Detta innebär i teorin minskade kostnader för Trafikverket. Uppgraderingen kommer inte att ske på en gång utan kommer att påbörjas år 2027 och ska vara avslutad år 2060 när livslängden för de befintliga växlarna förutspås att ta slut.

Trafikverket har som mål att endast uppgradera 60E-växlarna till att ha 3-driv. Även om UIC60 inte kommer att genomgå samma uppgradering så är det fortfarande relevant att titta på data för befintliga UIC60-växlar eftersom det ger en realistisk bas på hur ofta komponenter byts ut i dagsläget utan

uppgraderingen. UIC60-växlarna ska dessutom också bytas ut till den uppgraderade växeln efter att deras förutsatta livslängd har gått ut.

2.4 Bandelar

För att nå ett resultat som beskriver fördelen med uppgraderingen så ska ett generellt scenario definieras och utredas. För att ett lämpligt scenario ska hittas kommer Trafikverkets lista över bandelar att användas. En bandel är Trafikverkets egna sifferbenämning över ett segment av järnvägsnätet som Trafikverket ansvarar för. Denna uppdelningen underlättar planering, underhåll och administration av järnvägstrafiken. Bandelarnas plats och antalet växlar som finns på respektive bandel kommer att vara till användning vid definieringen av scenariot.

3. Metod

Följande kapitel beskriver de dokument och metoder som har valt användas vid metoden för framtagande av scenariot.

3.1 Val av komponenter

Innan datainsamlingen kunde påbörjas, behövde de komponenter som faktiskt påverkas av uppgraderingen bestämmas. Flera komponenter kommer inte påverkas och om de hade inkluderats i kostnadsanalysen skulle kostnaderna inte variera nämnvärt. Följande komponenter valdes ut till att undersökas med ovanstående resonemang:

- Tungkontrollkontakt
- Tunganordningshalva
- Korsning
- Växeldriv

Dessa fyra komponenter förväntas påverkas positivt eftersom slitaget kommer att minska, vilket leder till en lägre livslängdskostnad då de inte behöver bytas ut lika ofta.

Scenariot som definieras utifrån dagens historik över växlar med 2-driv kommer att jämföras med en hypotetisk förbättring för framtidens 3-driv.

3.2 Datainsamling

Trafikverket samlar ständigt data gällande deras spårväxlar och sammanställer information om deras anläggningar i ett aktivt dokument som går tillbaka till januari 2010. Data från tidigare år finns antecknade men anses vara av sämre kvalitet. Excelfilen som Trafikverket tilldelade projektgruppen innehöll data som är intressant för detta arbete. Just denna excelfilen behandlar UIC60- och 60E-växlar av sorten EV-1200-1:18,5, som rapporten utgår ifrån. Info om var och när en spårväxel blev installerad, tusentals felrapporteringar om så kallade oplanerade fel som har behövts åtgärdas, samt information om samtliga besiktningar som utförts sedan 2010, återfinns i filen. Även data som kallas Objektnummer, vilket fungerar som ett ID-nummer som är unikt för varje individuell växel, kan hittas. Likaså användes data som beskriver *Bandelar* för att kunna koppla varje fel till respektive bandel.

3.2.1 Besiktning- och underhållsanalys

Genom att titta på historiken i Trafikverkets statistik kunde frekvensen av komponentbyten bestämmas. Detta är nödvändigt för att i scenariot kunna ge en rättvis bild av hur ofta växlarna kommer behöva underhållas och på så sätt få fram en kostnadsanalys.

Pivottabeller skapades för att filtrera fram de byten som skett under besiktningar och vid oplanerat underhåll för de utvalda komponenterna. Ett exempel på hur en Pivottabell såg ut visas i figur 5:

Antal av Åtgärd (BA) Kolumnetiketter																
Radetiketter	▼	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Totalsumma
129					1				1							2
Byte									1							1
TKK									1							1
Bytes					1											1
TKK					1											1
171											1					1
Byte										1						1
TKK										1						1
212														1	1	2
Byte														1	1	2
TKK														1	1	2
315													1			1
Byte													1			1
TKK													1			1

Figur 5: Del av pivottabell över byten av TKK under besiktningar på respektive bandel.

Information om *Växeltyp*, *Anläggningsdel*, *Symptombeskrivning*, *Felrapport*, *Åtgärd* och *Åtgärdsbeskrivning* användes för att hitta antalet byten som skett på grund av oplanerat underhåll. Även information om *Subtyp*, *Åtgärd*, *Åtgärdsnotering* och *Benämning bedömningspunkt* användes för att hitta antalet byten som skett på grund av besiktningar.

Steget efter detta innebar att ett blad med bandelar och antalet växlar på respektive bandel sammanfattades i en Pivottabell. Bladet organiserades radvis, där varje rad representerar en enskild bandel. Kolumnerna innehåller olika typer av data relaterade till varje bandel. Varje bandel har ett tonnage som den beräknas utsättas för årligen vilket mäts i miljoner bruttoton (MBrt). Denna siffra samt en bandelsbeskrivning placerades bredvid Pivottabellen, se figur 6:

Antal av Objekt nr	Kolumnetiketter					Totalsumma	Bandelsbeskrivning	[MBr/år]
	60E	UIC60						Tonnage
Radetiketter	-	ES	JEA	JEA	MET			
129					4	4 (Mellansel)-(Vännäs)	10,4	
146		1				1 (Vännäs)-Umeå	5,867	
171					1	1 Örnsköldsvik C - Gimonäs	3,645	
212				2	3	5 (Ånge)-Bräcke	9	
215					2	2 (Ramsjö)-(Ånge)	6,395	
216					1	1 (Ljusdal)-Ramsjö	12,7875	
217					1	1 Bollnäs-Ljusdal	14,318	
218		1	2		8	11 Ockelbo-(Bollnäs)	16	
235				3	1	4 (Strömsbro)-(Sundsvall)	7,1945	

Figur 6: En del av Pivottabellen. ES, JEA samt MET är olika växeldrivstyper.

Datan som hade samlats in över antalet fel placerades ut i en tabell för den bandel den drabbade växeln fanns på. Två tabeller skapades, en för UIC60 och en för 60E. Bägge innehöll summan av komponentbyten på grund av oplanerat underhåll respektive besiktning. Denna struktur möjliggör justering i efterhand om fler byten upptäcks samt gör det möjligt att se om en siffra avviker.

Slutligen ledde dessa steg till en siffra på antalet genomsnittliga byten per år. Detta genom att ta antalet byten och dividera med antalet spårväxlar som finns ute på bandelarna totalt, dividerat med mängden år historiken går tillbaka till. För besiktningar så var det 10 år och för oplanerat underhåll var det 14 år av data. Detta genomfördes för varje komponent individuellt. För 60E beräknades istället en snittålder fram utifrån beteende under 5,5 år genom att ta året som filen är uppdaterad till, och subtrahera genomsnittligt inläggningsår. Detta på grund av att 60E inte hade många växlar installerade 2014 och nya 60E-växlar fortsätter installeras. Denna siffra användes även för beräkningen av besiktningintervall, då en majoritet av växlarna inte är 10 år gamla.

