

En grönare järnväg

En undersökning av utsläpp vid järnvägskonstruktion



**LUNDS
UNIVERSITET**
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg

Examensarbete:

Peder Adrian Winblad

Handledare:

Torleif Bramryd

Copyright Peder Adrian Winblad

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

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

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2023

Förord

Det jag vill börja med att säga är ett stort tack, tack till alla dem som hjälpt mig på vägen hit. Ni är många, ni är fantastiska och förtjänar långt mer än några få rader i ett förord.

Det jag kan säga är att utan ert engagemang, er välvilja, er glöd och inspirerande personer så är jag säker på att jag inte hade nått hela vägen hit. Mitt arbete är ett projekt, fött ur ett intresse och en nyfikenhet som kanske inte lämpar sig för en högskoleingenjörsutbildning då flera sagt att utvidgningen av arbetet är i sig värt en doktorand, så jag har skalat ned till en lämplig storlek men behåller min inställning till miljöfrågor och min iver att utforska ämnet så väl jag kan i detta skede. Och det gör jag tack vare stöttningen jag fått från familj, vänner, handledare, lärare, företagare som lika som jag brinner för att säkerställa ett bättre klimat för kommande generationer.

Jag förstår att det jag åstadkom här kanske inte är nytt, kanske inte löser något eller införlivar någon form av förändring. Men jag är stolt över det faktum att med hjälpen jag fått och min egen drivkraft har jag forskat i ett ämne som möjligtvis kan vara till hjälp för framtida utveckling. Det rör mig inte speciellt om detta arbete samlar damm på en bokhylla i Lund eller används flitigt som referat av någon annan student. För mitt arbete, mina mål och min vision sträcker sig långt framåt och jag har inte för avsikt att stanna här.

Jag är inte, och har svårt att se mig själv bli, mer entusiastisk just kring tåg. Jag minns redan i årskurs 1 att jag inte tyckte att denna utbildning var för mig. Men då kurs efter kurs började lyfta aspekter av miljöarbetet för den svenska järnvägen och den tillhörande infrastrukturen, så insåg jag vad jag ville göra. Då jag redan i ettan insåg att arbetet var i min egna utsago bristfällig och i vissa avseenden föga hjälpsam för att påverka klimatsituationen, bestämde jag mig för att ta mig igenom till examen och fokusera på att skriva ett arbete om detta.

Vidare har jag sökt och blivit antagen till en vidareutbildning på avancerad nivå, mer specifikt för mina intressen, där jag tror att jag kan flörera och

börja influera mera de beslut som kommer att skapa förutsättningarna för hur vi bygger vår infrastruktur.

Det är på den vägen jag rullar fram i min egen kupé, och om alla vägar leder till Rom så borde alla spåren leda mot en grönare järnväg.

Speciellt om jag får ta del av hur vi anlägger dem!

Här möter nyfikenhet behov.

Ps. Grattis på födelsedagen bästa Tindra, du har vuxit upp till en otrolig person med en värme och styrka som få kan matcha. Det finns inte en tillstymmelse av tvekan i mig när jag säger att jag tror på dig och är övertygad om att du kommer uppnå dina drömmar och mål, oavsett vilka dessa än må vara.

Det är en klen tröst detta i skuggan av alla missade födelsedagar, men jag hoppas du vet att jag alltid finns vid din sida och att jag är stolt att bära titeln av farbror.

Peder Winblad
Stockholm
2023

Sammanfattning

Detta arbete är en utredning av hur järnvägs konstruktionens emissioner ser ut vid anläggning. Den samlade datan har översatts i ett matematiskt uttryck som ger ett minsta årtal för när en neutraliseringshorisont för projektet kan nås. De resulterande uttrycken som studien tagit fram ger approximativa värden baserat på de studier av utsläpp och energiresurserna som innefattas vid järnvägs konstruktion och ämnar att visa resultatet i en pedagogisk form där innebörden av utsläppen kan med större förståelse uppskattas.

Arbetet har behandlat de största och grundläggandekomponenterna för järnväg, alltså betong, stål och makadam. Övriga inkluderade ämnen är även energikonsumtion, fossila bränslen vid drift och andra material som kan inkluderas enkelt i de betraktade variablerna.

Studien har tagit fram matematiska beräkningar över variablerna betong, stål, kross, resenärer, turtäthet, distans, bränsle och utsläppsvinst vid överföring till järnväg. Formeln utformades för att kunna räkna på hur lång tid, i år, det tar innan järnvägs konstruktion kan bli klimatneutralt baserat på ovan nämnda variabler.

Med uttrycken som arbetet resulterat i, är tanken att det ska gå att visa en tidsuppfattning av hur lång tid det kommer ta innan järnvägs konstruktionen per meter blivit klimatneutral.

Det resulterande värdet för arbetet är att en uppskattning av tiden för neutralisering av de beräknade variablerna kan bli så hög som 5 månader förutsatt en hög kapacitet. Om resenär antalet skiftar orsakar det en fördröjd neutraliseringshorisont.

Arbetet ämnar även lyfta principen om hur klimatarbetet, resultat och fakta vinkling kan användas/ missbrukas i diverse syften.

Nyckelord: Järnväg, Greenwashing, Emissioner, Klimatsmart, Miljöarbete, Utsläppsberäkning, Pedagogik, Miljöförening, Formelutveckling, Banvall, Räls, Sliper, CO₂.

Summary

This thesis is an analysis of what the amount of emissions from railway constructions could look like, the resulting analysis is translated through an equation that concludes by giving the reader a minimum of years before a neutralization horizon is achieved.

The result is based upon the variable input from the described data and depicts an approximate value that by itself aims to add to the transparent pedagogical value of the information presented to any individual as to further the understanding of the emissions impact on the environment.

The study has addressed the major and fundamental components of railways, namely concrete, steel, and ballast. Other included subjects are energy consumption, fossil fuels during operation, and other materials that can easily be included in the considered variables.

The study has produced mathematical calculations for the variables of concrete, steel, crushing, passengers, train frequency, distance, fuel, and emission reduction in the transition to railways. The formulas were designed to calculate the time, in years, it takes for railway construction to become climate-neutral based on the aforementioned variables. With the expressions resulting from the work, the intention is to provide an understanding of the time it will take for railway construction per meter to become climate-neutral.

The resulting value of the work is that the estimation of the time for neutralizing the calculated variables can be as high as 5 months, assuming a high capacity. If the number of passengers varies, it causes a delayed neutralization horizon.

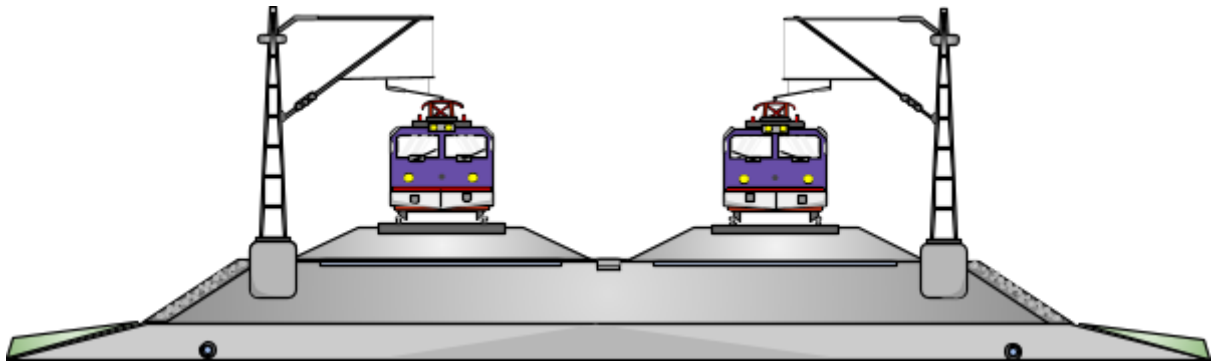
The work also aims to highlight the principle of how climate work, results, and facts can be used or misused for various purposes.

Keywords: Railway, Greenwashing, Emissions, Climate-smart, Environmental work, Emission calculation, Pedagogy, Pollution, Formula development, Trackbed, Rail, Sleeper, CO₂

1. Inledning	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.1.1 Järnvägen.....	8
1.1.1.1 Svenska järnvägens historia.....	9
1.1.2 Miljömål.....	12
1.1.3 Svenska miljöförordningar och internationella standarder...	14
1.1.3.1 Miljöbalken (MB).....	14
1.1.3.2 Plan och bygglagen (PBL).....	15
1.1.3.3 ISO Certifiering.....	16
1.1.4 Klimatsituation.....	18
1.1.4.1 CO2 ekvivalenta utsläpp, GWP-faktor.....	20
1.1.4.2 Forskning.....	21
1.1.4.3 Klimatkonsekvenser.....	23
1.2 Syfte.....	25
1.3 Frågeställningar.....	26
1.4 Avgränsningar.....	27
2. Teori/Litteraturgenomgång	28
2.1 Tidigare forskning.....	28
2.2 Teori och begrepp.....	29
3. Metod	33
4. Resultat och analys	41
4.1 Betong.....	41
4.1.1 Produktion och bruk.....	41
4.1.2 Klimatpåverkan.....	45
4.1.3 Variabelutformning.....	47
4.2 Ballast.....	49
4.2.1 Användning.....	49
4.2.2 Klimatpåverkan och energiförbrukning.....	50
4.2.3 Variabelutformning.....	52
4.3 Metall.....	54
4.3.1 Produktion.....	54
4.3.2 Användning.....	56
4.3.3 Klimatpåverkan och energiförbrukning.....	57
4.3.4 Variabelutformning.....	59
4.4 Utsläpp vid drift.....	60

4.4.1 Härledning av data för utsläpp vid drift.....	60
4.4.2 Variabelutformning.....	62
4.5 Vinsten i CO2 från tågresor.....	62
4.5.1 Resor, tåg och passagerare.....	62
4.6 Resultaterande matematisk sammanställning.....	66
4.6.2 Matematiska uttryck och SI-analys.....	68
4.6.3 Sammanfattning av resulterande ekvationer.....	71
4.7 Resultat.....	76
5. Diskussion.....	77
6. Slutsatser.....	93
7. Referenser.....	95
Bilaga 1. Ordregister.....	112
Bilaga 2.....	117
Ekvations utformning och prövningar.....	117
Bilaga 3.....	122
Bilaga TRV.....	123

1. Inledning



Figur 1. Typsnitt över ett enklare dubbelspår med vissa detaljer presenterade. I denna figur kan läsaren se flera av de betraktade variablerna för detta arbete. [Figur konstruerad av författaren]

1.1 Bakgrund

Världen står inför många utmaningar när det kommer till att försöka hantera de oundvikliga klimatförändringar vi står inför. Sverige har som mål att bli totalt klimatneutralt år 2045 (Naturvårdsverket, 2023). Idén för detta arbete grundar sig i att beräkna utsläppen vid konstruktionen av järnväg. Branschen har i modern tid marknadsförts som ett klimatsmart alternativ och arbetet utforskar detta för att klargöra vilken impakt järnvägskonstruktion har ur ett klimatperspektiv.

Samhällsmässigt arbetar många företag med greenwashing, principen av att verka mer miljömedvetna än vad som egentligen är fallet, så idén för arbetet är att utforska den aspekt av järnväg som för många inte är det lättaste att sätta sig in i.

Då syftet för arbetet är direkt kopplat till miljön kring svensk järnväg, dess produktion, utveckling och berörd infrastruktur, är de följande kapitlen avsedda för att presentera relevanta områden för hur dessa ämnen uppkommer och styrs.

1.1.1 Järnvägen

Dagens bild av den moderna järnvägen grundar sig i att Sverige var ett av de första länderna till att modernisera sin järnväg och dess infrastruktur.

Vi ledde globalt sett i att elektrifiera våra spår och därav befria oss från fossildrivna utsläpp direkt ur loken, som också genererade stora möjligheter till att köra längre och bekvämare på de svenska spåren.

Då Sverige historiskt sett har haft enorm användning av den infrastruktur som har tillåtit oss att transportera gods utmed hela landet och snabbt tagit del av den växande globala marknaden. Svensk järnmalm och timmer har utgjort grundpelare till den industriella tillväxten Sverige nyttjade under 1900-talet för att utvecklas som land.

Med det sagt har det lagts ned enorma summor i att utveckla det nätverk som idag är lika vitalt för ekonomin som det är för det allt mer växande samhället. Så det som vidare har hänt är utveckling av tekniken som Svensk järnväg förlitar sig på.

Nya metoder för signaler, balisgruppernas uppkomst, datorns utveckling för transportmöjligheter, BT och AT systemen (Dalbom, F., & Abdulrada, A. 2022) för att minimera energiförlusterna från tågen som också resulterar i mindre störningar i ortsnäten.

Konsekvent, följer att med tidig utveckling och stora satsningar på inrikesresor är Sverige beroende av denna infrastruktur, delar av samhället konstruerats kring. Vidare har vi många mer mil av befintlig järnväg som kräver enorma resurser för att upprätthålla, och för att moderniseras med nya tekniker, lösningar och behov.

E.M Forster (1970) sade det väl när han beskrev vägväsendet som sådant:

“Railway termini are our gates to the glorious and the unknown. Through them we pass out into adventure and sunshine, to them, alas! We return.”

Genom detta kanske en glimt av järnvägens påverkan och vidd av inflytande kan få en tillstymmelse av uttryck som kanske kan göra den vikt rättvisa.

1.1.1.1 Svenska järnvägens historia



Bild 1. Konstnären Nils Andersson 1863 visualiserar i sin oljemålning tåget som passerar en vägport vid Saltskog på västra stambanan. Målningen tillhör Sveriges järnvägmuseum.

För läsarens skull introduceras konceptet av svenska järnvägen kortfattat här, men för den intresserade är boken *Den svenska järnvägen* (Bårström & Granbom. 2012), ett bra verk som ger en väldigt god inblick i ämnet.

Järnvägen kom till Sverige i mitten av 1800-talet, dess uppkomst är direkt kopplad till två huvudsakliga innovationer, ånglokomotiv och konsten att valsa långa stålprofiler.

Även om dessa innovationer möjliggjorde järnvägens expansion och tillväxt är konceptet av förstärkta vägbanor specifikt ämnade för hjulsdrivna fordon kan finnas i historien redan på de gamla grekernas tid (Bårström & Granbom. 2012).

I Sverige brukades den första versionen av järnväg så tidigt som 1600-talet då spår av trä anlades i gruvor för transport av malm och andra utvunna ämnen. Kommersiellt dock såg inte vägväsendet sin uppkomst förrän långt senare, med inspiration av engelsmännens bruk av järnväg och industrialism tog det inte lång tid för svenska regeringen med hjälp av greve Adolf Eugén von Rosen att utveckla grunden för det svenska järnvägsnätet som vi ser idag (Bårström & Granbom. 2012).

Utvecklandet av denna infrastruktur har historiskt sett påverkats av yttre faktorer, ekonomiska för havanden och krig. Februarirevolutionen i Frankrike fick finansärer att lockas till andra projekt och lämnade Sverige att råda sin egen infrastruktur. (Bårström & Granbom. 2012).

En resulterande faktor av detta kan uppskattas till en viss försening men med von Rosens affärsmässiga och lösningsorienterade initiativ kan man säga att Sverige fick utrymme att utveckla den mest passande infrastrukturen för sitt klimat och användningsområde.

Mellan 1850 och 1940 kan man säga att det svenska järnvägsnätet såg sin initiala och största tillväxt, stambanorna planerades, utformades och anlades för både privat och kommersiellt bruk. Transporter av gods och personer utvecklades och företag som SJ och andra entreprenörer började utformas, samt att hela nya yrkeskategorier (som till exempel stins, konduktör, rallare) uppfanns.

Under slutet av 1930-talet uppskattas det att den totala järnvägssträckan omfattade ungefär 17 000 kilometer.

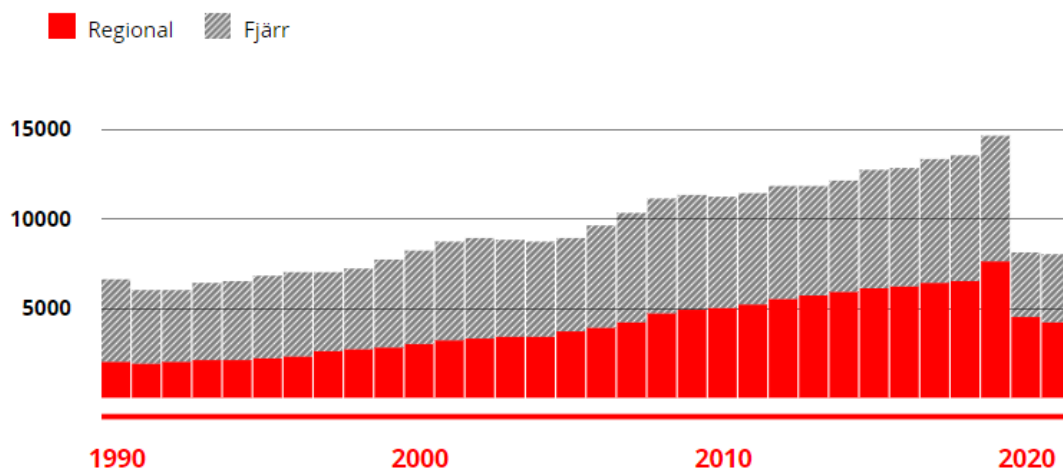
Ångloken har traditionellt drivits på stenkol, då Sverige inte haft några egna nämnvärda tillgångar till detta drivmedel var det bara en tidsfråga innan alternativa energikällor blev prioriterade.

Intresset för elektriskt tågdrift väcktes då andra länder började experimentera med dessa (t.ex Schweiz) och vid sekelskiftet 1900 hade eldrivna spårvagnar införts, redan 1895 presenterades allmänheten för Djursholmsbanan som körde på elektrifierade system som byggde på likström där den nya tekniken bytte ut hästarna som drog dessa. (Bårström & Granbom. 2012).

Utvecklingen av den Svenska järnvägen fortlöper genom decennierna och än idag uppdateras systemen med nya innovationer, transformatorer och utveckling bl.a. 1926 blev elektrifieringen av sträckan Stockholm-Göteborg färdig, och tog ungefär 6 timmar med elloken, vilket är 2 ½ timme mindre än med ånglok.

Resorna blir mer och mer energieffektiva och komforten ökar i takt.

Järnvägens uppkomst och sammanflätade väsen med dagens samhälle kan inte understrykas nog, det estimeras (TRV. 2021) att en vanlig dag reser närmare 300 tusen personer med tåg i Sverige och 220 000 gods transporteras dagligen. Figur 2 visar hur utvecklingen och det ökade behovet av järnvägen ser ut, figuren är en god representation över vikten av en välmående infrastruktur, behovet av utvecklade linjer och ökad turtäthet.



Figur 2. Visar utvecklingen av resor i personkilometer de senaste decennierna. (TRV. a)

Med denna introduktion, kan läsaren säkert se vidden av området, järnvägen är ett otroligt utsträckt organ, som betjänar hela samhället i alla dess former. Ett liv i ett modernt samhälle kan inte undgå järnvägens inflytande och med det sagt är det konsekvent att avgöra de miljömässiga utvecklingsområdena för detta vitala organ.

1.1.2 Miljömål

Nationella miljömål

De svenska miljömålen består av flera aspekter, ett övergripande generationsmål (Sveriges Miljömål. b), som grundar sig i att vägleda politiska beslut för att gynna vår miljö för nästkommande generation. Syftet är att bevara den miljö vi har för framtiden och detta ska genomsyra den politiska befattningen.

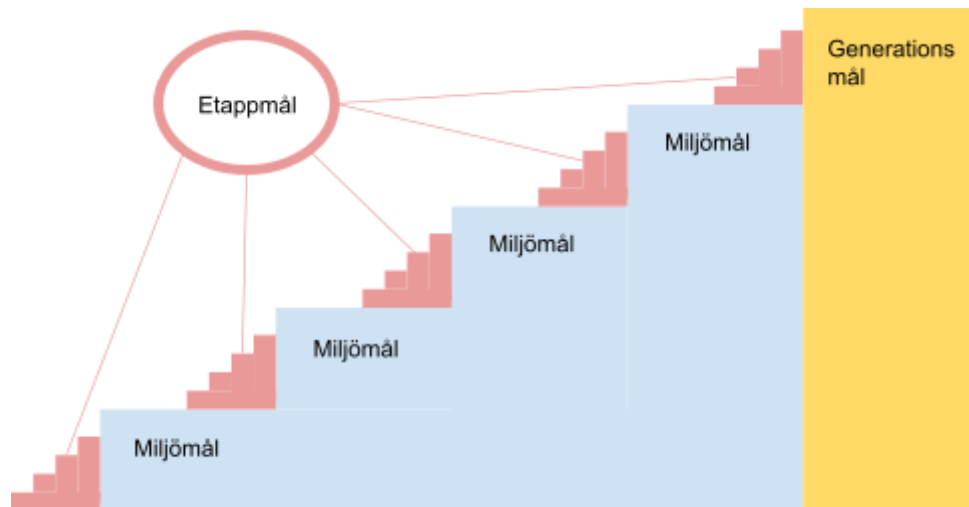
Efter den övergripande målbilden har vi anammat 16 miljökvalitetsmål (Sveriges Miljömål. 2023. c), och 24 etappmål (Sveriges Miljömål. 2023. d) syftet är att i samtliga samhällsaspekter, både direkta och indirekta, säkerställa en miljökvalitativ samhällsstruktur.

Sveriges miljömål (2023.a) listar miljökvalitetsmålen är som följer :

- *Begränsad klimatpåverkan*
- *Frisk luft*
- *Bara naturlig försurning*
- *Giftfri miljö*
- *Skyddande ozonskikt*
- *Säker strålmiljö*
- *Ingen övergödning*
- *Levande sjöar och vattendrag*
- *Grundvatten av god kvalitet*
- *Hav i balans samt levande kust och skärgård*
- *Myllrande våtmarker*
- *Levande skogar*
- *Ett rikt odlingslandskap*
- *Storlagen fjällmiljö*
- *God bebyggd miljö*
- *Ett rikt växt- och djurliv*

Etappmålens (Sveriges Miljömål. 2023. d) huvudsyfte är att underlätta processerna för att åstadkomma dem huvudsakliga miljömålen samt generationsmålen. Visualisera en trappa med höga steg, nästan så höga att

det inte går att ta varje steg med ett kliv. Så etappmålen fungerar som de små stegen mellan plattformarna, se figur 3 för visualisering.



Figur 3. Visuell gestaltning av de presenterade miljömålen och dess funktioner. [Hemmagjord]

Internationella miljömål

Där Sveriges egna målsättning fokuserar på de inhemska behoven, deltar vi även i de globala hållbarhetsmålen under Agenda 2030 med ursprung från FN (Sveriges Miljömål. 2023. e).

