CHALMERS

Hållbarheten hos fysisk transportinfrastruktur

En studie om ekonomisk och ekologisk hållbarhet för väg och järnväg i Sverige.

The sustainability of physical transport infrastructure

A study on economical and ecological sustainability for road and railway in Sweden.

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

KARL-JOHAN HANSSON
KARL NORLÉN
MALIN PETTERSSON
POUYA SHEIKHOLESLAMI

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Kandidatarbete ACEX10-19-14
Göteborg, Sverige 2019

Hållbarheten hos fysisk transportinfrastruktur
En studie om ekonomisk och ekologisk hållbarhet för väg och järnväg i Sverige
Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

The sustainability of physical transport infrastructure
A study on economical and ecological sustainability for road and railway in Sweden.

KARL-JOHAN HANSSON
KARL NORLÉN
MALIN PETTERSSON
POUYA SHEIKHOLESLAMI

© KARL-JOHAN HANSSON, KARL NORLÉN, MALIN PETTERSSON & POUYA SHEIKHOLESLAMI, 2019

Omslagsbild: Spårvagnsspår och asfaltsväg från Avenyn, Göteborg.
Alla bilder och figurer är författarens egna om inget annat anges.

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Kandidatarbete ACEX10-19-14
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
+46 (0)31-722 1000

Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete på 15 högskolepoäng och är en del av civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola. Rapporten har skrivits under vårterminen 2019 vid institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnad, avdelningen Byggnadsteknologi.

Vi vill framförallt rikta ett stort tack till våra handledare Govindan Induchoodan, Babak Ebrahimi och Bijan Adl-Zarrabi för deras tålamod, engagemang och stöd. Även fackspråksavdelningen på Chalmers Bibliotek förtjänar ett stort tack då de hjälpt till med frågor kring källhänvisning, ordval och struktur.

Slutligen vill vi tacka Arne Nissen, Jan-Erik Lundmark, Tomas Winnerholt och Åsa Lindgren, anställda på Trafikverket, för deltagande i intervjuer, svar på frågor samt hjälp med att hitta relevant information. Utan er hade det varit nästintill omöjligt att sammanställa denna rapport.

Göteborg, maj 2019.

Karl-Johan Hansson, Karl Norlén, Malin Pettersson och Pouya Sheikhoelslami.

Abstract

The transport infrastructure is vital for the growth and sustainability of our society. Mankind consumes resources at an alarming rate and therefore it is of great importance that the society starts working against that behaviour. A part of this transformation is related to the making of a sustainable transport infrastructure, that is both economically and ecologically sustainable as well as resistant. Thus, this bachelor thesis is carried out with the purpose of investigating and evaluating the physical infrastructure in the form of road and railway from an economical and ecological perspective in Sweden. The aim is then to compare these infrastructures to decide which of the two infrastructures that is more favourable from a sustainability perspective.

To achieve this, the group performs literature studies, interviews with specialists at The Swedish Transport Administration (*Trafikverket*) and calculations in their webtool Klimatkalkyl. The report only takes into account the impact of construction and maintenance. The results are compiled and discussed at the end of the report.

The presented results shows that the road is the more favourable option, both from an economical and ecological point of view. Furthermore the results shows that both the road and railway have a lifespan between 40 to 60 years. The largest deciding factor is the durability of the different individual components. The cost of constructing the road varied greatly depending on if the construction required bridges and tunnels. The cost for the railway was amounted to 40 000 SEK per meter, whilst the cost of the road varies between 17 000 and 41 000 SEK per meter. The road has the lowest carbon dioxide emissions when it comes to construction and reinvestment, on the other hand it has the highest regarding maintenance. The conclusion drawn is that the physical infrastructure of the road is more sustainable both economically and ecologically. Since this conclusion does not take account for the usage of the infrastructure, it can be questioned. Further studies should therefore include the economical and ecological sustainability of the usage of the road and railway.

Keywords: sustainability, transport infrastructure, railway, railroad, road, resistance, economical sustainability, ecological sustainability

Sammandrag

Transportinfrastruktur är av stor vikt för att samhället ska fungera och utvecklas. Människan lever idag över sina tillgångar och därför är det viktigt att ställa om samhället mot ett mer hållbart sådant. För att uppnå detta krävs förändringar på flera plan varav en viktig del är transportinfrastrukturen som i sin tur avgör vilket transportsätt som är mest gynnsamt ur användarsynpunkt. Denna fysiska transportinfrastruktur bör vara beständig samt ekonomiskt och ekologiskt hållbar för att säkerställa omställningen mot ett hållbart samhälle. Därför utförs detta kandidatarbete i syfte att såväl utreda som utvärdera den fysiska infrastrukturen i form av väg och järnväg ur ett ekologiskt samt ekonomiskt hållbart perspektiv i Sverige. Målet är sedan att jämföra dessa för att kunna avgöra vilken av de två transporinfrastrukterna som är att föredra ur ett hållbarhetsperspektiv.

För att uppnå detta genomförs en litteraturstudie, intervjuer med specialister på Trafikverket samt beräkningar i Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl huvudsakligen med fokus på faserna konstruktion och underhåll, som sedan analyseras för att sammanställas.

Undersökningarna resulterar i att väg i de flesta avseenden är att föredra ur ett ekonomiskt och ekologiskt perspektiv. Sammanställningen av resultatet visar att den tekniska medellivslängden för såväl järnväg som väg är cirka 40 till 60 år. Den största påverkande faktorn gällande teknisk medellivslängd är de olika beståndsdelarnas individuella beständighet.

Vägens anläggningskostnad varierar beroende på eventuellt behov av broar och tunnlar som generellt bidrar till att kostnaden ökar. Kostnaden för att anlägga väg varierar mellan 17 000 till 41 000 kronor per meter medan järnvägens är 40 000 kronor per meter. Väg har lägst koldioxidutsläpp vid nybyggnation och reinvestering men högst vid underhåll.

Slutsatsen dras till att den fysiska infrastrukturen hos väg är mer hållbar både ekonomiskt och ekologiskt. Då denna slutsats inte tar hänsyn till operationsfasen, det vill säga användandet av väg och järnväg, kan den ifrågasättas. Fortsatta studier bör därför även inkludera hur ekonomiskt och ekologiskt hållbart det faktiska användandet av väg och järnväg är.

Nyckelord: Hållbarhet, transportinfrastruktur, järnväg, väg, beständighet, ekonomisk hållbarhet, ekologisk hållbarhet, Klimatkalkyl

Innehållsförteckning

1. Inledning 1
   1.1. Syfte, mål och frågeställningar 2
   1.2. Avgränsningar 3
   1.3. Hållbarhet 3
   1.4. Metod 4
2. Förstudie om transportinfrastruktur 5
   2.1. Transportinfrastrukturens beständighet 5
      2.1.1. Vägens uppbyggnad och fysiska hållbarhet 5
      2.1.2. Järnvägens uppbyggnad och fysiska hållbarhet 8
   2.2. Trafikverkets budget för transportinfrastruktur 10
   2.3. Trafikverkets och entreprenörers arbete för ekologisk hållbarhet 12
      2.3.1. Vägens ekologiska hållbarhet 13
      2.3.2. Järnvägens ekologiska hållbarhet 13
   2.4. Framtiden för transportinfrastruktur 14
3. Sammanställning och analys av data 15
   3.1. Sammanställning av transportinfrastrukturens beständighet och tekniska medellivslängd 15
      3.1.1. Vägens beständighet, slitage och tekniska medellivslängd 15
      3.1.2. Järnvägens beständighet, slitage och tekniska medellivslängd 18
   3.2. Sammanställning av transportinfrastrukturens kostnader 20
      3.2.1. Kostnader vid nybyggnation och underhåll av väg 20
      3.2.2. Kostnader vid nybyggnation, reinvestering och underhåll av järnväg 21
   3.3. Sammanställning och analys av transportinfrastrukturens ekologiska hållbarhet 22
      3.3.1. Vägens energibehov, utsläpp samt återvinningsgrad 22
      3.3.2. Järnvägens energibehov, utsläpp samt återvinnings- och återanvändningsgrad 23
4. Diskussion 26
   4.1. Beständighet 26
   4.2. Ekonomi 27
   4.3. Ekologi 29
   4.4. Etik och social hållbarhet 31
   4.5. Användandet av transportinfrastrukturen och dess framtid 32
5. Slutsats 33
6. Källförteckning 34
7. Bilagor 38

1. Inledning

I dagens samhälle är hållbar utveckling ett aktuellt och viktigt begrepp. Begreppet hållbar utveckling myntades år 1987 i Brundtlandrapporten och definieras enligt följande: “en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov” (Hållbar Utveckling, u.å.). Begreppet är fortfarande aktuellt på global nivå men har för tydlighetens skull delats upp i tre områden: ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet, det som även benämns Triple Bottom Line (Gröndahl & Svanström, 2010 s. 36). Gröndahl menar att hållbar utveckling uppnås först då alla tre områden tas i beaktande.

Ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet hos infrastruktur är en väsentlig del i det komplexa begreppet hållbar utveckling. Infrastruktur definieras enligt Nationalencyklopedin (Infrastruktur, u.å.) som “ett system av anläggningar och driften av dessa, som utgör grund för försörjningen och förutsättningen för att produktionen ska fungera: bl.a. vägar och järnvägar, flygplatser och hamnar”. Infrastruktur kan delas upp i hård och mjuk infrastruktur. Hård infrastruktur är transportinfrastruktur, som byggs upp av exempelvis vägar och järnvägar.

Två av de största transportalternativen i Sverige är via väg och järnväg (Saxton, 2016). Väg består av asfalt alternativt grus och nyttjas av motordrivna fordon för transport av gods och personer. Järnväg nyttjas istället av spårbundna fordon för transport och består av normalhuvudspår som enligt A. Nissen (personlig kommunikation, 7 mars 2019) syftar till spår där genomgående trafik kör men där tågen får stanna för passagerarutbyte. Transportinfrastrukturerna genomgår fyra olika faser under sina respektive livstider: planering, konstruktion, operation samt underhåll.

Det är viktigt att förstå transportinfrastrukturens bidrag till mobilitet som i sin tur påverkar samhällsutvecklingen i form av digitalisering, globalisering samt urbanisering. Det digitaliserade samhället bidrar till större näthandel, samtidigt bidrar globalisering till fler interaktioner mellan länder. Ökad globalisering och digitalisering bidrar dessutom till fler resor samt transporter som i sin tur belastar transportinfrastrukturen. För transportinfrastrukturens användning och utveckling är det viktigt att den är lättillgänglig, prisvärd, bekväm och trygg. En icke fungerande infrastruktur med förseningar, avgångar som ställs in och stopp i trafiken som främst beror på ett bristande underhåll, har lett till ett bristfälligt förtroende hos resenärerna. Detta kan bidra till att individer istället för att pendla längre sträckor väljer att bosätta sig i städer, vilket leder till ökad urbanisering och som i sin tur skapar ett mer sårbart samhälle.

För att nyttja transportinfrastrukturen krävs det att de fysiska beståndsdelarna som bygger upp väg och järnväg håller en viss standard. Under en lång tid har delar av Sveriges transportinfrastruktur underprioriterats vilket lett till att den inte kan nyttjas till den potential den har, som bland annat är att möjliggöra transport av gods och personer (Sveriges Television, 2019).

Enligt Statistiska centralbyrån, SCB, uppgick år 2018 den totala importen av varor och tjänster till 2 093 miljarder kronor (SCB, 2018a) samtidigt som exporten uppgick till 2 193 miljarder kronor (SCB, 2018b). De redovisar även att från år 2017 till 2018 ökade import och export av varor och tjänster med nio (SCB, 2018a) respektive sju procent (SCB, 2018b). Detta är en

indikation på att godshandeln förväntas öka, vilket även Trafikverket (2019a) förutspår och enligt dem förväntas godstransporten öka med 64 % mellan år 2014 och år 2040. Persontrafiken förväntas även öka med 32 % under dessa åren. Dessa ökningar av användandet förutsätter att transportinfrastrukturens fysiska uppbyggnad utgörs av slitstarka material som klarar av de påfrestningar som tillkommer. Transportinfrastrukturen bör även anläggas för att undvika att påverka natur och miljö negativt.

Användandet av transportinfrastrukturerna bidrar till växthusgasutsläpp och inrikestransporten stod år 2016 för 31 % av Sveriges växthusgasutsläpp (Trafikverket, 2017a). Vid hänsyn till användandet av väg och järnväg, står väg för 95 % av de totala inrikestransportutsläppen vilket motsvarar 15,8 miljoner ton växthusgaser, medan järnväg bara står för 0,3 % vilket motsvarar 0,04 miljoner ton växthusgaser (Trafikverket, 2017a).

1.1. Syfte, mål och frågeställningar

Syftet med detta kandidatarbete är att såväl utreda som utvärdera den fysiska transportinfrastrukturen i form av väg och järnväg ur ett ekologiskt samt ekonomiskt hållbart perspektiv i Sverige. Målet är sedan att jämföra dessa för att kunna avgöra vilken av de två transportinfrastrukturerna som är att föredra ur ett hållbarhetsperspektiv.

För att nå fram till en slutsats kommer följande frågeställningar användas som underlag:

- *Vad för konsekvenser kan brister i infrastrukturen leda till?*
- *Vad är den tekniska medellivslängden på väg respektive järnväg?*
- *Vad är underhålls-, reinvesterings- och nybyggnationskostnaderna för väg respektive järnväg?*
- *Är materialen som används återvinningsbara samt återanvändbara?*
- *Vad är den ekonomiska och ekologiska kostnaden att anlägga väg sett emot järnväg?*
- *Hur mycket slits väg och järnväg vid bruk?*
- *Hur stora blir utsläppen vid underhåll, reinvestering och nybyggnation av en väg respektive järnväg per kilometer i termer av ton CO_2-ekvivalenter?*
- *Hur stor blir energiåtgången vid underhåll, reinvestering och nybyggnation av en väg respektive järnväg per kilometer i termer av gigajoule?*
- *Går det att dra någon slutsats om huruvida väg eller järnväg är mest ekonomiskt/ekologiskt hållbart med grund i ovanstående frågor och definitioner?*

1.2. Avgränsningar

Följande avgränsningar har gjorts för att förtydliga och sätta rapportens ram:

- Då sociala och etiska aspekter kräver kvantitativa undersökningar som är mycket omfattande samt att ramen är begränsad kommer endast en kortare diskussion kring dessa aspekterna utföras.
- Vägar i denna rapport syftar till allmänna vägar som ligger inom Trafikverkets ansvarsområde. I detta kandidatarbete kommer fokus vara på asfaltsväg då asfalt dominerar Sveriges vägnät.
- Järnvägar i denna rapport syftar till järnväg i Sverige, med fokus på normalhuvudspår. Alla kostnader som presenteras under avsnitt *3.2.2* är utan kostnader för el- och signalsystem.
- I sammanställningen tas endast vägens och järnvägens konstruktions- och underhållsfas i beaktande.

1.3. Hållbarhet

Begreppet hållbarhet har många olika definitioner beroende på dess område.

De följande definitionerna från SABO (u.å.), Brundtlandrapporten (Hållbar utveckling, u.å.) och Högskolan i Gävle (2018) som bifogas i *bilaga 4*, ligger till grund för den sammanställda definitionen av ekologisk hållbarhet som i denna rapport definieras enligt: *Att med en långsiktig hållbarhet som utgångspunkt när det gäller produkter, produktion och resurser, försöka minska miljöbelastningen vid konstruktion och underhåll av väg och järnväg. Detta för att naturresurserna långsiktigt ska fortsätta att försörja mänskligheten de kommande generationerna.*

Ekonomisk hållbarhet definieras i denna rapport enligt: *Ekonomin där infrastrukturen uppfyller sin funktion utan att samhällsutvecklingen inom andra områden äventyras.*

Social hållbarhet definieras i denna rapport enligt: *"Ett jämställt och jämlikt samhälle där människor lever ett gott liv med god hälsa, utan orättfärdiga skillnader."* (Folkhälsomyndigheten, 2018).

Den fysiska hållbarheten syftar till förmågan hos de olika objekten att motstå åldring, som är direkt beroende av komponenternas slittålighet där det ständigt förs ett arbete för att optimera komponenterna. Komponenter av god kvalité med hög fysisk hållbarhet bidrar till minskat underhållsarbete samt en längre teknisk medellivslängd. Den längre livslängden gör dessutom komponenten mer ekonomiskt gynnsam, förutsatt att kostnaderna kopplade till dess tillverkning inte är allt för stora i förhållande till de mindre fysiskt hållbara alternativen.

Denna rapport undersöker beständighet, bestämd som infrastrukturens motståndskraft mot skador i form av framförallt slitage och klimatpåverkan. Detta för att sedan kunna avgöra transportinfrastrukturens tekniska medellivslängd som definieras enligt: "*Den teoretiska livslängd ett system kan ha med acceptabel nivå på antal underhållsåtgärder per år och reparationskostnader är rimliga för att upprätthålla en trafiksäker anläggning.*" (Barthelemy et al., 2015).