3.2.2 Expanding av sökning efter byte

För komponenterna *korsning* och *TAH* genomfördes en frekvensanalys av byten på annat vis när det gällde 60E-växlarna. Detta på grund av att den förväntade livslängden för TAH och korsningar är 10 respektive 15 år beroende på det förväntade tonnaget, och att 60E-växlar inte existerat så länge och hunnit gå sönder.

För analys av byten på tunganordningshalvor användes istället data över historik för reservdelsförbrukning. Där kunde förbrukningen av TAH ses tydligare.

Detta på grund av att mängden byten var lägre än förväntat i historiken för EV-1200-1:18,5-växlar enligt Arne Nissen. Detta visade sig vara sant då reservdelsförbrukningen noterad i den nyare databasen var mycket högre. Detta motsvarade bättre den förväntade livslängden. Siffror till kostnadsanalysen hämtades då istället från den nyare databasen för TAH och korsningar.

Anledningen till att detta inte gjordes för en komponent som TKK är att alla växeltyper i hela landet använder sig av TKK:er.

3.3 Metoder för framtagning av scenario

De olika kostnaderna som beräknades presenteras i nedanstående delkapitel.

3.3.1 Beskrivning av ASEK-8

För att kunna räkna fram kostnader relaterade till scenariot användes ASEK-8. ASEK-8 står för *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden*, och är Trafikverkets riktlinjer och kalkylvärden avsedda för samhällsekonomiska nyttokostnadsanalyser för hela transportsektorn. Dessa värden används för att analyser ska vara konsekventa och tillförlitliga, vilket gör det möjligt att jämföra olika rapporter och projekt. ASEK-8 revideras och uppdateras regelbundet för att återspegla aktuella förhållanden inom samhällsekonomisk analys. Därför hänvisar detta arbete till den senaste upplagan (Expertcenter vid Trafikverket, 2024). I ASEK-8 ingår en rapport samt ett kalkylblad med en uppsättning riktlinjer som inkluderar standardvärden och metodologier som används för att beräkna kostnader och faktorer som påverkar samhället ekonomiskt. För detta arbete innebar det att kritiska värden kunde beräknas vilka senare användes till kostnadsanalysen.

3.3.2 Val av scenario

För att säkerställa ett noggrant resultat på kostnadsanalysen så behövdes ett lämpligt scenario väljas med tillräckliga datapunkter från den ovannämnda datainsamlingen. Västra stambanan, en tågsträcka från Göteborg till Stockholm, valdes som underlag eftersom att den är en känd tågsträcka som går att undersöka och analysera med mycket tågtrafik vilket ger en större mängd data. Trafikverket har som förväntning att en växelgeneration används i 40 år innan en ny variant utvecklas och implementeras (*Arne Nissen, 2024*). För att kunna beräkna den befintliga kostnaden för Västra stambanan valdes därför 40 år som den tidsperiod som skulle undersökas. Framöver användes denna livslängden

för att bestämma kostnader för båda växelvarianter och deras kostnadsdrivande komponenter.

För att scenariot och dess ingående kostnader inte skall bli allt för komplexa så gjordes följande antaganden:

- För varje reparation antas det att man endast åtgärdar ett fel åt gången, och att man inte utför två byten på olika komponenter eller växlar samtidigt.
- Antalet fel normalfördelas över alla spårväxlar.
- Merförseningsminuter antas bara påverka ett tåg åt gången.

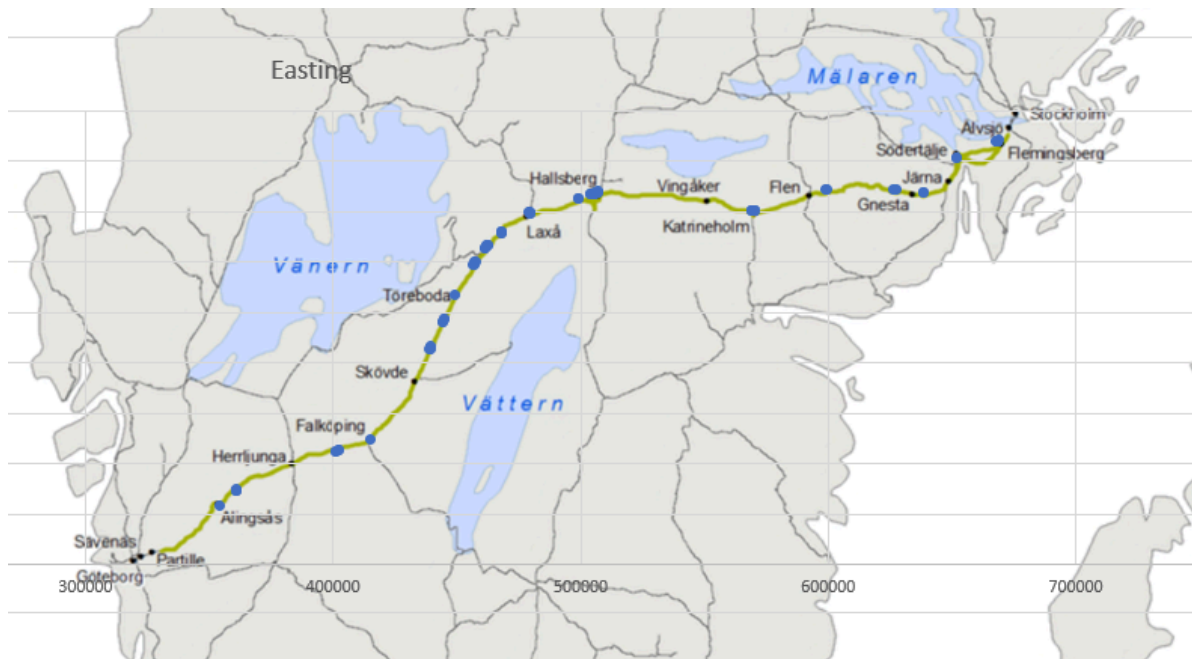
3.3.3 Västra stambanan

Tågsträckan Västra stambanan omfattar flera fastställda bandelar och spårväxlar. Vilka bandelar samt spårväxlar som ingår erhölls genom att granska Excelbladet *Anläggning*. Antalet växlar samt vilken växelgeneration de tillhörde kunde således kopplas till respektive bandel. Detta presenteras i tabell 1.