Agenda 2030 innebär att medlemsländerna inom FN åtar sig de 17 globala mål och 169 delmålen för hållbar utveckling, med målsättningen att uppnå en socialt, miljömässigt och ekonomiskt hållbar värld till år 2030.

Principen består i att utveckla en hållbar värld efter de tre dimensioner som Agenda 2030 uppskattar som grundläggande för att skapa hållbar förändring, socialt, miljömässig och ekonomisk hållbarhet. (Sveriges Miljömål. 2023. e)

Sveriges miljömål beskriver vilka utmaningar som finns på den nationella nivån när det gäller just miljöfrågorna, medan dessa påverkar ur ett mer globalt perspektiv.

1.1.3 Svenska miljöförordningar och internationella standarder

I syfte att förebygga utsläpp, utveckla renare energiresurser och främja ett välmående samhälle i symbios med de nationella och internationella förordningarna arbetar Sverige under flera miljö- och klimatrelaterade bestämmelser.

Främst leds Sverige av två parallella förordningar, båda ämnar att försörja en god miljö och framtidsutsikten för samhället, och internationella standarder för ansvarsfullt byggande.

1.1.3.1 Miljöbalken (MB)

Miljöbalken, i dess första version trädde i kraft januari 1999 och kan ses som en sammanfattning av 15 sedan tidigare existerande lagar. Miljöbalkens huvudsakliga syfte är att främja hållbar utveckling så att nuvarande och framtida generationer har förutsättningarna att leva och frodas i en hälsosam och god miljö. (MB. 1999, Naturvårdsverket. g. 2023)

Vårt för detta avsnitt är att redogöra för de *allmänna hänsynsreglerna* som anges i MB, dessa är (Olander et.al 2021):

- *Bevisbörderegeln*

Verksamhetsutövaren har krav på att vid tvistemål bevisa att utfört arbete skett enligt reglerna.

- *Kunskapskravet*

Utförare av arbete ska ha tillräckliga kunskaper om hur miljön och personers hälsa påverkas och skyddas.

- *Försiktighetsprincipen*

Här avses att vid risker för skador krävs preventiva åtgärds-företaganden. Inom denna princip gäller även PPP (Polluters Pay Principle) där den aktör som orsakat föroreningar är högst ansvarig för kostnaderna vid sanering och restaurering. Även gäller det under denna regel att den aktör som bär ansvaret även måste enligt kraven nyttja den bästa tekniska lösningen under rimliga finansiella avseenden för att åtgärda skadorna.

- *Lokaliseringsprincipen*

Vid val av plats för arbetet krävs genom denna princip att valet görs så att verksamhetens påverkan av miljön minimeras.

- *Hushålls- och kretsloppsprincipen*

Innebär att bruket av material, råvaror och energi skall nyttjas så effektivt som möjligt. Maximalt nyttjande av materialets potential utan att förbruka onödiga mängder och slösa på tillgångar.

- *Produktvalsprincipen*

Denna regel avser att om miljöfarliga ämnen är nödgade för projektet måste en mindre skadlig produkt nyttjas i första hand om denna kan utföra samma arbete, om detta är finansiellt rimligt.

- *Skadeansvaret*

Anser att den som orsakat skadan även är ansvarig för att denna blir avhjälp

(Olander et.al 2021)

(Naturvårdsverket. g. 2023)

(MB.1999)

1.1.3.2 Plan och bygglagen (PBL)

I plan- och bygglagen finns bestämmelser om planläggning av mark och vatten och om byggande. I lagen, dess förordning och anslutande föreskrifter finns samhällets minimikrav på byggnader och tomter och dessa gäller även för vårdens byggnader och miljöer (PBL. 2011, Boverket. 2023)

Parallellen mellan PBL och MB grundar sig i samordningen mellan dessa gällande miljöarbetet. PBL är huvudinstrumentet för byggsektorn är den dock inte överordnad MB, och det är upp till boverket att säkerställa att dessa båda höras. (Olander et.al 2021)

PBL lägger till grunden för sin utformning de intressen för allmänheten och dess krav, där det specifikt uppmanar till att i konstruktion skall det bevaras grönområde, omsorgsfullt planera sina utföranden för bland annat landskapsbilden, natur- och kulturvärdena på platsen för konstruktionen. PBL specificerar för konstruktörer alltså att bevara i största utsträckning dessa områden, bidra till den omgivande estetiken, fostra god levnadskvalitet och utföra sina uppdrag med hänsyn till miljön. (PBL. 2011, Boverket. 2023)

1.1.3.3 ISO Certifiering

Sedan 2008 har det funnits en internationell byggstandard för hållbarhet (ISO. a. 2019), som i huvudsak grundar sig på nio principer. De nio principerna som följer bygger på att de grundläggande villkoren för hållbar utveckling är likvärdiga.

De tre grundvillkoren som den internationella standarden bygger på är *ekologisk, ekonomisk* samt *social och kulturell hållbarhet* och de följande principer är (Olander et.al 2021) :

1. Ständig förbättring

Åtagande för att utveckla och förbättra samtliga hållbarhetsaspekter vid konstruktion över tid.

2. Rättvisa

Överväga samtliga etiska aspekter gällande frågor som påverkar mellan generationer, regioner och olika samhällsformer.

3. Tänka globalt och agera lokalt

Att agera lokalt med tanke på globala konsekvenser, vid tillämpande av globala strategier överväga lokala påföljder.

4. Holistiskt tillvägagångssätt

Gällande för alla aspekter av hållbarhet.

5. Intressemedverkan

Involvering av samtliga intressenter vid de rätta tidpunkterna för deras roller, ansvar och betydelse för projektet.

6. Långsiktighet

Överväga konsekvenserna och prestandan för projektet i olika tidsperspektiv (kort, medellångt, långt) och tillämpa livscykel tänkande.

7. Försiktighet och riskhantering

Anpassning till försiktighetsprincipen med riskhantering.

8. *Ansvarstagande*

Avser det moraliska ansvaret för att genomföra åtgärder.

9. *Transparens*

Avser att behandla projektet med öppenhet, all information med verifierbar trovärdighet, på ett helhetsomfattande och begripligt sätt så att informationen projektet leds av är spårbar.

Som ett verktyg och riktmärke för konstruktioner i samhället, berör ISO i sin form mestadels byggnader, men översätts väl till järnvägens ändamål.

Dessa nio principer är knutna till flera standarder som förtäljs i T.ex ISO 14001 som är miljöledningsstandarden för företag och organisationer av alla former. Denna standard som de andra är ett verktyg, som ska underlätta den som nyttjar det för att på ett ansvarsfullt sätt kunna förhålla sig och sitt företag till de miljökriterier dem står för. (ISO. b. 2015.)

För ansvarsfullt byggande är de internationella och nationella byggstandarderna lämpliga verktyg. Utvecklingen av samhället förhåller sig väl med välmående infrastruktur som tillgängliggör dess transporter.

1.1.4 Klimatsituation

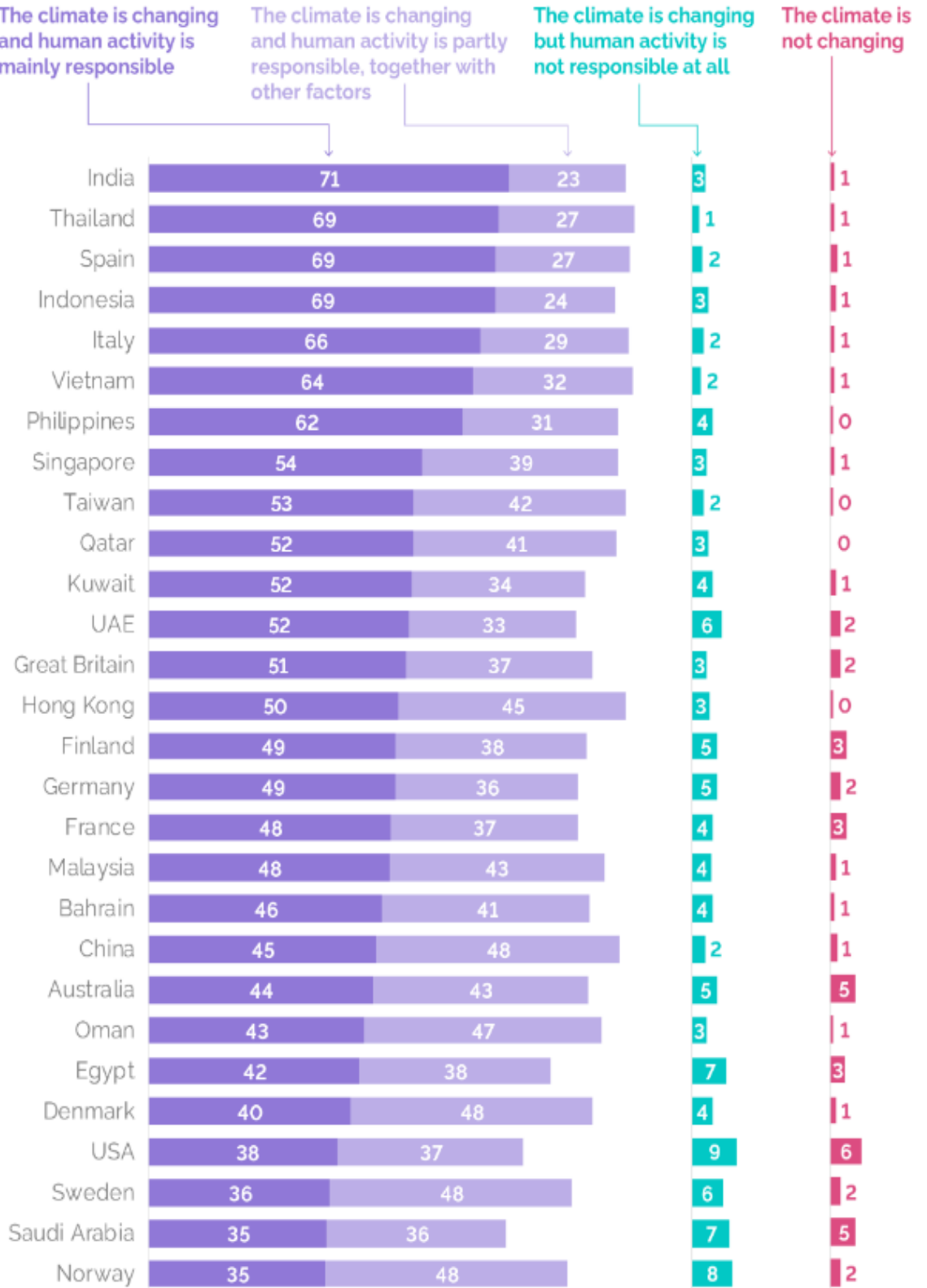
Den kris vi globalt sett står inför uppskattas av en överväldigande majoritet som en situation där omedelbara lösningar och investeringar måste implementeras för det globala välmåendet.

Trots det berg av forskning och expertutlåtanden som styrker detta finns det en minoritet av grupper och individer som inte drar samma slutsats angående det globala välmåendet, då detta arbete inte avser att alienera läsaren baserad på hens åsikter för denna fråga tillägnas detta kapitel till att beskriva den situation och forskningsbaserade ställning som utgör grunden till frågeställningen med avsikt på det globala perspektivet.

Det är viktigt att lyfta ämnet även med dem som inte är likasinnade inför klimatsituationen då information och kännedom om det är nyckeln för att förbättras.

I en studie av Yougov (2019) som granskade 28 medverkande länder angående deras uppfattning om klimatet, uppdagades det att Svenska miljöskeptiker utgör ungefär 2%. (Se tabell 1.)

Förvisso en ringa siffra, men när 64% av svenska folket i olika former ålägger andra faktorer än mänsklig aktivitet som huvudsakliga bidragsgivare till klimatkrisen, blir det genast mer problematiskt.



Tabell 1. Yougov studie av klimatperspektiv. (2019). Visar överskådligt statistiken för de medverkande länderna i dess generella hållning till klimatfrågan.

1.1.4.1 CO₂ ekvivalenta utsläpp, GWP-faktor

I detta arbete kommer utsläppen av gaser att beräknas efter vad som kallas CO₂ ekvivalenta utsläpp. Innebörden av det är sådan att utsläpp från andra gaser beräknas efter likvärdiga utsläpp av CO₂. Fördelen med detta är att det är lättare att sammanställa mängden av utsläpp om det enbart finns ett ämne att betrakta. (Trigaux. et.al. 2021)

Ett annat sätt för att ge uttryck åt utsläppens potential är genom GWP-faktorn, som står för "Global Warming Potential".

Vad det innebär är att genom att multiplicera utsläppen för ett visst ämne med sin GWP faktor (Se tabell 2) så får vi ett uttryck för detta utsläpp i ett ekvivalent CO₂ värde (Naturvårdsverket.h 2023). Det kan uppfattas som ett krångligt tillvägagångssätt för att få större värden att jobba med. Men fördelen med att behandla alla utsläpp med samma enhet är att helhetsbilden för den totala mängden utsläpp och då en rimlig konsekvens bild kan lättare utformas.

För att förtydliga hur en GWP faktor och därefter ett ekvivalent värde av utsläpp beräknas kan vi uppskatta utsläppet av 1 kg metan.

Metan har ett GWP värde mellan 1:20 och upp till 1:25+ beroende på källa, vilket innebär att 1 kg metan har likvärdig påverkan på miljön som 20+ kg av CO₂. (Naturvårdsverket.b.h. 2023)

Växthusgas	GWP
Koldioxid (CO ₂)	1
Metan (CH ₄)	21
Lustgas (N ₂ O)	298
Fluorkolväte (HFC-134a)	1 430
Fluorkolväte (HFC-23)	14 800
Svavelhexafluorid (SF ₆)	22 800

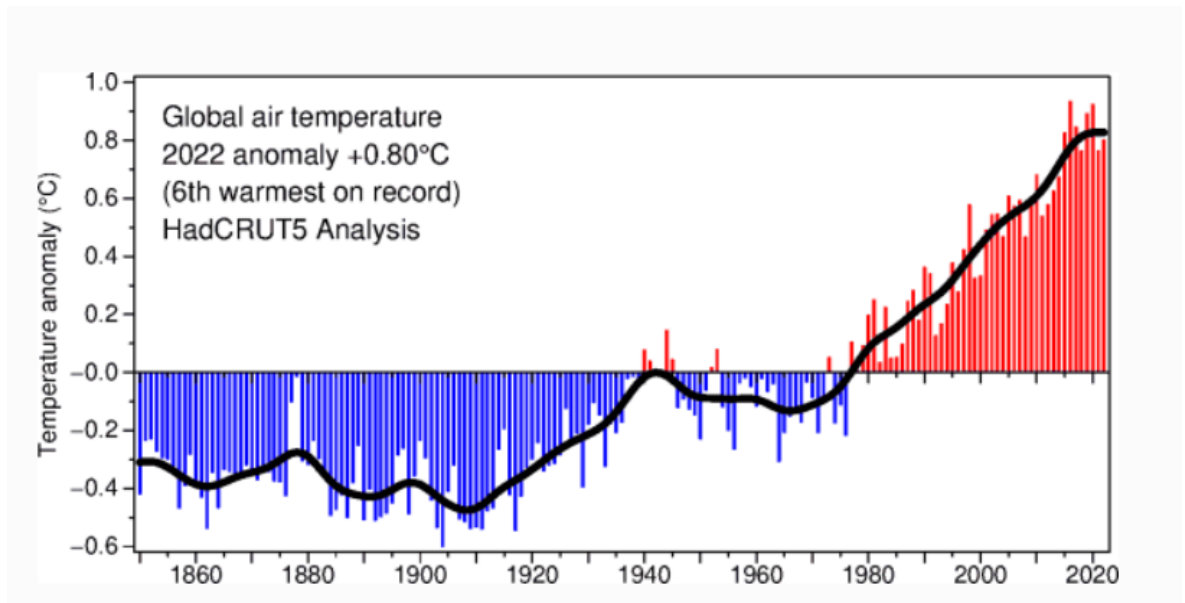
Tabell 2. GWP för olika växthusgaser. IPCC (2007)

1.1.4.2 Forskning

Enligt forskning uppskattas det globala uppvärmandet som en konsekvens av utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket.a.2023), Utsläppen av dessa gaser leder till att den globala medeltemperaturen ökar.

Utsläppen har stadigt ökat, metangas-utsläppen har till exempel ökat med 150% sen innan den industriella revolutionen (Naturvårdsverket.a.2023)) och totalt sett uppskattas det till att den totala CO₂ lufthalt har ökat med mer än 50% under samma tid.

Det som lyfts är alltså att den ökade utsläpps takten medför en förändring i den globala medeltemperaturen, figur 4 hänvisar till den förändring som tagits fram.



Figur 4, härledd data för ökning av den globala medeltemperaturen. (UEA. 2023)

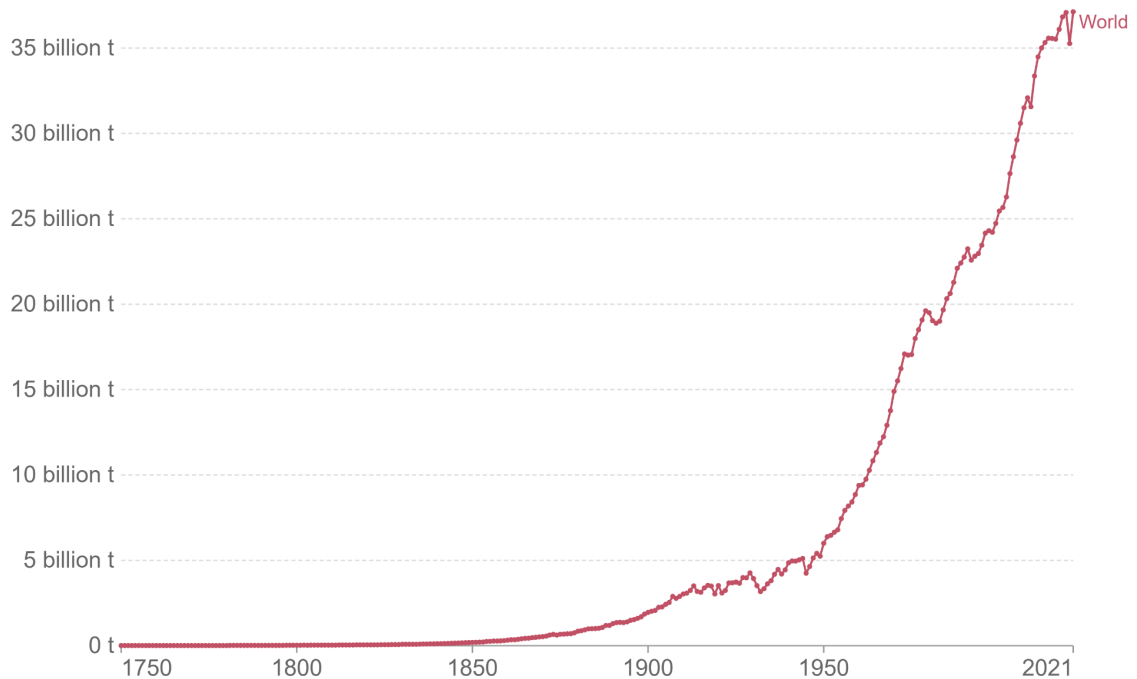
Jämförelsen mellan figurerna 4 och 5 erbjuder en god bild av det växande behovet för mer miljöutveckling inom samtliga områden.

Verktyg som TRV:s egna klimatkalkyl (TRV: Bilaga 7.1.2)) är goda steg till mer transparent utveckling av svensk infrastruktur.

Det pockande behovet, med översikten genom de ovan nämnda figurer i tandem med vad forskningen kallar för “the tipping point”, den punkten där irreversibel skada har orsakats som direkt resultat av mänskliga faktorer gör sig mer än väl påmind i samtliga aspekter av vårt samhälle. (Walker. G. 2006)

En kritisk punkt nalkas enligt den överväldigande majoriteten av forskning och direkta åtgärder och ordentliga krafttag måste implementeras omedelbart. (Ritchie och Roser 2021)

Vidare uttrycks behovet av förändring i rapporten av Larsson (2022) där den förändring i mängd utsläpp från själva byggindustrin kommer behöva halveras inom de nästkommande decennierna för att uppnå klimatmålen.































Figur 5. Visuellt representativ data för globala emissioner och dess utveckling. Ritchie and Roser (2021). Enheten t i figuren refererar till vikt mätt i ton.

1.1.4.3 Klimatkonsekvenser

Med samlade insatser, löften och aktioner tagna så är förhoppningen att det globala samhället kan komma tillsammans och avvärja den klimatkris med tillhörande konsekvenser som vi står inför. Men vad innebär dessa konsekvenser?

För att förtydliga ett till synes komplicerat koncept, är det enklast att betrakta de initiala konsekvenserna som en obalans. Mänsklig aktivitet ökar mängden av utsläpp (Nisbet, E. et.al. 2014) till den grad att respektive ekosystem inte längre kan städa undan de partiklar av utsläpp som hävs ut från till exempel industrierna. Denna obalans betyder att överskottet av utsläpp landar i luften, orsakar irriterande åkommor och förvärrar kvaliteten av luft för levande organismer. Vidare kan det landa i vattnet, försura och orsaka övergödning som i sin tur är farlig för akvatiska djur och växtlighet.

Allt detta stöds av forskning, och figur 6 sammanställer samtliga poänger som detta kapitel ämnar förtydliga.

SCENARIO	+1,1°	+1,5°	+2°	+3°	+4°
	Här är vi nu	Svårt att undvika <i>Absoluta kritiska tröskeln – bör inte överskridas</i>	Parisavtalets tak <i>Farlig gräns</i>	Om vi inte gör mer <i>Oåterkallelig förändring</i>	Utan klimatåtgärder <i>Mardröm</i>
Havsnivå och isar	 Rekordvärme. Arktis smälter snabbare än väntat.	 46 miljoner riskerar få sina hem bortspolade.	 Arktis kan smälta helt på sommaren.	 Många låga öar obebodiga 2060. Arktis och Grönlands istäcke kan på sikt smälta helt.	 Havsnivån höjs succesivt. Kuststäder och öar försvinner.
Mat och vatten	 År 2100 kan 8% av dagens jordbruksmark vara obrukbar.	 Klimatrelaterade risker till hälsa, mat-säkerhet och vatten ökar både i Norra och Södra Europa.	 Nära 3,6 miljarder människor i Afrika, Syd-asien, Central- och Syd-amerika och små önationer drabbas av undernäring.	 Global matproduktion i gungning.	Världsbanken: "Det är inte säkert att det går att anpassa oss till ett liv i en 4 graders-värld"
Skog	 Fler skogsbränder i tex. Australien och Kalifornien.	 Kalfjällsområdena minskar i Sverige.	 +60% skogsbränder runt Medelhavet.	 Amazonas riskerar att försvinna.	 Öar översvämmas
Hetta	 2021 var det 7:e varmaste år som forskare någonsin sett. Sedan 1980 har temperaturen ökat för varje årtionde.	 Extrema värmeböljor ökar med 129%	 Extrema värmeböljor ökar med 343%	 Extrema värmeböljor i Afrika ökar med 500%	 Sydeuropa förvandlas till öken.
Extremväder	 Fler stormar och orkaner.	 Ökad orkanstyrka.	 57% ökning av antal som påverkas av översvämningar i Indien.	 3x kraftigare översvämningar i Europa.	75% av jordens befolkning utsätts för dödlig hetta 20 dagar om året.
Biologisk mångfald	 Nära 50% av jordens arter har redan förlorat sina livsmiljöer på grund av klimatförändringar.	 Nästan alla korallrev dör.	 Korallreven dör.	 Marina ekosystem kollapsar.	 Varannan djur- och växtart är hotad.