1.4. Metod

Kandidatarbetet genomfördes med hjälp av tre metoder: litteraturstudie, intervju med beställare i form av Trafikverket samt beräkning utförd med hjälp av ett verktyg på Trafikverkets hemsida som heter Klimatkalkyl - Begränsad version. Klimatkalkyl användes i syfte att få en uppfattning om klimatpåverkan gällande energi och utsläpp vid faserna konstruktion och underhåll. Begränsad version användes då den är tillgänglig för allmänheten.

Litteraturstudie utfördes för att samla information som sedan lades till grund för förstudien samt sammanställningen. Databaser för litteratur som Scopus, Mediearkivet och Google Scholar användes. Även rapporter publicerade av Trafikverket och Statens väg- och transportinstitut, VTI, nyttjades.

Arne Nissen, spårtekniker på Trafikverket, besvarade frågor kring järnväg dels via intervju via Skype dels mail. Majoriteten av frågeställningarna kopplade till hållbarhet besvarades genom en telefonintervju med Åsa Lindgren som är projektledare med inriktning på hållbarhetsfrågor på Trafikverket. Frågor om väg besvarades vid intervju via Skype av dels Jan-Erik Lundmark som är funktionsansvarig och delförvaltningsledare inom området väg på Trafikverket, dels via mailkontakt med Tomas Winnerholt som arbetar med investering på Trafikverket. Intervjuerna utfördes i syfte att kunna göra en jämförelse mellan de två transportinfrastrukturerna och frågor till respektive experter finns redovisade i *bilaga 1* till *3*.

2. Förstudie om transportinfrastruktur

Denna del i rapporten är en förstudie för att skapa en grundläggande förståelse för transportinfrastrukturens beständighet samt ekonomiska och ekologiska förutsättningar. Förstudien är byggd till större del på litteraturstudie med inslag av intervjuer.

2.1. Transportinfrastrukturens beständighet

2.1.1. Vägens uppbyggnad och fysiska hållbarhet

Sveriges vägnät är avgörande för att samhället ska fungera. Export och import sker till stor del via väg men även inrikestransporter och personresor är beroende av bra vägar. Trafikverket ansvarar för 98 000 kilometer av Sveriges vägar (Trafikverket, 2016). I övrigt består det svenska vägnätet av ytterligare cirka 116 000 kilometer väg där kommun och enskilda ägare ansvarar (Trafikverket, 2017b). Detta innebär att Trafikverket ansvarar för 46 % av Sveriges totala vägnät. Lastbilar står för de största inrikestransporterna av alla transportslag och utgjorde närmare 90 % av de totala inrikesgodstransporterna år 2014 (Saxton, 2016), vilket motsvarade 380 miljoner ton godsmängd per år.

I *figur 1* visas ett exempel på en vanlig vägkonstruktion som är uppbyggd av fyra olika lager. Det översta lagret, som kallas slitlagret består av asfalt vars uppgift är att ta upp lasterna från fordonen och överföra dem till vägkroppen, men lagret ska också kunna stå emot det slitage som uppstår från trafiken (Ahlberg, 2016). De övriga lagren utgör tillsammans ett stabiliseringslager vars uppgift är att stabilisera och fördela lasterna från fordonen jämnt (Balaguera, Carvajal, Albertí och Fullana-i-Palmer, 2018). Bärlagret har i funktion att ta upp lasterna från slitlagret och detta lager kan bestå av grus, krossat sten och sand men även inslag av asfalt kan förekomma för att göra det stabilt (Balaguera et al., 2018). Balaguera et al. skriver vidare att förstärkningslagret har i uppgift att fördela ut lasterna jämnt över terrassen och det kan bland annat bestå av krossad sten eller cement. Terrassen, eller underbyggnaden som den även benämns, är ett lager bestående av kompakterad jord eller berg.

Figur 1. En vägs uppbyggnad med de olika lagerna.

Vid intervju med Å. Lindgren (22 mars, 2019) berättar hon att asfalt är en blandning som består av 96 % krossad sten och 4 till 6 % av bindemedlet bitumen som är en oljeprodukt vilken framställs genom raffinering av råolja.

Trafikverket har enligt J.E. Lundmark (personlig kommunikation, 4 april 2019) en verktygslåda med olika beläggningstyper och dessa väljs med hänsyn till de sex olika vägtyperna som finns, där vägtyp 1 är högst trafikerad och vägtyp 6 lägst trafikerad. Då de olika vägtyperna kräver varierande uppbyggnad och slitlager menar Lundmark att rätt val av beläggning ger lägre klimatpåverkan och då kan konstruktionens potential maximeras.

För att utföra underhåll och konstruktion av väg finns det flera entreprenörer som anlitas av Trafikverket. Trafikverket förvaltar majoriteten av Sveriges vägnät och har delat upp det förvaltade vägnätet i 110 olika områden som består av 55 till 175 mil väg styck (Trafikverket, 2019b). Entreprenörer har sedan fått i uppgift att ansvara för vägunderhållet för dessa områden där allt från reparation till snöplogning ingår (Trafikverket, 2019b).

Vägunderhåll kan delas in i två olika kategorier, rutinmässigt underhåll och periodiskt underhåll (Faith-Ell, 2005). Faith-Ell menar vidare att den främsta skillnaden mellan de två olika kategorierna av underhåll är omfattningen av arbetet. Det rutinmässiga underhållet sker kontinuerligt medan det periodiska sker med större tidsmellanrum. Hon skriver att det rutinmässiga underhållet består av aktiviteter som gräsklippning, rening och rensning av brunnar, mindre lappning av väg, se *figur 2*, och potthål, se *figur 3*. Faith-Ell redogör att periodiska underhållet är större arbeten som tar längre tid att utföra, exempelvis att lägga ny asfalt eller reparera en bro.

För att bedöma om en väg behöver underhåll eller inte, anges standarder. Dessa kvantifieras i tillståndsvariabler (Trafikverket, 2011). De tillståndsvariabler som används som underlag av Trafikverket är följande:

- Ojämnheter i longitudinalled (IRI, uttryckt i mm/m)
- Makrotextur (mm)
- Spårdjup (mm)
- Kantdjup (mm)

Detta kandidatarbete fokuserar på IRI och spårdjup.

Figur 2. Lappning av väg.

Figur 3. Potthål.

Vid dåligt vägunderlag finns det risk för skador på både person och fordon. Potthål och andra ytskador som blivit tillräckligt stora kan exempelvis skada fälgen på bilen om de åker i höga hastigheter. Det är således viktigt att entreprenörerna håller vägen i bästa möjliga skick.

Vägen har till skillnad från andra konstruktioner inte någon tydlig gräns för brott utan bryts ner successivt och detta leder till att dess egenskaper och tillstånd förändras (Agardh & Parhamifar, 2014, s. 86). Vägen bedöms därför istället efter dess tillstånd.

Vägens tillstånd delas upp i två delar, dessa är (Agardh & Parhamifar, 2014, s. 86):

- Funktionellt tillstånd, som bedöms utefter upplevelser hos trafikanter beträffande vägbeläggningen. Spår, slaghål och ojämnheter är parametrar som inverkar på detta tillstånd.
- Strukturellt tillstånd, som ger en bild av vägens motståndskraft när den utsätts för klimat- och trafikpåverkan.

Nedbrytning av en väg ger upphov till ett antal skador och förändringar. Några av de vanligaste ytskadorna på en asfaltväg, det vill säga skador som är lokala på beläggningen, är följande (Agardh & Parhamifar, 2014, s. 92 till 94):

- Bärighetssprickor, som till en början visar sig i form av mycket smala sprickor och som med tidens gång öppnas alltmer och bildar ett sammanhängande mönster. Dessa sprickor uppkommer i hjulspår efter att vägens bärförmåga passerats.
- Tjälsprickor, som är ett resultat av tjällyftningar. Dessa går längs med vägen och har tämligen stor bredd och är som tydligast på våren men nästintill osynliga under sommartiden.
- Temperatursprickor, som uppkommer då asfalten krymper snabbt vid vintersäsongen. Dessa uppstår i tvärled.
- Reflektionssprickor, som beror på att asfaltvägar lagts ovanpå på ett redan sprucket lager.
- Fogsprickor, som också är en annan typ av ytskada och uppkommer i övergången mellan diverse beläggningsdrag.
- Kantsprickor, som utgör längsgående och breda sprickor som förekommer vid vägkanten. Dessa uppkommer då vägens bärighet blir dålig i kanten eller då sidostöden inte fungerar som de ska.
- Potthål, som nämnts tidigare, uppkommer i form av en naturlig utveckling av sprickor som inte åtgärdats samt vid dålig vidhäftning mellan översta och understa lagret.
- Stensläpp, som orsakas av sämre vidhäftning mellan stenmaterialet som ingår i asfalt, dålig proportionalitet mellan bindemedel och sten, mekaniska skador och åldrad beläggningsyta.
- Blödning, som går ut på att bitumen ackumuleras på asfaltytan och är ett resultat av varmt väder.

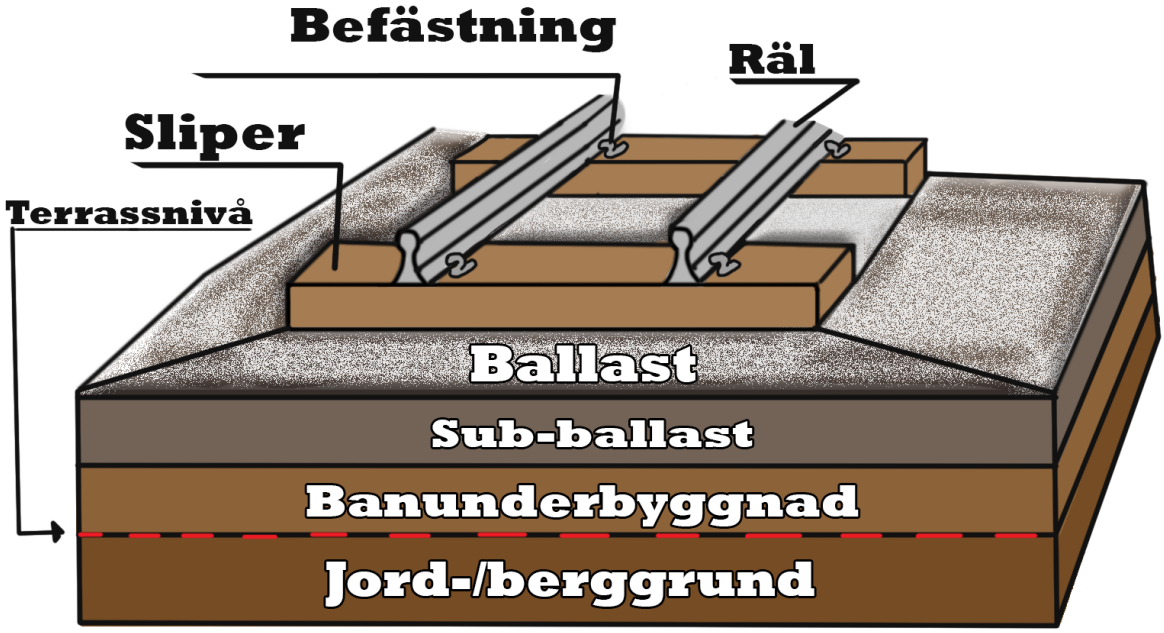
Då vägar plogas i syfte att skapa framkomlighet leder det till att vägen i vissa fall blir mer utsatt för tjälproblematik (Trafikverket, 2019c). Tjälproblematiken beror på ett antal faktorer: regnmängden på hösten, kylan och dess varaktighet, snömängd och hur hastigt temperaturen ökar på vårsäsongen. I allmänhet påverkar vintrar med längre och kalla perioder tjälproblematiken mer.

2.1.2. Järnvägens uppbyggnad och fysiska hållbarhet

Järnvägen är en viktig del i såväl dagens som framtidens samhälle. Då en omställning till allt mer hållbara transportalternativ eftersträvas, samtidigt som fler och fler privatpersoner brukar järnvägen, förväntas järnvägens roll bli allt större i framtiden (Trafikverket, 2015). Järnväg är den tredje största transportmetoden för gods och de totala transportmängderna för både in- och utrikes uppgick år 2014 till en godsmängd på 68 miljoner ton (Saxton, 2016).

A. Nissen förklarar vid personlig kommunikation (15 maj, 2019) att järnvägens huvudsystem består av " … banöverbyggnad, banunderbyggnad, signalsystem, elsystem, telekommunikation.". Barthelemy et al. redovisar att det idag finns 14 700 spårkilometer järnväg i Sverige och av dessa spårkilometer förvaltar Trafikverket 13 800 spårkilometer järnväg och 11 200 spårväxlar.

De komponenter som bygger upp ballastspåret kan övergripande delas in i räl, befästning, sliper och ballast (Barthelemy et al., 2015), se *figur 4*. Begreppen räl, sliper, ballast och befästning benämns oftast med ett gemensamt ord banöverbyggnad (järnväg.net, u.å.). Under banöverbyggnad ligger banunderbyggnad. Markytan som järnvägen byggs på kallas för terrassnivå.



Figur 4. Järnvägens uppbyggnad.

Ett spår består av två räler, varav det finns fyra olika varianter på räl som används i dagens normalhuvudspår. Den vanligaste rältypen som finns och används i Sverige vid nybyggnation och reinvestering av mer belastade banor benämns 60E1 (Barthelemy et al., 2015). De olika rältyperna väger mellan 41 till 60 kilogram per meter. En tyngre rälvikt innebär att rälen tål tyngre och snabbare tåg (järnväg.net, u.å.).

Rälerna ligger i sin tur på sliprar, som kan vara av betong, trä (furu) eller hårdträ (ek eller bok) (Barthelemy et al., 2015). Betongsliprar används vid nybyggnation av normalhuvudspår. Förr var det vanligare med träsliprar men idag består Sveriges järnväg endast till 35 % av denna sorten (Hammar, 2015).

Under rälen och sliprarna som bildar järnvägsspåret ligger ballast. Ballast brukar delas in i grov makadam (M1), fin makadam (M2) samt grus (Barthelemy et al., 2015) där M1 används på de mest trafikerade sträckorna. Vidare påpekar Barthelemy et al. att det är nödvändigt att rena ballasten vid spårbyten, annars kommer ballasten inte att uppnå dess teoretiska tekniska medellivslängd.

Befästning används för att förankra järnvägsspåret mot slipern. I Sverige finns det fem huvudtyper av befästningar (Barthelemy et al., 2015). Barthelemy et al. delar även in banor i fem olika typer, numrerade från 1 till 5. Bantyp 1 till 3 innebär "betydande mängd trafik" medan bantyp 4 och 5 innebär "liten trafikbelastning".

Banöverbyggnaden består även av spårväxlar vars syfte är att flytta den så kallade växeltungan som i sin tur avgör vilket spår ett tåg ska köra på (Kristensson, 2018). Trafikverket förvaltar 11 200 spårväxlar av sammanlagt 57 olika spårväxeltyper, dock är många under avvecklingsfasen (Barthelemy et al., 2015). Spårväxlar kan ligga på trä- eller betongsliprar.

Om ballasten, sub-ballasten och banunderbyggnaden ersätts av en betongplatta kallas det för ett ballastfritt spår. Dessa betongplattor är förspända eller förstärkta som kopplas samman för att bilda underlaget som rälen ligger ovanpå (Esveld, 2001). Plattorna varierar i storlek beroende på vilket system som används. För tillfället förekommer ballastfritt spår väldigt sällan i Sverige.

Enligt Esveld (2001) är fördelen med ballastfritt spår följande:

- Underhållskostnaden är lägre jämfört med ballastspår, oftast 20 till 30 % lägre. Detta då ballastfritt spår är i princip underhållsfritt. Även Sárik (2018) skriver att underhållskostnaderna är 20 till 30 % lägre.
- Högre tillgänglighet då underhållsarbeten blir färre.
- Lägre höjd och vikt på konstruktionen.
- Längre livslängd än ballastspår.

Esveld (2001) påpekar även att följande nackdelar finns:

- Högre anläggningskostnader än för ballastspår.
- Bullerstörningar kan vara högre än från ett ballastspår.
- Övergången mellan ett ballastfritt spår och ballastspår måste hållas under uppsikt.
- Mycket arbete krävs om det ballastfria spåret behöver omplaceras.

Vid intervju med A. Nissen (7 mars, 2019) förklarar han att underhållet av ballastspår sköts av entreprenörer som Trafikverket anlitar. Exempel på entreprenörerna är Infranord, Strukton och VR Track. Nissen beskriver att det bedöms som underhåll när byte av enskilda komponenter sker på en kortare järnvägssträcka eller då komponenter som är trasiga byts ut. Slutligen berättar Nissen att ungefär vart 40:e år sker det som Trafikverket benämner reinvestering. Reinvestering innebär att komponenter byts ut från ballastnivå upp till rälen på sträckor som är en till tio kilometer långa. Underhåll bedrivs för att upprätthålla funktionen fram tills dess att en reinvestering utförs.