Bandel	Sträcka	Antal 60E	Antal UIC60
410	Huddinge- Flemingsberg	2	5
414	(Järna)-(Katrineholm)	2	4
418	(Flemingsberg)-(Järna)	0	2
419	Hallsberg-Östansjö, Hallsberg-Skymossen	5	7
420	Katrineholm	0	6
511	(Östansjö)-Laxå	0	4
512	(Laxå)-Falköping	4	19
611	(Falköping)-(Alingsås)	4	4
612	Alingsås-(Partille)	1	0

Tabell 1: Bandelar på Västra stambanan. Parentesen betyder att man inte räknar driftplatsen till bandelen. (I bandel 410 har en spårväxel i Södertälje räknats bort)

För att kartlägga scenariot skapades en scatterplot med spårväxlarnas Northing- och Eastingkoordinater. Denna scatterplot placerades sedan ut över en karta över Sverige för att klargöra var växlarna ligger på banan, se figur 7.



Figur 7: Scatterplot med spårväxlarnas plats lagd över en karta av Sverige.

3.3.4 Undersökning och motivering av restid

Vid en eventuell reparation behöver personal åka ut till den drabbade spårväxeln. Distansen en arbetare behöver åka varierar, beroende på vilken ort personalen utgår ifrån och var växeln befinner sig på banan. Med information från Trafikverket kunde följande städer bestämmas som försörjningspunkter:

- Katrineholm
- Hallsberg
- Falköping
- Herrljunga
- Göteborg
- Stockholm

För att kunna uppskatta en kostnad för restiden när en arbetare åker till varje fel valdes det att beräkna en genomsnittlig sträcka. Detta utfördes genom att ta fram varje plats för spårväxlarna genom deras Northing- och Eastingkoordinater. Med hjälp av Pythagoras sats beräknades sedan distansen från den mest centrala växeln i varje stad ut till den växeln som befann sig längst bort, fram till gränsen då det blir mer lönsamt att åka från en närmare ort. Formeln ser ut så här:

$$D = \sqrt{(N - X)^2 + (E - Y)^2} \quad (1)$$

där D=Distansen, N=Centrala växelns Northingkoordinat, X=ursprungsortens Northingkoordinat, E=Centrala växelns Eastingkoordinat och Y=ursprungsortens Eastingkoordinat.

3.3.5 Undersökning av lagerstatus och reservdelsförbrukning

Att ha komponenter i lager är en oundviklig men kostsam utgift. För Trafikverket är det av yttersta vikt att rätt komponenter finns i lager då ett fel uppstår då det kan ta upp till två månader att få in rätt reservdel. På grund av detta behövdes en lagerkostnad tas fram för de fyra ingående komponenterna. Eftersom information om denna kostnad saknas hos Trafikverket fick en annan metod tillämpas. Enligt Fredrik Ebberstein som jobbar inom logistik på Trafikverket räknar man vid lagerhållning av standardstål på en kostnad på 9% per år för bundet kapital. Antagandet som gjordes var att denna procentsats gäller på samma sätt för de ingående komponenterna.

För att bestämma hur många komponenter som behövs i lager, användes en metod baserad på siffror tillhandahållna från Arne Nissen på Trafikverket. Genom datainsamlingen kunde en årlig genomsnittlig förbrukning för varje komponent bestämmas. Denna information gjorde det möjligt att uppskatta lagerbehovet och att säkerställa att tillräckligt många komponenter finns tillgängliga för att undvika driftstörningar när en komponent behöver bytas ut.

3.3.6 Snittantalet passagerare per tåg

När ett tåg står still drabbar det, beroende på vad det är för tåg, passagerare eller godsleveranser. ASEK-8 har en kostnadsmodell för beräkningen av denna störningskostnad. För att ta fram den totala kostnaden för tågförseningar behövde antalet passagerare bestämmas. För att kunna beräkna snittantalet av passagerare som reser längs Västra stambanan behövde snittlängden på tågen beräknas. Det gjordes utifrån följande tabell:

	Plats 1	Plats 2	GT	Medelvikt [ton]	RST	Medellängd [m]
410	Flemingsberg	Huddinge	1226	625,1	36593	158,2
414	Sköldinge	Stolpstugan	1757	786,7	13626	130,1
416	Baggetorp	Vingåker	1206	721,9	6854	129,2
418	Södertälje Syd övre	Malmsjö	1159	627,9	17787	126,3
419	Tälle	Östansjö	3466	853,2	8052	119,8
511	Vretstorp	Linddalen	3466	851,6	8052	119,8
512	Gårdsjö	Älgårås	2812	910,2	6195	126,7
611	Floby	Källeryd	3293	916,6	8161	116,3
612	Alingsås	Bryngenäs	3405	921,2	15572	102,2

Tabell 2: Tågstatistik för Västra stambanan från 1/1 till 31/3, 2024. GT står för "godståg" och RST står för "resande tåg", det vill säga tåg med passagerare.

Metoden utgick från att först ta antal resande tåg (RST) multiplicerat med medellängden för tåg på varje bandel. Sedan summerades medellängderna och dividerades med det totala antalet tåg som åkt längs Västra stambanan. Detta ger den viktade medellängden för alla tåg. Med denna siffra uträknad användes tabell 3, hämtad från ASEK-8, för att få fram hur många passagerare som får plats per meter.

Tabell 7.11. Underlag för beräkning av persontrafikens operativa kostnader för järnväg

Trafikeringskostnader- Järnväg									
Tågtyp	Omkostnad kr/personkm	Belägningsgrad	Drivmedelsförbrukning grund (kwh resp liter diesel/tågkm)	Drivmedelsförbrukning marginal (kwh resp liter diesel/platskm)	Sittplatser minsta tåg	Tågvikt ton per tåg minsta tåg	Tågvikt ton per extra sittplats	Tåglängd meter minsta tåg	Tåglängd meter extra plats
Höghastighetståg	0,106	0,65	14,73	0,06	250	260	0,90	114	0,43
Snabbtåg	0,106	0,65	9,94	0,04	240	230	0,90	110	0,44
Interregionaltåg 250	0,106	0,65	7,97	0,04	220	170	0,76	82	0,36
Interregionaltåg 200	0,053	0,50	6,18	0,04	150	120	0,68	55	0,33
Natttåg	0,053	0,50	15,13	0,06	250	450	1,46	205	0,74
Pendeltåg	0,053	0,35	10,19	0,05	215	155	0,72	74	0,35
Pendeltåg i Sthlm	0,053	0,35	17,53	0,05	375	206	0,48	107	0,28
Regionaltåg Bimodalt 160, vid eldrift	0,053	0,35	5,40	0,04	150	110	0,73	55	0,37
Regionaltåg Bimodalt 140, vid dieseldrift	0,053	0,35	1,23	0,01	150	110	0,73	55	0,37

Tabell 3: Tabell från ASEK-8: Underlag för beräkning av persontrafikens operativa kostnader för järnväg (Expertcenter vid Trafikverket, 2024)

De fyra tågtyper som trafikerar Västra stambanan är Höghastighetståg, Snabbtåg, Interregionaltåg 250 samt Interregionaltåg 200. Kolumnerna Tåglängd meter minsta tåg, Tåglängd meter extra plats, Belägningsgrad samt Sittplatser minsta tåg användes för att beräkna antalet passagerare. Detta gjordes för alla fyra tågtyper enligt nedanstående formel.

$$\left(\frac{\text{Medellängd alla tåg} - \text{Tåglängd meter minsta tåg}}{\text{Tåglängd meter extra sittplats}} \times \text{Beläggningsgrad} \right) + (\text{Sittplatser minsta tåg} \times \text{Beläggningsgrad}) = \text{Passagerare} \quad (2)$$

Sedan beräknades genomsnittligt antal passagerare, vilket kunde användas i kostnadsanalysen. Kostnaden för förseningstid hos passagerare går att se i tabell 4.