Figur 6. Hänvisar att kartlägga konsekvenserna för en ökning av den globala medeltemperaturen. WWF. (2022)

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka byggprocessen kring svensk järnväg. Hur mycket utsläpp som tillkommer när järnvägen utvecklas, genom att betrakta processerna för framtagandet för de olika delarna av järnvägen, frakt och anläggning av detta vid arbetsplatsen.

Av vikt, för detta arbete är att klargöra utan tvivel att arbetets syfte inte är att framkalla tvivel gentemot tågväsendet i Sverige, ej heller att beskylla enskilda parter eller företag för att göra sig skyldiga till någon form av tvivelaktiga förehavanden.

Arbetet ämnar granska möjligheten till förbättring, då stora krav ställs på konstruktörer av samhället och beställare av dessa tjänster för att främja miljö och fostra arbete som ska gynna samhället och klimatet.

Järnväg har kapacitet att besvara i mångt och mycket dem transportkrav som vi som samhälle ställer, och då järnväg har i teorin möjligheten till att bli en CO₂ sänka, där klimatet faktiskt skulle kunna ha direkta positiv nytta av sektorn, är det både rimligt och absolut nödvändigt att utforska detta.

För att uppnå syftet skapar arbetet ett matematiskt uttryck för ett tvärsnitt producerad och anlagd järnväg med tillbehör för ekvivalenta utsläpp av CO₂, som är resultatet av anläggningen. Detta tvärsnitt kan sedan multipliceras med den önskade sträckan för att uppnå ett mini-värde för den tid banan måste tas i bruk för att i första hand bli klimatneutraliserad, detta värde blir den första datapunkten på den neutraliseringshorison uppskattad i tid som gäller för banan. Då uppfyller ekvationen syftet med att undersöka byggprocessens utsläpp, samtidigt som resultatet förmedlas på ett mer pedagogiskt och relaterbart sätt.

Syftet är även att identifiera och beräkna de miljöpåverkningar som åsamkas av att producera och installera komponenterna för järnvägen för att mer miljömedvetet kunna projektera framtida järnvägsbanor.

Delvis är det huvudsakliga syftet att öka transparensen för järnvägen och dess påverkan för en mer korrekt information för allmänheten, i

utbildningsändamål och för intresserade, så väl som för framtida projektörer att bättre uppskatta konceptet kring järnväg som helhet.

Vidare är syftet att lyfta miljöfrågan ur ett annat perspektiv, för den som är någorlunda insatt i frågan om klimat och miljö har säkert redan reflekterat över att det finns för vem som helst att använda en myriad olika klimatverktyg som gör delvis det som detta arbete ämnar att göra.

Inte minst har Trafikverket (se bilaga TRV) ett eget verktyg, där dem behandlar utsläppen som tillkommer av bland annat då konstruktion och produktion av järnvägen.

Syftet med att formulera en ny version och inte bara arbeta utifrån existerande data är för att från grunden undersöka och skapa en uppfattning som härleds från start till slut utifrån egenhändigt utformad research som sedan är applicerbar, lättförstådd och transparent.

Andra verktyg har utformats av olika företag, instanser eller liknande organisationer, och fyller funktionen de utformats för. Dock uppskattas det av författaren att det saknas ett liknande verktyg med inriktningen som söks i detta arbete och därefter utformades en frågeställning, ett behov och sedermera ett syfte att upprätta ett nytt verktyg.

1.3 Frågeställningar

- Hur mycket CO₂-ekvivalenter släpper själva produktionen av järnvägsinfrastrukturen ut?
- Hur länge måste en linje vara aktiv för att bli netto klimatpositiv?
- Vad kan resultatet säga oss om hållbarheten bakom järnvägens infrastruktur?
- Är det rimligt att utveckla järnvägen efter våra behov utan att utveckla en grönare infrastruktur?
- Om det enligt Larsson (2022) krävs en halvering av byggsektorns utsläpp, vad betyder det för järnvägen och dess entreprenörer? Kommer de undan denna halvering eller kommer det även av dem krävas förändringar?

1.4 Avgränsningar

Projektet är ett omfattande koncept och initialt utgår arbetet i huvuddelarna för järnvägen som innebär ett huvudsakligt fokus på:

- Betong, som används vid produktion i form av sliper, fundament, kabelrännor och mycket mer.
- Stål, som utgör rälerne, kontaktstolpar, armeringsjärn med mera.
- Kross, i form av makadam och andra bärlager, som nyttjas för banans stabilitet och i formativa markarbeten för saker som till exempel vattenavrinning.
- Bränsle, för installation, fordon, frakt och transportmedel.
- Differens i utsläpp mellan järnväg och biltrafik

Avgränsningarna för arbetet hamnar i de variabler som inte faller in under dessa homogena material/-drivmedel. Med detta menas att komponenter som delvis består av de huvudsakliga ämnena men även av andra inte kommer att inkluderas, om inte välmotiverat varför de skall det. I huvudsak är dessa avgränsningar noggrant övervägda för att arbetet skall ge en god grund för beräkningarna som utgör syftet för arbetet. Målbilden är inte att ge en helhetsbild över samtliga aspekter som tillhör järnvägen utan istället ämnar arbetet betrakta de fundamentala grundprinciperna som krävs. Förbrukning av ädlare metaller, plast/kompositmaterial, energiförbrukning för drivmedel av specifika fordon är inte medtagna. Dock inte på grund av att de inte är markanta eller värdefulla för ämnet utan för att möjliggöra en djuplodande analys av de valda materialen.

Förbrukning av ädlare metaller, komposit ämnen, energi

I kapitlet kan mer information angående de avgränsade variablerna utvecklas, i syfte att lyfta en teori eller liknande.

Vidare avgränsningar är att den approximerade turtätheten, antalet resenärer och liknande variabler för trafikeringen av spåren görs på lokala data och reflekterar inte nödvändigtvis större trafikstråk och nyare vagnar med högre kapacitet. Idean är att skapa en bild av mer vardagligt bruk än den långt mer överskattade positiva bild som kan nyttjas om arbetet förutsatt långt mer avancerade fordon med optimerad kapacitet som ännu inte är lika allmänt tillgängligt.

2. Teori/Litteraturgenomgång

2.1 Tidigare forskning

I en rapport av Trafikverket (Mäki et al. 2020) görs en riskanalys av utsläpp i grundvattnet av en väg vid Haninge kommun. Där detaljerna kring ett tidigare projekt analyseras för att granska potentiell harm som medförts från bygget i ett retroperspektiv.

Arbetet av Larsson (2022), disputerar omedvetenheten hos allmänheten i hur byggsektorn bidrar till förorenande utsläpp, vars resultat påpekar att byggbranschen måste närmast halvera sina totala utsläpp för att möta de mål som är uppsatta för samhället när det kommer till utsläppsbudgeten inför framtiden.

Shi et.al (2019) diskuterar utvecklingen av hållbar utveckling (HU), och hur denne misstolkas i förmån för svagare former av HU. Hur konceptet missgynnar de generations hoppen som sker, hur uttrycket i sin vagga till idag har utvecklats och hur dess initiala diffusitet kan ha lett till svagare former av HD.

Forskningsgruppen hävdar ytterligare att en mer stabil form av HU bör för allas nytta både formas och adopteras, där god ledning, en kulturell affektion och goda livsförhållanden tar centrum av uttrycket och dess framtid. Även att en av de mest missgynnande faktorerna för HD är att den är missförstådd och således utnyttjad av aktörer med självintresserade syften.

Studien (Shi et.al. 2019) visar även ur ett tidsperspektiv från uttrycket "sustainable development":s uppkomst till nutid och klargör att det inte är

en brist i information angående ämnet utan snarare andra komplikationer som utgör en motståndskraft för utvecklingen av området.

Studien av Vasilca et.al (2021) fokuserar på analyserna och bedömningar av miljöpåverkan från verksamheterna inom byggsektorn. Studien modellerar ett verktyg för att analysera hanteringen av miljöresurser i byggprocessen.

Vasilca et.al 2021 belyser den volym av utsläpp som byggsektorn ansvarar för, energiåtgångarna som krävs för företagandet av konstruktion i dess olika kapaciteter och avfallen som produceras. Vidden av utsläppen är enligt studien omfattande och författarna hänvisar till vikten utvecklingen av livscykelbedömningar som ett redskap för resurshantering och subsekvent miljöbenificiala effekter.

Modellen kan tillämpas både på mikro- och makroekonomisk nivå och möjliggör omkonfigurering av processer för att effektivt hantera resurskonsumtion och återställa påverkade områden (Vasilca et.al. 2021).

Risser, P. G. (1991) skriver i sitt arbete om dilemmat som företag inom energisektorn står inför när det kommer till att kommunicera sina miljöpolicyer till allmänheten.

Vinkeln som arbetet har, i frågor som miljöpolicy, transparens kring sin verksamhet och uppmärksammandet av greenwashing, löper parallellt med området som ska utforskas i detta arbete. Företagarnas omsorgsfullt uppmålade image, som miljömedvetna och klimatsmarta, kan leda till misstro och anklagelser om greenwashing. Samtidigt som företagen aktivt underminerar miljön genom sina förehavanden eller i själva verket är just det som de utger sig för att vara. De ekonomiska lönsamheterna med greenwashing, verksamhetens miljöpolicy och mycket mer som är direkt intressanta för detta arbete lyser med sina insikter och bidrar till den analytiska effekten för detta arbete (Risser, P. G. 1991).

2.2 Teori och begrepp

Hållbarhetskoncept handlar om att uppnå balans mellan ekonomiska, sociala och miljömässiga faktorer för att möjliggöra en långsiktigt hållbar

utveckling. Det innebär att tillfredsställa dagens behov utan att äventyra kommande generationers förmåga att möta sina egna behov. Hållbarhetskonceptet eftersträvar att minimera negativa miljöpåverkningar, främja social rättvisa och ekonomisk välfärd. Det innefattar att integrera miljövänliga metoder och tekniker, bevara naturresurser, främja social inkludering och rättvisa samt säkerställa ekonomisk effektivitet och lönsamhet. Hållbarhetskonceptet innebär också att ta hänsyn till långsiktiga konsekvenser och effekter av beslut och handlingar. Det är en holistisk syn på utveckling som strävar efter att skapa en hållbar och balanserad framtid för både människor och planeten. (Olander et.al 2021)

Livscykelanalys (LCA) är en metod som syftar till att analysera och utvärdera den totala miljöpåverkan som en produkt eller tjänst genererar under hela dess livscykel, från råvaruutvinning och tillverkning till användning och avfallshantering. Genom att systematiskt undersöka energiförbrukning, resursutnyttjande och utsläpp av växthusgaser och andra föroreningar kan man bedöma produkters och processers inverkan på klimatet, luftkvaliteten, vattenresurserna och andra miljömässiga aspekter. (Batouli, M. et.al. 2017)

LCA omfattar vanligtvis fyra huvudsteg: mål och omfattning, inventering, bedömning och tolkning. I det första steget definieras syftet med analysen och vilka aspekter som ska inkluderas. Därefter samlas data in om material, energi och utsläpp som är förknippade med produkten eller tjänsten. Utifrån denna information genomförs bedömningar och beräkningar för att utvärdera den miljömässiga påverkan. Slutligen tolkas resultaten för att dra slutsatser och identifiera möjliga förbättringsområden.

LCA är en viktig metod för att hjälpa människor och organisationer att förstå och kvantifiera deras miljöpåverkan samt identifiera möjligheter till förbättring av hållbarhet. Genom att tillhandahålla evidensbaserad information kan LCA bidra till att fatta informerade beslut och främja mer hållbara och miljövänliga val i både individuellt och organisatoriskt beslutsfattande (Batouli, M. et.al. 2017).

Greenwashing och hållbarhetscertifiering, teorin om greenwashing syftar till att beskriva en strategi eller praxis där företag eller organisationer framställer sig som miljövänliga eller hållbara utan att faktiskt vidta adekvata åtgärder för att minska sin negativa miljöpåverkan. Greenwashing involverar ofta marknadsföring och kommunikation som avsiktligt skapar en illusion av miljöengagemang och ansvarstagande, vilket kan leda till vilseledande och falska påståenden.

Företag kan till exempel använda sig av symboler, logotyper eller formuleringar som ger intryck av att de är miljövänliga utan att ha konkreta åtgärder eller substantiella förändringar i sin verksamhet. Det kan också innefatta att betona mindre relevanta eller isolerade hållbarhetsinitiativ för att distrahera uppmärksamheten från de mer betydelsefulla miljöproblem som företaget orsakar.

Greenwashing kan vara problematiskt eftersom det förvrider konsumenternas uppfattning och försvårar deras förmåga att fatta välinformerade beslut (De Vries, G. 2015). Det underminerar också seriösa ansträngningar från företag och organisationer som faktiskt arbetar mot en hållbar framtid.

För att identifiera greenwashing är det viktigt att vara kritisk och granska företagens påståenden noggrant. Att titta på företagets faktiska handlingar och att ha tillgång till oberoende och trovärdig information är viktigt för att kunna genomskåda greenwashing och ta välgrundade beslut i valet av produkter och tjänster.

Greenwashing-teorin belyser behovet av att öka transparensen och ansvarigheten hos företag och organisationer, samtidigt som den uppmanar konsumenterna och intressenterna att vara medvetna och kritiska i sina val och krav på hållbarhet (De Vries, G. 2015).

Grön infrastruktur, uttrycket "gröna" arbeten i relation till byggindustrin avser jobb och yrken som är inriktade på att skapa och underhålla hållbara och miljövänliga byggprojekt. Det inkluderar arbeten inom

energieffektivitet, förnybar energi, gröna byggnader och grön infrastruktur. Grön infrastruktur i byggindustrin innebär att integrera gröna och hållbara element i planering, design och konstruktion av byggnader och infrastruktur. Det kan innebära att använda gröna material och tekniker bl.a. Syftet är att minska miljöpåverkan och främja en mer hållbar och resurseffektiv byggsektor. Begreppet "grönare" används för att beskriva en övergång mot mer hållbara och miljövänliga lösningar. (Naturvårdsverket. j. 2023)

Pedagogik och kommunikation, teorin bakom pedagogik och kommunikation i relation till klimatet betonar betydelsen av utbildning och informationsöverföring för att främja hållbarhetsförändringar och möta klimatutmaningarna. Genom pedagogiska strategier och kommunikationsmetoder kan kunskap och medvetenhet om klimatförändringarna spridas till en bredare publik, vilket främjar engagemang, ansvarsfullt handlande och samarbete för att minska utsläpp och främja hållbara beteenden. Teorin betonar vikten av att anpassa kommunikationsstilar och pedagogiska metoder till olika målgrupper och kontexter för att effektivt kommunicera vetenskaplig information och påverka attityder och beteenden, viktigt att den kommunicerade informationen landar hos målgrupperna på bästa sätt. Pedagogik och kommunikation används som verktyg för att inspirera, motivera och involvera individer, organisationer och samhällen i övergången till en klimatsmart framtid genom; utbildning, kampanjer, samhällsdiskussioner och samarbets initiativ. (Fenster, M. 2015)

Vidden av att kunna kommunicera både pedagogiskt men korrekt är det främsta verktyget för att undvika retoriska motargument av intressenter från opposita sidor, samt att skapa en gemensam bild av rådande omständigheter.

3. Metod

Detta arbete har utförts med främst kvantitativa metoder som matematisk modellering och med inslag av kvalitativa analyser.

Den data som insamlats har analyserats i sina egenskaper beroende på variabeln, övervägts och slutgiltigen sammanställts som ett matematiskt uttryck. Där variablerna behöver styrkas har kvalitativa granskningar för att utröna resultat, effekt, värde, substans m.m. för områden som samhällsbehov och utvecklingsområden.

Deduktiva uteslutningar av variabler, dess gränser och dess utformning har för arbetets kvalitet, det innebär att när en variabel tar form måste nödvändigtvis avgränsningar göras för att bibehålla uttrycket i en pur form.

Här är några viktiga aspekter av matematisk modellering som metod;

- **Abstraktion:** Matematisk modellering innebär att förenkla och abstrahera det verkliga systemet till dess väsentliga element och variabler. Genom att identifiera de viktigaste faktorerna kan man skapa en modell som är enklare att analysera och manipulera matematiskt.
- **Matematiska ekvationer:** En modell består av matematiska ekvationer som representerar sambanden mellan olika variabler i systemet. Dessa ekvationer kan vara enkla eller komplexa beroende på komplexiteten hos det studerade fenomenet.
- **Datainsamling:** För att utveckla en matematisk modell kan det vara nödvändigt att samla in relevanta data för att bestämma parametrar eller verifiera modellen. Datainsamlingen kan omfatta experimentella mätningar, observationer eller användning av befintlig forskning och litteratur.

- Parametrar: En modell kan innehålla parametrar som representerar olika egenskaper eller faktorer i systemet. Dessa parametrar bestäms vanligtvis genom att använda data eller genom att uppskatta värden baserat på tidigare forskning och kunskap.
- Simulering och prediktion: En av de viktigaste användningarna av matematisk modellering är att simulera systemet och göra prediktioner om dess beteende under olika förutsättningar. Genom att ändra värdena på variabler eller parametrar kan man observera hur systemet svarar och förutsäga dess framtida beteende.
- Validering och kalibrering: Det är viktigt att validera och kalibrera modellen genom att jämföra dess förutsägelser med verkliga observationer eller data. Om modellen inte överensstämmer med verkligheten kan det vara nödvändigt att justera parametrar eller förbättra modellen.
- Sensitivitetsanalys: Matematisk modellering möjliggör också sensitivitetsanalyser, där man kan utvärdera hur förändringar i olika variabler påverkar resultatet. Detta ger insikt i vilka faktorer som har störst inverkan på systemet och vilka som är mindre betydelsefulla.

Matematisk modellering används inom en myriad olika discipliner och forskningsområden, inklusive fysik, kemi, biologi, ekonomi, teknik och miljövetenskap. Det är en kraftfull och effektiv metod som kan ge insikter och möjliggör informerade beslut genom att analysera och förutsäga systemens beteenden

Referensmaterial för matematisk modellering:

- Bergman, Ärleback (2013)

Arbetet sker, främst genom kvantitativa metoder, men med aspekten på beteenden hos individer, attityder och andra mer individbaserade aspekter tillkommer en kvalitativ aspekt som breddar grunden för slutsatserna. Specifikt då arbetet arbetar med att behandla pedagogik som en huvudaspekt.

- Kvantitativa element: Genom att samla relevant data om konstruktionspraxis och dess föroreningsutsläpp, och sedan skapa värden för variablerna som sammanställs i en formel, använder arbetet kvantitativa metoder. Dessa inkluderar insamling av numeriska data och kvantifiering av variabler för att utföra kvantitativ analys och formulera en matematisk modell.
- Kvalitativa element: analysen av samhällsbehov och personliga aspekter, inklusive områden som klimatförnekelse. Dessa aspekter är mer relaterade till att undersöka uppfattningar, attityder, värderingar och uppfattningar, vilket är kännetecknande för kvalitativa metoder. Genom att utforska dessa faktorer kan arbetet utveckla djupare analys/resultat för sociala och personliga aspekter som kan påverka konstruktionspraxis och dess föroreningsutsläpp.

Vad gäller pedagogik är det främst en analys av deskriptiv statistik för befintlig data som lyfter resonemang och slutsatserna och hur de kan förhålla sig till den matematiska modelleringen och den kvalitativa insikten som ges. Där statistik från tidigare forskning granskas genom syftet för detta arbete, korrelationer mellan beteenden och värderingar.

För att simplificera delar av metodiken förtydligas nedan del av av resonemang och nyttjandet av metoderna.

- Kvalitativ studie;

- a. Litteraturgenomgång: En systematisk litteraturgenomgång av tidigare forskning och studier relaterade till lämplig data för det valda ämnet, dess syfte och mål till exempel; transparens, pedagogik, hållbar utveckling och greenwashing. Samla in relevant information, data och insikter från tidigare forskning för att få en grundlig förståelse av ämnet.

- b. Analys av kvalitativ data: Använder en kvalitativ metod som tematisk analys för att identifiera och analysera mönster, teman och relationer i den inhämtade informationen från litteraturgenomgången. Ur detta kan det extraheras och kategoriseras relevanta citat, resultat och observationer för att bilda en förståelse för hur greenwashing, transparens, pedagogik och ekonomiska faktorer samspelar.

- Kvantitativ studie;

- a. Datainsamling: Insamling av relevant kvantitativ data från tidigare forskning, rapporter och studier för ämnet. Detta kan inkludera statistik, mätningar och numeriska resultat relaterade till bland annat: greenwashing, transparens, pedagogik och ekonomiska faktorer från olika källor.

- b. Dataanalys: Analyserar och sammanställer den kvantitativa informationen genom att använda statistiska metoder som deskriptiv statistik, korrelationsanalys och eventuellt regressionsanalys för att dra slutsatser och identifiera mönster och samband mellan variablerna.

- Integration av resultaten;

- a. Sammanfattning och jämförelse - Integrera resultaten från din kvalitativa och kvantitativa studie genom att sammanfatta och jämföra de identifierade mönstren och sambanden från tidigare forskning. Diskutera

hur brist på transparens, pedagogik och själviska ekonomiska faktorer kan kopplas till greenwashing inom byggföretag baserat på den samlade analysen.

b. Slutsatser - Dra slutsatser baserat på den integrerade analysen av den samlade informationen från tidigare forskning. Diskutera implikationer, möjliga lösningar eller rekommendationer för att minska greenwashing genom att adressera bristen på transparens, pedagogik och själviska ekonomiska faktorer.

Genom att använda en metod som litteraturgenomgång och analysera tidigare forskning kan arbetet utveckla en djup förståelse av ämnet och dra slutsatser om bland annat greenwashing och dess samband med transparens, pedagogik och ekonomiska faktorer.