Under järnvägens livslängd uppkommer defekter och skador. Några exempel är solkurvor som är en defekt på grund av värme, squats som är lokala nedtryckningar i rälen samt sprickor (Innotrack, 2010). Ifall dessa skador förblir obehandlade, kan de leda till obekvämligheter för

resenärer och i värsta fall urspårning. Då en defekt uppkommit måste det avgöras ifall det kommer bli ett problem i framtiden eller inom en kort tid, vilket avgörs av besiktningsman eller annan ansvarig (Innotrack, 2010).

2.2. Trafikverkets budget för transportinfrastruktur

Trafikverket redovisar i sin genomförandeplan för åren 2019 till 2024 några politiska inriktningar som finns i Sverige. Trafikverket (2019d) redovisar en ambition att flytta godstrafiken från väg till sjöfart och järnväg samt om samhällsutmaningen att ställa om till ett fossilfritt land.

Det är riksdagen som avgör hur stor del av Sveriges budget som ska läggas på Sveriges väg och järnväg, sedan är det regeringen som kommer med direktiv samt prioriteringar (Trafikverket, 2017c). Det betyder att Trafikverket dels får bidrag från regeringen, dels förskottering samt medfinansiering (Trafikverket, 2019e). Förskottering är ett lån från kommun/landsting för att bygga infrastruktur (Trafikverket, 2019f). Medfinansiering sker då kommun eller företag helt eller delvis finansierar statlig infrastruktur (Trafikverket, 2019d).

Mellan år 2018 och 2029 kommer Trafikverket arbeta efter en nationell transportplan, vars syfte är att beskriva " ... hur den statliga infrastrukturen ska underhållas och utvecklas." (Trafikverket, 2017c). Enligt Trafikverket (2019a) omfattar den nationella planen 622,5 miljarder kronor mellan åren 2018 och 2029. Av dessa ska 333,5 miljarder kronor gå till utveckling av transportsystemet och för att vidmakthålla transportsystemet ska resterande 289 miljarder kronor användas inom det området.

På Trafikverkets (2019b) hemsida står det att " … kostnader för drift och underhåll av det statliga vägnätet är omkring 8 miljarder kronor per år.". Av dessa kostnader beskriver Trafikverket vidare att 50 % går åt till beläggningsunderhåll och den återstående hälften fördelas lika på dels vinterväghållning dels åtgärder i andra avseenden, såsom belysning och renhållning.

Vid personlig kommunikation med J.E. Lundmark (4 april, 2019) förklarar han hur Trafikverket arbetar med begreppen reinvestering, investering samt underhåll. Investering är vägens första stadie, sedan övergår vägen till försvaltningsstadiet där underhåll sker. Vidare menar Lundmark att då åtgärder i de obundna lagren sker benämns det reinvestering. Reinvestering är i grunden en ekonomisk term.

För järnvägens krävs det ekonomiska medel för nybyggnation, reinvestering och underhåll för att vidmakthålla dess fysiska uppbyggnad. Underhåll för spår kostade 2 358 miljoner kronor år 2017 och för spårväxlar kostade det 466 miljoner kronor (Trafikverket, 2017a). Trafikverket planerar att investera 8 539 miljoner kronor år 2019 i järnvägen samt 10 106 miljoner kronor år 2020 (Trafikverket, 2018a). Investeringen 2020 är ungefär dubbelt så stor för järnvägen som för vägen (Trafikverket, 2018a).

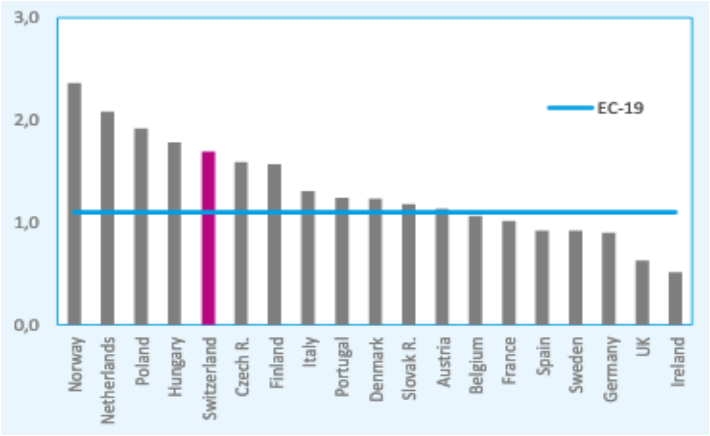
Enligt Barthelemy et al. (2015) har Trafikverket en ny plan för att halvera reinvesteringskostnaderna för spårväxlar. Denna nya plan går ut på att utbytta spårväxlar från bantyp 1 till 3 återanvänds i bantyp 4 och 5. Utbytet ska ske mer rationellt, med långsiktig planering på fem till tolv år i förväg samt i samordning med investeringsprojekt och spårbyten.

Tabell 1 visar hur infrastrukturbudgeten ska fördelas under åren 2019 till 2024. Det som kan noteras i *tabell 1* (grönmarkerat) är att järnvägens budget är omkring dubbelt så stor som för väg åren 2019, 2020, 2021 för att år 2024 vara sex gånger så stor. Detta stärker Trafikverkets ambition om att ställa om godstransport från väg till järnväg. Samtidigt som Trafikverket (2019a) återger att "Det finns ett uppdämt behov av reinvesteringar – med andra ord ett eftersläpande underhåll" vilket även stärks då en större budget dimensioneras till järnvägen.

Tabell 1. Ekonomiskt utrymme [Mkr] mellan åren 2019 och 2024. Återgiven med tillstånd av Trafikverket (2019a).

Verksamhet	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Utveckling av transportinfrastruktur	**22 500**	**24 500**	**30 450**	**27 500**	**27 800**	**28 300**
Investering i regional plan	3 000	3 700	3 800	3 600	3 800	3 800
Större investeringar i nationell plan	16 100	17 000	21 750	19 000	18 800	19 500
Väg	4 800	5 600	6 200	5 800	4 200	2 600
Järnväg	10 400	10 800	15 500	13 200	14 600	16 800
Sjö- och luftfart	900	600	50	0	0	100
Övriga investeringar	2 700	2 900	3 700	3 800	4 100	3 900
Stadsmiljöavtal	700	900	1200	1100	1100	1100
Vidmakthållande av statens transportinfrastruktur	**24 800**	**26 400**	**28 500**	**29 700**	**30 500**	**30 900**
Väg	13 400	14 100	14 400	14 900	15 200	15 600
Järnväg inkl. banavgifter	11 400	12 300	14 100	14 800	15 300	15 300
Investeringar finansierade med trängselskatt och lån	**5 500**	**9 600**	**8 600**	**7 400**	**5 500**	**5 000**
SUMMA	**52 800**	**60 500**	**67 550**	**64 600**	**63 800**	**64 200**

Figur 5 visar några av Europas länders investering i transportinfrastrukturen år 2016 av deras BNP i procent. Norge och Nederländerna ligger i topp med en investering av kring 2,3 % respektive 2,1 % av deras BNP medan Sverige endast investerar kring 0,8 % av BNP.



Figur 5. Några av Europas länders investering i transportinfrastruktur år 2016. Mätt i [%] av BNP. Återgiven med tillstånd från Funk, A.K. (2017).

2.3. Trafikverkets och entreprenörers arbete för ekologisk hållbarhet

Trafikverket arbetar efter *Fyrstegsprincipen* för att " ... säkerställa god resurshushållning och för att åtgärder ska bidra till en hållbar samhällsutveckling." (Trafikverket, 2018b). Trafikverket (2018b) beskriver de fyra stegen enligt följande:

- Tänka om: Åtgärder som gör att problemet går att lösa genom att införa exempelvis avgifter, subventioner och hastighetsgränser för att få individer att tänka annorlunda.
- Optimera: Detta är det snabbaste steget och går ut på att undersöka om infrastrukturen kan användas bättre. Det kan exempelvis vara att öka turtäthet, omfördela ytor eller andra logistiska lösningar.
- Bygga om: Här löses problemet genom att göra begränsade ombyggnationer, exempelvis extra körfält, breddning och förlängda plattformar.
- Bygga nytt: Då detta alternativ är dyrt och påverkar samhället mycket, utförs detta som sista alternativ.

Förutom fyrstegsprincipen jobbar Trafikverket med BASTA, som är ett system som flera aktörer inom byggbranschen använder sig av för att avveckla farliga ämnen i och runt om materialen som används (Eklöf, 2017). Målet är att i framtiden kunna bygga infrastruktur enbart med ämnen och material godkända av BASTA-kriterierna. Dessa kriterier ligger i linje med några av Sveriges Miljökvalitetsmål, mer specifikt Giftfri miljö, God bebyggd miljö och Begränsad klimatpåverkan.

Eklöf (2017) anger följande utgångspunkter för framtiden:

- Infrastruktur ska byggas med högt förnybara material och med minimal energiåtgång. Vidare ska naturresurser i minsta möjliga utsträckning utbrytas/avverkas och istället bör fokus vara att använda produkter som i hög grad går att reparera, uppgradera och återanvända. Målet är att avfallet ska verka som en resurs och på så sätt genom dessa också bidra till att få ner nettoutsläpp beträffande koldioxid till noll.
- Inga farliga substanser ska finnas i materialen, detta för att förhindra spridning till miljön och underlättandet av återvinning och återanvändning av materialen. Dessutom när de slitits ut ska de vara lätta att ta isär i diverse delar, även detta i syfte att förenkla återvinningen.
- Framtidens byggnation ska inte bidra till höga avfallsmängder, detta då avfall redan står som en resurs som används istället för råvaruuttaget. Den redan existerande infrastrukturen ses som en viktig resurs för råvara. Trafikverket har därför ett digitalt system som syftar till att kartlägga de olika byggnadsmaterialen vad gäller egenskap och lokalisering.
- Infrastrukturens nyttjandegrad ska vara god.

Å. Lindgren berättar även vid intervjun (22 mars, 2019) att Trafikverket lägger 500 miljoner kronor per år för innovation och forskning. Innovation och forskning har bland annat resulterat i en provsträcka för elväg med kontaktledning i Sandviken samt en i Arlanda där bilarna elektrifieras via induktion. Lindgren fortsätter att berätta att Trafikverket gärna ser att entreprenörer och konsulter är kreativa när det kommer till hållbara lösningar och på så sätt kan vinna upphandlingarna. Trafikverket (2019a) skriver även att investeringar i innovation och forskning ska bidra till att skapa ett transportsystem som är fossilfritt samt har resurseffektiva resor och transporter.

Å. Lindgren (personlig kommunikation, 22 mars 2019) förklarar att Trafikverket arbetar efter Agenda 2030 som på en transportnivå innebär att skapa tillgänglighet för transporter i ett hållbart samhälle. Lindgren avslutar med att Trafikverket arbetar mot målbilden 0 % nettoutsläpp år 2045 och att Trafikverkets verksamhet är såpass bred att de även kommer i kontakt med och arbetar mot Sveriges 17 miljömål.

2.3.1. Vägens ekologiska hållbarhet

Trafikverket har det generella ansvaret för vägtransportsektorns miljö. På begäran av Sveriges regering har de utarbetat en handlingsstrategi med namnet "Kretsloppsanpassad väghållning, Handlingsplan" i syfte att främja hållbar utveckling i sitt arbete (Vägverket, 2004). I handboken presenteras exempelvis ungefärliga materialmängder som årligen behövs för vägtransportsektorns byggnation, förstärkning och underhåll. Varje år går det åt cirka 400 000 ton bitumen och cirka 7 miljoner ton ballast vid asfaltbeläggning, vilka är ändliga naturresurser (Vägverket, 2004). Därmed finns besparingspotential här vad gäller naturresurser.

Vid personlig kommunikation med Å. Lindgren (22 mars, 2019) nämner hon att dagvattendiken i närheten av vägen där slitageprodukterna hamnar har undersökts och i dessa har det inte påträffats några främmande partiklar förutom de utsläpp som trafiken ger upphov till.

Grön asfalt är en term som används inom byggbranschen. Energin till produktion av asfalten ska komma från bioenergi snarare än fossila resurser (Svensson, 2003). NCC har produkten "NCC Green Asphalt" som är en miljöanpassad produkt på så vis att asfaltens tillverkning sker med lägre temperaturer, samtidigt som kvaliteten är densamma (NCC, 2019). Miljövinsterna är enligt NCC en " … grön och energisnål asfalt" med lägre koldioxid- och kväveoxidutsläpp.

En annan hållbarhetsprodukt är bioasfalt vars bindemedel biobitumen inte är petroleumbaserad (Norrlander, 2012). Biobitumenets produktion sker med förnyelsebara resurser, exempelvis trä, grödor, livsmedels- och processindustriavfall. Det har framförallt experimenteras på bioasfalt i USA och Frankrike men även Norge och Australien har gjort vissa försök.

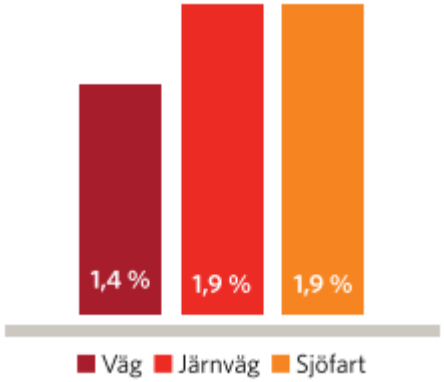
2.3.2. Järnvägens ekologiska hållbarhet

Enligt Ivarsson och Nilsson (2017) är det tillverkningen av broar som ligger till grund för den största mängden växthusgasutsläpp vid anläggning av höghastighetsbanor då de uppgår till 28 % av de totala utsläppen. Därefter kommer banöverbyggnad med 22 % och sen grundförstärkning, banunderbyggnad samt bergtunnlar på 12 % vardera. Vidare går det åt ytterligare betong i form av sprutbetong vid förstärkning av väggarna i tunnlar (Ivarsson & Nilsson, 2017).

När det kommer till tillverkning av ballastfritt spår tillkommer mer användande av betong. Ett alternativ som hade kunnat minska mängden utsläpp hade kunnat vara att använda grön betong. Enligt Mishra (2013) kan CO_2-emissionerna minska med 30 %, vilket tillsammans med den låga underhållskostnaden för ballastfritt spår kan vara mer lönsamt ur ett hållbarhetsperspektiv.

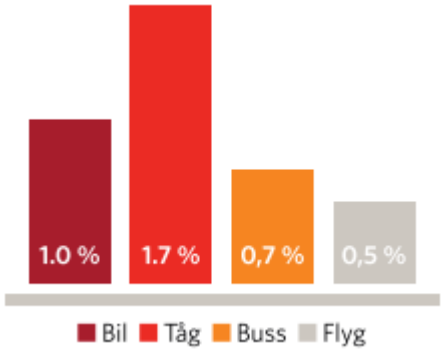
2.4. Framtiden för transportinfrastruktur

Samhället är i ständig utveckling och Trafikverket (2019a) förväntar att både person- och godstrafik ökar mellan åren 2014 och 2040. Godstransporterna förväntas öka mer och fördelas jämnt via de olika transportslagen. *Figur 6* visar Trafikverkets förväntade årliga tillväxt mellan åren 2012 och 2040 där godstransporter via järnväg och sjöfart står för den största tillväxten. För att stärka järnvägens konkurrenskraft och som därmed ska bidra till att flytta godstransporten från väg till järnväg ska regeringen ha kvar miljökompensationen som har införts till godsoperatörer (Proposition 2018/19:1).



Figur 6. Förväntad årlig tillväxt godstransport från år 2012 till 2040 [%]. Återgiven med tillstånd från Trafikverket (2019a).

För persontransporter förväntas vägtrafiken dominera även om transport via tåg är det transportslag som förväntas öka mest, se *figur 7* (Trafikverket, 2019a).



Figur 7. Förväntad årlig tillväxt för persontransport från år 2012 till 2040 [%]. Återgiven med tillstånd från Trafikverket (2019a).

3. Sammanställning och analys av data

I detta avsnitt presenteras en sammanställning av intervjuer och litteraturstudie samt beräkningar med hjälp av Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl för väg och järnväg. Enligt Trafikverkets (2018c) riktlinjer för Klimatkalkyl är modellen vid beräkning av koldioxidutsläpp samt energibehov " … avgränsad till att omfatta utvinning av råvaror, förädling av råvaror till produkter, transporter under förädlingskedjan, byggandet av väg eller järnväg, samt underhåll (såväl löpande drift och underhåll som utbyte av komponenter)". Sammanställningen ligger till grund för diskussionen och slutsatsen.