Förseningstid- Kollektivtrafik	Privata resor		Tjänsteresor	
	2019	Prognos 2045	2019	Prognos 2045
Nationella/långväga resor				
Buss	176	237	1362	1 833
Tåg	330	444	1157	1 558
Färja	488	657	1362	1 833
Flyg	488	657	1362	1 833
Regionala/lokala resor				
Buss, arbete	240	322	1 362	1833
Buss, övrigt	149	201	1 362	1833
Tåg, arbete	312	420	1 157	1558
Tåg, övrigt	240	322	1 157	1558
Färja	244	329	1362	1833

Tabell 4: Värdet av genomsnittlig inbesparad förseningstid för resor med kollektivtrafik mätt i kr/person och timme fördröjd restid. Prisnivå 2019 och 2045, i 2019 års penningvärde.

Kostnaden för privat- respektive tjänsteresa skiljer sig åt mycket. Då ingen information om fördelningen kunde hittas så uppskattades den till att vara 50/50.

När det gäller kostnaden för godstågens förseningstid användes tabell 5 från ASEK-8.

Förseningstidsvärden för gods ¹	2019		Prognos 2045	
	Exkl. moms	Inkl. moms	Exkl. moms	Inkl. moms
Varugrupper* enligt SAMGODS				
Genomsnitt för allt gods	4,66	5,63	6,58	7,96
Genomsnitt för gods på lastbil	4,34	5,25	6,41	7,75
Genomsnitt för gods på tåg	4,59	5,55	5,92	7,16
Genomsnitt för gods på fartyg	5,53	6,69	7,56	9,15

Tabell 5: Förseningstid för godståg mätt i kr/tontimme. 2019 års penningvärde.

3.3.7 Merförseningsminuter

Inom Trafikverket avser begreppet ”merförseningsminuter” den extra tid som tillkommer vid förseningar i tågtrafiken. Dessa minuter adderas till den planerade ankomsttiden och representerar förseningen för resenärer och godsleveranser. I ASEK-8 finns det färdiga riktlinjer på hur mycket dessa förseningar kostar och de behöver således ingå i analysen.

I excel-filen finns data gällande *Merförseningsminuter*, och tillsammans med en summering av antalet växlar på de bandelar som påverkas, kunde en genomsnittlig tid då ett fel resulterar i att tåg står still beräknas. Antalet totala minuter, dividerat med historiklängd, dividerat med antalet växlar på den drabbade bandelen. Detta beräknades var för sig för de fyra kostnadsdrivande komponenterna och ger den genomsnittliga tiden som ett tåg står still på grund av ett fel då en komponent måste ersättas.

För att få fram alla merförseningsminuter behövde sökningen expanderas. Genom att ta kategorierna *Tunganordning*, *Kontrollanordning*, *Spårväxel* och *Omlägningsanordning* från kolumnen *Anläggningsdel* kunde fler merförseningsminuter läggas till för varje komponent för att få de korrekta värdena på förseningarna. *Tunganordning* syftar på alla fel med tungan till spårväxeln och *Kontrollanordning* syftar på alla fel med TKK. Med riktlinjer från Arne Nissen delades andelen merförseningsminuter för *Spårväxel* enligt: $\frac{1}{3}$ tunganordning, $\frac{1}{3}$ kontrollanordning och $\frac{1}{3}$ omlägningsanordning. *Omlägningsanordning* syftar på flera olika fel, men $\frac{1}{3}$ av dessa minuter adderades på merförseningsminuter på grund av växeldrivsproblem. Detta är en uppskattning gjord av Arne Nissen eftersom korrekta beskrivningar av händelseförlopp saknas gällande växeldrivsproblem.

3.3.8 Trafikverkets arbets- och materialkostnad

I ett komponentbyte ingår arbets- och materialkostnad. Tabell 6 erhöles från Arne Nissen på Trafikverket.

Komponentbyte	Arbetskostnad i kr	Materialkostnad i kr
Korsning	100 000	328 990
TAH	50 000	250 600
TKK	5500	2000
Växeldriv	25 000	230 000

Tabell 6: Kostnader vid byten av komponenter.

4. Resultat

Följande kapitel redovisar resultaten från analysen som togs fram med hjälp av metoderna beskrivna i föregående kapitel.

4.1 Kostnader utifrån datainsamlingen och dess ingående faktorer

För att kunna beräkna kostnaden i scenariot gjordes först en kostnadsberäkningen för endast en spårväxel utifrån den insamlade datan. Eftersom växelgenerationerna är olika och således har olika bytesintervall har en beräkning gjorts för UIC60 respektive en för 60E. Nedan presenteras tabell 7, som visar frekvensen av komponentbyten för de kostnadsdrivande komponenterna.

Komponent	Genomsnittlig tid mellan byten (år) per växeltyp		
	60E	UIC60	Uppskattade bytesintervall för komponenten enligt Trafikverket
TKK	11,14	11,41	10
TAH	37,35	11,18	10
Växellåda	66,84	53,92	45
Korsning	29	7,75	15

Tabell 7: Frekvens av komponentbyten

I analysen av spårväxlar har en justering gjorts för komponenten växeldriv. Tidigare behandlades växeldriv som en enskild enhet i kostnadsberäkningarna. Efter vidare granskning har det upptäckts att det sällan är hela växeldrivet som går sönder. I de flesta fall är det specifika delar, såsom växellådan, som kräver reparation eller utbyte. Alla delar i växeldrivet går sällan sönder samtidigt. På grund av detta har komponenten växeldriv ändrats till växellåda i datainsamlingen. Denna justering redovisar den faktiska underhållsverksamheten och de kostnader som uppstår för växeldriv. Vidare ser man att komponenten växellåda byts ut väldigt sällan. Anledningen är att den repareras oftare än den byts ut. Att det är 66 år mellan byten är egentligen missvisande då hela spårväxeln ska bytas ut efter 40 år (Arne Nissen, 2024).

Men för att kvantifiera kostnaden för utbyten av växellådor har denna siffra behållits.

Resultatet av datainsamlingen är att växeltypen EV-UIC60-1200-1:18,5 byter ut komponenter betydligt oftare än EV-60E-1200-1:18,5. För komponenten korsning är intervallet mellan byten mycket lägre än uppskattningen av Trafikverket som ligger på 15 år mellan byten. Siffran är också låg för att korsningar oftast byts i preventivt syfte under en besiktning då man kollar på skador på korsningen. Frekvens av byten för 60E däremot är högre i antal år mellan byten än förväntat, och beror på att underlaget inte tar hänsyn till att 60E-växlarna inte har hunnit vara i bruk tillräckligt länge för att hinna gå sönder.