Av vikt är att säkerställa noga referat till källorna och diskutera de metodologiska övervägandena som rör användningen av tidigare forskning.

Referensmaterial för kvalitativa och kvantitativa studier:

- Paulsson (2020)

Arbetet är i grunden ett explorativt arbete som ämnar undersöka och upptäcka nya idéer, perspektiv och kunskaper inom ett ämnesområde som inte tidigare har blivit utforskat eller som har en ny infallsvinkel. Genom att tillämpa en ny vinkel på det gamla ämnet kan resultaten bidra med nya insikter och förståelse till forskningsområdet.

I ett explorativt arbete kan man använda olika metoder och tekniker för att samla in och analysera data, inklusive litteraturgenomgångar, observationer, intervjuer, eller andra kvalitativa och kvantitativa tillvägagångssätt. Målet är att skapa en grund för vidare forskning och generera nya frågeställningar och hypoteser.

Genom att utforska ett gammalt ämne genom en ny vinkel kan ett arbete bidra till kunskapsutvecklingen inom ämnesområdet och möjliggöra nya perspektiv och insikter.

Arbetet har inte utfört några vidare intervjustudier utan har istället haft kvalitativa samtal med experter inom sina områden, där individer med rådande expertis har delgivit studien sina kunskaper och utvecklat en förtroende-bas för de slutsatser som dragits. Den primära datan härleds ur de direkt relevanta studierna, artiklarna eller samråd med relevanta parter. Då frågeställningarna och resultaten direkt korrelerar med arbetet och är utvecklade för dess ändamål, de studier som här räknas som primära är dem med direkt koppling och inte tangerande data för ämnet.

Samtalen med Jernkontoret och TRV är goda exempel på primärdata ur kvalitativa samtal. Då har både fakta och idéer införskaffats genom detta som är omedelbart utvecklat för arbetet även om det utförts som inofficiella intervjuer.

Delar av litteraturen utgör sekundärdata, vilket innebär att den information, oavsett relevans, är i grunden utvecklad i andra syften än för detta arbete, vidare finns det i vissa av dessa artiklar och andra referenser möjlighet till opartiska vinklar. Då detta är en farhåga för att arbetet ska korrumpas av faktions-vinklingar är den datan som sammanställts i studien alltså sekundär om vidare efterforskningar inte hittar flera källor som opartiskt kan stödja informationen.

Då internetet har brukats för framskaffande av data är det rimligt att avgöra vad som utgör en god efterforskning. Då det rör sig om fakta kring lagar och bestämmelser, så väl som för godtycklig data med relevans för arbetet, är det av vikt att avgöra vilka källor som nyttjas.

Populära tidskrifter saknar ibland den kredens som söks vid vetenskapliga arbeten och är därav inte alltid lämplig vid anskaffning av fakta, dock då detta arbete införlivar en viss aspekt med avseende på samhällsbilden är det i detta avseende en källa till perspektiv.

Arbetet nyttjar delar av tematisk analys, som är en metod för att analysera kvalitativ data och identifiera teman och mönster som finns inom

materialet. I detta arbete har tematisk analys användas för att organisera och kategorisera de olika aspekterna av utsläpp, transparens och pedagogiska aspekter m.fl.

För att genomföra en tematisk analys kan man generellt följa dessa steg;

- *Förberedelse:*
Arbetet börjar med att utforska den extrapolerade datan, såsom texter från tidigare forskning, dokument eller anteckningar från samtal med experter. Identifiera de relevanta delarna av materialet som är kopplade till dina teman.
- *Kodning:*
Noggrann granskning av materialet och identifiera specifika delar som är relaterade till ämnet. Tilldela etiketter eller koder till dessa delar för att organisera dem. Här kan delar av den matematiska ekvationens sammanställning betraktas som kodningen ur ett kvalitativt perspektiv.
- *Kategorisering:*
Koderna grupperas i bredare teman eller kategorier. Dessa teman kan vara exempelvis "kg koldioxid per meter", "resenärer", "turtäthet", etc.
- *Analys:*
Undersök temana och deras relationer. Identifiera mönster, likheter eller skillnader mellan temana. Utforska även hur de olika temana kan påverka varandra eller ha samband.
- *Tolka och dra slutsatser:*
Reflektera över de identifierade teman och deras betydelse för arbetet. Diskutera hur de olika teman relaterar till varandra och de övergripande frågeställningarna. Dra slutsatser baserat på den tematiska analysen och diskutera dess implikationer.

Tillämpningen av tematisk analys, är i detta fall andra sidan av myntet på den matematiska modelleringen. Där på ena sidan av myntet, datan får sitt uttryck i önskade enheter och den pura formen av värdet sammanställs, och på andra sidan kan slutsatser för det socioekonomiska dras baserad på den tematiska analysen och de kvalitativa aspekterna.

Referensmaterial för tematisk analys;

- Bryman (2018)
- Stenström (2011)
- Orrgard, Nyström (2018)

Det praktiska tillvägagångssättet för arbetet uppåtdas då diskussion och resultat sammanfogas för de presenterade kapitlen. Då varje enskild variabel uppåddar omfattande studier och egna avsnitt i arbetet, följer det att i samband med volymen tillkommer vidare frågeställningar, resonemang och segment där beslut för vidare arbetet måste fattas.

Eftersom utformningen är explorativ krävs det att tillvägagångssättet för det praktiska arbetet innebär vissa antaganden eller slutsatser om utveckling tas i direkt anslutning till det relevanta segmentet.

Kombinationen av metoderna, tillvägagångssättet och den samlade datan, är grundat i hur arbetets upplägg är planerat, den explorativa vinkeln, det pedagogiska perspektivet och själva idén bakom arbetet. Genom att behandla arbetet dylikt, kan slutsatser som ger tydliga resultat i enlighet med syftets natur framkallas och motiveras.

Arbetet saknar de typiska versionerna av enkätstudier och liknande mått från små grupper för att avgöra större gruppers beteenden, men med utdrag ur båda metoderna, kan de komplettera varandra i att härleda intressanta data och slutsatser med bred grund.

Arbetet är dock, om en metod skall stå över den andra, en kvantitativ studie. Men uppskattningsvis är det en mix av båda som ger det totala uttrycket sin vidd och sitt djup.

I somligt skulle detta arbete även kunna kallas för en tvärsnittsstudie, om så enbart för att ändamålet är att skapa ett tvärsnitt för ämnet och applicera på en helhet.

4. Resultat och analys

Då arbetet kommer att bygga på flera olika variabler som skall definieras och analyseras ur flera perspektiv, krävs det att kombinera dessa delar för att de delar som krävs per variabel inte sprids ut till läsarens förtret. Målet med denna kombination är att underlätta förståelsen för variablerna då de utvecklas, granskas och utvärderas i sina egna stycken och då inte fördelat i olika kapitel.

4.1 Betong

4.1.1 Produktion och bruk

Betongproduktionen kan kräva olika tillsatser och specialkomponenter beroende på önskad egenskap hos den färdiga betongen. Här är några exempel på vanliga tillsatser och deras funktioner;

Flygaska - Detta är en biprodukt från förbränning och används i betong för att minska mängden cement som behövs och för att öka betongens hållbarhet (Ekman. 2020). Förbränningarna av olika material bidrar med olika kvaliteter av flygaska, då flygaska kan hämtas ur kol förbrännande kraftverk kan det även utvinnas ur andra förbränningsproduktioner (Nordström & Hassanzadeh 2018).

All flygaska ter sig dock inte lika väl ämnade för att fylla sin funktion i betongblandningar då de kan innehålla för stora mängder av oönskade kontaminerade ämnen. Dessa kan hämma härdningen av betongen eller orsaka inhomogena styrkeområden, slipers till slipers skulle alltså te sig olika och oberäkneliga.

Kvarts - Detta är ett fint kiseldioxid pulver som används för att öka betongens hållbarhet och beständighet mot kemikalier.

Superplastiseringsmedel - Dessa tillsatser minskar vattenbehovet i betongen, vilket gör det lättare att pumpa och forma. De kan också öka betongens hållfasthet och beständighet.

Färgpigment - Pigment kan tillsättas för att ge betongen en specifik färg eller för att matcha den med omgivande material.

Andra tillsatser som kan användas inkluderar stabiliseringsmedel, korrosionsinhibitorer, och härdare. Mängden av dessa tillsatser kan variera beroende på önskad betongtyp och tillverkarens specifika recept.

När det gäller hur stor del av en liter cement som tillsatserna utgör, så kan detta också variera beroende på receptet av betongen i fråga. Generellt sett är mängden tillsatser vanligtvis mycket mindre än mängden cement som används. Till exempel kan andelen flygaska vara cirka 10-30% av mängden cement i betongen, medan silika kan utgöra en mindre del, vanligtvis mindre än 5%. Superplastiseringsmedel används i mycket små mängder, oftast mindre än 1% av mängden cement (Nordström & Hassanzadeh 2018).

För- och nackdelar med att använda flygaska som tillsats i betongproduktionen enligt Nordström & Hassanzadeh (2018):

Fördelar;

Flygaska är en biprodukt från kraftverk och andra förbänningar som annars skulle slängas som avfall, vilket gör det till en hållbar tillsats då det förlänger livscykeln av ämnena som förbränts.

Flygaska kan minska mängden cement som behövs i betongen, vilket minskar koldioxidutsläppen från betongproduktionen och sparar på naturresurserna.

Flygaska har cementliknande egenskaper och kan öka betongens hållbarhet och styrka, flygaska kan öka betongens hållfasthet vid höga temperaturer och minska risken för sprickbildning.

Nackdelar;

Flygaska kan ha en hög halt av tungmetaller, så det är viktigt att kontrollera innehållet av tungmetaller och se till att de inte överstiger tillåtna gränsvärden.

Flygaska kan ha en hög kloridhalt, vilket kan leda till korrosion av armeringsjärnet i betongen om det inte kontrolleras.

Flygaska kan ha en lägre reaktivitet än cement, vilket kan leda till en långsammare härdning av betongen och därmed längre tid för att uppnå full styrka.

Sammanfattningsvis kan flygaska vara en fördelaktig tillsats i betongproduktionen på grund av dess hållbarhet, potential för att minska mängden cement som behövs och öka betongens hållbarhet och styrka (Tynhage & Lif 2021). Det är dock viktigt att kontrollera innehållet av tungmetaller och klorid, samt dess reaktivitet, för att säkerställa att betongen är hållbar och har de önskade egenskaperna. Flygaska med för hög kontamination av oönskade ämnen är inte lämpliga tillägg utan kan bara förkastas.

I enlighet med den moderna utvecklingen är flygaska ett ämne som försvinner till följd av minskade förbränningsprocesser.

Tidskriften Miljö & Utveckling har flertalet intressanta populärvetenskapliga artiklar angående ämnet om flygaska, deras validitet för just detta arbete är mer spekulativt men ger en insikt i att branschen har justerbara strukturer för att utveckla en ny processteknik för ämnet (Miljö & Utveckling 2020).

I samma anda utforskar även Petterson (2022) i en debattartikel hur flygaskan inte är ett ämne som hens uppskattning är miljöfarligt. Artikeln

är av debattform således inte en vidare pålitlig källa men skribentens yrkesmässiga roll och expertis är intressant för ämnet.

Bruk:

I enlighet med avgränsningarna för detta arbete kommer främst slipers av betong betraktas.

Slipers utgör de tvärgående bärare av rälererna, de anläggs ovanpå banöverbyggnaden och funktionaliteten i kraftdispersionen och stötabsorberande är nyckelkomponenter i långlivade spårbyggen.

Normala längder för line slipers (Gustavsson, M. 2020-a):

- Betong 2500mm

Den teoretiska livslängden på betongslipers ligger på uppemot 50 år men den mer sannolika estimeringen är att den måste bytas ut oftare än så.

“Sliprarnas skall utformas för en förväntad teknisk livslängd på 50 år i exponeringsklass XD1/XF3” - Trafikverket (2012e).

Nominellt centrumavstånd mellan sliprar varierar mellan 500-750 mm beroende på förutsättningar i spåret. (Gustavsson, M. 2020-a)

Typavstånd är 600 mm CC mellan sliprar, här kan då sägas att per meter skulle vi kunna sätta ungefärligt 2 slipers per meter.

Den betongsliper som betraktas väger cirka 250 kg och gjuts in stålformar i upp-och-nedvänt läge med flera sliprar i följd.

Armeringen består av förspänd armering, där fästen för befästningen är ingjutna i slipern. Dymling är ingjuten till befästningen. (Gustavsson, M. 2020-a)

SB35F 30 ton är Trafikverkets standardsliper för järnvägens tunga transportstråk, bland annat Malmbanan.

Slipern är försedd med Pandrol FastClip FC. Slipern levereras med rälpatta, isolator och 30 tons clips i pausläge (Betong med armering).

SBR23V är en ny standardsliper för lätt järnväg, spårväg och tunnelbana för upp till 15 ton axellast och 80 km/h (Gustavsson, M. 2020-a).

4.1.2 Klimatpåverkan

Enligt Naturskyddsföreningen (2023) är det ungefär 0.7-0.8 kg CO₂ utsläpp per kilo cement, då det är huvudkomponenten för betong överförs denna siffra, kanske i den lägre graden per kilo betong.

Produktion av ett ton cement kan ge utsläpp av kring 700-800 kilo koldioxid enligt Naturskyddsföreningen (2023), så multipeln för kg betong kan approximeras till 0.75 då vi tar medelvärdet och det även finns kross i materialet och stål som kan försummas just nu.

Enligt Ayoola et.al (2019), bidrar produktionen av betong utsläpp uppemot 90% av den framställda vikten i koldioxid, dock är detta ett värde och en beräkningsmodell som hänvisar till data för utländska förhållanden och produktioner och således inte relevant för detta. Värdet i iakttagelsen består dock i att tydliggöra mer klimatvänliga produktioner i andra länder, dess differens är betydelsefull för att uppskatta vidden av utsläpp och olika produktionsstandarder.

Emissioner	Totala utsläpp från elproduktion (ton)	Utsläpp per kWh producerad el
Kväveoxider (NO _x)	3 705	23 mg
Svaveldioxid (SO ₂)	1 596	10 mg
Koldioxid (CO ₂)*	2 076 485	13 g
Koloxid (CO)	6 819	43 mg
Flyktiga organiska ämnen (NMVOC)	662	4 mg
Metan (CH ₄)**	437	3 mg
Partiklar (PM 2,5)	1 106	7 mg
Partiklar (PM 10)	1 425	9 mg
Lustgas (N ₂ O)**	312	2 mg
Ammoniak (NH ₃)	103	1 mg
Bly (Pb)	0,73	4,6 µg
Kvicksilver (Hg)	0,02	0,1 µg
Dioxiner, g	1,7	0,0 ng

* CO₂-ekvivalenter inkluderat utsläpp av metan och lustgas

** De är redan inkluderade i branschens totala klimatpåverkan

Tabell 3. Visar emissioner baserat på ämnet och produktionsvärdet i kWh samt dess utsläpp (Energiföretagen. 2017).

Uppskattningsvis säger tabell 3 att de utsläpp som kommer ur svensk elproduktion motsvarar ungefär 13 gram CO₂ ekvivalenta utsläpp per kWh el.

Liknande studier påvisar betydligt större siffror i länder som USA, Skottland och andra mer fossildrivna länder. USA har till exempel beroende på delstat uppemot 0.4 g CO₂ per kWh (Carbon fund. 2022, EPA. 2020).

Frankrike och länder som är mer kärnkraftsberoende har liknande emissionsdata som Sverige i ekvivalenta utsläpp eftersom de inte förlitar sig på fossildrivna produktioner för framställandet av el.

Mer relevant data har införskaffats för att beräkna utsläppen per kWh från Naturvårdsverket, som uppger att 90 g/kWh ska användas för att beräkna utsläppen per enheter energi. (Naturvårdsverket- 1. 2022). Då detta värde styrks av energimyndigheten och är närmare nutida än föregående värden är detta det värde som slutgiltligen kommer nyttjas för variabelutveckling.

4.1.3 Variabelutformning

För variabeln som kommer nyttjas som del av de resulterande beräkningar betraktar vi i första hand betongen som utgör sliprar och inte dem av trä. Fördel med detta är att flera beståndsdelar i generell järnvägskonstruktion utgörs av betong och då kan den totala uppskattningen av liter betong per tvärsnitt sammanställas för att ge en godtycklig variabel.

Vidare kommer trä inte utgöra en del av detta arbete som någon betydande variabel, då denna formel inte tar i anspråk de utsläpp av cancerogena ämnen som kreosot, som impregneringen av träslipers ger upphov till.

Det är en annan beräkning än vad de resulterande uttrycken ämnar hantera och att hantera detta är långt mer en moralisk kalibrering än en direkt utsläppsbaserad, då kreosot och tidigare arsenik har andra effekter som är av men mer samhällsbaserad natur. Dock är det intressant i längden att diskutera även dessa då utsläpp inte alltid är av växthusbenägna gaser, vinkeln på den frågan kan sammanflätas med en utveckling av detta arbetes formel för att skapa en betydligt mer diversifierad inriktning på utsläppen vid konstruktion av järnväg.

För ett tvärsnitt som utformas är det alltså 100 cm som är längden för tvärsnittsmetern, på detta får två slipers plats och vidareutvecklingar bildar någorlunda geometriska uttryck som möjliggör denna beräkning.

För att ge en uppskattning kan man säga att för en typisk kabelränna (se figur 7) inom (TRV. d.f) svensk järnväg, som är 40x60 mm i tvärsnitt och installerad på ett betongfundament som är ungefär 400x400x400 mm i storlek, kan det krävas cirka 0,03 kubikmeter (30 liter) betong per meter av kabelrännan. Detta är dock bara en ungefärlig uppskattning och det är viktigt att ta hänsyn till specifika faktorer på platsen där installationen görs för att beräkna den exakta mängden betong som krävs.

Denna siffra borde vidare efterforskas på, men en god uppskattning för detta ändamål. Om vi konverterar de 30 liter till kilo så kan vi lägga till denna siffra för utsläppen per sliper som betong, dock med samma cementhalt.



Figur 7. Bilden visar en kabelränna i anslutning till anlagt spår, denna typ av kabelränna kan nyttjas av både hög- och låg spänning och separeras i rännan (S:T Eriks. 2018).

Då en slipers CO_2 bidrag uppskattas till 75% av sin totala vikt (Naturskyddsföreningen. 2023), är det fördelaktigt att göra samma för kabelrännan då de är jämförelsebara i sina material till viss utsträckning.

Det resulterande värdet av betongen, enkom då av de värden som uppskattas i detta kapitel som försummar till exempel transporter.

Landar per tvärsnitts meter alltså på;

$$(500 + 30) \cdot 0.75 = 397.5 \text{ kg} \cdot CO_2 \cdot m^{-1}$$

Sedan adderas till detta ett procentuellt värde av felmarginal på 2 procent ger det slutgiltiga variabelvärdet på ungefär $405 \text{ kg} \cdot CO_2 \cdot m^{-1}$.

4.2 Ballast

Det som kallas här för ballast lyder även under synonymerna “kross” och "makadam". Ämnet utgör den fundamentsbädd som järnvägens banöverbyggnad vilar på och består av krossat stenmaterial i lämpliga kornstorlekar. (Gustavsson, M.2020.b)

4.2.1 Användning

Sättet vi införlivar ballasten och dess nyttor inom så väl järnvägsinfrastrukturen som i många andra konstruktionsändamål är för att i grunden av anläggningen införskaffa ett redigt bärlager.

När det anläggs spår med dess tillhörande komponenter krävs styvhet för att hålla rälererna så raka och plana som möjligt trots de laster och krafter det utsätts för (Strokirk. 2019).

Ballasten skapar den styvhet som krävs för att säkerställa järnvägens rigiditet vid bruk och för att minimera sättningar som mjukare underlag kan åsamkas. (Gustavsson, M. 2020-b)

Då järnvägen behöver styvhet har den även ett behov av någorlunda flexibilitet för att inte resulterande krafter ska utsätta banöverbyggnaden för skador i onödan.

Ballast erbjuder för konstruktionen de egenskaper som eftersöks med rigiditet och styvhet för säkerheten, samtidigt som det även håller en relativ flexibilitet för att bibehålla den strukturella integriteten (Ballast.se. 2023).

För att fungera enligt kravbilden för svensk järnvägsstandard krävs en kornstorlek för ballast vid nyproduktion på 32-63 mm.(Gustavsson, M. 2020-b)

Ballasten hanterar även vatten och tjälen bättre än mer kompakta ämnen, då avrinningen och is-expansionen har vägar och utrymmen att röra sig mellan kornen. (Ballast. 2023, Gustavsson, M. 2020.b)

Det är bland annat därför ballast byts ut, då gammal ballast slipas ned av naturkrafterna och järnvägens transporter. När kornen slipas ned försämras kapaciteten för avrinning, tjäl-resistansen och sättningskyddet.

Ballastrening är en process som innebär maskinellt sorterande av kornigt material, förbrukad ballast nyttjas på områden där kraven för styvhet i banunderbyggnaden är lindrigare, som till exempel i godsmagasin och på bangårdar. (TRV. 2022 h)

4.2.2 Klimatpåverkan och energiförbrukning

Ballast kan ofta framställas av material som uppstår vid andra arbetsplatser, där sprängningar och schaktarbete utförs. Själva krossandet av stenmaterialet är energimässigt relativt skonsamt, enligt Erlandssons (2010) beräkningar för makadam i rätt kornstorlek för järnvägen drar ungefär 3.3 kWh/ ton (Se tabell 4).

Med Naturvårdsverkets beräkningar för producerad el (Naturvårdsverket-1. 2022), kan vi med beräkna att per ton material uppnår vi ett ungefärligt utsläpp på ungefär 300 gram CO₂ ekvivalenta gaser i enbart energiåtgången vid krossprocessen per ton.

Vidare uppskattas det i samma studie (Erlandsson, 2010) att det i samband med sprängning framstår även utsläpp av lustgas. Som i sig är en betydande växthusgas, då det estimeras att ur ett 10-årsperspektiv är 1 kg lustgas ekvivalent till nästan 300 kg CO₂.

Data för att dra slutsatser om mängderna inkopplade till utövandet av sprängningarna är dock inte tillräckliga i dagens läge för att kunna säkerställa utsläppsmängden.

Det som iakttagits i Erlandssons rapport (2010), är mer än dubblat i Bergmaterialindustrin-litteraturen med studiehandledning (Strokirk. 2019), där energiåtgången per ton krossmaterial uppges uppnå värden mellan 7-12 kWh. Differenserna är stora, speciellt om man skulle utgå ifrån de maximala värdena, då den andra källan inte specifikt anger kornstorleken i sina uppgifter över energiåtgången vid materialproduktionen är ett medianvärde möjligtvis mer i linje med verkligheten.