3.1. Sammanställning av transportinfrastrukturens beständighet och tekniska medellivslängd

3.1.1. Vägens beständighet, slitage och tekniska medellivslängd

I en intervju med J.E. Lundmark (4 april, 2019) menar han att vid nybyggnation byggs väg med en förväntad teknisk medellivslängd om 40 år. Enligt Lundmark avser denna ålder hela vägkroppen där vissa delar av vägen behöver underhåll och reinvestering med jämna mellanrum. Han påpekar att slitlagret är den del av konstruktionen som oftast behöver bytas ut. Hur ofta slitlagret byts ut beror på slitaget, men vanligen efter 3 till 15 års bruk. Livslängden på slitlagret bestäms beroende på det årliga slitaget och vägens krav på acceptabelt spårdjup. Lundmark anser att ett exempel kan vara en väg med 1 millimeter spårbildning per år och att då vägens högsta accepterade spårdjup är 3 millimeter kan en livslängd antas till 3 år för slitlagret. Slitlagret kan antas ha en kortare livslängd än de övriga lagerna då livslängden generellt ökar med djupet av konstruktionen. Vidare menar Lundmark att bärlagrets tekniska livslängd varierar beroende på last men att den är runt 20 till 40 år. När bärlagret behöver ersättas benämns detta som reinvestering. Han påstår att osäkerheten på livslängden till exempel kan bero på vad vägen dimensioneras för och vad den utsätts för. Lundmark anger ingen exakt ålder för förstärkningslagret men att åldern ökar med djupet och bör därmed inte vara lägre än bärlagret. Slutligen berättar Lundmark att terrassen sällan är i behov av utbyte eller reparation och dess tekniska livslängd kan därför anses vara oändlig. I *tabell 2*, som är sammanställd efter intervju med J.E. Lundmark, redovisas den tekniska medellivslängden för de olika komponenterna.

Tabell 2. Teknisk medellivsläng [år] hos vägens komponenter. Sammanställd efter intervju med J.E. Lundmark (personlig kommunikation, 4 april 2019).

Komponent	**Teknisk medellivslängd [år]**
Slitlager	3 - 15
Bärlager	20 - 40
Förstärkningslager	-
Terrass	Oändlig

Enligt J.E. Lundmark (personlig kommunikation, 4 april 2019) undersöker Trafikverket ett antal parametrar vid dimensionering av väg. Det som påverkar beständigheten och slitaget hos väg är enligt Lundmark årsdygnstrafiken, ÅDT, det vill säga andel tungtrafik och dess motsvarande axeltryck samt andelen dubbdäckskörande fordon. Lundmark hävdar också att olika beläggningstyper är gjorda för olika typer av trafik och slitage.

Trafikverket använder den internationella standarden International Roughness Index, IRI, vilket är ett kvalitetsmått som används för bestämmandet av ojämnheter i längsled (Trafikverket, 2011). Detta ger enligt Trafikverket en bild av hur trafikanterna upplever vägens skick och anges i millimeter per meter. *Tabell 3* är en sammanställning av Trafikverkets IRI-värden på en 100 meters sträcka.

Tabell 3. Krav för vägojämnheter, IRI [mm/m], baserat på trafikflöde [fordon/dygn] och hastighet [km/h]. Återgiven med tillstånd från Trafikverket (2011).

Trafik [fordon/dygn]	Skyltad hastighet [km/h]							
	120	110	100	90	80	70	60	50
0 - 250		≤4,3	≤4,7	≤5,2	≤5,9	≤6,7	≤6,7	≤6,7
250 - 500		≤4,0	≤4,4	≤4,9	≤5,5	≤6,3	≤6,3	≤6,3
500 - 1000		≤3,7	≤4,1	≤4,5	≤5,1	≤5,8	≤5,8	≤5,8
1000 - 2000		≤3,0	≤3,3	≤3,7	≤4,2	≤4,8	≤5,2	≤5,2
2000 - 4000	≤2,4	≤2,6	≤2,9	≤3,2	≤3,6	≤4,1	≤4,9	≤4,9
4000 - 8000	≤2,4	≤2,6	≤2,9	≤3,2	≤3,6	≤4,1	≤4,9	≤4,9
>8000	≤2,4	≤2,6	≤2,9	≤3,2	≤3,6	≤4,1	≤4,9	≤4,9

Ökade ojämnheter har i stor utsträckning koppling till trafikanternas upplevelse av vägbanan då trafikanter vid omfattande ojämnheter tenderar att sänka hastigheten för att upprätthålla komforten (Trafikverket, 2011). J.E. Lundmark påpekar även vid intervju (4 april, 2019) att ojämnheter bidrar till samhällsekonomiska konsekvenser i form av längre restid och fordonsslitage.

Spårdjup uttrycker ojämnheter i vägen och mäts i tvärled (Trafikverket, 2011). Kraven för spårbildning anges i *tabell 4* och är en sammanställning från Trafikverket.

Tabell 4. Krav för spårbildning på väg [mm/m], baserat på trafikflöde [fordon/dygn] och hastighet [km/h]. Återgiven med tillstånd från Trafikverket (2011).

Trafik [fordon/dygn]	Skyltad hastighet [km/h]							
	120	110	100	90	80	70	60	50
0 - 250		≤18,0	≤18,0	≤24,0	≤24,0	≤30,0	≤30,0	≤30,0
250 - 500		≤18,0	≤18,0	≤22,0	≤22,0	≤27,0	≤27,0	≤27,0
500 - 1000		≤18,0	≤18,0	≤20,0	≤20,0	≤24,0	≤24,0	≤24,0
1000 - 2000		≤15,0	≤16,0	≤17,0	≤18,0	≤20,0	≤21,0	≤21,0
2000 - 4000	≤13,0	≤13,0	≤14,0	≤14,0	≤16,0	≤16,0	≤18,0	≤18,0
4000 - 8000	≤13,0	≤13,0	≤14,0	≤14,0	≤16,0	≤16,0	≤18,0	≤18,0
>8000	≤13,0	≤13,0	≤14,0	≤14,0	≤16,0	≤16,0	≤18,0	≤18,0

Dessa mått är viktiga enligt Trafikverket (2011) då dessa inverkar på förarens styrförmåga, samt att snö- och vattenmängder kan samlas i spårdjupen, vilket kan öka risken för halkolyckor.

I rapporten av Vadeby, Lundberg, Gustafsson, Ekström och Andrén (2016) anges olika vägars slitage i form av spårdjup beroende på vägtyp och årsdygnstrafik. Slitaget påverkar i första hand vägens slitlager. De olika vägtyperna gav olika omfattning vad gäller slitage och rapporten redovisar att slitaget inte berodde på om det var en test- eller kontrollsträcka (Vadeby et al., 2016). Spårbildning är en typ av vägslitage som kan mätas med hjälp av metoden SDM17 som enligt Vadeby et al. innebär "Årlig tillväxt av spårdjupet beräknat med en referensbredd av 3,2 m med 17 mätpunkter. Värdet uttrycks i mm/år.". Enligt *tabell 5* hämtad från rapporten av Vadeby et al. kan det avläsas att för alla typer av vägar ökar vägslitaget SDM17 med mängden trafik, ÅDT, med undantag för motortrafikled.

Detta är något som även speglar det J.E. Lundmark (4 april, 2019) berättar vid intervju där han menar att spårbildningen påverkades mer vid högtrafikerade vägar än de lågtrafikerade. Värdet för mötesfri motortrafikled vid ÅDT mellan 1 000 och 4 000 är dock ett osäkert slitagevärde då detta är framtaget på få observationer (Vadeby et al., 2016). I rapporten beskrivs det även att kontrollsträckornas slitage är framtagna med hjälp av många fler sträckor och därmed kan dessa anses mer representativa och säkra med undantaget det tidigare nämnda motortafikledsvärdet, 0,83 (Vadeby et al., 2016). Vadeby et al. nämner att för vägtypen 2+1 med två körfält är mätningarna gjorda på körfält 1, det högra körfältet. I *tabell 5*, som är en sammanställning av Vadeby et al. kan det bland annat avläsas att för 2+1 väg är slitaget högre vid ett körfält än vid två körfält. Ur *tabell 5* går det också att utläsa att vägslitaget för dessa olika vägtyper vid en trafikmängd med ÅDT över 8 000 är cirka 1 till 1,2 millimeter per år.

Tabell 5. Årlig spårdjupstillväxt, SDM17 [mm/år], baserat på trafikflöde [fordon/dygn] för olika vägtyper. Återgiven med tillstånd från Vadeby et al. (2016).

		ÅDT (båda riktningarna) [fordon/dygn]			
Typ av väg	**Kontroll/test**	**1000 - 4000**	**4000 - 8000**	**> 8000**	
2+1, 1-fält	Test	0,67	0,95	1,24	SDM17 [mm/år]
2+1, 2-fält	Test	0,66	0,82	1,06	
Vanlig väg	Kontroll	0,57	0,84	0,95	
Vanlig väg mötesfri	Kontroll	0,75	1,06	1,11	
Motortrafikled mötesfri	Kontroll	0,83	0,73	1,01	

3.1.2. Järnvägens beständighet, slitage och tekniska medellivslängd

För att kunna bestämma den tekniska medellivslängden hos järnväg används parametern MBrt, som står för Miljoner bruttoton. MBrt definieras enligt A. Nissen (personlig kommunikation, 7 mars 2019) som " … summan av vikten på alla tåg som passerat en viss sträcka under en viss tid.". Detta för att få en bild av hur länge komponenter kan vara i bruk samt vilka komponenter som begränsar den tekniska medellivslängden. *Tabell 6* är en sammanställning från rapporten av Barthelemy et al. (2015) och visar den tekniska medellivslängden hos de olika komponenterna i en banbyggnad med ballast. Vid intervju med A. Nissen (7 mars, 2019) belyser han att kvaliteten på banunderbyggnaden påverkar den tekniska medellivslängden. Vidare berättar Nissen att sämre markförhållanden, exempelvis högt vatteninnehåll orsakar en kortare livslängd, även om åtgärder i ett tidigt skede har eftersträvats. A. Nissen (personlig kommunikation, 15 maj 2019) tillägger att befästningarnas livslängd kan i vissa fall ses lika långa som sliprarnas. Detta då befästningarna byts i samband med att man byter sliprarna. Detta gör att befästningarna blir kvar längre än tänkt eller så avvecklas sliprarna i samband med bytet av befästningar, vilket medför att sliprarna därmed inte nyttjas till fullo.

Enligt Barthelemy et al. (2015) är det sliprar samt ballast som är de avgörande komponenterna för ballastspårig järnvägs livslängd och inte rälen. *Tabell 6* styrker detta då ballasten inte klarar lika stora MBrt som rälen. Vidare styrks påståendet då både träsliprar samt betongsliprar har en kortare teknisk medellivslängd än räl. Samtidigt visar *tabell 6* att träsliprar har en kortare livslängd än betongsliprar. Barthelemy et al. påpekar att detta kan vara en följd av att träsliprar är känsliga för fukt- och temperaturförändringar. Den tekniska medellivslängden för betongsliprar är enligt Barthelemy et al. enbart en bedömning då tillräckligt med data inte finns för att avgöra den faktiska livslängden för dessa sliprar då de inte varit i bruk tillräckligt länge. Detta bidrar till att det är svårt att avgöra när de spricker och följaktligen kan utgöra en säkerhetsrisk.

Enligt en rapport från Innotrack (2010) slits rälen 1 millimeter per 20 MBrt i kurvor. Förutsatt att rälen klarar den tekniska medellivslängden på 650 MBrt, kommer rälen i kurvor slitas 32,5 millimeter under sin livslängd. Enligt A. Nissen (personlig kommunikation, 15 maj 2019) sker ett totalt slitage om 12 millimeter på raksträckor innan rälen byts ut. Om det även här antas att rälen har en teknisk medellivslängd om 650 MBrt, resulterar det i att rälen slits 1 millimeter per 54 MBrt vid raksträcka. Räl som genomgått värmebehandling har enligt Innotrack (2010) generellt sett bättre motstånd mot slitage, jämfört med räl som inte fått behandling.

Barthelemy et al. (2015) påpekar även att spårväxlar inte har någon enhetlig ålder då komponenter kan bytas ut löpande, men det är motiverat att byta hela spårväxeln i högtrafikerade spår " ... när de är 30 år gamla eller har belastats med 250 miljoner bruttoton tågtrafik".

Som nämns i avsnitt *2.1.2.* finns olika typer av ballast. Ballast av typen M1 håller bankroppen dränerad, vilket bidrar till att M1 tål större laster och därmed har en längre livslängd än ballast av M2 (Barthelemy et al., 2015). För att ballasten ska kunna nå en teknisk medellivslängd om 500 MBrt måste den vara välskött.

Samtidigt berättar A. Nissen vid intervju (7 mars, 2019) att järnvägsanläggning inte har en kortare livslängd eller klarar mindre än de givna MBrt-värdena, utan snarare en längre livslängd. Detta beror på att budgeten inte räcker till för att reinvestera i den takt som hade behövts, vilket gör att konstruktionerna brukas längre än tänkt.

Tabell 6. Teknisk medellivslängd [år och/eller MBrt] hos järnvägens komponenter. Tabellen är sammanställd från Barthelemy et al. (2015).

Komponent	**Teknisk medellivslängd**
Räl av typen 60E1	650 MBrt *eller* 70 år med trafik på 9,3 MBrt/år
Träsliper	30 - 40 år
Betongsliper	50 år
Befästning	38 - 40 år
Ballast	500 MBrt *eller* 50 år med trafik på 10 MBrt/år
Spårväxlar bantyp 1 - 3	30 år *eller* 250 MBrt

Tabell 7 visar den tekniska medellivslängden för ballastfritt spår från tre olika källor. Ballastfria spårs livslängd bedöms som en komponent då sliprarna, rälen och underlaget är en gemensam enhet. Nissen liknar ballastfria spår vid en brokonstruktion och drar därav slutsatsen till de ballastfria spårens medellivslängd.

Tabell 7. Teknisk medellivslängd [år] hos ballastfritt spår.

Komponent	**Teknisk medellivslängd [år]**
Ballastfritt spår enligt Sárik (2018)	60
Ballastfritt spår enligt Avramovic (2010)	60
Ballastfritt spår enligt A. Nissen (personlig kommunikation, 26 mars 2019)	120

Tabell 8 visar reinvesteringstakten för Sveriges järnväg, både aktuell takt samt behovet. *Tabell 8* ger även en förståelse för varför mycket mer ekonomiska resurser bör investeras och har budgeterats till järnvägen jämfört med vägen som nämnts i avsnitt *2.2.* A. Nissen (personlig kommunikation, 7 mars 2019) berättar att orsaken till att reinvesteringsbehovet inte uppnås idag är att Trafikverket har en begränsad budget att förhålla sig till.

Tabell 8. Aktuell och behövd reinvesteringstakt [%] för Sveriges järnväg. Återgiven med tillstånd från A. Nissen (personlig kommunikation, 7 mars 2019).

	Reinvesteringstakt [%]
Aktuell	1
Behov	2

3.2. Sammanställning av transportinfrastrukturens kostnader

3.2.1. Kostnader vid nybyggnation och underhåll av väg

Vid personlig kommunikation med T. Winnerholt (5 april, 2019) anger han en del exempel på kostnader för motorväg och mötesfria 2+1 vägar. Winnerholt fastställer även vad för typ av motorväg som hade byggts vid sträckningen 24 kilometer, varav 21 kilometer var 2+2 väg och 3 kilometer var 2+1 väg. Enligt Winnerholt varierar kostnaderna för väg kraftigt för de projektuppföljningar som han kommit över beroende på om det endast ingår några få broar eller om det är större tunnlar med i projektet. Han belyser även att för de projekt han hade underlag på varierade kostnaderna för motorväg mellan 21 000 kronor per meter till 21 000 000 kronor per meter och för 2+1 väg mellan 4 500 kronor per meter till 55 000 kronor per meter. Winnerholt (personlig kommunikation, 9 april 2019) påpekar dock att värdet 21 000 000 kronor per meter var ett extremfall då hela motorvägen var byggd i tunnel och han beskriver projektet och siffran som en "outlier".

Tabell 9 och *tabell 10* är sammanställda efter personlig kommunikation med T. Winnerholt, varav en för motorväg och en för mötesfri 2+1 väg vars syfte är att ge en bild av vad det kostar att anlägga väg. Det som presenteras är vägens längd, antal korsande broar (enbart motorväg), kostnad i kronor per meter samt året som kostnaden gäller för. Kostnaden vid vägbyggnation kan presenteras på olika sätt men i denna rapport presenteras priset som kronor per meter då detta är en lättförståelig och enkel enhet.

Tabell 9. Några exempel på motorvägsprojekt med deras längd [km], antal broar [st], kostnad [kr/m] och års prisnivå. Redovisad med tillstånd från T. Winnerholt (personlig kommunikation, 5 april 2019).

Motorväg (2+2)	Längd [km]	Antal broar [st]	Kostnad [kr/m]	Års prisnivå
	24	17	26 000	2009
	10	8	31 000	2012
	2	5	41 000	2016

Tabell 10. Några exempel på mötesfria vägprojekt med dess längd [km], kostnad [kr/m] och års prisnivå. Redovisad med tillstånd från T. Winnerholt (personlig kommunikation, 5 april 2019).