Frekvens av byten för TAH skiljer sig väldigt mycket. Denna siffra som tidigare diskuterats utgick från reservdelsantalet som lämnat lagret. En majoritet av 60E-växlar har inte hunnit vara i bruk tillräckligt länge för att ge en rättvis siffra på hur ofta TAH byts ut. Därför är denna siffra hög. Formeln som användes för förbrukningen är:

Förbrukning

$$\text{Antal växlar på banan} \times \text{snittålder av befintliga växlar} \quad (3)$$

ArtNr - Benämning (Ej :R, :B)	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Totalt
0167811 - TAH-UIC60-1200-HH	9	10	11	20	12	8	8	10	6	8	10	3	115
0167815 - TAH-UIC60-1200-HV	10	12	19	11	6	19	13	5	8	10	7	5	125
0167821 - TAH-UIC60-1200-VH	2	12	16	13	18	10	9	7	8	12	8	3	118
0167825 - TAH-UIC60-1200-VV	8	11	13	21	20	15	10	11	8	10	11	2	140
0169812 - TAH-60E-1200-HH ES JEA									2				2
0169816 - TAH-60E-1200-HV ES JEA							2	1			1		4
0169822 - TAH-60E-1200-VH ES JEA					1	1	1			2			5
0169826 - TAH-60E-1200-VV ES JEA					1		1	1		2	4		9
Totalt	29	45	59	65	58	53	44	35	32	44	41	13	518

Figur 8: Reservdelsförbrukning av TAH i 1200-växlar för UIC60 och 60E i hela Sverige

4.2 Restid, lagerkostnad och passagerarantal

I detta delkapitel redovisas kostnader som inte skiljer sig mellan UIC60 och 60E. Anledningen till detta är på grund av att kostnaderna är samma för båda växeltyperna i kostnadsanalysen.

4.2.1 Restid

Resultatet av beräkningen för den genomsnittliga sträckan personal behöver åka ut till varje fel, under antagandet att felen är normalfördelad över alla växlar, blev 49,8 kilometer. Med en genomsnittlig hastighet på 50 km/h blir den totala restiden, tur och retur, två timmar per reparation. Trafikverket använder en fast kostnad på 1000 kr/h per arbetare, och varje fel kräver att minst två arbetare åker ut tillsammans för att åtgärda felet. Därmed blir den totala kostnaden för restid 4000 kr per fel. Anledningen till att 50 km/h antas vara snitthastigheten är att majoriteten av vägarna ut till felen är landsvägar och att den sista sträckan till varje spårväxel är genom olika skogspartier där en hastighet på 30 km/h inte förväntas överstigas.

Kolumnen *Inställelsetid*, som återfinns i bladet *Fel i anläggningen*, användes för att verifiera tiden det tar för arbetare att ta sig fram till varje fel. Trafikverket använder termen *Inställelsetid* för att beskriva den tid det tar för personalen att nå respektive fel. Eftersom inställelsetiden är baserad på historisk data, anses den vara mer sanningsenlig. Däremot kan processen för att ta sig till felen ha förbättrats sedan 2014, vilket gör att en tidsberäkning baserad på genomsnittlig sträcka är lättare att motivera. Beräkningen av snitttiden, tur och retur, utifrån inställelsetiden gav resultatet 1h 56 min, vilket gruppen anser innebär att båda metoderna är av lika värde och resultatet är tillförlitligt.

4.2.2 Lagerkostnaden för en växel

Lagerkostnaden per år för varje komponent beräknades utifrån 9% av materialkostnaden. Antalet reservdelar per kostnadsdrivande komponent utgick från att uppfylla kraven på att uppnå en godtagbar lagerstatus. En godtagbar lagerstatus innebär att antalet reservdelar i lager måste överstiga antalet komponentbyten per år så att man kan vara säker om att det inte kommer bli brist på reservdelar. Dessutom måste det finnas dubbelt antal TAH:or och korsningar i lager då de finns i både vänster- och höger varianter. Detta leder till en fördubbling av lagerkostnaden för just dessa komponenter. TKK är en komponent som alla växeltyper använder vilket innebär att TKK:er redan

lagerhålls i stor utsträckning och därmed inte bör löpa risken att ta slut. Kostnaden för att ha endast en av varje komponent i lager redovisas i tabell 8 och är densamma för båda växelvarianter.

Komponent	Materialkostnad	Lagerränta	Lagerkostnad per år (kr)
TKK	2000	9%	180
TAH	250600	9%	22554
Växellåda	35000	9%	3150
Korsning	328 990	9%	29610

Tabell 8: Lagerkostnader per komponent för en växel.

4.2.3 Merförseningskostnad för passagerare

Efter bedömning av Arne Nissen bestämdes det att siffrorna framtagna för antalet merförseningsminuter per år är densamma för båda växeltyperna. Detta på grund av bristande data för byten av 60E-komponenter då de inte har varit i bruk lika länge. Antal merförseningsminuter per år för varje komponent redovisas i tabell 9.

Komponent	Merförseningsminuter/år
TKK	8,28
TAH	2,78
Växellåda	1,45
Korsning	2,51

Tabell 9: Merförseningsminuter per år för varje komponent

Kostnaden per minut för varje passagerare baseras på kostnaden för privat- respektive tjänsteresor. Kostnaderna för privat- och tjänsteresor, som är hämtade från ASEK-8, är 1157 respektive 330 kr/personimme i fördröjd restid. Fördelningen av resor, som antogs vara 50% privatresor och 50% tjänsteresor, resulterar i en snittkostnad per minut enligt beräkningen nedan.

$$\frac{\left(\frac{1157+330}{2}\right)}{60} = 12,39 \frac{\text{kr}}{\text{minut} \times \text{passagerare}}$$

Med kostnaden per minut för en passagerare etablerad beräknades det genomsnittliga passagerarantalet/tågresor. Resultatet av denna beräkning visas i tabell 10 och utfördes genom att följa metoden i kapitel 3.

Tågtyp	Genomsnittliga antalet passagerare
Höghastighetståg	189
Snabbtåg	188
Interregionaltåg 250	232
Interregionaltåg 200	192
Totalt snitt	200

Tabell 10: Snittpassagerare per tågtyp på Västra stambanan. Tågtyper enligt ASEK-8.

Med det genomsnittliga antalet passagerare beräknat kunde den årliga kostnaden för merförsening per komponent beräknas enligt formel 4.

$$\text{Mерförseningskostnad} = \text{Mерförseningsminuter per år} \times \frac{\text{Kostnad}}{\text{minut/passagerare}} \times \text{Antal passagerare} \quad (4)$$

Resultatet av tillämpningen av denna formel visas i tabellen nedan.