Vidare uppskattar Erlandssons (2010) uppgifter att det rör sig om 4 kWh/ton energiförbrukning av dieseldrivna fordon för internt transporter.

Enligt Miljöbarometern, som gjordes av Statistiska centralbyrån (2009), är 1 liter diesel likvärdigt med nästan 10 kWh, 9.963 för att vara exakt enligt deras rapport, som dock räknar med personfordon och inte för tyngre transportfordon.

Det är alltså med dessa värden och avvägningen mellan effektiviteten och förbrukningsvärden hos större industriella fordon kontrasterat mot privata, som det uppskattningsvis skulle kunna sägas att per ton drar transportfordonen internt för producenten ungefär 0.4 liter diesel (Bergkvist. 2017). Här görs även en avvägning och denna siffran, då delvis baserat på bristen av data kring utsläppsfaktorerna som inte går att uppskatta, rundas detta värde till en halv liter diesel.

Med värdet på liter per ton ballast, intern transport, multiplicerat med antal ton per tvärsnitt så kan en för arbetet intressant variabel utvinnas.

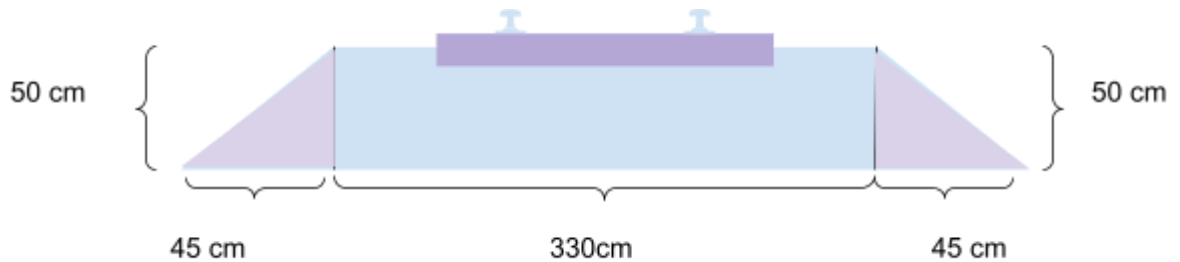
Varje steg utav materialutvinningen har således varierande uppgifter medans det rör sig om relativa skillnader är det betryggande för att resonabelt kunna dra slutsatser om en slutgiltig, dock approximativ, uppskattning om kostnaderna för miljön i form av utsläpp genom produktionen.

Vad som kan sägas, är att produktionen av krossmaterial orsakar sin beskärda del utsläpp då det till exempel utvanns enligt en rapport av Sveriges geologiska undersökning (2020) i snitt över 85 miljoner ton ballast per täkt och år 2020 hade över 1100 täkter.

Det rör sig alltså om omfattande mängder material som utvinns och resulterande värden av utsläpp utifrån detta.

4.2.3 Variabelutformning

För att framställa en godtycklig variabel för utsläpp per meter konstruerad järnväg, med avseende på ballast, behöver vi uppskatta en area för konstruktionen. (Se figur 8)



Figur 8. Areaberäkning av det nyttjade området för makadam med mått i uppskattade storlekar. Arean uppskattade och diskuterad i samråd med Markus Gustavsson (2023), kursledare för referensmaterialet Gustavsson, M. 2020.a-c. [Hemmagjord]

En rimlig slutsats är att bredden av det standardiserade spårplanets arbete anges till 4.2 meter, då frostskyddsskivorna sträcker sig upp till 4 meter på vanligt spår. Så för att krönet skall täcka detta med den korrekta lutningen så beräknas ett mildt överskott som även kan kontrastera det underskott i ballasten som uppkommer av slipersvolymen som ligger i materialet.

Då standardiserade mått för ballasten blir approximativt en höjd på 0.3 meter, en bredd på 4.2 meter. Uppdelat i de ytor för enklare beräkningar så har vi alltså en rektangulär yta med höjden 50 cm och bredden 330, denna area blir då 16500 cm^2 . Axlarna med uträkningen $2(B \cdot H // 2)$, ger oss en axel area på 2250 cm^2 . Adderat så får vi en tvärsnittsarea för ballastöverbyggnaden till ungefär 18750 cm^2 .

Med dessa förutsättningar är det en god måttstock för fortsatta beräkningar, planen är att ge en bild av kubikmeterpriset för en standardbana. Så detta förutsätter kurvradien på 500 meter eller mer i främst raka spår utan större bankande eller topografiskt icke-ideala förutsättningar.

Naturvårdsverket (l. 2022) ger att per kWh är det ca 90 g CO_2 per producerad kWh, med detta får vi alltså att 18750 cm^2 till kubikmeter ger

1.8750 m³ , ger ungefär 6.1875 kWh, som i sin tur orsakar ungefär 0.557 kg CO₂ per meter ballast i den överbyggnad som räknas med, men med flera källor och olika uppgifter utförs vidare efterforskningar.

Benämning	Allm. användningsområde	Antal krossningssteg	El-energianv. för krossning och siktning, kWh el/ton ^{1) 2)}
Makadam, 4-8 mm	Kallas ibland för gårdsgrus. Används även som halkstopp.	3	5,6 ³⁾
Makadam, 8-11 mm	Har samma användningsområden som 4-8, samt till mindre dränering.	3	5,1 ³⁾
Makadam, 8-16 mm	Dräneringsmaterial	3	4,7 ³⁾
Makadam, 16-32 mm	Uppfyllnadsmaterial.	2	4,0 ³⁾
Makadam, 32-63 mm		2	3,3 ³⁾
Makadam, 80-250 mm	Uppfyllnadsmaterial, brukar även kallas för skärv	1	1,7
Stenmjöl, 0-2 mm	Läggs bl.a. som underlag till asfaltering, plattsättning, Boulebana	1 till 4	7,5 ⁴⁾

Tabell 4. Visar olika kornstorlekar av makadam och energin som krävs för framställandet av detta material. (Erlandsson 2010.)

Arean gånger längden ger att en meter av ballast på järnväg kräver ungefär 1.8750 ton 32-63 makadam.

Med detta tillkommer då energin för enbart krossen av materialet till ungefär 6.1875 kWh som bara för krossandet av materialet ger upphov till 0.557 kg CO₂ per meter material. Detta tar inte utvinning eller frakt i beräkningen.

Detta värde baseras inte på medianvärdet som nämndes i föregående kapitel, så detta skulle kunna uppskattas som det optimala värdet men inte det rimligtvis mest trovärdiga.

Med samma konversion metodik, dock med ett medianvärde av Strokirk och Erlandssons värden: $\frac{3.3 + 12}{2} \approx 8$ kWh/ ton, formulerar ett mer troligt värde för energiförbrukningen vid processning av material.

Arean gånger längden ger att en meter av spårväg kräver ungefär 1.8750 ton 32-63 makadam.

Med detta tillkommer då energin som definierades i segmentet ovan till ungefär 15 kWh per meter, vilket sedan kan med Naturvårdsverkets (l.

2022) klimat- och miljöpåverkans värdering av 90 g/ kWh producerad el i Sverige till 1.35 kg CO₂ per meter.

För detta arbete är det värde som kommer skapa den bästa uppskattningen av ett approximativt värde för produktionens utsläpp, inte det mindre av de två som presenterats. Då antalet variabler som uteslutits redan minimerat det totala värdet och skapat ett mörkertal som ekvationen som bildas inte kan uppskatta, alltså väljs den större av variablerna i detta fall som ballast-variabeln. (Kump, B. 2022)

Alltså är den godtyckliga variabeln för utsläppen vid produktion av ballast 1.35 kg CO₂ per meter, detta värde rundas till 1.4 som skydd för felmarginaler.

4.3 Metall

4.3.1 Produktion

När det kommer till räler så kommer arbetet fokusera sig kring 60E1, 60 kg/m, som är den modernaste rälen som används i dag. Rälen började användas i Sverige 1987. (Gustavsson, M. 2020-c)

Detta antas som standard för arbetets progress, dock är det värt att nämna att speciella typer av rälsprofiler som vignol räler har kapacitet för att öka utsläppskostnaden för ett projekt så de är mer arbetskrävande i framställningen.

Hårdhet i räler mäts med Brinell. (Brinell Hardness Number) Brinell Hårdheten mäts med en härdad stål kula med en diameter på 10mm som pressas in i ett materialprov med en given kraft (typiskt 3000 N) under en given tid.

Därefter beräknas arean av det kvarvarande intrycket och en kvot, newton per kvadratmillimeter beräknas. (Gustavsson, M. 2020-c) (Metallkompetens [2023 d])

Värmebehandling R350HT/LHT vid Voestalpine, det företag som har kompetensen och faciliteterna för att producera 150 meters räler.

TRV:s huvudsakliga leverantörer av räl är tre företag förlagda utomlands (Gustavsson, M. 2020-c), vilket skulle rimligtvis härleda för den matematiska utvecklingen en granskning av transporter för materialet. Men då detta sker via järnvägsnätet är det förmånligare att fokusera på de större områden av utsläpp vid produktion för detta arbete.
de huvudsakliga leverantörerna är;

Voestalpine Donawitz Österrike (DO)

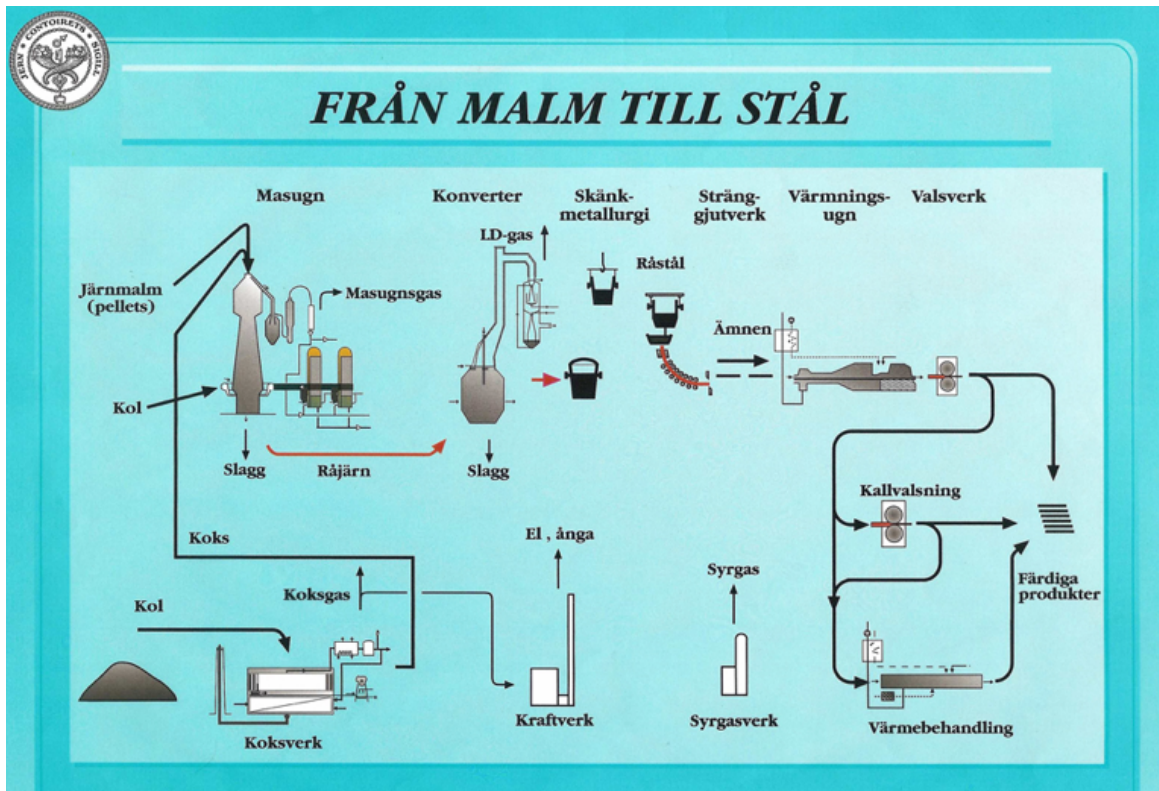
Tata Steel Hyange Frankrike (HY)

Moravia Steel Trinecké Zelezarny Tjeckien (TZ)

(Gustavsson, M. 2020-c)

Genom granskning av metallkompetens webbplats och offentliga information, påvisas minst 3 processer som kräver upphettning uppemot eller över 1000 grader C. Olika processer i olika ugnar förtydligas och härdningsmetoder för att uppnå den rätta material strukturen i enlighet med brinellskalan kräver i sin tur en del energi.

Betrakta figur 9 för de steg som krävs vid framställning av stål.



Figur 9. Visar produktionsstegen från malm till stål. Metallkompetens [2023 b]

4.3.2 Användning

Metaller är en huvudkomponent bakom samtliga infrastruktur, detta arbete förhåller sig till de mest grundläggande och avser att betrakta enbart stål, och då främst från nationella produktioner.

Stål utgör grunden för alla räler som anläggs, men nyttjas även som byggstomme för signalverk, stolpar, befästningar och många fler komponenter. Det lida inte brist på områden inom svensk järnväg där stål är en vital grundval för konstruktionens behov.

Stål är ett omfattande material som används för allehanda områden och täcker strukturella behov, men där det krävs mest och är oundvikligt i bruk är främst vid rälerna som tågen rullar på.

De kommer i olika längder, olika hårdheter och med flera andra behovsbaserade egenskaper. om en linje konstrueras med skarpa kurvor krävs specifika egenskaper av stålet, vid skarvspår och liknande är även dessa förutsättningar för vad stålet måste kunna hantera och produceras efter dessa parametrar.(Gustavsson, M. 2020-c)

4.3.3 Klimatpåverkan och energiförbrukning

Enligt Energimyndigheten (Jernkontoret (n.d.). 2013-a bidrar den svenska sektorn för framställningen och produktionen av metaller till över en tredjedel av industrins totala utsläpp och drygt 14% av sektorns totala energiförbrukningen (Jernkontoret (n.d.). 2013-a).

Jernkontorets subsidiära informationssajt metallkompetens pratar om att i produktionen av stål så genom att värma redan format stål för vidare arbete kan det krävas så mycket som uppemot 190 kWh för att uppnå en temperatur på 1000°C, och då rör det sig om endast ett ton stål. (Metallkompetens. 2023-a-c)

Enligt Nilson, G¹ (2023), är en god estimering av de olika utsläppen som resulterar vid produktion av rälerna tvåfaldigt.

Det ena sättet att uppskatta utsläppen är från stål som utvunnits med mer miljöoptimerade metoder, då mestadels el nyttjas som kraftresurs vid produktion. Vid fall som dessa krävs uppemot 4 MWh energi för att färdigställa ett ton från den simplaste form av utvunnen materia från gruvproduktion, till färdigställt stål i rätt form och storlek.

Den andra tumregeln (Nilson, G. 2023), som då reflekterar de produktioner av stål som inte är via lika miljöoptimerade processer, är en rimlig tumregel att 1 ton stål orsakar 2 ton CO₂ utsläpp.

Ett förtydligande för de olika processerna är att energin som nyttjas vid mer miljöoptimerade processteg nyttjar kraftnät som hämtar sin energi från icke fossilt ursprung, medans dem med högre utsläpp vid produktion nyttjar bränslen som kol, gas och andra icke förnybara och CO₂-mässigt höghaltiga ämnen. (Nilson, G. 2023)

¹ Kommunikation, [Telefonsamtal] med G.Nilsson, 2023-03-15.

Vidare i samtal med Jernkontoret angavs en god approximativ uppskattning av energi från brytningsprocessen av järnmalmen, just då att addera upp till 20% av totala utsläppen från produktionen för då brytningens utsläppsfaktor.

Produktionen av stål för att skapa produkterna för järnvägen kommer inte enkom från nybrutet material utan även delvis från återvunnet material (Metallkompetens. 2023 b). Enligt Nilson, G (2023) är energikraven att återvinna material till nya produkter likvärdiga som sammanställningen från nyproducerade material. För återvunnet material kan brytningsfaktorn försummas men en ny faktor för frakt bör då övervägas. Det som komplicerar just denna faktor är att återvinning inte sker centraliserat utan kommer från flertalet källor och transporter varierar i distanser.

Efter kvalitativt samtal med Jernkontoret (Nilson, G. 2023);

1. En god tumregel enligt Nilson, G (2023), är att genom eldrivna metoder krävs ca 4 MWh per ton stål, från svamp till färdig produkt. Och med kol kan man räkna 1:2, ett ton stål blir samma som 2 ton CO₂-ekvivalenta utsläpp.
2. Enligt Nilson, G (2023) kan vi också vid brytningen addera 10-20% utsläpp till totalen från produktionen. Så 2 ton CO₂ plus 20%
3. Man kan principiellt uppskatta skrot som har samma CO₂- utsläpp som för ny malm, då processen är exakt samma. Det är bara brytningen som försvinner.
4. Österrike (voestalpine) producerar mest räls till andra länder, främst dem som gör 150 meter räler.

4.3.4 Variabelutformning

Med en överväldigande samling data ska det extrapoleras rimliga variabler för sammanställningen av en slutgiltig formel.

Just i anskaffningen av stål finns det enligt källor minst två olika modellbaserade material att betrakta. Därför är det rimligt att sammanställa två ekvationer baserat på metodikt. Beslutet fattas då det är markanta skillnader i utsläppen beroende på processerna och detta skapar en intressant grund för diskussion.

Variabeln för miljömedvetna (Jernkontoret (n.d.). 2022-b-c) processer kan formuleras efter de tumregler som vid hållits av källa från Jernkontoret (Nilson, G 2023), då 4 MWh krävs för sammanställningen av 1 ton räls i färdigställt format.

Ett ton kan fördelas för en 60 kg/m räl som är standard till följande;

Räler M	0.96 kg · CO ₂ · m	1 kg · CO ₂ · m
Extra Räl M	20% av Räl utsläpp	0.2 kg · CO ₂ · m

För konverteringen från energiberäkningen till värden i utsläpp används samma beräkningen med samma källa som i kapitlet för ballast, då alltså ungefär 20 gram CO₂ ekvivalenta utsläpp per kWh el.

Ett ton stål blir ungefär 4 MWh, då vi vill ha metervis blir det alltså 2 m av 60 kg dvs 120 kg.

då alltså 12% av ett ton, tar vi alltså 12% av 4000 kWh, som blir 480 kWh. Med 20 g CO₂ per kWh får vi ungefär 0.96 kg CO₂ per meter räl. Det är rimligt vid detta steg att runda detta värde till heltal och då blir variabelvärdet för 1 meter miljömärkt stål 1 kg CO₂ per meter räl.

Till detta adderas den 20% ökningen enligt Gert och den slutgiltiga siffran blir då 1.2 kg som skall införlivas i de resulterande uttrycken.

En slutgiltig insikt för variabelutformningen följer i den garantitid som erbjuds för materialet, som då verkar från produktionsår och fem år ytterligare (Gustavsson. 2020.c). Vad detta innebär för fortsatta beräkningar, så kan ytterligare variabler utformas för de gånger där slipning av räls eller svetsning måste implementeras. Då om en garanti tid sträcker sig uppemot fem år och en eventuell tidshorisont som ekvation ett resulterar i passerar detta, måste alltså en ytterligare variabel införlivas för att åstadkomma ett mer korrekt värde.

Nämligen att om en neutraliseringshorisont passerar garantitiden för produkten bär en viss procentuell ökning av utsläppen adderas för ett väntevärde av reparationer.

4.4 Utsläpp vid drift

4.4.1 Härledning av data för utsläpp vid drift

Genom TRV:s egna Klimatkalkylverktyg (Se Bilaga 7.1.2) utvanns ett snitt datavärde för några delar av produktionens bränsleförbrukning. Dessa inarbetas i det matematiska uttryck för den tvärsnitts uträkning som utformas. Mer data från Statistiska centralbyrån (2009) nyttjades för att styrka vissa antagande värden.

För beräkningarna har följande antaganden om de maskiner som utför arbetet gjorts:

- Anläggande av räler och sliprar görs av spårläggningståg i enlighet med klimatkalkylverktygets schablonförbrukning av drivmedel (3,3 liter per meter). (Se Bilaga TRV)
- Anläggande av makadam görs med makadamståg med en uppskattad drivmedelsförbrukning av 3,3 l diesel per meter. Maskinen antas kunna lägga ut 60 meter makadam per timme.

- Spårbyte antas bli utfört av spårbyteståg av motsvarande storlek som spårläggningståg. Samma byggdel kan därför användas. Makadambyte antas bli utfört av makadamtåg med en uppskattad drivmedelsförbrukning på 3,3 liter diesel per meter. Maskinen antas kunna byta ut 60 meter makadam per timme.
- Rälslipning antas bli utförd av ett sliptåg som förbrukar 117 liter diesel per kilometer enligt uppgift i rapport av Stripple & Uppenbergs (2010).
- Övriga arbeten utförs av mindre fordon/maskiner med en dieselförbrukning på 30 liter per timme. (Stripple & Uppenbergs. 2010)
- När det kommer till diesel så blir ett uppskattningsbart värde för bränslet för interna transporter av ballast beräknas detta som 0.4 liter/ton (Bergkvist. 2017)•1.8750 ton/meter, och den resulterande variabel blir då 0.75 liter per meter.

I avsnitt 4.4 ser vi upplägget för utsläpp i form av fordonsbränsle, den variabel som kan härledas ur den extrapolerade datan från TRV:s klimatverktyg och relaterade bränsleanalyser i resultat kapitlet. Detta kan härledas matematisk till en minimi beräkning för de generella maskiner som tillkommer vid produktionen av järnväg. Andra källor för framställningen av variablerna är Erlandssons (2010) och Perby (1987), där samtliga nyttjas genom att utvärdera de olika arbetena och sammanfatta en rimlig variabel för detta arbete.

Enligt studien om emissioner av diesel (Perby, 1987) kan mängden koldioxid som resultat av dieselförbränning anges i gram per liter. Studien visar att ungefär 1 liter diesel är likvärdigt med 2.61 kg koldioxid vid förbränning.

För anläggning av räl, ballast och sliper krävs det enligt klimatverktyget uppemot ett minimumvärde av 6.6 liter diesel per meter för anläggning av de 3 huvudkomponenterna som här beräknas.

Snabb matte gör att 6.6 liter blir ungefär $6.6 \cdot 2.61 = 17.16$ kg CO₂ m⁻¹, addera mängden liter från övriga områden så blir ett beräkningsvärde för denna variabel 17.91 liter, som rundas upp till 18 liter per meter för att säkerställa en viss felmarginal.

4.4.2 Variabelutformning

För förbrukningen av drivmedel anknutet till produktionen härleds datan i ovanstående kapitel enligt källor och extrapolerade data från sakkunniga instanser.