Mötesfri väg (2+1)	Längd [km]	Kostnad [kr/m]	Års prisnivå
	20	17 000	2017
	4	20 000	2014

Kostnaderna vid underhåll uppgår enligt Alm, Isacsson och Magnusson (2010) till 25 kronor per kvadratmeter och år vilket för en 19 meter bred fyrfilig motorväg blir 475 kronor per meter och år.

J.E. Lundmark (4 april, 2019) lyfter fram vid intervju att Trafikverket lägger cirka 2,5 miljarder kronor per år på förebyggande beläggningsunderhåll och cirka 600 miljoner kronor per år på avhjälpande- och akuta beläggningsunderhåll. Det finns även brister i form av underhållskostnader på cirka 3,1 miljarder kronor per år och fokus bör ligga på denna kostnad då detta medför ett effektivare beläggningsunderhåll då infrastrukturen hålls i jämnare skick.

3.2.2. Kostnader vid nybyggnation, reinvestering och underhåll av järnväg

För att kunna svara på frågeställningen "*Vad är underhålls-, reinvesterings- och nybyggnationskostnader för järnväg?"* har *tabell 11*, vilken är en sammanställning från rapporten av Barthelemy et al. samt personlig kommunikation med A. Nissen för ballastspår framtagits. Även *tabell 12* för ballastfria spår har sammanställts efter intervju med A. Nissen (26 mars, 2019) samt beräknats. Som nämnts tidigare, spelar kvaliteten på banunderbyggnaden roll, då en sämre banunderbyggnad måste stabiliseras vilket kommer kosta mer, vilket är något som A. Nissen (personlig kommunikation, 7 mars 2019) påpekar.

Tabell 11 redovisar kostnaderna för olika åtgärder inom banbyggnaden. Barthelemy et al. (2015) påpekar att "Om reinvesteringsnivån ligger under den nivå där anläggningen blir äldre så ökar underhållskostnaden.". Vidare framgår det att fram till år 2026 bedöms reinvesteringsbehovet för spår ligga på 1 050 miljoner kronor per år, vilket motsvarar 160 km spårbyten per år (Barthelemy et al., 2015) och resulterar i en aktuell reinvesteringstakt om 1,2%.

Tabell 11. Kostnader för ballastspår [kr/m]. Återgiven och sammanställd med tillstånd från A. Nissen (personlig kommunikation, 28 februari 2019)[1], Barthelemy et al., (2015)[2] samt A. Nissen (personlig kommunikation, 7 mars 2019)[3]

Åtgärd banbyggnad ballastspår	**Kostnad [kr/m]**
Underhåll	50 - 400[1]
Reinvestering bantyp 1	9 750[2]
Reinvestering bantyp 2, 3, 4 och 5	6 500[2]
Nybyggnation	40 000[3]

Tabell 12 visar kostnader för åtgärder vid ballastfria spår. Underhållskostnaderna i *tabell 12* baseras på Esveld (2001) som återger att underhållskostnaderna är 20 till 30 % lägre för ballastfritt spår jämfört med ballastspår. Kostnaden markerad med (2) är uträknad med en minskning på 20 respektive 30 % av underhållskostnaden från *tabell 11*. Kostnaderna för nybyggnation baseras på Sárik (2018). Sárik menar även att kostnaderna är 1,2 till 3 gånger högre för ballastspår jämfört med ballastfria spår. Kostnaden markerad med (3) är uträknad med dels en 20 % ökning av kostnaden för nybyggnation av ballastspår dels en 300 % ökning av kostnaden för nybyggnation av ballastspår.

Tabell 12. Kostnader för ballastfria spår [kr/m]. Återgiven och sammanställd med tillstånd från A. Nissen (personlig kommunikation, 26 mars 2019)[1] samt uträknade enligt ovan.

Åtgärd Ballastfritt spår	Kostnad [kr/m]
Byta rälen/reinvestering	2 000[1]
Underhåll	43 - 340[2]
Nybyggnation	48 000 - 120 000[3]

Tabell 13 är en sammanställning av rapporten från Barthelemy et al. (2015) och visar reinvesteringskostnad per år för spårväxlar, både med och utan den nya metoden som är beskriven i avsnitt *2.2*. Reinvesteringen uppkommer till 245 spårväxlar per år (Barthelemy et al., 2015), vilket motsvarar en aktuell reinvesteringstakt om 2,2 %. *Tabell 13* visar att den nya metoden är mindre kostsam.

Tabell 13. Kostnad för reinvestering [Mkr/år] för spårväxlar. Återgiven och sammanställd med tillstånd från Barthelemy et al. (2015).

Åtgärd spårväxlar	Kostnad [Mkr/år]
Reinvestering med ny metod	586
Reinvestering utan ny metod	1 100

3.3. Sammanställning och analys av transportinfrastrukturens ekologiska hållbarhet

3.3.1. Vägens energibehov, utsläpp samt återvinningsgrad

Den ekologiska kostnaden kan anses vara en relativt diffus term men har i denna rapport bestämts som konstruktionens energibehov och utsläpp samt återvinningsgrad. Dessa parametrar kan anses ge en bild av hur stor vägens miljöpåverkan är vid underhåll samt bygg och reinvestering.

Av den asfalt som finns i Sverige återvinns från 60 till 70 % för att bli ny asfalt och redan nu cirkulerar en stor del av den asfalt som existerar (Eklöf, 2017). I en intervju med Å. Lindgren (22 mars, 2019) menar hon att återvinningsgraden egentligen är närmare 100 % på grund av det höga ballastvärdet som är i asfalt. Vissa år återvinns över 100 % av asfalten på grund av att tidigare använd asfalt som lagrats har återanvänts. Lindgren berättade vidare att endast ett par procent deponeras. Vid personlig kommunikation med J.E. Lundmark (4 april, 2019) belyser han att Trafikverket inte förbränner någon bitumen vilket innehåller en stor del koldioxid som är bundet i produkten. Lundmark menar att i princip all asfalt återvinns för att producera ny asfalt medan beläggningar med asfalt framställd före år 1975 innehåller tjära i bitumen och transporteras därför till deponi. Å. Lindgren (22 mars, 2019) återger att det tidigare funnits restriktioner kring returasfalt och hur stor del av returasfalten som får blandas in i ny asfalt, en restriktion som nu tagits bort. Detta har enligt Lindgren gjort det enklare för entreprenörerna att själva framställa och utveckla ny hållbar asfalt. Slutligen nämner Lindgren att det finns krav på kvaliteten.

En stor utmaning är att ta fram och använda fossilfria alternativ till bitumen. I övrigt återanvänds asfalten till så pass stor del att den ändå trots innehåll av bitumen kan anses hållbar. Lindgren förklarar att flertalet tester gjorts i diken längs med vägarna vilket resulterat i en slutsats att bitumen inte ger ifrån sig några farliga ämnen.

Kostnaden för väg ekologiskt sett vad gäller energi och utsläpp beräknas med hjälp av Trafikverkets begränsade version av tjänsten Klimatkalkyl. Indatan som användes finns återgiven i *bilaga 5* tillsammans med det fullständiga resultatet som tjänsten gav ut med till exempel redovisade energibehov, utsläpp och saltmängder vid saltning som finns bifogat i *bilaga 6*.

Tabell 14 är det sammanställda beräknade resultatet från Trafikverkets Klimatkalkyl som redovisar mängden CO_2-ekvivalenter, mängden energi som går åt vid underhåll samt vid nybyggnation och reinvestering med en antagen väglängd om en kilometer för fyrfälts motorväg (2+2). Värdet för nybyggnation och reinvestering är baserat på hela vägens livslängd med ett antaget reinvesteringsbehov från Trafikverket.

Tabell 14. Energibehov [GJ] samt utsläpp [ton CO2-ekv] för väg beräknat på en kilometer fyrfälts motorväg. Framtaget med Trafikverkets Klimatkalkyl, fullständigt resultat finns i bilaga 6.

Underhåll	**Energibehov [GJ]**	**Utsläpp [ton CO2 -ekv]**
Fyrfälts motorväg (2+2)	445	11
Nybyggnation och reinvestering	**Energibehov [GJ]**	**Utsläpp [ton CO2 -ekv]**
Fyrfälts motorväg (2+2)	38 123	1 041

3.3.2. Järnvägens energibehov, utsläpp samt återvinnings- och återanvändningsgrad

För att utvärdera hur ekologiskt hållbar järnvägen är, har data om hur återanvändbara samt återvinningsbara komponenterna som bygger upp en järnväg är sammanställts. Data på hur komponenter som går att återanvända/återvinna, hur det återanvänds/återvinns samt hur de hanteras efter att de har återanvänts finns redovisade i *tabell 15* efter en sammanställning från litteraturstudie och intervju.

Järnvägens räl kan återanvändas genom att förflyttas till lägre belastade bantyper och spårväxlar kan återanvändas från bantyp 1, 2 och 3 till bantyp 4 och 5 då dessa bantyper har lägre belastning (Barthelemy et al., 2015). Rälslitage djupare än 0,5 millimeter får återanvändas endast om den för övrigt har enstaka skador som avlägsnas (Gustafsson, 2017). Djupare slitage än 0,5 millimeter kombinerat med omfattande skador får inte återanvändas. Även Å. Lindgren (personlig kommunikation, 22 mars 2019) berättar att räl kan återanvändas vid bantyper med lägre belastning. Vidare påpekar hon att räl inte går till deponi då det är för högt värde på metallskroten. Dessutom poängterar Lindgren att ballast är ett bra material som går att återanvända. Hon förklarar att vid byten av komponenter utförs så kallade ballastrening. Ballastrening innebär att finmaterial i form av slitageprodukter som uppstår från exempelvis kopparledningar, hamnar i banvallen och sorteras bort vilket gör att den rena ballasten fortsatt kan brukas. Lindgren understryker att slitageprodukterna oftast hamnar på deponier.

Då begagnade betongsliprar är känsliga för stötar vid hantering är de inte att föredra vid återanvändning (Gustafsson, 2017). Lindgren förklarar vid intervju (22 mars, 2019) att Trafikverket har försökt krossa betongsliprar för att kunna återanvända betongen i vissa tillämpningar. Detta har visat sig vara problematiskt då armeringen behöver sorteras ut vilket är kostsamt. Lindgren diskuterar även att träsliprar håller på att fasas ut ur den svenska järnvägen och återanvänds därmed inte. Anledningen till att de fasas ut är enligt Lindgren dels att betongsliprar har längre livslängd, dels att träsliprar ofta har impregnerats med kreosot, vilket är ett oönskat och cancerogent ämne. Träsliprar som har impregnerats med kreosot hanteras som farligt avfall (Trafikverket, 2017d).

Tabell 15 är en sammanställning av intervjuer och rapporter från Å. Lindgren (personlig kommunikation, 22 mars 2019), Å. Lindgren (personlig kommunikation, 28 mars 2019), Trafikverket (2017d) samt Barthelemy et al. (2015). *Tabell 15* visar att mer än hälften av järnvägens komponenter går att återanvända inom järnvägen.

Tabell 15. Återanvändning samt återvinning av järnvägens komponenter. Återgiven och sammanställd med tillstånd från Å. Lindgren (personlig kommunikation, 22 mars 2019)[1], Å. Lindgren (personlig kommunikation, 28 mars 2019)[2], Trafikverket (2017d)[3] samt Barthelemy et al. (2015)[4]

Komponent	Återanvändbar	Återanvändningsåtgärd	Övrig Hantering
Räl av typen 60E1	Ja[1]	Förflyttas till bantyp 4 - 5[1]	Återvinns[1]
Träsliper	Nej[2]	-	Farligt avfall[3]
Betongsliper	Nej. Har gjorts försök[2]	-	-
Ballast	Ja[1]	Spolas[1]	Restprodukter som spolas bort hamnar på deponi[1]
Spårväxlar bantyp 1 - 3	Ja[4]	Förflyttas till bantyp 4 - 5[4]	-

För att få en indikation på hur stort energibehovet samt utsläppet är vid underhåll samt reinvestering och nybyggnation har Trafikverkets Klimatkalkyl-program använts. Detta för att kunna utvärdera hur ekologiskt hållbar en järnväg är. Beräkningarna är baserade på ett dubbelspår med längd om en kilometer. *Bilaga 7* redovisar indata som låg till grund för resultatet från Klimatkalkyl. Det fullständiga resultatet från programmet bifogas i *bilaga 8*.

Tabell 16 är det sammanställda beräknade resultatet från Trafikverkets Klimatkalkyl som presenterar mängden utsläpp [ton CO_2-ekvivalenter] samt mängden energi [GJ] som går åt vid underhåll samt vid nybyggnation och reinvestering. Som *tabell 16* visar är energibehovet samt utsläppet lika stort vid underhåll av ballastspår som ballastfritt spår. Värdet för nybyggnation och reinvestering är baserat på hela vägens livslängd med ett antaget reinvesteringsbehov från Trafikverket. Vad gäller nybyggnation och reinvestering är både energibehovet samt utsläppet lägre för ballastspår.

Tabell 16. Energibehov [GJ] samt utsläpp [ton CO_2 -ekv.] för ballastfritt spår och ballastspår beräknat på 1 kilometer dubbelspårig järnväg. Framtagen med tillstånd från Trafikverkets Klimatkalkyl, fullständigt resultat finns i bilaga 8.

Underhåll	**Energibehov [GJ]**	**Utsläpp [ton CO2 -ekv]**
Dubbelspårigt ballastspår	581	9
Dubbelspårigt ballastfritt spår	581	9
Nybyggnation och reinvestering	**Energibehov [GJ]**	**Utsläpp [ton CO2 -ekv]**
Dubbelspårigt ballastspår	34 106	2 377
Dubbelspårigt ballastfritt spår	40 114	3 506

4. Diskussion

I följande avsnitt diskuteras, jämförs samt utvärderas resultatet för att kunna dra en slutastats om vilken av de två transportinfrastrukturerna, väg och järnväg, som är mest hållbar. Diskussionen innefattar följande fem delar: beständighet, ekonomi, ekologi, etik och social hållbarhet samt ett kapitel om användandet av transportinfrastrukturen och dess framtid.

4.1. Beständighet

Den tekniska medellivslängden kan antas vara det bästa måttet på transportinfrastrukturens beständighet. Det är intressant att vägen och järnvägen har liknande tekniska medellivslängder kring 40 till 60 år. Vägens tekniska livslängd visar sig vara längre än den generella uppfattningen, detta då den tekniska medellivslängden inte dimensioneras efter slitlagrets livslängd på 3 till 15 år. Åtgärder i slitlagret visar sig endast vara en underhållsåtgärd som inte påverkar vägens tekniska medellivslängd.

Järnvägens tekniska medellivslängd begränsas till stor del beroende på valet av sliper och ballast. Faktumet att betongsliprar är att föredra ur en beständighetssynpunkt kan bero på att de har en längre teknisk medellivslängd än träsliprar, vilket var väntat, då betong intuitivt är ett mer beständigt material för svenska förhållanden. För att förlänga livslängden ytterligare kan ett alternativ vara att förbättra ballast och sliprar så att de kan vara en del av järnvägen under en längre tid.

Det finns en del osäkerheter kring det ballastfria spårets tekniska medellivslängd då olika källor angivit olika livslängder. Detta kan bero på att ballastfria spår inte används i särskilt stor utsträckning och därför finns det inte någon dokumenterad teknisk medellivslängd utan främst antaganden. Ytterligare en orsak till de olika angivna livslängderna kan vara olika uppfattningar om hur reinvestering och underhåll definieras. Ballastfri järnväg förekommer inte i Sverige idag, men då den har en längre teknisk medellivslängd kan ballastfri järnväg vara att föredra vid byggnation i framtiden.

Som nämns ovan innefattar vägunderhåll byte av slitlager som sker med jämna mellanrum (3 till 15 år) beroende på trafikflöde och krav på maximalt spårdjup. Något som dock kan diskuteras är att det är en väldigt liten del av vägen som faktiskt slits vid spårbildning, trots detta byts hela slitlagret. Ett alternativ för framtiden kan vara att endast byta ut eller fylla i de asfaltsytor där spårbildning uppkommit, istället för att byta hela körbanans slitlager. Dock kan det ifrågasättas om det reparerade slitlagret uppnår beständighet av liknande grad som den resterande vägen. Då slitaget för väg är större i höger körfält där det är mer trafik med fler tunga fordon kan det även diskuteras om det alltid är nödvändigt att byta båda körfältens slitlager. Att inte behöva byta hela vägens slitlager hade minskat bitumenåtgången, dock kan det ifrågasättas om det är mer tidseffektivt och ekonomiskt försvarbart.