Komponent	Kostnad/år för merförsening i kr
TKK	20513
TAH	6890
Växellåda	3603
Korsning	6232

Tabell 11: Den årliga merförseningskostnaden per komponent.

Tabellen ovan visar att kostnaden för merförseningar orsakade av komponenten TKK är mer än dubbelt så hög jämfört med kostnaderna för de andra komponenterna. Samtliga kostnader kan trots det anses vara väldigt låga ur ett helhetsperspektiv. Detta visar därmed att det är högre prioritet på att minska merförseningsminuter för TKK. Som tidigare nämnt ska detta uppnås genom uppgraderingen till 3-driv.

4.2.4 Merförseningskostnad för godsleveranser

I analysen av kostnaderna valdes att inte inkludera merförseningskostnaden för när godståg står stilla. Efter noggranna beräkningar kunde det konstateras att denna kostnad var förhållandevis låg och därmed inte påverkade den övergripande ekonomiska bedömningen i någon betydande grad. Fokus har istället lagts på de kostnader som har betydande inverkan på totalen.

4.3 Kostnadsanalys av scenariot

Med de olika kostnaderna för respektive komponent på de två växeltyperna beräknade, kunde de nu tillämpas på scenariot. Med Västra stambanan valt som spårsträcka innebar det att totalt 69 växlar är med i kostnadsanalysen. 51 stycken av generationen UIC60 och 18 av generationen 60E med en bestämd livslängd på 40 år. Nedanstående tabeller visar kostnaderna för växeltyperna.

60E				
Antal växlar: 18	TKK	TAH	Växellåda	Korsning
Genomsnittlig tid mellan komponentbyten (år)	11,14	37,35	66,85	29
Antal byten av komponent under 40 år	3,59	1,07	0,60	1,38
Förbrukning/år	1,62	0,48	0,27	0,62
Lagerhållning	3	8	4	4
Lagerkostnad för en växel 40 år	7 200	902 160	126 000	1 184 364
Lagerkostnad alla växlar 40 år	21 600	7 217 280	504 000	4 737 456
Komponentkostnad/byte 40 år	26 927	321 927	23 935	591 710
Merförseningskostnad	820 550	275 604	144 130	249 284
Restidskostnad (personalkostnad)	14 361	4 283	2 393	5 517
Totalkostnad/byte en växel 40 år	861 838	601 814	170 458	846 511
Kostnad alla växlar 40 år(*18)	15 513 084	10 832 652	3 068 244	15 237 198
Summa	15 534 684	18 049 932	3 572 244	19 974 654
Totalt	57 131 514			
Kostnad/år	1 428 287			
Kostnad/växel	3 173 973			

Tabell 12: Kostnadskalkyl för 60E på Västra stambanan

UIC60				
Antal växlar: 51	TKK	TAH	Växellåda	Korsning
Genomsnittlig tid mellan komponentbyten (år)	11,41	11,18	53,93	7,75
Antal byten av komponent under 40 år	3,51	3,58	0,74	5,16
Förbrukning/år	4,47	4,56	0,95	6,58
Lagerhållning	3	12	4	8
Lagerkostnad för en växel 40 år	7 200	902 160	126 000	1 184 364
Lagerkostnad alla växlar 40 år	21 600	10 825 920	504 000	9 474 912
Komponentkostnad/byte 40 år	26 291	908 380	29 669	2 115 721
Merförseningskostnad	820 550	275 604	144 130	249 284
Restidskostnad (personalkostnad)	14 022	14 305	2 966	20 641
Totalkostnad/ byte en växel 40 år	860 863	1 198 289	176 765	2 385 646
Kostnad alla växlar 40 år(*51)	43 904 013	61 112 739	9 015 015	121 667 946
Summa	43 925 613	71 938 659	9 519 015	131 142 858
Totalt	256 526 553			
Kostnad/år	6 413 164			
Kostnad/växel	5 029 932			

Tabell 13: Kostnadskalkyl för UIC60 på Västra stambanan

Vid jämförelse av de två tabellerna blir det tydligt att kostnaden per växel skiljer sig åt mellan UIC60 och 60E. Detta värde är av större vikt än den totala kostnaden, eftersom det ger en mer exakt bild av den faktiska kostnaden för de olika växeltyperna. Medan den totala kostnaden kan ge en övergripande bild av utgifterna, är kostnaden per växel ett mer relevant mått för att göra jämförelser mellan kalkylerna. Kostnaden för UIC60 är över 60% dyrare, vilket för Trafikverket visar att övergången till den senare generationen 60E är lönsam.

Gemensamt för båda växeltyperna är att den stora kostnaden för komponenten TKK kommer från merförseningskostnaden som uppstår vid fel. För TAH och korsning är komponentkostnad per byte den drivande kostnaden.

4.4 Resultat från uppgraderingen till 3-driv

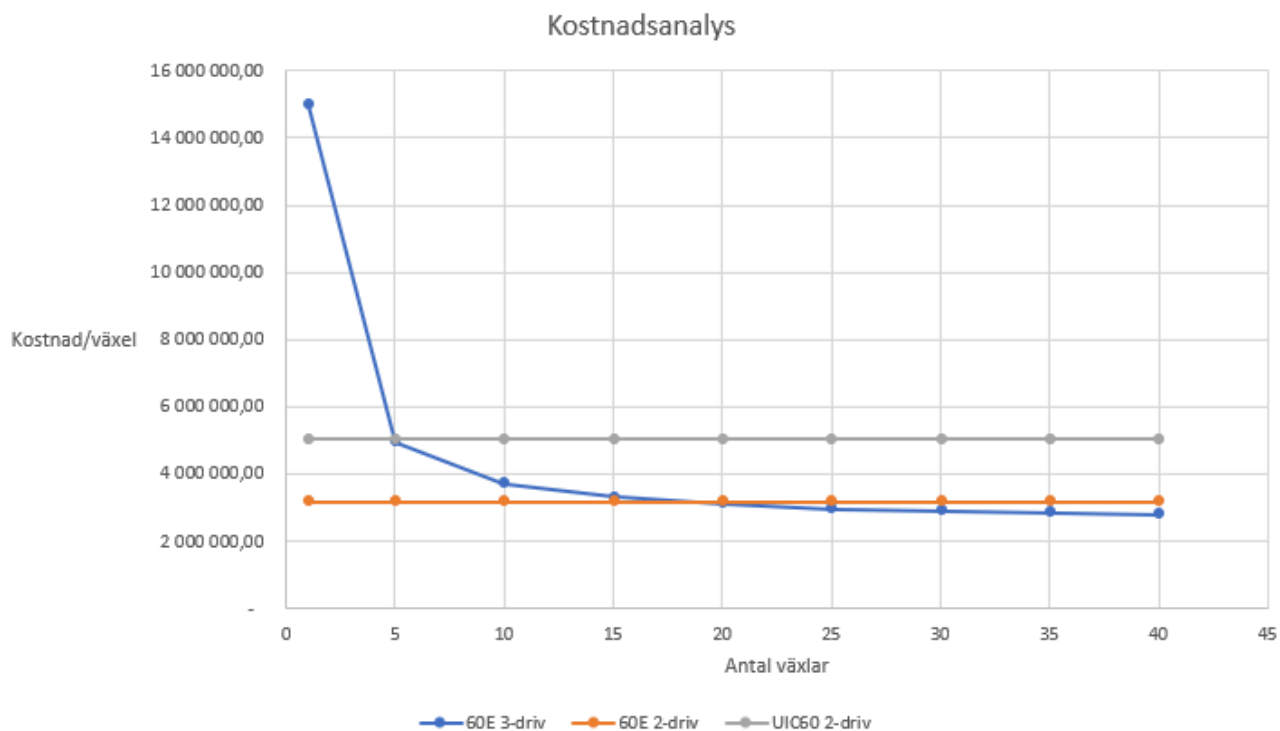
En kostnadsanalys för uppgraderingen skapades efter att de uppenbara förändringarna mellan 2-driv och 3-driv konstaterades. Dessa förändringar visas i tabellen nedan och kommer utifrån underlag från Trafikverket.