Dem variabler som är bekväma att behandlas är dem där det finns betryggande snittvärden på och därmed försakas uppgifter som förvisso är relevanta för arbetet men långt mer obehändiga att brukas i en standard formulering av värden.

Därför kommer de uppskattade 30 liter/ h bränslekostnader för små/privata-trafikmedel inte att införlivas i en slutgiltig beräkning. Dess värde är inte försumbart men det är inte rimligt att införa i slutberäkningen då dessa inte är kompatibla beräkningssätt.

Den slutgiltiga siffran över bränsleförbrukning kommer sedermera att landa i 17.5 kg CO₂ per meter, vilket går att införliva i den tvärsnittsberäkning som är huvudmålet med arbetet.

4.5 Vinsten i CO₂ från tågresor

4.5.1 Resor, tåg och passagerare

Detta bygger på ett upplägg av uppskattade värden för god kapacitet, värdena härstammar från lokala trafiknät och standardiserade mått, uppskattade värden och

Enligt uppgifter från Öresundståg så uppskattas det till att vara maximalt 687 sittplatser per tåg i trafik. (Öresundståg, 2023)

Som måttstock kan då ett vanligt regionaltåg uppskattas till uppemot 687 resenärer för en bekväm åktur med 100% nyttjande av sittytor.

Turtäthet från Helsingborg till Lund på ca 81 turer dagligen utgör grunden till lokaltrafik beräkningen när det gäller turtätheten. Detta värde estimeras

enkel väg från HBG till Lund och extrapoleras ur Happyrail uppgifter om turtätheten (Happyrail [2023-05-01])

För en rättvis bedömning av antalet passagerare dagligen är det rimligt att förutsätta antalet per tåg inte överskrider 75%, detta då vissa tåg inte nyttjar maximal kapacitet på grund av färre resenärer, medan andra överskrider antalet då folk står upp i tåget.

Det vill säga att en rimlig uppskattning av antalet passagerare kan beräknas som 515 per tåg.

För att nu beräkna det vinst värde CO₂ som kommer av att 515 personer väljer tåg före bil görs följande beräkningar:

Tågmodellen för uppskattningen är X31 som körs av öresundståget, vilken har en tjänstevikt på 156 ton (Jarnvag.net. 2023) och energiåtgången för denna typ av tåg blir 72.7 Wh/Bruttoton km (Trafikverket. h. 2022).

För att uppskatta vikten av passagerartåget, tre vagnar och uppskattningsvis 515 personer total, fördelas resenärerna enligt könsfördelningen i Sverige (SCB. c 2022) då ungefär 49.6% är kvinnor och resterande 50.4% är män. Enligt Statistiska Centralbyrån bör dessa resenärer beräknas viktmissigt enligt snittvärdena för män 84 kg och kvinnor 68 kg (SBC. c 2018). Vikten för tåget och vikten för passagerarna kan adderas enligt följande:

Tjänstevikt + vikt av passagerare

$$156 + (515 * 0.504 * 849) + (515 * 0.496 * 68) \approx 195 \text{ ton}$$

Vikten här kan rundas till 200 ton, med inräknad packning, djur och övrigt. Då enbart vuxna har räknats med kan även de ytterligare 5 ton som beräknas inkludera barn för att dessa ska inkluderas om så på ett hörn.

Med bruttovikten, energiåtgången per km är det nu att beräkna för den snitt beräkningen som är grunden för slutsatserna och arbetets huvudsakliga mål. återigen används 90 g per kWh som konverteringsvärde för energi till CO₂ utsläppen.

$$\frac{0.0727 \cdot 0.09 \cdot 200}{1000} \approx 0.01 \text{ CO}_2 \text{ kg per meter}$$

För att slutföra variabeln som betecknar vinsten av att åka tåg istället för bil krävs en tolkning av vad en bil skulle dra i samma sträcka.

En moderna bensindriven bil beräknas dra ungefär 0.69 liter bränsle per mil (Wästgöta finans. 2020), medans samma moderna bil på diesel skulle dra 0.73 liter per mil (CRUZ DEL TERCER MILENIO. 2023). Medelvärde för dessa blir ungefär 0.72 liter per mil.

Densiteten för bränslena är 1:0.885 och 1:0.75 för diesel och bensin respektive, med ett medelvärde på 1:0.8175

Utsläppen per liter för bränslena är 1:2.65 och 1:2.4 för diesel och bensin respektive, med ett medelvärde på 1:2.525.

Garderade med detta kan vi nu betrakta medelvärdet av utsläppen baserade på de värden som presenterats, genom att konvertera liter per mil till CO₂ per meter.

$$\frac{0.72}{10000} \cdot 2.525 \cdot 0.8175 \approx 0.00015 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-1}$$

Fortsättningen av variabeln för vinsten utvecklas genom att uppskatta den totala andelen bilar per dag som tåget skulle byta ut.

Med 515 resenärer per tåg uppskattas det, med generösa mått för att göra vinstkvoten så optimal som möjligt, att 20% av 515 resenärer skulle samåka med en bil och att resten skulle nyttja privat fordon.

beräkningen för antalet bilar blir således:

$$515 - (515 \cdot 0.2) + (515 \cdot 0.1) \approx 462 \text{ bilar}$$

Antalet bilar minskas med 30 för att uppskatta potentiella felkällor som cykeltrafik eller andra alternativa transportmedel.

Antalet bilar kan nu multipliceras med utsläppen per bil per meter och antal avgångar som även avgör antalet bilar dagligen som byts ut.

$$432 \cdot 0.00015 \cdot 80 = 5.184 \approx 5.2 \text{ CO}_2 \text{ kg m}^{-1}$$

Tåg byter inte enbart ut bilar utan även relevant är godstrafiken. Om en lätt lastbil släpper ut ungefär 1.55g CO₂ per km (TRV-i. 2022), kan vi nyttja detta för att uppskatta ungefärligt värde som 4 godståg skulle ersätta på samma sträcka.

Då ett helt godståg kan vi uppskatta antalet vagnar till 20 (TRV-j. 2017), och om vi uppskattar 4 dagliga godstransporter med 20 vagnar var, kan vi börja forska fram siffran på bränsleåtgången som kan inkluderas i vinsten genom godstransporten.

Green cargo (2023) uppskattar att de dagligen nyttjar uppemot 400 godståg inrikes, medan Trafikverket (TRV-a. 2023) uppskattar antalet totalt i Sverige till ungefär 530 dagligen.

Antalet som kan uppskattas för att åberopa en lämplig vinst väljs då uppskattningsvis med 80 avgångar på det projekterade spåret endas ger en lucka om 18 minuter mellan avgångarna, och då är det rimligt att förutsätta vissa timmar om dygnet skulle trafiken kunna undvaras för godståg. Det förutsätter naturligtvis en högre turtäthet vid senare tider.

Med detta antas alltså 5 godståg som söker passage genom det projekterade linjeområdet.

Med antalet vill vi nu veta hur många lastbilar som godstågen kan byta ut för att bidra till vinstvariabeln. Green Cargo (2023) uppskattar att deras trafik byter ut 9000 lastbilar dagligen, om vi då uppskattar att våra 5 skulle ha samma effektivitet som deras kan vi alltså beräkna antalet lastbilar per godståg:

$\frac{9000}{400} \cdot 5 = 112.5$ som kan avrundas till 150, då utsläppen är kalibrerade för mindre fordon och då inte långtradare, för att minska marginalerna för fel.

Med en bränsleåtgång per meter per lastbil på $1.55 \cdot 10^{-4}$, kan vi multiplicera detta värde med antalet som ovan etablerats och addera detta till helheten av utsläppen från biltrafiken som här uppskattas.

$$150 \cdot 1.55 \cdot 10^{-4} + 5.2 = 5.223 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-1}$$

Resultterande vinst variabel kommer genom att subtrahera utsläppen från tågtrafiken som presenterats från utsläppen som härstammar ur biltrafiken den skulle komma att byta ut.

$$5.223 - 0.01 = 5.213 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-1}$$

Den slutgiltiga vinsten definieras som $\Delta \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-1}$ och har ett värde på $5.213 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-1}$.

4.6 Resultterande matematisk sammanställning

Det matematiska upplägg som arbetet ämnar upprätta, delas in i de variabler med tillhörande SI-analys som tillhör.

De variabler som upprättades är dem som lyder under de avgränsningar arbetet upprättades initialt och den data som införskaffats inför denna sammanställning.

Med dem värden och datapunkter som framtagits ämnar arbetet hålla sig till CO_2 som grunden för utsläppen då ekvivalenta utsläpp beräknas in i detta med lämpliga skalor. tex är utsläpp av metangas

Inför följande kapitel används den relevanta datan för att beskriva de olika variablerna från de korresponderande kapitlen, t.ex vad stål anbelangar kan resonemang och datan som styrker de slutgiltiga värdena finnas i kapitlet "Metall".

4.6.1 Formelupplägg och variabler

Resultterande variablsammansättning.

De formulerade variablerna som kommer att ge uttryck för de resulterande ekvationerna för arbetet finns i tabell 5.

Variabel	original värden	Utskrivna värden
Distans	1 m	1 m
Slipers	$(500+30) \cdot 0.75 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$	$397.5 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Slipers felmarginal	2% av antal slipers	$7.5 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Räler M	$0.96 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$	$1 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Extra Räl M	20% av Räl utsläpp	$0.2 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Räler F	$240 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$	$240 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Extra Räl F	20% av Räl utsläpp	$48 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Makadam	$1.35 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$	$1.4 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Diesel, anläggningsfordon	$17.91 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$	$18 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-1}$
Resenärer per tåg 75%	$687 \cdot 0.75$	515
Antal avgångar per dag	81	80

Tabell 5, variabler som utgör det resulterande matematiska uttrycket för utsläppen..

Variabel	Original värden	Utskrivna värden
Distans	1 m	1 m
Bränsle: bil	$5.184 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-1}$	$5.2 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-1}$

Bränsle: lastbil	0.0225 kg CO ₂ m ⁻¹	0.0225 kg CO ₂ m ⁻¹
Antal bilar	432	432
Antal lastbilar	112.5	150

Tabell 6, variabler som utgör det resulterande matematiska uttrycket för vinst kvoten.

Slutgiltiga variabler	Värden
Utsläppen per meter M)	425.6 kg CO ₂ m ⁻¹
Utsläppen per meter F)	712.2 kg CO ₂ m ⁻¹
Vinst per meter	5.213 kg CO ₂ m ⁻¹

Tabell 7. Visar de slutliga värdena som utgör konstanten för beräkningen av tid per meter för neutralisering.

4.6.2 Matematiska uttryck och SI-analys

Analys av ekvationerna genom enhetsanalys:

Ekvation 1:

Distans (m) = Neutraliseringshorisont

$$\frac{(\Sigma CO_2 \text{ utsläpp})}{\Delta \text{Utsläpp tåg och bil över tid}} = \text{Neutraliseringshorisont}$$

$$\left(\frac{\Sigma CO_2 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}}{\Delta CO_2 \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{t}} \right) = \text{Neutraliseringshorisont}$$

$$\frac{k}{t} = \text{Neutraliseringshorisont}$$

$$k = \text{Neutraliseringshorisont} \cdot t$$

Vid detta skede kan de enhetslösa beteckningarna exkluderas för att ge det slutgiltiga uttrycket²:

$$k = t$$

Resultterande formel för ekvation 1. Variabeln k utgör konstant värdet av utsläpp genom vinst.

Distans räknas som meter och tid kan skrivas som t med värde av 365 för att beteckna ett år.

Ett ytterligare perspektiv för att beräkna utsläppen per resenär för den uppskattade sträckan genom nästkommande ekvation

Ekvation 2:

$$m((CO_2 \cdot kg \cdot m) \cdot (tåg \cdot avgångar \cdot 365)^{-1}) = \text{utsläpp per resa}$$

vilket kan uttryckas på ett mer lättläst sätt som:

$$\text{Distans} \cdot \frac{CO_2 \cdot kg \cdot m}{tågresor \cdot avgångar \cdot 365} = \text{utsläpp per resa}$$

Resultatet av uttrycket (Distans * CO₂ per meter) / (antal tågavgångar * 365) ger oss utsläppen per resa. Detta värde beskriver den genomsnittliga mängden koldioxidutsläpp som tillkommer från produktionen av järnvägen om den fördelas över resorna genom kapaciteten.

Genom att ta hänsyn till den totala sträckan och koldioxidutsläppet per meter längs järnvägen kan här beräkna det samlade utsläppet. Genom att sedan dela detta med antalet tågavgångar multiplicerat med antalet dagar på ett år (365) kan vi få en uppskattning av utsläppen per resa

² Σ CO₂ utsläpp uttrycks som kg*CO₂*m, för samtliga utsläppsvariabler. Kapacitet innefattar antal passagerare och antal tåg, och då tiden är i år blir uttrycket: avgångar*tåg*365

Detta innebär att vi tar hänsyn till den totala sträckan som järnvägen täcker och fördelar utsläppen över antalet passagerare.

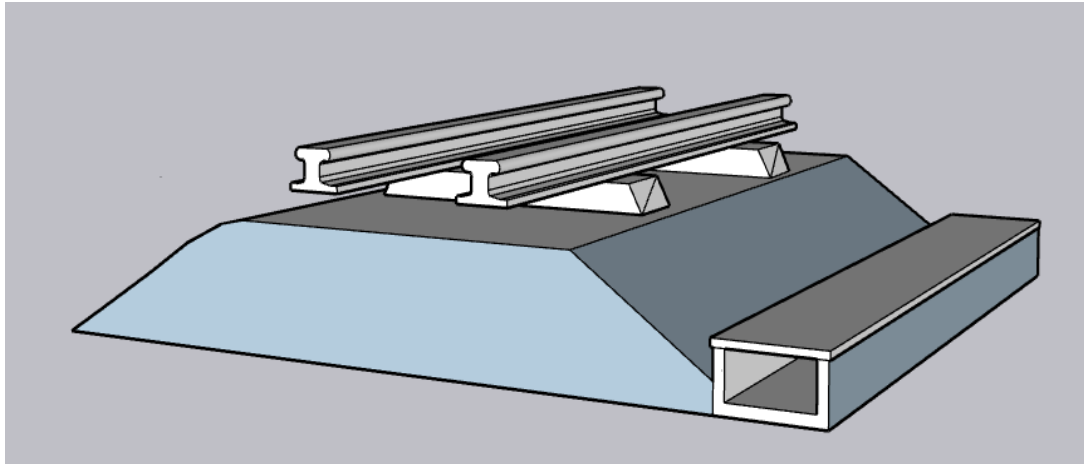
Vilket i praktiken ger ett tvärsnitt på 1 meter spårväg, enligt de parametrarna som listas i tabell 5. Där resultatet blir beroende på vilken typ av produktionsväg som valdes vid rälsutformningen, varianterna orsakar olika tidshorisonter och bör alltså utformas enskilt.

De olika räls processerna benämns som Råler M, som står för miljöanpassade processer samt som Råler F, som i sin tur står för fossila bränsleprocesser.

Uttrycket enligt SI-analysen formulerar alltså en utsläppsfaktor som kompenseras av antal resande på sträckan, det ger att uttrycket i ord betyder “ hur många år innan konstruktionsprocessen är kompenserad”. Beroende på distansen som skall byggas kommer det slutgiltiga resultatet variera och horisonten för neutraliseringen förflyttas.

Det är en av de huvudsakliga syftena för arbetet att formulera ekvationernas resultat till ett mer normaliserat uttryck än direkta utsläpp. Genom att ge ett svar från den matematiska modelleringen är förhoppningen att det ska bli mer lättbegripligt och att gemene person kan reflektera över svaret i relation till något som är mer relaterbart.

4.6.3 Sammanfattning av resulterande ekvationer



Figur 10. 3D modellerat tvärsnitt över en panerad meter järnväg med variabel komponenter inkluderade [Hemmagjord].

Det vi börjar se är en mer allomfattande bild av en neutralisering horisont, och det som nu bör undersökas är livslängden av komponenterna, om det kan fastställas ett ungefärligt mått på vilka komponenter som måste bytas innan horisonten är nådd, förlängs denna med värdet på frakten, inställning och producering kostnaderna i CO₂ värden.

Kump (2020) erhåller att till vissa gränser kan slutsatser dras efter en intuitiv befogethet från forskarna själv.

Det i samband med en studie (Tynhage & Lif. 2021) som uppger en standardavvikelse för betong på uppemot 1.6% kommer vidareutvecklingar av Ekvationen innehålla en felmarginal för slipers hållbarhet och räkna med en 2% ökning av totala slipers mängden för att inte förutsätta 100% hållbarhet.

Så principiellt kan vi addera $375 * 0.02$ som blir 7.5 till huvudsatsen

Till viss del kan detta arbete uppskattas som en miljökonsekvensanalys, med en vinkel för att utvecklas beroende på vidden av planerade projekt. Rimligtvis så visar den datan som har sammanställts på en approximativ minimikostnad av utsläpp för bygge av järnväg med önskad storlek.

Vad ISO anbelangar så berör den främst byggnader, dock skulle ett argument kunna framföras att dess värde för järnväg är minst lika stort. Infrastrukturen för transport leder i många fall till utvecklingen av städer

och den totala samhällsformen. Där järnvägar, bilvägar och cykelstråk konstrueras blir det omfattande investeringar i bostäder och orts-utvecklingen frodas där transport finns. Därav är järnvägen, som enda egentliga miljömedvetna alternativ för längre distans transporter, inte minst sagt nyckeln till hållbarheten och utvecklingen. (Naturvårdsverket. 2023 f) Därav är det inte orimligt att sätta den högsta av standarder för dennes utformning. Inte nog med att den enligt denna diskussion är helt avgörande för områden där den utvecklas utan även för det klimatavtryck som kommer uppdagas från sin kringliggande bebyggelse.

Variabel	Original värden	Utskrivna värden	Slutgiltiga Variabler
----------	-----------------	------------------	-----------------------

Distans ³	1 m	100 000 m	100 000 m
Slipers	$(500+30) \cdot 0.75 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$405 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$405 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$
Slipers felmarginal	2% av antal slipers	$7.5 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	
Räler M	$0.96 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$1 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$1.2 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$
Extra Räl M	20% av Räl utsläpp	$0.2 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	
Räler F	$240 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$240 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$288 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$
Extra Räl F	20% av Räl utsläpp	$48 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	
Makadam	$1.35 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$1.4 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$1.4 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$
Diesel, anläggningsfordon	$17.91 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$18 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$	$18 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}$
Resenärer per tåg 75%	$687 \cdot 0.75$	515	515
Antal avgångar per dag	81	80	80

Tabell 8. Sammanställning över variablerna, dess utveckling och slutgiltiga form.

³ Värden för denna variabel är exempel variabler och därmed utbytbara, det ursprungliga värdet för tvärsnittsmeterna är dock 1 meter. Andra värden är för att forma slutsatser av resultaten.

Variabel	Original värden	Utskrivna värden
Distans	1 m	1 m
Bränsle: bil	5.184 kg CO ₂ m ⁻¹	5.2 kg CO ₂ m ⁻¹
Bränsle: lastbil	0.0225 kg CO ₂ m ⁻¹	0.0225 kg CO ₂ m ⁻¹
Antal bilar	432	432
Antal lastbilar	112.5	150

Tabell 9. Vinstvariablerna och dess slutgiltiga form

Beräkning av ekvation 2, Med räler M:

$Distans (Samtliga CO_2 \text{ variabler}) / (tågresa * avgångar * 365) = tid$

$$\frac{100\,000 (405+1.2+1.4+18)}{515*80*365} = 2.83 \text{ kg CO}_2 / \text{resenär på ett år}$$

Beräkning av ekvation 2 med räler F:

$$\frac{100\,000 (405+1.2+288+18)}{515*80*365} = 4.73 \text{ kg CO}_2 / \text{resenär på ett år}$$

I detta stadiet är det återigen viktigt att lyfta vissa punkter med tanke på resultatet. Först att detta inte är egentligen indikativt på något annat än att ekvationen visar enbart för de beräknade värdena ett värde i utsläpp per passagerare årligen. Om anläggningen av 10 mil resulterar i cirka 70 tusen ton CO₂, så fördelar ekvationen detta över den årliga kapaciteten.

Värdet i år är ett instrument som är anpassningsbart för att uppskatta effekten av järnvägsanläggning, det värde som ekvationen ger är approximativt och då det saknar variabler för utsläppsfaktorer över dem som tagits fram kan instrumentet inte ge en mer realistisk bild än för dem variabler som är inkluderade.

Det betyder inte att datan och resultatet är opålitliga utan mer att det värde som utvinns genom denna beräkning kan ses som ett bra minsta värde, med utrymme för addition av fler variabler.

För att vidare sammanfatta kan man också betrakta faktorn att det rör sig i formeln enbart om ett singelspår. Vid dubbelspår som är rätt vanligt att anlägga är det absolut rimligt att dubbla värdet i år med två.

För att behandla vidare utsläppsfaktorer, dem som alltså inte fick plats eller som inte var del av den fokuserade granskning av processerna, kan i formeln skrivas som en godtycklig okänd ekvation. Då för att hänvisa rent matematiskt att detta är ett tillägg vi måste räkna med men där bristen av trygghet i variabelvärdena gör det lämpligare att betrakta dem som faktiska värden.

4.7 Resultat

Genom ekvation 1 får vi en konstant (k) som betecknar en uppskattning av den neutraliseringshorisont som järnvägen kräver för att återbetala de utsläpp som skett vid anläggning och produktionen.

$$k = \text{Neutraliseringshorisonten (t)}$$

$$k_M = 81.64 \text{ dagar} \approx 3 \text{ månader}$$

$$k_F = 136.62 \text{ dagar} \approx 5 \text{ månader}$$

Samtliga värden för att härleda konstanten k finnes i tabellerna 5,6,7.