Värdena som redovisas i avsnitt *3.1.1.* kring slitage på väg kan vara något missvisande. Detta gäller för maxslitagevärdena i *tabell 5* med ÅDT över 8 000 fordon per dygn, där motorlederna i många fall belastas betydligt mer och dessa vägar har i vissa fall trafikflöden uppemot 30 000 fordon per dygn (Trafikverket, u.å.). Slitaget kan även antas bero på rådande klimatförhållanden, mängd dubbdäck, däckens rotationshastighet och obalanserade däck. Ett extremfall är Essingeleden i Stockholm som trafikeras med uppemot 130 000 fordon per dygn (Trafikverket, u.å.). Slitaget på dessa vägar kan antas vara större än för vägar med trafik närmare 8 000 fordon per dygn och därför kan spårbildningen återgiven i *tabell 5* anses vara

något missvisande. Slitagevärden vid större trafikflöden i Sverige förekommer inte någonstans och redovisas därför inte. Slitaget kan även antas bero på rådande klimatförhållanden, mängd dubbdäck, däckens rotationshastighet och obalanserade däck.

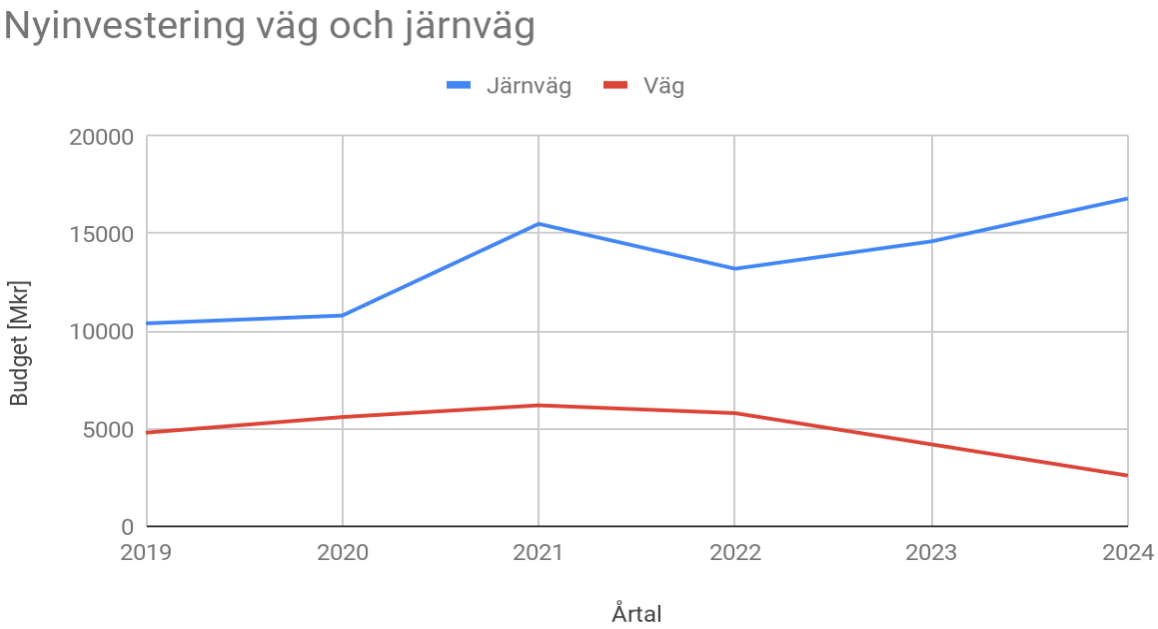
4.2. Ekonomi

Ekonomin kan anses vara en bidragande faktor som påverkar transportinfrastrukturens utveckling och beständighet. Vid intervju med A. Nissen (7 mars, 2019) nämner han ett flertal gånger att en bristfällig budget är den största anledningen till att järnvägens skick inte alltid når upp till samhällets förväntan. I många fall är det inte Trafikverket som bestämmer budgeten utan den begränsas snarare av riksdagen.

Den största och mest intressanta kostnaden vid jämförelse av väg och järnväg är kostnaden för nybyggnation som varierar. I sammanställningen anges diverse kostnadsförslag för motorväg respektive mötesfri väg samt för järnväg med och utan ballast. Som *tabell 9* och *tabell 10* i avsnitt *3.2.1.* visar, varierar kostnaden för väg mellan 17 000 till 41 000 kronor per meter för de två olika vägtyperna. Järnvägens nybyggnationskostnad beror till större del på valet mellan ballastspår och ballastfritt spår. Kostnaden för ballastspår som redovisas i avsnitt *3.2.2.* är 40 000 kronor per meter medan ballastfritt spårs varierar mellan 48 000 till 120 000 kronor per meter. Skillnaderna beror på de olika förutsättningarna för de två infrastrukturobjekten. Exempelvis beror kostnaden på antal broar, antal tunnlar samt rådande markförhållanden. Även vilken typ av väg eller järnväg spelar stor roll. Järnvägen kräver ett relativt flackt underlag jämfört med vägen samtidigt som kurvradien för järnvägen behöver vara betydligt större, vilket kan vara faktorer till varför järnvägen är dyrare att anlägga. Materialkostnaden kan vara en ytterligare ingående parameter, då järnvägen har en mer komplex uppbyggnad med fler och dyrare komponenter.

Ballastfritt spår kostar betydligt mer att anlägga samtidigt som underhålls- och reinvesteringskostnaderna är lägre än för ballastspår. Detta ska förhoppningsvis leda till att underhålls- och reinvesteringskostnaderna väger upp för de höga nybyggnationskostnaderna. Värt att nämna är att vid järnvägsbyggnation står el- och signalsystemen som leder de elektrifierade tågen för ytterligare nybyggnationskostnader. Dessa kostnader redovisas inte i denna rapport.

Enligt *figur 8* som är en sammanställning av *tabell 1* kan Trafikverkets budget för Sveriges transportinfrastruktur mellan åren 2019 och 2024 avläsas. Här åskådliggörs det tydligt att järnväg prioriteras före väg vid nyinvestering. Under de kommande åren har järnvägen en budget som är ungefär dubbelt så stor i förhållande till vägens budget. Redan inom loppet av fem år budgeteras järnvägen till ungefär åtta gånger av vägens budget. Detta indikerar en tydlig målsättning som innebär att regeringen vill prioritera järnväg före väg. En orsak till att mer ekonomiska medel budgeteras till järnvägen kan vara att den underprioriterats under en längre tid. Reinvesteringstakten för spårbyten idag och fram till år 2026 kommer endast upp i 1,2 %, se avsnitt *3.2.2*. Detta täcker inte reinvesteringsbehovet som är 2 % och detta är en orsak till att järnvägen behöver rustas upp. En annan orsak till att det nyinvesteras mer i järnvägen kan vara dess stora kapacitet sett till den minimala miljöpåverkan och låga energiåtgången.



Figur 8. Visualisering för budgettrenden för nyinvestering av väg och järnväg [Mkr] mellan åren 2019 och 2024. Sammanställd från tabell 1.

Vidare kan en större budget till järnvägen leda till att reinvesteringstakten kommer ikapp behovet, som i sin tur leder till att järnvägen kan moderniseras. En modernare järnväg bidrar till att underhållsbehovet (och därmed kostnaderna) minskar då de nya järnvägskomponenterna har bättre hållbarhet än de gamla.

När större budget prioriteras på järnvägen kan det diskuteras om det i sin tur kommer påverka vägens potential. Vid intervju med J.E. Lundmark (4 april, 2019) menar han att det statliga vägnätet nödvändigtvis inte behöver bli längre men däremot förbättras och effektiviseras. Budgeten för att underhålla det vägnät Sverige har idag bör därför inte påverkas av den stora budgetsatsningen på järnväg.

Sverige budgeterade år 2016 mindre för transportinfrastrukturen än många av de övriga europeiska länderna. Det kan till exempel från *figur 5* i avsnitt *2.2.* utläsas att Norge var ledande med cirka 2,3 % av sitt BNP, medan Sverige endast budgeterade transportinfrastrukturen till cirka 0,8 % av sitt BNP. Intuitivt är att många av de länder som satsat stora summor ekonomiska resurser på transportinfrastruktur även har väl fungerande sådana, medan Sveriges bristfälliga budget skapat en bristfällig infrastruktur, där det syns tydligast på järnvägen som är i behov av upprustning.

4.3. Ekologi

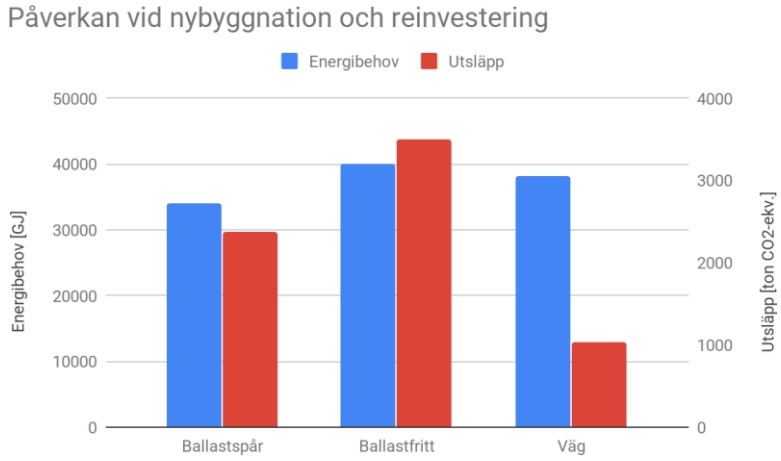
Sverige med hjälp av bland annat Trafikverket strävar mot ett noll nettoutsläpp år 2045. För att uppnå detta mål strävar Trafikverket mot en så liten miljöpåverkan som möjligt. Trafikverket arbetar aktivt med fyrstegsprincipen, mot majoriteten av Sveriges miljömål både inom området väg och järnväg samt mot en fossilfri transportsektor. Frågor som ekologisk hållbarhet är komplexa och berör många delar i samhället, men uppfattningen är att Trafikverket har tagit ett steg i rätt riktning.

En viktig del av ekologisk hållbarhet är återanvändning och återvinning. Båda infrastrukturobjekten kan anses vara mycket hållbara då många komponenter återanvänds och återvinns. Överbyggnaden för både väg och järnväg är återanvändningsbar i hög grad. Rälen inom järnvägen återvinns och återanvänds då värdet i stålet är för stort för att deponera. Sliprar var egentligen det enda som var problematiskt vad gäller återvinning och återanvändning av järnvägen. Träsliprar kan likväl anses vara hållbart trots att de impregnerats med farliga ämnen så länge människor inte är i direkt kontakt med dem, då trä är en förnyelsebar resurs. Mest troligt används betongsliprar på grund av deras högre livslängd, även om det är problematiskt att de inte kan återanvändas.

Det var oväntat att asfalten kunde återvinnas till nära 100 %, där endast några få procent går till deponi, vilket dock med största sannolikhet utgörs av bitumen. Trots denna höga återvinningsgrad för asfalt diskuteras det ofta om grön asfalt och bioasfalt som alternativ till den traditionella asfalten. Detta är något som är viktigt för att minska utsläpp och energiåtgång vid vägbyggnation. För att öka användningen av grön asfalt och bioasfalt kan en åtgärd vara politiska styrmedel. Detta då alternativ till traditionell asfalt inte förekommer i så stor utsträckning idag. Trots det låga nyttjandet av alternativ till traditionell asfalt är huvudsaken att det finns en målsättning att ställa om mot mer hållbara lösningar inom vägsektorn. Fler hållbara alternativ till komponenter som är utsläppsbenägna och energikrävande bör även eftersträvas inom järnvägssektorn.

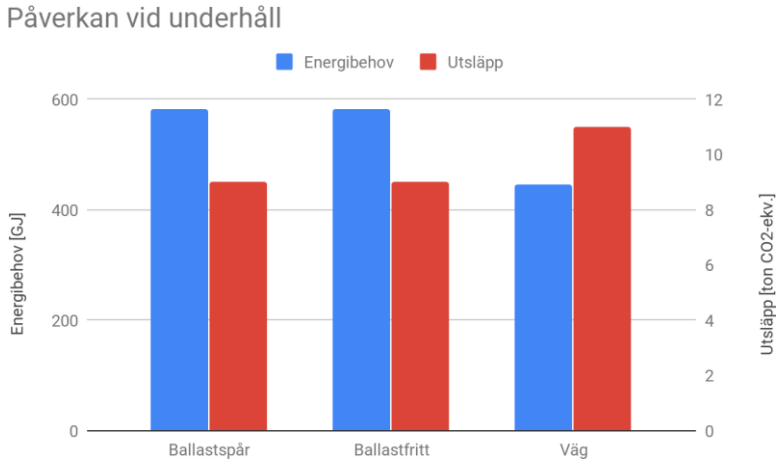
Redovisade utsläpp och energibehov, *figur 9* och *figur 10*, beräknade med Klimatkalkyl kan innehålla en viss osäkerhet. Detta för att det finns bristande kunskap kring användandet av verktyget. Eventuellt hade bättre och noggrannare resultat kunnat uppnås om mer kunskap kring programmet hade innehafts. Detta bidrar till att Klimatkalkyl endast använts i syfte att få en generell uppfattning om infrastrukturobjektens energiåtgång och koldioxidutsläpp vid nybyggnation och reinvestering samt underhåll av väg respektive järnväg.

Resultatet från avsnitt *3.* jämförs och sammanställs för att presenteras i *figur 9*. *Figur 9* visar en jämförelse av energibehov [GJ] samt utsläpp [ton CO_2-ekv.] mellan ballastspår, ballastfritt spår samt väg vid nybyggnation och reinvestering och är baserad på Klimatkalkyl. Som *figur 9* visar är både utsläppet samt energibehovet störst vid ballastfria spår. Väg har lägst koldioxidutsläpp. Det ballastfria spåret vars utsläpp är störst kan antas komma från de stora mängder betong som behövs vid anläggning av ballastfritt spår. Vägens utsläpp beror med största sannolikhet på asfalten som är framtagen med hjälp av olja som är mycket utsläppsbenäget. Orsaken till att ballastfritt spår har mycket större utsläpp än vägen beror mest troligt på att det krävs betydligt mycket mer betong än bitumen vid anläggning av samma sträcka då asfalten endast består av 4 till 6 % bitumen.



Figur 9. Jämförelse av energipåverkan vid nybyggnation och reinvestering [GJ] samt utsläpp [ton CO_2-ekv.] för ballastspår, ballastfritt spår samt väg (2+2). Baserat på jämförelse av tabell 14 och tabell 16.

Figur 10 visar en jämförelse av energibehov [GJ] samt utsläpp [ton CO_2-ekv.] mellan ballastspår, ballastfria spår samt väg (2+2) vid underhåll och är baserat på Klimatkalkyl. Som *figur 10* visar är utsläppet vid underhåll störst för väg. Mest energi går åt vid underhåll av både ballastspår samt ballastfria spår medan väg står för det lägsta energibehovet. Troligtvis beror asfaltens höga utsläppsmängder på att underhåll av väg ofta innebär nytt slitlager som i sin tur redan innehåller olja som genererar stora mängder koldioxidutsläpp.



Figur 10. Jämförelse av energipåverkan vid reinvestering, energibehov [GJ/år] samt utsläpp [ton CO_2-ekv.] för ballastspår, ballastfritt spår samt väg (2+2). Baserat på jämförelse av tabell 14 och tabell 16.

4.4. Etik och social hållbarhet

Social hållbarhet och etiska aspekter går hand i hand och med respekt för andras integritet och autonomi tas det även hänsyn till den sociala hållbarheten.

Etiska aspekter som kan tas i beaktande i denna rapport är bland annat kopplade till de ekonomiska kostnaderna vad gäller nybyggnation, reinvestering samt underhåll av väg och järnväg. Då budgeten för infrastrukturen inte räcker till kan olyckor relaterade till dåligt underhållna vägar och järnvägar uppstå. Detta kan leda till att människor och djur skadas. Samtidigt som infrastrukturens budget underprioriteras har någon annan budget, exempelvis sjukvårdens med största sannolikhet prioriterats, som även den behöver ekonomiska resurser.

Vid nybyggnation av väg och järnväg sker ett stort intrång på naturen. Detta påverkar i stor utsträckning människor, djur och ekosystemtjänster. Exempel på problem som kan uppstå är att passagen för djur och människor försvåras, buller som påverkar hälsan negativt, skogsavverkning vilket påverkar djurliv och rekreationsmöjligheter. Allt detta måste tas i beaktande och dess för och nackdelar bör vägas emot varandra vid nybyggnation för att ta hänsyn till etiska aspekter. Etiska aspekter blir även relevanta, då det generellt uppfattas som att färdas via järnväg är mer ekologiskt hållbart än via väg då det inte drivs av fossila bränslen utan går på elektricitet. Samtidigt är frågan hur elektriciteten som driver tågen är producerad och huruvida den räknas som förnyelsebar eller inte.

Etiska aspekter har även tagits i beaktande vid intervju med anställda på Trafikverket. Intervjuerna har skett i samtycke med de anställda och frågorna har skickats i förväg för att minska risken för att känsliga och besvärliga situationer skulle uppstå under intervjun. Vid intervju med människor kan det uppstå missförstånd samt feltolkningar vilket har försökts minimeras genom att skicka den färdigställda rapporten till dem för att få deras godkännande.