Förändringar av uppgraderingen		
Förändring	2-driv	3-driv
Merförseningsminuter TKK	8,28	2,00
Antal TKK-byten under 40 år	3,59	0,9
Antal växellådsbyten under 40 år	0,59	0,89

Tabell 14: Fastslagna förändringar av uppgraderingen

Som tabellen visar kunde merförseningsminuterna för TKK minskas. Detta på grund av att uppgraderingen innebär färre antal TKK:er. Anledningen till minskningen är 75% har att göra med att de bakre TKK:erna står för 75% av TKK-felen då det är en liten rörelse jämfört med främre TKK:er.

Eftersom 75% av felen antas försvinna innebär det att antalet byten per år också bör minskas med 75%. Denna förändring antas vara linjär, det vill säga en konstant och jämn reduktion av antalet byten. Konsekvensen av uppgraderingen är att antalet växellådsbyten under 40 år bör öka då ett växeldriv läggs till. Detta antalet antas öka med en faktor på 1,5, eftersom det går från två till tre stycken växeldriv. Samma antal reservdelar för 3-driv som för 2-driv 60E i beräkningen. Nedan visas ett linjediagram som jämför de olika växeltypernas kostnad per växel.



Figur 9: Linjediagram för kostnaderna av de olika växeltyperna

Diagrammet ovan visar att om uppgraderingen ska resultera i en billigare kostnad per växel så måste minst 19 växlar av varianten 60E ha bytts ut. Detta gäller också när fem UIC60-växlar byts ut mot 60E-växlar med 3-driv. Dock innebär detta att man istället har tre växelvarianter på Västra stambanan vilket resulterar i en dyrare kostnad överlag då ännu fler komponenter behöver lagerhållas.

5. Analys och diskussion

Följande kapitel analyserar och diskuterar metoderna som har använts samt de resultat som framkommit från kostnadsanalysen. Intressanta observationer samt de förbättringarna som identifierats av gruppen lyfts fram. Analysens relevans och tillförlitlighet redovisas också.

5.1 Diskussion

Genom analysen har flera insikter erhållits, varav vissa var oväntade. Dessa insikter innefattar bland annat ett behov av att granska den uppskattade livslängden på komponenter samt de förväntade lagerkostnaderna, då dessa var högre än tidigare uppskattat av Trafikverket.

En av de mest betydande resultaten från kostnadsanalysen är att kostnaden per växel för växlar med 3-driv är mer kostnadseffektiv, förutsatt att en tillräcklig mängd byts ut. Detta betyder att Trafikverket bör överväga en mer intensiv utbytesplan som kan generera kostnadsbesparingar med uppgraderingen. En faktor som inte redovisas i resultatet är att vid implementering av 3-driv så kommer det finnas tre växelvarianter samtidigt och därmed en hög kostnad för lagerhållning då det behövs ytterligare en uppsättning delar. Denna kostnaden kommer man ej runt då det faktiskt inte är möjligt för Trafikverket att installera nya 3-drivsväxlar på kort tid. Men resultatet menar i alla fall på att det är lönsamt på lång sikt.

En annan insikt som är värd att belysa är att minimering av användandet av TKK:er kommer resultera i minskade förseningar och den tillhörande merförseningskostnaden, som var den drivande kostnaden för TKK:er. Detta resultat rättfärdigar Trafikverkets beslut att genomföra uppgraderingen.

En annan del av resultatet som är intressant är att lagerkostnaden visade sig vara en stor kostnadsdrivande faktor. Att ha flera olika varianter av växeltyper ökar behovet av komponenter i lager. Eftersom Trafikverket redan har en stor spridning av komponenter, till följd av att växlar i olika storlekar utöver EV-1200-1:18,5 används, samt behovet av både höger- och vänsterväxlar, är det önskvärt att minimera denna spridning så gott det går genom att införa uppgraderingen effektivare. Att reducera antalet växelgenerationer utgör det

första potentiella steget för att minska lagerkostnaden. Trafikverket bör även undersöka hur man kan få ner de generella lagerkostnaderna i framtiden.

5.2 Bedömning av kostnadsanalysens tillförlitlighet och relevans

För att komma fram till en kostnadsanalys behövdes ett scenario etableras. Detta scenario behövde balanseras så att det inte skulle vara alltför komplext, samtidigt som det inte fick vara alltför förenklat för att resultaten ska kunna anses vara relevanta. Flera faktorer avgör om kostnadsanalysen kommer att vara relevant för framtida undersökningar.

Eftersom 60E-växlarna inte hade varit i bruk under en längre tid, användes även motsvarande växeltyp av en tidigare generation, UIC60-1200-1:18,5, som underlag. Detta anser gruppen var ett bra beslut, då bristen på historik resulterar i att kostnadsanalysen använder siffror för frekvens av byten för 60E-växlarna som är högre än ursprungliga uppskattningar av Trafikverket. Komponenterna korsning och TAH bör eventuellt justeras i framtida kostnadsanalyser gällande deras frekvens av byten, då en felkälla är att tillräckligt gamla 60E-växlar inte finns i statistiken. UIC60 gav däremot siffror för frekvens av byte som liknade uppskattade värden, och slutsatsen dras därmed att det var bra att ha med som underlag.

Flera olika metoder användes för att ta fram underlag till kostnadsanalysen. Överlag anser gruppen att dessa metoder gav acceptabla värden samt att de går att använda i framtida kostnadsanalyser av till exempel en annan växeltyp. Framtagningen av restid för personalen anses vara acceptabel då det inte är en drivande kostnadsfaktor. Denna faktor beror såklart på antalet fel per år vilket ökar antalet uttryckningar för personalen. Om frekvensen av byten skulle öka markant skulle det eventuellt vara av intresse att byta metod för att få mer exakta värden.