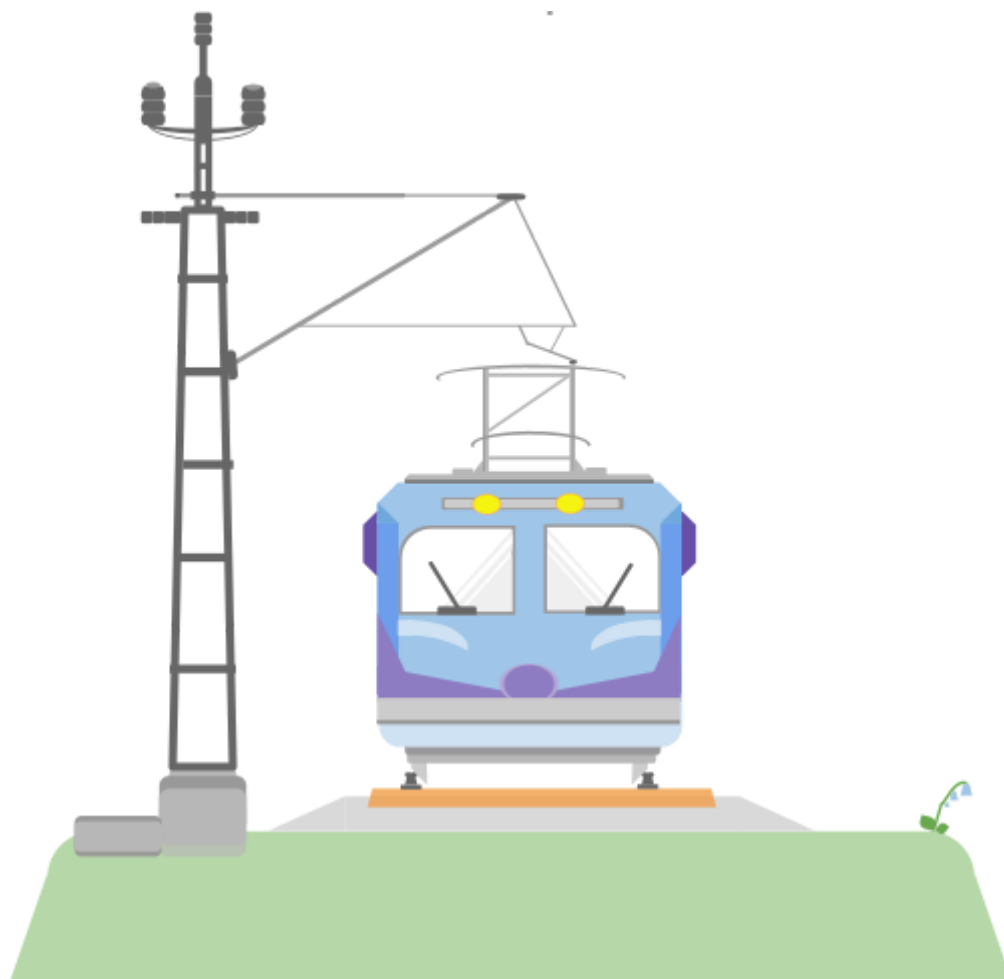
Det ekvation 2 härleder är i viss mån baserad på intresset av att veta mängden CO_2 per resenär. Vidare är ekvation 2 lämplig för att granska hur järnvägsresor presenteras. Mer om detta i diskussionen.

$$\frac{(405+1.2+1.4+18)}{(515*80)} = 0.01033 \text{ kg CO}_2 \text{ m/ resenär per dag}$$

Beräkning 2 med räler F:

$$\frac{(405+1.2+288+18)}{515*80} = 0.0173 \text{ kg CO}_2 \text{ / resenär per dag}$$

5. Diskussion



Figur 11. En enkel skiss över området som arbetet baseras på, med ett färgglatt spårfordon och en färgmatchande blåklocka. [Hemmagjord]

När det kommer till det slutgiltiga resultatet, är tidsperspektivet något som uttryckligen ger upphov till kontemplation.

När en neutraliseringshorisont uttryck som månader för neutralisering kanske ögonbryn höjs och nya frågeställningar börjar ta form.

De beräkningar som görs är utformade för att återspegla just hur lång tid det skulle teoretiskt ta för järnvägen som anläggning att neutraliseras gentemot dem utsläppen som orsakats vid dess produktion och anläggning. En huvudsaklig punkt att lyfta inför diskussionen är främst att järnvägen, om man granskar den genom vinsten av att åka tåg istället för bil, har möjligheten till att bli neutraliserad gentemot utsläppen från produktion genom att denna nyttjas.

En bil har samma förutsättningar om man skulle göra samma jämförelse med till exempel flygtrafik. Principen att det ena är bättre än det andra härleder argumentet för att utveckla och prioritera den transportmetod som innebär minsta påverkan av klimatet. Kokar vi ned samma resonemang så är potentiellt segelbåt eller liknande det bästa för miljön, dock är det ohållbart att segla från Arvidsjaur till Nyköping.

Det vi ser i ekvation ett är att tidshorisonten för neutralisering är, beroende på metod av utformning, relativt distant och först betraktar vi problematiken med tolkningen och ekvationen:

Jämförelsevis betraktar vi bilaga 3 som är en artikel, *“16 mil järnväg Boden-Bastuträsk har nu nytt spår”*.

Materialet i artikeln kan beräknas med samma mått som det använts i arbetet och den totala siffran av utsläpp från de nämnda värdena av räls, makadam och slipers blir i en avrundad form 1.096 miljoner ton CO₂.

Arbetet utfördes mellan 2014 och 2017, Sveriges totala utsläpp över dessa år blir ungefär 213 miljoner ton CO₂ och utsläppet från arbetet motsvarar alltså runt 0.51% av Sveriges totala utsläpp för den tiden.

Alltså, siffror av denna storlek i utsläpp tillhör inte någon absurd astronomisk siffra, även om utsläppen är omfattande utgör projekt med den resulterande föroreningseffekten som i arbetet uppskattas inte något utanför det normala.

Om Du använde samma vinst kvot som arbetet tagit fram och delar utsläppen från bilaga 3 så trillar tiden för neutraliseringen ut på ca 1 månad ut.

Det lämnar rum för tolkning av resultaten från de resulterande formlerna i detta arbete. Att orsaka den mängden utsläpp över ett tidsspann och sedan beräkna att järnvägen skulle kompensera detta med minskade utsläpp från biltrafiken är en fin tanke men i verkligheten rör det sig om så många flera faktorer.

En viktig poäng att återigen lyfta är funktionen av att byta ut biltrafiken som måttstock, om vi istället bytte ut trafik som bestod av elbilar, som trenden hänvisar till i större städer, så skulle vi se med energiåtgången enligt vattenfall (2023) en neutraliseringshorisont som kröp längre och

längre bort. Då enligt Vattenfall en modern elbil drar ca 2 kWh per mil, det ger en utsläppsfaktor på 0.00622 kg CO₂ per meter med samma kapacitet som i övriga ekvationer. Så skulle vi se en negativ vinst och alltså aldrig uppnå en grönare järnväg. Gör vi samma med till exempel flygplan skulle vi kanske se en utjämning på bara några dagar.

Perspektivet är viktigt och för tillfället är fossildrivna bilar den rimligaste måttstocken, men med utveckling och investering av elbilar bör detta perspektiv granskas och uppdateras.

Arbetet som utförts är redan omfattande, och det finns gott om potential till utveckling för ämnet. Med det sagt skulle en överlåtelse av persontrafik från bil till tåg generera minskningar i restaureringsarbeten i anslutningen till bilvägen. Mindre trafik skulle leda till mindre slitage och därmed minska andelen ny asfalt och merarbete på väg-sidan av myntet.

Detta skulle leda till att vinstvariabeln blev mer omfattande och neutraliseringshorisonten skulle krypa ännu lite närmare.

Och utöver detta, måste det sägas att utveckling av infrastruktur är aldrig gratis, behovet vi som samhälle har av transport är inte utan kostnader och dessa är svåra att kringgå.

Det som skulle kunna skynda på tiden det skulle ta att neutralisera utsläppen från ett järnvägsprojekt faller under två kategorier: Nämnare och täljare.

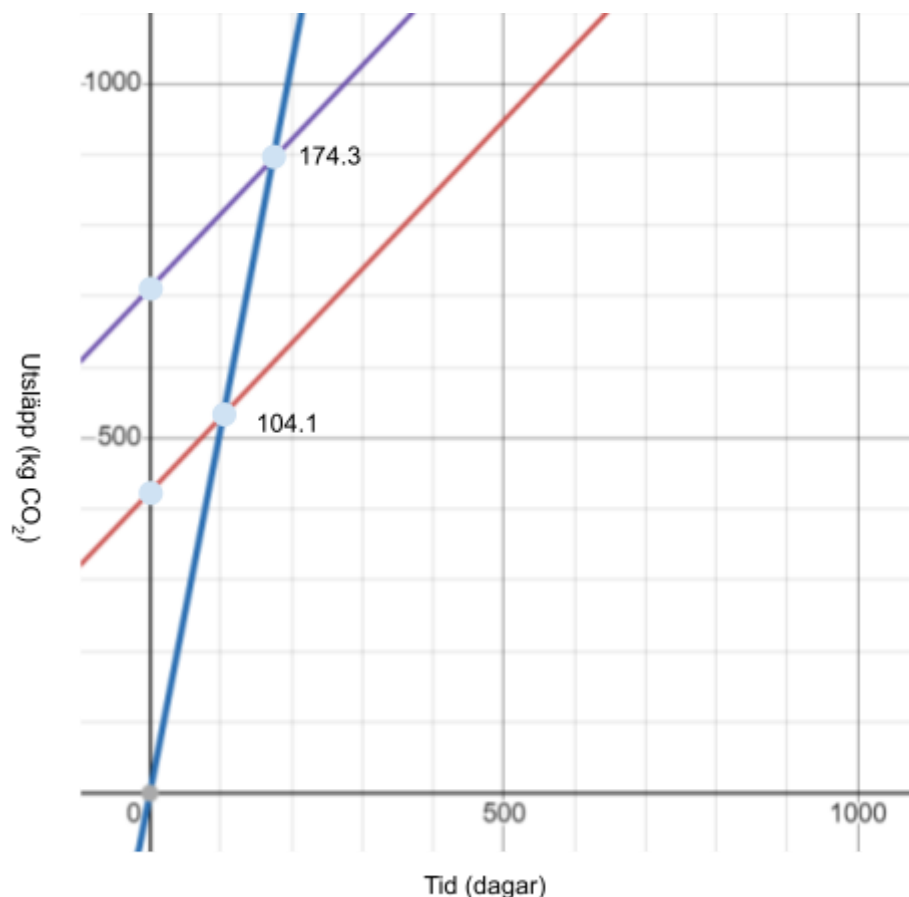
Genom att minska utsläppen skulle tiden minska och genom att öka vinsten skulle samma mål uppnås. Med utvecklingen av flera variabler som skulle kunna påverka dessa kommer vi även se en mer sannolik bild av verkligheten och sedan kunna påverka den om möjligt.

Till exempel uppskattas det att ett lövträd vid mogen ålder kan återvinna uppemot 40 kg CO₂ årligen. Om vi planterade ett träd var 10:e meter skulle tidslinjen som uppskattas krympa avsevärt när det kommer till vinsten.

När det kommer till utsläppen vid produktion finns det en distinkt “skurk”, den variabeln som är den mest omfattande när det kommer till utsläppen är betongen. Betong som material beskrivs ingående i sitt eget kapitel och är den ledande variabeln av utsläpp. Genom att minska mängden betong som nyttjas skulle utsläppet sjunka dramatiskt.

Varför det är så viktigt att granska detta kan belysas genom Naturskyddsföreningen (2023), vars uppgifter erhåller att nästan 10% av de globala utsläppen av CO₂-ekvivalenta gaser härstammar ur produktionen av cement.

Problematiken är att alternativen till betong när det kommer till slipers till exempel är antingen experimentella kompositmaterial, glasfiber som vi inte har egen produktion av eller trä som behöver impregneras av ämnen som har cancerogena egenskaper.



Figur 12. Visar hur lång tid det tar en bil att överskrida utsläppen från en meter konstruerar järnväg med de två metoderna för stålproduktion

Röd ekvation: $y = 425.6 + 1.04688x$

Lila ekvation: $y = 712.24 + 1.04688x$

Blå ekvation: $y = 5.1336x$.

I figur 12 ser vi visuellt ekvationen för utsläppen över tid för en meter byggd järnväg.

Då ekvationen som framtagits bygger på den konstant som utvecklats genom totala utsläppen över vinsten, får vi ögonen för att uppskatta effektiviteten hos järnvägen och dess potential.

Den röda och lila linjen i figur 12 visar startpunkterna för utsläppen av en meter konstruerad järnväg med de två olika metoderna för stålproduktion. Medans den blåa linjen visar utsläppet av bilarna som tågen dagligen ersätter. Det vi kan omedelbart se är att det till slut blir så att järnvägen släpper ut mindre än bilen trots sin initiala utsläppsvärde vid konstruktion då redan efter 3.5 månader skulle biltrafiken överskrida järnvägen som producerats med miljövänligare stålproduktion.

vidare så skulle det ta knappt ett halvt år innan biltrafiken överträffade den mest utsläppsbenägna produktionen av järnväg.

Så vad resultaten säger är att baserade på dessa uträkningar, med jämförelserna av bil och järnväg, så kan vi betrakta det som en god miljöinvestering att fortsätta bygga på järnvägen. Men det som är problematiskt är att tidslinjen är för bra. Det kommer sig av att enbart vissa parametrar har betraktats, inga plattformar eller infrastrukturen är beräknade, potentiella källor till stora utsläpp utöver dem som här i har betraktats skulle kunna leda till ökade värden i täljaren, och utvecklingen av eldrivna alternativ till fossildrivna fordon kan krympa nämnare för ekvation ett.

Med vidare efterforskningar skulle vi kunna avgöra en mer korrekt neutraliseringshorisont, och spekulera i dess betydelse.

Och för att i verkligheten få en bra uppskattning skulle vi även kunna flytta avgränsningarna för forskningen till att inkludera produktion av både tågen och bilarna för att verkligen säkerställa rimliga uppskattningar av vinst, nytta och säkerställa att ur ett klimatperspektiv är tågen som planeras en god investering.

Samtidigt som vi bör bejaka att oavsett resultat av ekvationer så är arbetets syfte med att lyfta ämnet för att gemene person ska få större inblick i ämnet viktigt. Att skapa en förståelse och en dialog med samhället som strävar efter utvecklingen som tågen kan genomföra, måste skattebetalarna, beslutsfattande parter och de som potentiellt drabbas av potentiella konsekvenser vara införstådda med “varför”.

Då det uttryckligen finns delar av samhället som inte är införstådda med vidden av klimatsituationen, och de forna ledarnas oförmåga att förbättra situationen för idag och att situationen vi befinner oss i är långt mer allvarlig än tidigare uppskattat (The Guardian. 2022).

Tidigare administrationen har missat att behandla problemet och en majoritet av svenska folket besitter klimatskepticism, dessa i tandem med bristen på pedagogik och i viss del transparens är härledande för den vanskliga balansgång som planeten utsatts för.

“All three of the key UN agencies have produced damning reports in the last two days. The UN environment agency’s report found there was “no credible pathway to 1.5C in place” and that “woefully inadequate” progress on cutting carbon emissions means the only way to limit the worst impacts of the climate crisis is a “rapid transformation of societies”.

Current pledges for action by 2030, even if delivered in full, would mean a rise in global heating of about 2.5C, a level that would condemn the world to catastrophic climate breakdown, according to the UN’s climate agency.” - The Guardian (2022. a)

Att lyfta klimatfrågan, att arbeta med forskning som strävar att upplysa inte bara insatta i ämnet utan även samhällen, oberoende av socioekonomiska förhållanden, kan ge möjligheterna som behövs för att anpassa det politiska landskapet för att gynna mer klimatanpassade förhållningar.

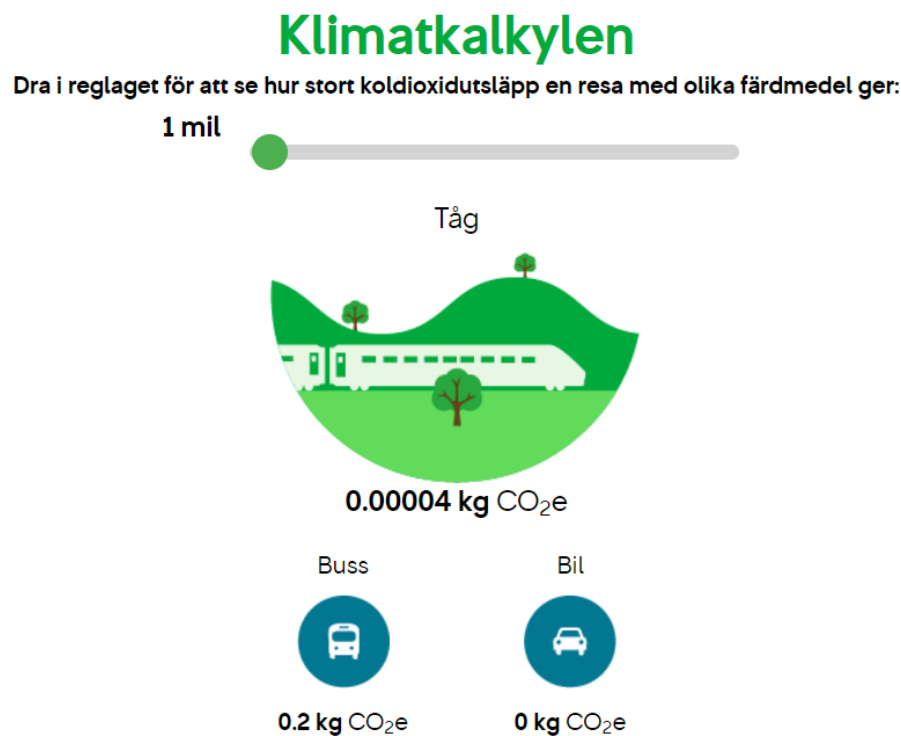
Genom att belysa potential för problemområden och sedan göra detta offentligt och omtalat i all öppenhet på ett sätt som kan informera gemene person om situationen kan vi skapa den klimatpolitik som krävs för att bevara planeten.

Därför är det både relevant och rimligt att utveckla forskningen för att skapa certifiering metoder för produktion av järnvägen, och att klimatverktyg anpassas så att de är lika informativa för hen utan en kandidat inom byggt teknik-Järnväg som för någon med en sådan.

För att inte älta för mycket i saken ska en annan aspekt diskuteras, nämligen hur datan presenteras.

Ekvation 2 visar oss att i bästa fall kan vi uppskatta att en resa med tåg som inkluderar utsläppet från produktion visar på uppemot 2.8 kg CO₂ per resenär på ett år på en sträcka av 10 mil.

Figur 13 visar SJ:s egna klimatverktyg visar att på en sträcka av 1 mil ser vi ett utsläpp på 0.00004 kg, medan om du räknade med produktionsvärdet skulle resan “kosta” långt mer.



Figur 13. Visar SJ:s klimatverktyg för att beräkna utsläppen. SJ (2023)

Problemet, som det är, är inte det att SJ enbart räknar med sina egna energiåtgång för att visa hur mycket utsläpp per resa vi kan vänta oss. Problemet är delvis det att 0.00004 kg CO₂ är missvisande, SJ ansvarar inte

för produktion av järnväg, men det är inte helt orimligt att begära att dessa värden inkluderas i en beskrivning i mängd CO₂ som resan ger upphov till. Vidare i samma spår, visar ekvation 2 på att samma distans ger upphov till 0.28 kg CO₂ per resenär, naturligtvis har ekvation 1 andra förutsättningar, SJ har andra modeller än X31:an och detta bör betraktas. De kanske inte borde behandla utsläppen från järnvägen men deras egna tåg? Inte lika orimligt.

Men om vi säger att de ska betrakta även utsläppen för produktion, för att resan då ska motsvara samma värden som dem uppger i utsläpp så kan vi uppskatta hur länge, kontinuerligt bruk av kapaciteten som vi räknar med måste gälla för att uppnå värdet av 0.00004.

och genom att sätta 0.0004 som resultatet i ekv 2 och sätta 365 som okänt, får vi att det skulle ta 25+ år av konstant bruk för att det ska vara sant som de säger.

Vi har linjer som är 25+ år, men vi har även sträckor som är mycket mer moderna, och vi har många sträckor som är mer än 1 mil långa.

Summering av denna diskussionsdel är således, att hur informationen förmedlas, hur den uppfattas och hur vi presenteras av data är otroligt avgörande för att råda bot på klimatsituationen, minska skepticismen och utveckla ett mer transparent förhållningssätt. Det görs fel ibland och ibland rätt. Problemet är att incentivet för att göra rätt ibland är bristande eller obefintligt, rent ut sagt är det ibland förmånligt i alla fall ur marknadsföringsperspektiv att inte inkludera faktiska utsläpp utan bara fokusera på det som "ser bättre ut".

Som nämndes tidigare är det rimligt att lyfta vad som skulle kunna göras för att påverka situationen.

Kan vi kompensera utsläppen mer? Kan vi minska dem?

Som stycket innan påpekade skulle enkla åtgärder som plantering av träd vara förmånliga för utsläppsminskandet, och ökningen av råvaran skulle kunna ge upphov till en ny möjlighet.

Om vi skulle vilja verkligen se skillnad i utsläppen som kommer ur anläggningen av järnvägen måste vi angripa den i en av de största källorna.

Om vi kunde minska betongen som används, skulle vi se en omedelbar och omfattande minskning i totala utsläpp, genom att börja implementera träslipers strategiskt skulle vi se en direkt utsläppsminskning. Problemet med impregnering kvarstår, men med nya metoder och ökat intresse skulle vi möjligtvis kunna se utveckling inom området och således kunna utforma nya möjligheter för klimatet.

Varje träd som fälls ersätts och det CO₂ som den bundit skulle fungera som en koldioxidsänka, hur vore det om järnvägen inte bara var det som var det mindre onda för miljön utan var i själva verket nyckeln för att minska svenska utsläpp över lag? Om vi kunde gripa möjligheten, utvecklas och formas efter behoven vi idag har och med ett mer välinformerat samhälle skapa efterfrågan till att utveckla en järnväg där varje meter spår tog befintliga utsläpp och rensade luften så att säga, vore väl det den bästa tänkbara framtiden.

När det kommer till ballasten som används är ekvationerna så väl anpassade efter den tillgängliga informationen, men ett problem som inte gick att räkna på var de utsläpp som härstammar ur utvinningen av materialet.

Det som beräknas i arbetet är utsläpp kopplade till krossandet och transport av materialet. Men en viktig variabel som inte inkluderats är enligt Erlandssons (2010), utsläppens värde i relation till sprängmedel i anslutning till materialframställningen som uppskattas till ca 0.3 kg/ ton. Sprängmedlet i fråga, orsakar emissioner av typen kväveoxider som enligt Naturvårdsverket (2023.c-d), orsakar i stora mängder bland annat försurning och är en växthusgas av rang. De direkta värdet av detta är varierande och att säkerställa ett tydligt snittvärde per ton krossmaterial är svårt.

Detta är även här en viktig variabel som nödgas granskas, alternativen till sprängning är något som inte betraktats av författaren, men absolut något som forskningen av området för utsläppen i relation till järnvägen. Då 0.3 kg kväveoxider har kapacitet att leda till nästan 82 kg CO₂ (EPA.2023).

Om en tvärsnittsmeter enligt ekvationen nyttjar nästan 2 kubikmeter per meter järnväg börjar utsläppen från denna ännu oberäknade variabel skena iväg.