Social hållbarhet är en viktig aspekt vad gäller transportinfrastruktur men utreds och utvärderas inte något större i denna rapport. Emellertid är det viktigt att förstå att en fungerande infrastruktur bidrar till ett fungerade samhälle där människan kan arbeta på en plats och bo på en annan. Den bör även bidra med trygghet, framkomlighet samt förmånen att alla ska kunna nyttja infrastrukturen oavsett ekonomisk och social bakgrund. För att detta ska uppnås behövs en fungerande fysisk infrastruktur.

4.5. Användandet av transportinfrastrukturen och dess framtid

Framtidens diskussioner kring transportinfrastrukturens användande innefattar i stor utsträckning väg och järnväg. Mobilitet är ett begrepp som ständigt nämns och är en viktig del av framtidens samhälle. Om transportinfrastrukturen är mer punktlig, turtät och bekväm bidrar detta till att människor väljer att bo utanför städerna. Att bo utanför städerna är något som bör eftersträvas då ett befolkningstätt samhälle är mer sårbart vid olika kriser. Samtidigt som samhället blir mindre sårbart vid kriser, kan det leda till mer transporter vilket kan påverka miljön om inte rätt energiförsörjning används till transporterna. I en befolkningstät stad där bilanvändning är hög blir utsläppen väldigt koncentrerade vilket bidrar till en negativ hälsoeffekt.

Som nämnts tidigare i rapporten står användandet av väg för 95 % av Sveriges inrikestransportväxthusgasutsläpp medan järnväg endast står för 0,3 % av dessa. Detta bör tas i beaktande, även om denna rapport har i syfte att endast utvärdera den ekologiska hållbarheten vid fysisk uppbyggnad, då något som är mer ekologiskt att bygga kan ha en stor ekologisk påverkan vid användandet. Förhoppningsvis kan vägens stora bidrag till växthusgasutsläpp minska då elbilar blir allt vanligare och denna utveckling kan antas fortgå en tid framöver då bland annat allt fler politiker och regeringar förespråkar fossilfria bränslen i trafiken. Samtidigt som elbilar blir allt mer populärt visar studier från Trafikverket att persontransport via tåg förväntas öka med 1,7 % per år vilket är betydligt mer än bilens förväntade årliga tillväxt på 1 %. Värt att poängtera är att elbilarnas elförsörjning bör ske med förnyelsebara resurser då elektriciteten annars inte kan anses vara bättre än fossila bränslen.

I avsnitt *2.4.* bedöms såväl godstransporten som persontrafiken öka mellan år 2012 till 2040 via järnväg. Detta är bra att ta i beaktande vad gäller att mer MBrt kommer belasta järnvägen i framtiden, vilket kan bidra till att den tekniska medellivslängden med största sannolikhet kommer bli kortare då slitaget ökar. Samtidigt berättade A. Nissen vid intervju (22 mars, 2019) att trafikering av järnvägen är bättre än trafikering av väg då det krävs mindre energi vid nyttjande samt att järnvägen inte är beroende av fossila bränslen.

Idag används vägen betydligt mer än järnvägen. Orsaken till att färre transporter, både gods samt personer går via järnvägen kan bero på att tåget inte trafikerar spåren med en tillräckligt hög turtäthet. Ofta behövs även ytterligare en transport för att nå slutmålet då järnvägen inte kan nå alla platser. Tätare turavgångar samt färre förseningar är att föredra för att öka nyttjandet av järnvägen till den kapacitet den har.

För att nå Sveriges mål om noll nettoutsläpp år 2045 kan ett steg på vägen vara politiska styrmedel. Dessa styrmedel bör förespråka och göra det möjligt att använda miljövänligare material som grön betong, grön asfalt eller bioasfalt. Vid fokus på miljövänliga och hållbara komponenter bör bidrag ges till entreprenörer alternativt att företagen blir miljöcertifierade.

Infrastrukturen kommer behöva finnas i flera år från det att den blivit konstruerad. Det innebär att den kommer få utstå en mängd klimatförändringar och olyckor med varierande omfattning. Därför är det viktigt att infrastrukturen är resilient och redundant.

5. Slutsats

Efter att resultaten diskuterats kunde slutsatsen dras att den fysiska uppbyggnaden hos väg är något mer hållbar än järnväg gällande ett ekonomiskt och ekologiskt perspektiv. Detta baserades bland annat på att kostnaden vid nybyggnation av motorväg och motorled är lägre än för järnväg, samtidigt som vägen upprätthåller sitt syfte, vilket var ett krav enligt den bestämda definitionen av ekonomisk hållbarhet.

Den ekologiska slutsatsen baserades bland annat på att utsläppen vid nybyggnation var betydligt lägre för väg än för järnväg, dock blir utsläppet vid underhåll av väg större. Skillnaden i utsläpp för underhållet kan dock anses försumbart då den i förhållande till nybyggnation och reinvestering inte påverkar den totala utsläppsmängden. En bidragande faktor till slutsatsen om att väg är mer ekologiskt hållbart är att asfalten kan återvinnas till närmare 100 %. En annan bidragande faktor var att det forskas på alternativa bindemedel till bitumen. Vidare forskas det även kring grön asfalt, som framställs med lägre temperaturer vilket kan minska energibehovet vid produktion. Detta är något som ligger i linje med rapportens definition om vad som kan anses vara ekologiskt hållbart.

Forskning på alternativa material inom järnvägen kan anses vara svårare då det inte finns många alternativa material till järnvägens komponenter. Något som mest troligt går att utveckla ytterligare är betongen vid ballastfria spår som genererar väldigt stora utsläpp och har ett stort energibehov vid nybyggnation och reinvestering. Järnvägens styrkor var möjligheten till 20 års längre teknisk medellivslängd vid anläggning av ballastfritt spår samt ballastspårets lägre energibehov sett till vägens vid nybyggnation och reinvestering.

Trots järnvägens fördelar med längre teknisk livslängd och lägre utsläpp och energibehov, hade vägen ett antal styrkor som kan anses väga tyngre än järnvägens fördelar. Styrkorna var lägre kostnad vid anläggning, lägre koldioxidutsläpp vid anläggning samt potentialen att ytterligare kunna optimera materialen, exempelvis genom alternativa bindemedel. Med hjälp av detta kunde tidigare nämnd slutsats dras att den ekologiska och ekonomiska hållbarheten hos den fysiska transportinfrastrukturen är något bättre för väg än järnväg.

Ovanstående slutsats kan ifrågasättas vid hänsyn till transportinfrastrukturens operationsfas där växthusgasutsläppen vid användandet av väg är markant större än vid användandet järnväg. Detta då järnvägen i de flesta fall inte kräver fossila bränslen. Användandet av järnväg har även fördelar som sin stora kapacitet för transport och sin tidseffektivitet vid längre färdsträckor. Vidare studier bör därför utvärdera påverkan vid användandet av de olika transportinfrastrukturerna och väga samman dem med den fysiska hållbarheten. Studierna kan även inkludera och värdesätta den sociala hållbarheten och väga samman den med den ekonomiska och ekologiska hållbarheten. Slutligen kan fortsatta studier inkludera intervjuer med entreprenörer och inte bara med beställare (Trafikverket) för att ytterligare få perspektiv och inblick.

Efter att ha studerat de två transportinfrastrukturerna kan ytterligare en slutsats dras till att Sverige som land bör investera med en större budget i den hårda infrastrukturen för att upprätthålla en fortsatt hållbar utveckling och användning av transportinfrastrukturen. För att uppnå detta bör Sverige överväga att investera en större del av BNP inom transportinfrastrukturen vilket andra länder i Europa gör.

6. Källförteckning

Agardh, S., Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. Stockholm: Liber.

Ahlberg, S.O. (2016). *VÄGAR: HISTORIA-TEKNIK-MATERIAL*. Stockholm: Balkong Förlag.

Alm, L.O., Isacsson, U., Magnusson, R. (2010). *Introduktion till ämnet Vägteknik, KTH* 1(167).

Avramovic, N. (2010). *Comparison of ballast and ballastless tracks* (Master Thesis, Graz University of Technology, Institute for Railway Engineering and Transport Economy). Hämtad från https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a78753dad8&location=browse&fbclid=IwAR1FSE0rE26Jmj3IjJObYX7zsUFOOvSf_vxeNe3X6O6RuYvU1KdDqNOpZYU

Balaguera, A., Carvajal, G. I., Albertí, J., Fullana-i-Palmer, P. (2018). Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, *132*(January), 37–48. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.003

Barthelemy, S., Dalin, T., Nissen, A., Schelin, B., Spännar, J., Taivalkosk, E. (2015). *Underhålls- och reinvesteringsbehov 2015-2026: Banöverbyggnad.* Opublicerat manuskript.

Eklöf, H. (2017). *Trafikverkets Miljörapport 2017. (TRV 2018/45528).* Hämtad från https://Trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/46633/Ineko.Product.RelatedFiles/2018_144_Trafikverkets_miljorapport_2017.pdf

Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track: Second Edition*. Delft: MRT-Productions.

Faith-Ell, C. (2005). *The application of environmental requirements in procurement of road maintenance in Sweden*. (PhD Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Land and Water Resources Engineering). Hämtad från https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:7160/FULLTEXT01.pdf

Folkhälsomyndigheten. (2018). *Vad är social hållbarhet för oss?* Hämtad från https://www.folkhalsomyndigheten.se/motesplats-social-hallbarhet/social-hallbarhet/

Funk, A.K. (2017). *Transport infrastructure investments in Switzerland.* Hämtad från http://www.euroconstruct.org/jart/prj3/wifo/data/uploads/euroconstruct/blog/2017_01_ECblog_switzerland.pdf

Gustafsson, P. (2017). *Spårkomponenter för LKAB:s bangårdar: Anvisning vid upprustning och nybyggnation av järnvägsspår.* (Teknisk Anvisning, 1500.350.001). LKAB. Hämtad från https://www.lkab.com/sv/SysSiteAssets/documents/leverantor/sv/styrdokument/lkt/1500-gemensamt/1500.350/lkt-1500.350.001-sparkomponenter-for-lkabs-bangardar.pdf

Gröndahl, F., Svanström, M.(2010). *Hållbar utveckling - en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare.* Stockholm: Liber AB

Hammar, A. (2015). *Spårkomponenter Sliper och befästning*. (TDOK, 2015:0052). Trafikverket. Hämtad från https://www.me.se/globalassets/medlemsstod-media/teknik-och-miljo/arbetsmiljo/rad-sparkomponenter-sliper-och-befastning.pdf

Hållbar utveckling. (u.å.). I Nationalencyklopedin. Hämtad 2019-02-07 från https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/h%C3%A5llbar-utveckling

Infrastruktur. (u.å.). I Nationalencyklopedin. Hämtad 2019-02-07 från http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/infrastruktur

Innotrack. (2010). *Concluding Technical Report.* Intellecta Infolog. Hämtad från http://www.charmec.chalmers.se/innotrack/INNOTRACK_Concl%20Techn_Report_Lowres.pdf

Ivarsson, E; Nilsson, C. (2017). *Klimatpåverkan från höghastighetsjärnväg: Sträckorna Järna-Göteborg och Jönköping-Lund* (2017:162). Trafikverket. Hämtad från https://Trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/31397/Ineko.Product.RelatedFiles/2017_162_Klimatpaverkan_fran_hoghastighetsjarnvag_strackorna_Jarna_Goteborg_och_Jonkoping_Lund.pdf?fbclid=IwAR3Egk4rAHVE_mkF4zXuO6b0ro3j6d7emalVKiJ6n5tDMF8t8fn5zoicau4

Järnväg.net. (u.å.). *Banguiden.* Hämtad från http://www.jarnvag.net/banguide/spar

Kristensson, J. (2018). *Växelfelen blir allt fler: Så ska de bekämpas.* Hämtad från https://www.nyteknik.se/fordon/vaxelfelen-blir-allt-fler-sa-ska-de-bekampas-6918447

Mishra, G. (2013). *What is Green Concrete?* Hämtad från https://theconstructor.org/concrete/green-concrete/5566/

NCC. (2019). *NCC Green Asphalt® - en miljövänlig lågtempererad varmasfalt*. Hämtad från https://www.ncc.se/vart-erbjudande/asfalt/asfaltprodukter/gron-asfalt/

Norrlander, P. (2012). *Alternativa asfaltbeläggningar: Möjligheten att använda icke petroleumbaserade bindemedel.* (Examensarbete, Uppsala universitet, Institutionen för teknikvetenskaper, Byggteknik). Hämtad från http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:578266/FULLTEXT01.pdf

Proposition 2018 /19:1. *Budgetpropositionen 2019.* Hämtad från https://www.regeringen.se/4ac33b/contentassets/d13d35490a9f470a87b885188587b5ae/budgetpropositionen-for-2019-hela-dokumentet-prop.-2018191.pdf

Sárik, V. (2018). *Decision-making model for track system of high-speed rail lines: Ballasted track, ballastless track or both?* (Master thesis, KTH Royal Institute of Technology, School of Architecture and Built Environment). Hämtad från http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1198113/FULLTEXT01.pdf

Saxton, B. (2016). *Godstransporter i Sverige: En nulägesanalys.* (Rapport 2016:7). Trafikanalys. Hämtad från https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2016/rapport-2016_7_godstransporter-i-sverige---en-nulagesanalys.pdf

Svensson, S. (2003). *Grön asfalt och NCC: rätt tillväxtstrategi för en asfaltproducent?* (Examensarbete, SLU Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning). Hämtad från https://stud.epsilon.slu.se/11541/1/svensson_s_171003.pdf

Statistiska centralbyrån. (2018a). *Sveriges import.* Hämtad från https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/samhallets-ekonomi/sveriges-import/

Statistiska centralbyrån. (2018b). *Sveriges export.* Hämtad från https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/samhallets-ekonomi/sveriges-export/

Sveriges Television. (2019). *Uppdrag Granskning - Järnvägens dödsfällor*. [Tv-program]. Göteborg: Sveriges Television

Trafikverket. (2011). *Underhållsstandard belagd väg 2011*. Hämtad från https://Trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10756/RelatedFiles/2012_074_Underhallsstandard_belagd_vag_2011.pdf

Trafikverket. (2015). *The Swedish Transport Administration: Annual Report 2015.* (2016:054) Hämtad från https://Trafikverket.ineko.se/Files/en-US/17478/Ineko.Product.RelatedFiles/2016_054_Trafikverkets_arsredovisning_2016_engelsk.pdf

Trafikverket. (2016). *Underhåll av väg och järnväg*. Hämtad från https://www.Trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/

Trafikverket. (2017a). *Trafikverkets Årsredovisning 2017.* Hämtad från https://Trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/45183/Ineko.Product.RelatedFiles/2018_085_Trafikverkets_arsredovisning_2017.pdf

Trafikverket. (2017b). *Sveriges vägnät*. Hämtad från https://www.Trafikverket.se/resa-och-trafik/vag/Sveriges-vagnat/

Trafikverket. (2017c, 31 augusti). *Förslag till nationell plan för transportsystemet 2018-2029 Trafikverket.* [Videofil]. Hämtad från https://www.youtube.com/watch?v=TRdIRw4ux10

Trafikverket. (2017d). *Uppdragsbeskrivning för destruktion av spårodugliga träsliprar*. Hämtad från https://www.Trafikverket.se/contentassets/86abd40e3c884d3bacc83813e74a8022/150196_uppdragsbeskrivning_destruktion_av_trasliprar_tekniska_verken_kiruna_2017_05_11.pdf

Trafikverket. (2018a). *Trafikverkets verksamhetsplan 2018-2020.* (TRV 2017/35522). Hämtad från https://www.Trafikverket.se/contentassets/442e0ad2c9e749aa832ae0c0f612dd15/vp_2018-2020_med_bilagor.pdf

Trafikverket. (2018b). *Fyrstegsprincipen.* Hämtad från https://www.Trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/fyrstegsprincipen/

Trafikverket. (2018c). *Klimatkalkyl- infrastrukturhållningens energianvändning och klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv.* (TDOK 2015:0007).