Materialkostnaden som valdes till att vara samma för de olika växeltyperna behöver inte nödvändigtvis stämma, då kostnader för komponenter i en annan växeltyp kan skiljas åt i pris. Då kostnaderna bör vara i närheten av varandra anses detta vara godkänt. Eftersom lagerkostnaden är kopplad till denna kostnad anses även metoden för framtagning av det att vara godkänt.

Metoden för att ta fram antalet merförseningsminuter för de olika komponenterna anses vara bra, men ett problem som uppstod här var att

Excellfilen med information om besiktningar och fel i anläggningen saknade en bra och tydlig strategi för inläggning av merförseningsminuter. Då en utökning av sökningen behövdes för att ta fram ytterligare merförseningsminuter vet inte gruppen om fler minuter kan vara dolda i andra kategorier, eller rentav inte vara inlagda.

Valet av Västra stambanan anser gruppen vara bra, då det är en bana som underhålls flitigt av Trafikverket på grund av att det är en järnvägslinje som transporterar många människor och täcker en stor del av landet. Ytterligare fördelar är att den har många växlar av båda typerna, vilket leder till ett mer tillförlitligt resultat. Banan har också bra geografiska förutsättningar, då den har en jämn spridning av städer längs banan samt platser för de olika växlarna.

En faktor som eventuellt försämrar analysens tillförlitlighet är uteslutningen av merförseningskostnaden för godsleveranser. Att denna kostnaden inte togs med betyder inte att merförseningskostnader för godsleveranser är något att ignorera, och betyder inte heller att det är gratis när ett godståg står still. Enligt Arne Nissen på Trafikverket och Anders Ekberg, forskare inom järnvägsmekanik på Chalmers, är detta en kostnad som underskattas av Trafikverket och ASEK-8, och som bör omvärderas i framtiden.

Ytterligare en faktor som hade kunnat leverera en mer exakt kostnadsanalys hade varit att ta med kostnader för reparationer. En upptäckt i resultatet var att en komponent som växeldriv sällan byts ut, utan istället repareras. Detta ledde till att frekvensen av byten för växellådor togs med i kostnadsanalysen istället för byten av växeldriv. En reparation av en komponent är inte gratis, då personal behöver åka ut och åtgärda felet. Att utforska kostnaden för reparationer av alla kostnadsdrivande komponenter hade, beroende på kostnaden och frekvensen av reparationer, kunnat medföra ett annat resultat. Anledningen till att det gjordes på detta vis är på grund av att det är otydliga beskrivningar i Excellfilen, vilket gör det svårt att veta vilka åtgärder som genomfördes för växeldriven.

Nedan presenteras ytterligare aspekter som skulle behöva beaktas, men som saknas i den genomförda kostnadsanalysen. Dessa faktorer kan inkluderas i framtida analyser för att ge en mer heltäckande bild:

- Diskonteringsränta: Den ränta som används för att nuvärdesberäkna framtida avkastningar. Diskonteringsräntan är av intresse vid höga initiala investeringskostnader och kan bli viktig om den ursprungliga investeringskostnaden är hög. I vanliga fall så används en avräkning på 3,5% för den samhällsekonomiska diskonteringsräntan enligt ASEK-8. Eftersom att ingen enstaka hög investeringskostnad uppkommer under uppgraderingen så anser gruppen att man inte behöver lägga till diskonteringsräntan i den slutliga kostnadsanalysen.
- Avvecklingskostnad: En kostnad som blir när man avvecklar en komponent. Eftersom kostnaden att avveckla en växel inte kommer att skilja sig betydligt mellan 2-driv och 3-driv då dessa kommer att avvecklas på samma sätt, kan denna kostnaden försummas. Trafikverket räknar med detta i reinvesteringskostnaden.

6. Slutsats

För att Trafikverket ska anse uppgraderingen vara nödvändig måste det finnas incitament som stämmer överens med principerna de värdesätter. Det är inte bara fokus på att uppgraderingen ska vara mer kostnadseffektiv än tidigare växelgenerationer, utan också att det tillfredsställer kraven från samhället på driftsäkerhet, prestanda, bekvämlighet och miljövänlighet.

Rapporten hade som mål att utforska och analysera samt leverera en tillförlitlig kostnadsanalys vilket skulle jämföra kostnaden i att ha flera växelgenerationer och de kostnader Trafikverket kan förvänta sig med uppgraderingen. Rapporten behandlar endast EV-1200-1:18,5-växlar, men kostnadsanalysen förväntas vara applicerbar för alla storlekar på växlar. Gruppen anser att Trafikverket kan använda denna rapport som underlag vid framtida kostnadsanalyser av liknande slag. Vidare anser gruppen att metodiken för att fylla i excelarket med fel i anläggningen och besiktningar kan optimeras av Trafikverket.

ASEK-8 rekommenderas som hjälpmedel för framtida kostnadsanalyser i den utsträckning det användes i detta projektarbete. Gruppens avgränsningar bidrog till att förenkla det slutgiltiga resultatet och förhindrade att kostnadsanalysen blev för komplex för arbetets utsatta tidsram. Sammantaget är resultatet tillförlitligt, och säger att uppgraderingen är en bra investering, vilket ger svar på den initiala frågeställningen från Trafikverket.

Referenser

- 1: ASEK-gruppen inom Expertcenter vid Trafikverket. (2 april 2024). Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden, ASEK. Hämtad 16/2-2024 från <https://bransch.trafikverket.se/>
- 2: Vossloh Nordic Switch Systems. (2020). Växelboken: Spårväxelkunskap från Vossloh. Value not Noise AB. ISBN: 978-91-983625-1-0.
- 3: Trafikverkets infrastrukturregelverk (2021). TRVINFRA-00017 Spårväxel, Version 2.0. Borlänge, Trafikverket. Hämtad 24/2-2024 från <https://www.trafikverket.se/>
- 4: Trafikverket. (2022). Västra stambanan. Hämtad 15/1-2024 från <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/sveriges-jarnvagsnat/vastra-stambanan/>
- 5: Trafikverket. (2020). Järnvägsnätsbeskrivning. Borlänge, Trafikverket. Hämtad 16/1-2024 från <https://bransch.trafikverket.se/>
- 6: Järnväg.net - guiden till Sveriges tåg och järnvägar. (2024). Banguide av Västra stambanan. Hämtad 16-1/2024 från <https://www.jarnvag.net/banguide/goteborg-stockholm>
- 7: SJ, Statens Järnvägar. (2020). Vagnskiss för X 2000 och SJ 3000. Hämtad 18-1/2024 från <https://www.sj.se/content/>
- 8: Trafä, Trafikanalys. (22 juni 2023). Bantrafik: Statistik om trafik, transporter, fordon och infrastruktur för järnvägar, spårvägar och tunnelbana i Sverige. Hämtad 20-1/2024 från <https://www.trafa.se/bantrafik/>