Trafikverket. (2019a). *Trafikverkets genomförandeplan för åren 2019-2024.* (TRV2019/20005). Hämtad från https://Trafikverket.ineko.se/Files/en-US/58287/Ineko.Product.RelatedFiles/2019_029_Trafikverkets_genomforandeplan_for_aren_2019_2024.pdf

Trafikverket. (2019b). *Så sköter vi vägar*. Hämtad från https://www.Trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-vagar/

Trafikverket. (2019c). *Tjällossning, tjälskador och potthål*. Hämtad från https://www.Trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-vagar/Underhall-av-belagda-vagar-/tjallossning-tjalskador-och-potthal/

Trafikverket. (2019d). *Medfinansiering.* Hämtad från https://www.Trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/finansiering/Medfinansiering/

Trafikverket. (2019e). *Finansiering.* Hämtad från https://www.Trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/finansiering/

Trafikverket. (2019f). *Förskottering.* Hämtad från https://www.Trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/finansiering/Forskottering/

Trafikverket. (u.å.). *PMSV3 - Information om belagda vägar.* Hämtad från *https://pmsv3.Trafikverket.se/*

Vadeby, A., Lundberg, T., Gustafsson, S., Ekström, C., Andrén, P. (2016). *Säker framkomlighet: Spårutveckling på mitträfade, mötesfria och riktningsseparerade vägar*. Hämtad från http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:931316/FULLTEXT01.pdf

Vägverket. (2004). *Handbok för återvinning av asfalt.* (Publikation 2004:91). Hämtad från https://Trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10591/RelatedFiles/2004_91_handbok_for_atervinning_av_asfalt.pd

7. Bilagor

Bilaga 1 - Intervjufrågor till Arne Nissen, spårtekniker på Trafikverket

Generella frågor

1. När ni bygger en järnväg där gods fraktas, hur länge räknar ni med att den är funktionell? Finns det någon medellivslängd? Teknisk och ekonomisk.
2. Har ni data på hur mycket kostar det att lägga till exempel 5 kilometer järnväg? Både för nybyggnation samt renovering.
3. Hur mycket kostar det att hålla järnvägen funktionell per år?
   Vad tror ni det kommer kosta i framtiden?
4. Finns någon data på hur mycket järnvägen slits då X kg gods transporteras?
   Beror det på hastighet eller vikt eller båda? Fler faktorer?
5. Vilka anlitar ni för reparation, underhåll och anläggning av järnväg?
6. I rapporten ser vi att det är ganska lite av objekten som faktiskt byts ut, sett till behovet. Varför då? Beror det på: Politik, ekonomi, bemanning/kunskap, framtidsvisioner, andra faktorer?
7. Vilka utmaningar stöter ni på vad gäller klimat och hållbarhet?
8. Hur arbetar ni för att bli mer hållbara? Vad definierar ni som hållbart? Förhåller ni er till den nationella transportplanen?

Specifika frågor

1. Är det okej att vi använder oss av fakta och diagram från rapporten? Varför publicerades inte rapporten?
2. Skarvfritt spår, vad innebär det och hur tillverkas det?
   Är detta ett bra framtida val av räl?
3. Vad är skillnaden på reinvesteringsbehov och underhållsbehov?
4. Vilken rälsvikt är det vanligast att man bygger med idag? Har ni börjat ta ballastfria spår i bruk? För och nackdelar enligt er?
5. Kan det antas att de verkliga livslängderna kommer bli kortare än de beräknade då rapporten endast kollat på ålder, belastning och ingående komponenter?
6. Ingår alla tänkta kostnader vid spårbyteskostnaden på 6500 kr/spårmeter?

Avslutande fråga

1. Vilken roll har järnvägen i framtiden enligt er uppfattning?
   Vad är efterfrågan hos allmänheten? Hur förändras efterfrågan?
   Kommer det bli ett större behov av höghastighetståg?

Bilaga 2 - Intervjufrågor till Åsa Lindgren, projektledare med inriktning på hållbarhetsfrågor på Trafikverket

1. Vad definierar ni på Trafikverket som hållbart?
2. Ställer ni krav på era entreprenörer? Exempelvis om att de ska köra på förnyelsebar energi?
3. Vilka utmaningar stöter ni på vad gäller klimat och hållbarhet?
4. Återvinns materialet om det inte kan återanvändas? Hur mycket återanvänds och återvinns i så fall?
5. Vad har nedbrytningen av materialen som bygger upp en väg/järnvägen ämnen för konsekvenser? Exempelvis hur bitumen påverkar omkringliggande natur. Hur hanteras detta och hur arbetar ni för att skydda djur, natur och vattendrag från till exempel gifter och metaller (exempelvis. stål från rälen) som finns i de olika materialen?
6. Vilken roll tror ni järnvägen samt vägen har i framtiden med hänsyn till godstransport? Vi ser i den nationella planen att mest pengar läggs på järnvägen (nästan dubbelt så mycket som på vägen) när det kommer till utveckling av statens infrastruktur, är detta bara för att järnvägen ska komma upp i samma standard som vägen har nu, eller är det för att ni tror att järnvägen är Sveriges framtida sätt att transportera sig?
7. Vilka framtida hållbarhetsprojekt planerar ni för inom väg/järnväg?
8. Finns det några rapporter vi skulle kunna få ta del av som svarar på dessa frågor?

Bilaga 3 - Intervjufrågor med Jan-Erik Lundmark, funktionsansvarig och delförvaltningsledare inom området väg på Trafikverket

1. När ni bygger en väg, hur länge räknar ni med att den är funktionell? Finns det någon teknisk medellivslängd? Finns det någon ekonomisk medellivslängd? Finns det någon speciell komponent som begränsar livslängden? Exempelvis är det asfalten eller basen?
2. Hur definierar ni reinvestering, investering samt underhåll? Inom järnvägen används dessa begrepp, ni kanske har andra begrepp?
3. Har ni data på hur mycket det kostar det att anlägga väg? Exempelvis något meterpris eller liknande? Både för nybyggnation, reinvestering och underhåll.
4. Hur mycket kostar det att hålla vägen funktionell per år? Vad tror ni det kommer kosta i framtiden?
5. Finns någon data på hur mycket vägen slits då X kg gods transporteras? Beror det på hastighet eller vikt eller båda? Fler faktorer?
6. Vilka är de vanligaste underhållsåtgärder?
7. Vilka utmaningar stöter ni på vad gäller klimat och hållbarhet?
8. Hur arbetar ni för att bli mer hållbara? Vad definierar ni som hållbart? Förhåller ni er till den nationella transportplanen?
9. Hur mycket reinvesteras varje år och hur mycket skulle vilja reinvestera?
10. Är det okej att vi använder oss av era svar i vår rapport?

Bilaga 4 - Definitioner av ekologisk hållbarhet

Ekologisk hållbarhet definierad av SABO (u.å.):
“Ekologisk hållbarhet innebär att miljöbelastningen av byggande och boende minimeras. Det förutsätter dels att klimat- och miljöbelastningen minskas, dels att riskerna som följer av den skada som redan skett – som översvämningar, extrem värme, kyla och stormar – hanteras.”

Ekologisk hållbarhet definierad av Högskolan i Gävle (2018):

- att långsiktigt bevara vattnens, jordens och ekosystemets produktionsförmåga
- att minska påverkan på naturen och människans hälsa till en nivå som naturen och människan ”klarar av”
- att långsiktig hållbarhet är utgångspunkten när det gäller hanteringen av produkter, produktion, resurser samt klimat- och miljöpåverkan.

Brundtlandrapporten från 1987 definieras enligt följande: “en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov” (Nationalencyklopedin, u.å.).

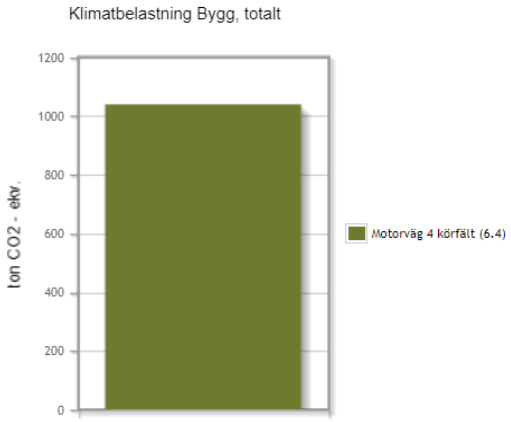
Bilaga 5 - Indata till verktyget Klimatkalkyl från Trafikverket, Väg

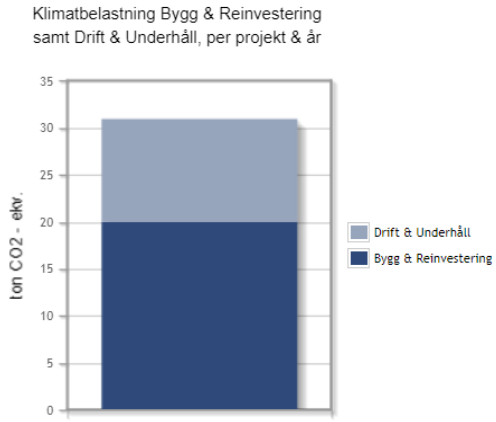
Kalkylmapp		Klimatkalkyl	
Kontaktperson	Internet user	Kalkylnamn	Bilaga 2
Namn kalkylmapp	Bilaga 2	Skede	Åtgärdsvalsstudie
Objektnr	1	Investeringskostnad	
Objektnamn		Prisnivå	
Åtgärdsnr	1	Beskrivning	
Åtgärdsnamn		Modellversion	Version 6.1
Ärendenr	1	Status	Arbetsversion
Beskrivning		Underhållsdistrikt	Väst

Typåtgärd - Bygg och Reinvestering	Namntillägg	Mängd	Enhet
Motorväg 4 körfält (6.4)		1	km

Bilaga 6 - Resultat från verktyget Klimatkalkyl från Trafikverket, Väg

Visa/dölj grafer





Ingående objekt	Inom intervall		Klimat (ton CO2-ekv.)			Energi (GJ)		
	Mängd	Enhet	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Drift & Underhåll *per projekt & år*	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Drift & Underhåll *per projekt & år*
Totalt för projekt			**1 041**	**20**	**11**	**38 123**	**850**	**445**
Typåtgärder								
Motorväg 4 körfält (6.4)	1	km	1 041	20		38 123	850	
Drift & Underhåll								
Motorväg 4 körfält (6.4)	1	km			11			445
Ingående emissionsfaktorer								

Typ	Resurs	Standardmängd	Enhet
Halk Diesel	Diesel	278,208	l/km*år
Snöröj Diesel	Diesel	154,84	l/km*år
Halk Salt	Salt	20,722	m3/km*år
Halk Sand	Sand	0	kg/km*år
Beläggning,Sand	Sand	111596,521223681	kg/km*år
Beläggning,Bitumen	Bitumen	6640,58083709189	kg/km*år
Beläggning,Asfaltverk	Asfaltverk	7,95994700292569	MWh/år*km
Beläggning,Diesel	Diesel	931,316407028245	l/km*år

Namn	Standardvärde
Asfalt, 6,5% bitumen	0,044
Betong, anläggning	0,16
Bitumen	0,19
Diesel (MK 1)	2,88
Grus (vikt 1,5 ton/m3)	0,00376
Lastbil	0,106
Salt (NaCl)	0,077
Sprängämne Tovex	2,5
Stål, generellt värde, EU - average, varmförzinkat	1,87

Byggdel	Klimat (ton CO2/år)	Energi (GJ/år)	Standardmängd
Bitumenbundna lager (6.4)	8,44	682,72	19 000,00
Balkräcke (6.4)	3,08	42,60	2 000,00
Bergschakt Fall A (6.4)	2,64	39,00	46 799,00
Berg Fall A, Fyll (6.4)	2,25	35,71	22 501,00
Bärlager, obundet (6.4)	1,52	24,08	15 169,00
Jordschakt Fall A (6.4)	1,01	16,02	37 094,00
Jord Fall A, Fyll (6.4)	0,61	9,72	22 501,00
Berg Fall B, Fyll (6.4)	0,00	0,00	0,00
Bergschakt Fall B (6.4)	0,00	0,00	0,00
Jord Fall B, Fyll (6.4)	0,00	0,00	0,00
Jordschakt Fall B (6.4)	0,00	0,00	0,00

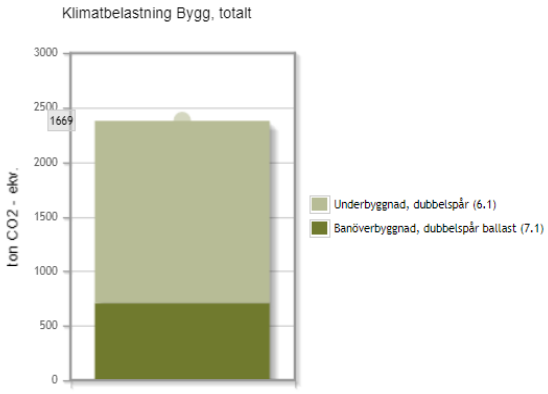
Bilaga 7 - Indata till verktyget Klimatkalkyl från Trafikverket, Järnväg

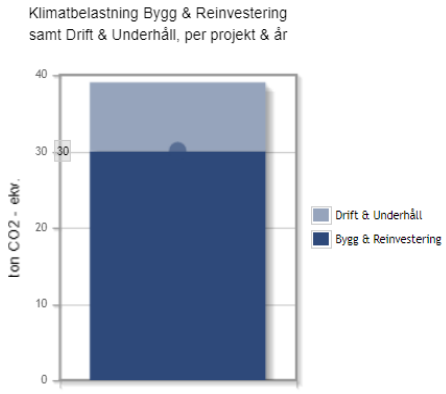
Kalkylmapp		Klimatkalkyl	
Kontaktperson	Internet user	**Kalkylnamn**	Bilaga 4
Namn kalkylmapp	Bilaga 4	**Skede**	Åtgärdsvalsstudie
Objektnr	1	**Investeringskostnad**	
Objektnamn	1	**Prisnivå**	
Åtgärdsnr	1	**Beskrivning**	
Åtgärdsnamn	1	**Modellversion**	Version 6.1
Ärendenr	1	**Status**	Arbetsversion
Beskrivning		**Underhållsdistrikt**	Väst

Typåtgärd - Bygg och Reinvestering	Namntillägg	Mängd	Enhet
Banöverbyggnad, dubbelspår ballast (7.1)		1	km
Banöverbyggnad, dubbelspår ballastfritt (7.1)		1	km
Underbyggnad, dubbelspår (6.1)		1	km

Bilaga 8 - Resultat från verktyget Klimatkalkyl från Trafikverket, Järnväg

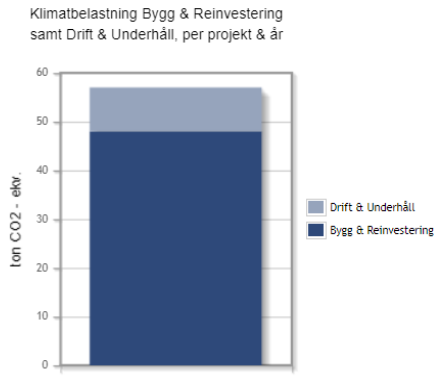
Ballastspår:





Ingående objekt	Inom intervall		Klimat (ton CO2-ekv.)			Energi (GJ)		
	Mängd	Enhet	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Drift & Underhåll *per projekt & år*	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Drift & Underhåll *per projekt & år*
Totalt för projekt			**2 377**	**30**	**9**	**34 106**	**407**	**581**
Typåtgärder								
Banöverbyggnad, dubbelspår ballast (7.1)	1	km	708	14		8 704	175	
Underbyggnad, dubbelspår (6.1)	1	km	1 669	15		25 402	232	
Drift & Underhåll								
Banöverbyggnad, dubbelspår ballast (7.1)	1	km			9			581
Underbyggnad, dubbelspår (6.1)					Schablon saknas			Schablon saknas
Ingående emissionsfaktorer								

Ballastfritt spår:



Ingående objekt	Inom intervall		Klimat (ton CO2-ekv.)			Energi (GJ)		
	Mängd	Enhet	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Drift & Underhåll *per projekt & år*	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Drift & Underhåll *per projekt & år*
Totalt för projekt			**3 506**	**48**	**9**	**40 114**	**501**	**581**
Typåtgärder								
Banöverbyggnad, dubbelspår ballastfritt (7.1)	1	km	1 838	32		14 712	269	
Underbyggnad, dubbelspår (6.1)	1	km	1 669	15		25 402	232	
Drift & Underhåll								
Banöverbyggnad, dubbelspår ballastfritt (7.1)	1	km			9			581
Underbyggnad, dubbelspår (6.1)					Schablon saknas			Schablon saknas
Ingående emissionsfaktorer								

Ton CO_2 ekv per år samt GJ per år för järnvägens komponenter. Ballastspår.

Byggdel	Klimat (ton CO2/år)	Energi (GJ/år)	Standardmängd
Räls UIC 60 (7.1)	9,05	127,30	2 000,00
Slipers, betong (7.1)	4,10	30,79	3 333,33
Spårballast (7.1)	0,56	8,93	3 400,00
Spårläggning (7.1)	0,38	6,08	2 000,00
Växeldriv (EBI Switch 2000, Bombardier) (7.1)	0,14	1,95	3,02

Ton CO_2 ekvivalenter per år samt GJ per år för järnvägens komponenter. Ballastfritt spår.

Byggdel	Klimat (ton CO2/år)	Energi (GJ/år)	Standardmängd
Betong (7.1)	10,77	63,29	4 040,00
Betong, klass 2 (7.1)	9,20	41,25	4 300,00
Räls UIC 60 (7.1)	9,05	127,30	2 000,00
Stål, armering (7.1)	2,63	27,11	153,00
Spårläggning (7.1)	0,38	6,08	2 000,00
Växeldriv (EBI Switch 2000, Bombardier) (7.1)	0,18	2,58	4,00
Polyamid (7.1)	0,10	1,37	560,00
Neoprene elastomer (7.1)	0,01	0,21	860,00
Spårballast (7.1)	0,00	0,00	0,00