Samhällsbehoven - Hållbar utveckling

Denna del ämnar förtydliga och diskutera delvis det samhällsbehov som kan ha relevans för ämnet, konstruktion och utveckling av vår infrastruktur är inte gjorda för vårt höga nöjes skull utan har ett syfte. Då är det viktigt att betrakta behoven som detta syfte fyller och potential till utveckling för att möta klimatets behov så väl som våra.

I kurslitteraturen Byggledning Projektering (Olander et.al 2021) finner man en god förtydlig för det väl använda uttrycket “Hållbar utveckling” på sida 211. Litteraturen är förvisso ämnad för ingenjörstudenter men är en god bok för gemene hen att bläddra igenom för att vidga sina kunskaper angående konstruktörernas konst.

Hållbar utveckling (sustainable development) är ett uttryck som redan vid 1960-talet började tas i bruk och har stadigt växt sig in i det vardagliga samhällets alla hörn.

Detta uttryck har olika tolkningar av olika instanser men enligt Byggledning Projektering kan de flesta enas om tre huvudsakliga mål för hållbar utveckling:

att bibehållandet av de grundläggande naturliga processer som finns i befintliga ekosystem skall prioriteras. Samt att prioritera välmåendet hos människan och naturen som hen befinner sig i.

Att utvecklingen som vårt växande samhälle är i behov av skall skydda den biologiska mångfalden.

Att utvecklingen som sker ska bevara, skydda och främja den genetiska mångfalden, vilket är en förutsättning för naturligt urval, anpassning och evolution.

Ur perspektivet av vad vi som samhälle kan tänkas ha för behov är de tre huvudprinciperna som ovan beskrivits rätt tydliga, men flera aktörer talar även för att anamma en mer hållbar utveckling.

I litteraturen Byggledning Projektering (Olander et.al 2021) skrivs det även som följande;

“Byggsektorns bidrag till det förändrade klimatet fram till år 2050 förväntas bli lika stort som hela den andel som utgörs av det gynnsammaste alternativet på två graders höjning av medeltemperaturen om ingenting görs för att minska sektorns påverkan.

För att uppnå målet om en begränsning till två graders höjning av den globala medeltemperaturen och samtidigt bemöta befolkningstillväxtens behov av nya bostäder krävs det väsentlig förändring i byggsektorns förväntade utveckling.” -Byggledning Projektering. 2021

Vidare så upprepar Naturvårdsverket samma poäng om samhällets behov av hållbarare utveckling (Naturvårdsverket. 2023.f) där det poängteras att inte nog med att behovet finns för att bemöta den växande krisen utan att det även finns finansiellt gynnsamma argument för att utveckla en mer miljömedveten och effektiviserad transport och bygg sektor.

Likaväl påvisar Naturvårdsverket (2023.f) att genom hållbar stadsplanering kan vi utforma mer miljövänliga städer, där infrastrukturen bakom en nyutvecklade eller upprustade stad/stadsdel kan genom välplanerade och miljömedvetna val komma att vara avgörande för att skapa transport effektiviserade förutsättningar.

Källan ovan (Naturvårdsverket. 2023.f) nämner även några goda exempel på hur hållbar samhällsplanering kan leda till minskade utsläpp, som överlag då leder till bättre förutsättningar för ett bättre klimat.

Exempelvis skriver dem att en bebyggelsestruktur som gynnar kollektivtrafiken, gång- och cykeltrafiken minskar behovet av att ta bilen för att förflytta sig. Vidare hävdar dem att införandet av miljözoner i planeringen av stadsutvecklingen leder till minskade utsläpp i områden som är tätbefolkade. Att vid planeringen skapa förutsättningar för kortare avstånd mellan bostäder, arbete, service och fritidsaktiviteter för att minska bilberoende.

De felmarginaler som är intressanta är då att förlusten av material, till exempel vid problematik med hårdningen av betong som resulterar i att gjutning måste upprepas vid konstruktion, eller korrosion av metaller, gör att vissa antaganden måste göras. Huruvida dessa är rimliga är mer för experter inom dessa fält att avgöra, men genom denna studie och researchen som krävdes utöver de år av studier i ämnet, görs dessa med viss trygghet.

Det som syns, genom arbetets gång är den komplicerade samling variabler som i sina former och natur direkt korrelerar med utsläpp av olika förorenande ämnen och gaser.

Ekvationens uppvisar en bild av klimatkonsekvenser som i det mer offentliga perspektivet inte belysts, denna brist på otvetydig kommunikation är en distinkt svaghet för miljökampen.

I kapitel 1.1.4 lyfts det forskning som påvisar att det är en majoritet av det svenska folket som i någon mån har en viss klimatskepticism, allt från att det inte är på riktigt till acceptans men frånskjutande av ansvar för de rådande omständigheterna.

Med detta sagt är det värt att betrakta metodiken med vilken situationen presenteras, då det finns både ekonomiska incitament, ökad medvetenhet och en push för att tillgängliggöra hållbart leverne (så som sopsortering, miljöstationer osv) kan vi se att det är inte utav detta som samhället lider brist av.

Morötter och piskor finns det, det är inte orimligt att säga att dagens samhälle är långt mer miljömedvetet än vad våra företrädare var, demonstrerat bäst med *Sjövett* (1964), en film som producerats av staten där "hyggligt folk" ombeds att sänka sina sopor i havet med stenar för att det inte ska ligga och skräpa.

Nej, det ter sig mer som en brist i kommunikation, hur vi förmedlar till nutidens "hyggligt folk", vad som gäller och vad som krävs för att åtgärda detta växande problem.

Den bristande pedagogiken i hur klimatsituationen förmedlas, är en eventuell nyckelpunkt för att få bättre bukt på situationen. Det resulterande uttrycket är härlett med logiska steg och enkel att följa, medan det uppnår sitt huvudsakliga syfte. Gemene personer kan i lugn och ro multiplicera in i uttrycket de kilometer som är av intresse och resultatet blir något som är konceptuellt hanterbart att förstå utan att besitta utbildning.

Det är delvis då en brist i befintliga verktyg, som riktar sig till yrkesmässiga analyser, utvecklar svårbegripliga resultat som inte säger så mycket för den som inte är tillräckligt insatt, utöver att det som betraktas genom liknande verktyg inte egentligen säger något om vad det betyder.

Ett exempel på intressanta sätt folk har försökt sig på för att göra järnvägen mer hållbar är att utveckla nya sliprar i andra ämnen än just betong, (Nohrstedt, L. 2015).

Vidare bör det lyftas att då denna typ av analys som gjorts i det arbete inte är lika kritiskt som till exempel den hydrologiska riskanalys som lyfts i litteraturgenomgången (Mäki. et.al. 2020). Dock är den stora differensen ur ett perspektiv enbart det att den harm som potentiellt orsakas direkt påverkar allmänheten i ena fallet och att i den andra smyger riskerna upp utan att uppmärksammas.

I kurslitteraturen *Byggledning Projektering* (Olander et.al 2021) finner man en god förtydlig för det väl använda uttrycket "Hållbar utveckling" på sida 211. Litteraturen är förvisso ämnad för ingenjörstudenter men är en god bok för gemene hen att bläddra igenom för att vidga sina kunskaper angående konstruktörernas konst.

Hållbar utveckling (sustainable development) är ett uttryck som redan vid 1960-talet började tas i bruk och har stadigt växt sig in i det vardagliga samhällets alla hörn.

Detta uttryck har olika tolkningar av olika instanser men enligt *Byggledning Projektering* kan de flesta enas om tre huvudsakliga mål för hållbar utveckling:

- att bibehållandet av de grundläggande naturliga processer som finns i befintliga ekosystem skall prioriteras. Samt att prioritera välmåendet hos människan och naturen som hen befinner sig i.
- Att utvecklingen som vårt växande samhälle är i behov av skall skydda den biologiska mångfalden.
- Att utvecklingen som sker ska bevara, skydda och främja den genetiska mångfalden, vilket är en förutsättning för naturligt urval, anpassning och evolution.

Ur perspektivet av vad vi som samhälle kan tänkas ha för behov är de tre huvudprinciperna som ovan beskrivits rätt tydliga, men flera aktörer talar även för att anamma en mer hållbar utveckling.

I litteraturen *Byggledning Projektering* (Olander et.al 2021) skrivs det även som följande;

“Byggsektorns bidrag till det förändrade klimatet fram till år 2050 förväntas bli lika stort som hela den andel som utgörs av det gynnsammaste alternativet på två graders höjning av medeltemperaturen om ingenting görs för att minska sektorns påverkan.

För att uppnå målet om en begränsning till två graders höjning av den globala medeltemperaturen och samtidigt bemöta befolkningstillväxtens behov av nya bostäder krävs det väsentlig förändring i byggsektorns förväntade utveckling.” -Byggledning Projektering. 2021

Vidare så upprepar Naturvårdsverket samma poäng om samhällets behov av hållbarare utveckling (Naturvårdsverket. 2023.f) där det poängteras att inte nog med att behovet finns för att bemöta den växande krisen utan att det även finns finansiellt gynnsamma argument för att utveckla en mer miljömedveten och effektiviserad transport och bygg sektor.

Likaväl påvisar Naturvårdsverket (2023.f) att genom hållbar stadsplanering kan vi utforma mer miljövänliga städer, där infrastrukturen bakom en nyutvecklade eller upprustade stad/stadsdel kan genom välplanerade och miljömedvetna val komma att vara avgörande för att skapa transport effektiviserade förutsättningar.

Källan ovan (Naturvårdsverket. 2023.f) nämner även några goda exempel på hur hållbar samhällsplanering kan leda till minskade utsläpp, som överlag då leder till bättre förutsättningar för ett bättre klimat.

Exempelvis skriver dem att en bebyggelsestruktur som gynnar kollektivtrafiken, gång- och cykeltrafiken minskar behovet av att ta bilen för att förflytta sig. Vidare hävdar dem att införandet av miljözoner i planeringen av stadsutvecklingen leder till minskade utsläpp i områden som är tätbefolkade. Att vid planeringen skapa förutsättningar för kortare avstånd mellan bostäder, arbete, service och fritidsaktiviteter för att minska bilberoende.

Samhällsbehoven så som dem ser ut i sina olika aspekter ger då enligt dessa och flera källor en tydlig behovsbild. Bilden påvisar att målet för att bemöta klimatproblematiken löper parallellt med dem behov vi som globalt samhälle har för utveckling.

Då populationen av människor ökar stadigt (Statistiska centralbyrån , 2023) ökar även efterfrågan av logement, nöjenheter och transport. Och då det finns begränsat av allt samt att vi har ramar att följa för att inte problematisera vår tillvaro, krävs det alltså hållbarhet i våra förhållningssätt, planering och utveckling.

För att inte missa en avgörande faktor i miljömedvetenheten hos järnvägen uppger Green Cargo (2021) att de transporterade 21 miljoner ton gods och att detta motsvarar 925 000 lastbilstransporter.

Vidare hävdar dem att en lastbilstransport mellan Malmö och Norrköping släpper ut 730 kg koldioxid och att det motsvarar 1 200 tågtransporter med ett genomsnittligt Green Cargo-tåg.

Värdet för samhället blir då tveeggat, både ett minskat utsläpp och mindre tung trafik på vägarna.

Avslutande skulle författaren vilja lyfta några ämnen som läsaren själv kan få överväga:

- Om vi i bästa fall kan se ett tidsperspektiv på 3 månader för konstruerad järnväg med denna kapacitet som i ekvationen motsvarar mer än 10% av dagliga resor inrikes, hur skulle resultatet se ut om vi istället uppskattade en mer realistisk siffra för kapaciteten?
- Om vi lade till variabler för ädelmetallerna som används, generatorerna, oljan och transformatorerna för att enkom nämna några vitala delar av vad järnvägen består av. Hur skulle resultatet kunna se ut då?
- Betong, betong betong betong! Överallt och hela tiden, om vi skulle börja uppskatta mängden betong mer realistiskt och uppskatta mängden betong som både initialt brukas och även de mängder som kompletteras med vid behov. Hur skulle värden för neutraliseringshorisonten se ut då? om varje projekterad plattform inkluderades, broarna, KC-pelare, fundamenten för den omkringliggande infrastrukturen, byggnaderna som krävs osv osv. Kombinerar detta med den direkt projekterade kapacitets potential som planeras för så är det inte helt omöjligt att de neutraliseringen av projektet skjutas upp exponentiellt.
- Om vi lade till beräkningen för servicefordon, uppehåll och de återställningar entropin ordinerar, hur skulle det se ut då?
- Svensk järnväg med tillhörande infrastruktur, besitter stora mängder marker och områden, om dessa ordinerades subsidiära uppdrag som att breda ut solpaneler, införa sedumtak osv för att gynna klimatet. Är investeringen god eller i sak en tom gärning?

Som lyftes i diskussionen, skulle det vara en rimlig taktik att koordinera mellan de ansvariga instanserna för järnvägen och organ som skogsstyrelsen för att upprätta kompensande investeringar? Då det kan uppfattas som att järnvägen kompenseras genom minskandet av utsläpp från biltrafiken, är faktum kvarstående att det är ofantliga summor växthusgaser som släpps ut.

6. Slutsatser

Arbetets syfte var att utforska de klimatpåverkningar konstruktionen av svensk järnväg har, med utvalda variabler och skapa ett matematiskt uttryck för detta där i längden som analyseras kan väljas själv. Uttryckets resultat ska belysa det tidshorisont som ett projekt bör uppskatta som ett minimum av konstant bruk för att väga upp det utsläpp som anläggandet och införskaffandet av material har bekostats av emissioner.

Slutsatserna som dras efter arbetets konklusion är som följer:

- Tidshorisonten för att träffa nollpunkten enligt ekvationerna som utvecklats av detta arbete leder till potential för oro över att infrastrukturen möjligtvis aldrig uppnås vid större projekt, trots att enbart några variabler betraktats och trots att mycket av relevant data inte inkluderats på grund av dess natur.
Ekvationerna, med allt vad dem innebär, påvisar en möjlighet för utvecklad miljömedvetenhet hos företag och resenärer.
- Att uppmärksamma järnvägen som ett grönare alternativ till andra transportmedel, enligt denna studie, är enbart lämplig för vissa sträckor, vissa längder och vissa projekt. Då det är falskt att säga att en helt nyanlagd järnväg är grönare än andra transportmedel, åtminstone tills det att utsläppen från konstruktion har börjat vägas upp gentemot sparandet av utsläpp då alternativa färdmedel byts mot tåg.

- Alternativ till slipers av betong är en huvudsaklig källa till utvecklingsområden för en grönare järnväg. Då betong är en markant kontributör enligt studien och den data som samlats vid detta arbete.
- För att göra järnvägen mer miljömässigt hållbar krävs det att samtliga livscyklar för komponenter ökar, om tiden som en komponent är brukbar förlängs får järnvägen andrum innan horisonten för utsläpps neutraliseringen förlängs och kan bli en effektiv CO₂ sänka.
- Bruket av stål, som producerats genom utsläpps kraftiga processer är en markant kontributör till att neutraliseringshorisonten förlängs. Detta påvisar att uteslutandet av dessa ämnen direkt bidrar till ett bättre klimat.
- Dem bristfälliga datapunkterna som finns för aspekter av järnvägen saknar den transparens för att upprätthålla ett miljömässigt förhållningssätt till infrastrukturen, då det inte är rimligt att ge en miljöcertifikat till en konstruktion utan den datan.
- Bristerna i ekvationerna är styrkor för slutsatserna, då det som fattas inte möjligen kan utveckla formlerna gentemot en lägre neutraliseringshorisont. Följaktligen är resultatets värden endast ett minimum, och styrker slutsatsen om nöden av mer miljöcentrerad utveckling.
- De certifikat som vi har utvecklat för att beteckna goda miljöval för kläder, hus, elektronik och allehanda andra aspekter av vardagen måste även denna utvecklas för konstruktion av järnväg. Bristen av detta leder till ett haveri av långsiktigt skadliga och onödiga miljöutgifter. En neutraliseringshorisont märkning för projekt är ytterst läglig att införliva i dagens byggstandard.
- De delar av samhället som i någon grad lever i en bubbla av miljö skepticism gör oss medberoende till en stagnerande utveckling. Då det inte löper brist på forskning, piskor eller morötter är den enda slutsatsen att det är pedagogiken som brister i hur vi belyser situationen.

Det innebär att arbeten som detta som ämnar enbart att informera genom inklusion och transparens är den oprövade vägen att gå.

- Bristen av certifierad översikt möjliggör greenwashing då detta arbete påpekar potentiella brister i hållbarheten inom sektorn.
- Det är i författarens mening naivt att tro att utsläpp kompenseras genom att byta ut bil mot järnväg. Vidare åtgärder bör betraktas och seriösa utredningar om alternativ till framförallt betong är vitala.

7. Referenser

B.

- Ballast (n.d.) *Ballast vid järnvägsspår*. Hämtad [2023-05-02] från [\[https://www.ballast.se/ballast-jarnvagar\]](https://www.ballast.se/ballast-jarnvagar)
- Batouli, M., Bienvenu, M., & Mostafavi, A. (2017). Putting sustainability theory into roadway design practice: Implementation of LCA and LCCA analysis for pavement type selection in real world decision making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 289-302. [2023-04-10]
- Bergman, Ärlebäck, J. (2013). *Matematiska modeller och modellering - vad är det?* *Nämnnaren*, (3), 21–26. Hämtad [2023-04-06], från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-101333>
- Bergkvist, A. (2017). *Mobil bergkrossning: Energibehov och emissioner* (Dissertation). Hämtad från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-64268>

- Boverket. (2023). Plan- och bygglagen. Hämtad [2023-05-08] från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/arbetssatt/vardens-miljoer/lagar-mal-och-riktlinjer/lagar-och-regler/plan--och-bygglagen/>
- Bryman, A. (2011). *Samhällsvetenskapliga metoder*. (2., [rev.] uppl.) Malmö: Liber.

C.

- CarbonFund. (n.d.). Calculation Methods - Home and office energy usage. (2020). Hämtad [2023-03-22], från <https://carbonfund.org/calculation-methods/>
- CRUZ DEL TERCER MILENIO. 2023 *Hur Räkna Ut Hur Mycket Bilen Drar?* Hämtad [2023-06-12], från <https://www.monumentocruzdeltercermilenio.cl/blog/se/hur-mycket-drar-min-bil.html>

D.

- Dalbom, F., & Abdulrada, A. (2022). Komparativ studie av Autotransformatorsystem och Boostertransformatorsystem på den svenska järnvägen (Dissertation). Hämtad [2023-07-02] från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-313747>
- De Vries, G., Terwel, B. W., Ellemers, N., & Daamen, D. D. (2015). Sustainability or profitability? How communicated motives for environmental policy affect public perceptions of corporate greenwashing. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(3), 142-154. [2023-03-22]

E.

- Energibranschens klimat- och miljöpåverkan. (2017, september 27). *Klimatneutral energisektor inom räckhåll: Version 2017-09-27*. Energiåret 2016. https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiare/energiare2016_miljo_27-september.pdf [2023-03-26] (kWh till CO₂)
- Erlandsson, M. (2014). *Generell byggproduktinformation (BPI) för bygg- och fastighetssektorn: Miljödata för krossprodukter och naturgrus*. Hämtad från IVL Svenska Miljöinstitutet website: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-476> [2023-03-12]
- EPA. n.d 2021, *Data explorer, total output emissions 2021* <https://www.epa.gov/egrid/data-explorer>, [2023-03-22]
- EPA. n.d 2023, *Understanding Global Warming Potentials* <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> [2023-07-02]

F.

- Fayomi, G., Mini, S., Fayomi, O. S. I., & Ayoola, A. (2019). *Perspectives on environmental CO₂ emission and energy factor in Cement Industry*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 331, 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/331/1/012035> [2023-03-26]
- Fenster, M. (2015). Transparency in search of a theory. *European journal of social theory*, 18(2), 150-167.

G.

- Green Cargo. (2023). *Energieffektiva transporter krävs för att nå klimatmålen*. Hämtad från [\[https://www.greencargo.com/hallbar-logistik/klimatsmarta-transporter\]](https://www.greencargo.com/hallbar-logistik/klimatsmarta-transporter) [2023-03-29]
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Håkansson, K., Lindeberg, J., & Nilsson-Påledal, S. (2007). *Järnvägens föroreningar – källor, spridning och åtgärder. En litteraturstudie (VTI rapport 602)*. Linköping: VTI. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:675337/FULLTEXT01.pdf> [2023-03-29]
- The Guardian. Carrington, D. (2022, October 27). *Key UN reports published in last two days warn urgent and collective action needed – as oil firms report astronomical profits*. The Guardian. Hämtad [2023-03-22], från <https://www.theguardian.com/environment/2022/oct/27/world-close-to-irreversible-climate-breakdown-warn-major-studies>
- The Guardian. Harvey, F. (2022, October 26). *Current emissions pledges will lead to catastrophic climate breakdown, says UN*. The Guardian. Hämtad [2023-03-22], från <https://www.theguardian.com/environment/2022/oct/26/current-emissions-pledges-will-lead-to-catastrophic-climate-breakdown-says-un>
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Håkansson, K., Lindeberg, J., & Nilsson-Påledal, S. (2007). *Järnvägens föroreningar - källor, spridning och åtgärder : en litteraturstudie*. Hämtad [2023-04-26], från Statens väg- och transportforskningsinstitut website: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-6459>
- Gustavsson, M. (2020).
 - a. Slipers- Powerpoint. VTVA36, LTH.

- b. Ballast- Powerpoint. VTVA36, LTH.
- c. Räler- Powerpoint. VTVA36, LTH.

H.

- Happyrail. (n.d.). *Tåg Helsingborg C till Lund*. Hämtad [2023-04-27] från [\[https://www.happyrail.com/sv/tagbiljetter/helsingborg-central-till-lund-central\]](https://www.happyrail.com/sv/tagbiljetter/helsingborg-central-till-lund-central)

I.

- IPCC. (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Direct Global Warming Potentials - AR4 WGI Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Hämtad [2023-05-06] från https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html
- ISO
 - a. ISO. (2019). ISO 15392:2019(en) - Sustainability in buildings and civil engineering works — General principles (2nd ed.). ISO/TC 59/SC 17. ICS 91.040.01. Hämtad [2023-05-02], från <https://www.iso.org/standard/69947.html>
 - b. International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015 Environmental management systems - Requirements with guidance for use. Geneva, Switzerland: (n.d.). Hämtad [2023-05-02], från <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>

J.

- Jarnvag.net, *Vagn guide X31* (n.d.). Hämtad [2023-06-08], från <https://www.jarnvag.net/vagnguide/x31k>

- Jernkontoret (n.d.)
 - a. Energimyndigheten & Jernkontoret. (2013). Programbeskrivning för programmet Järn- och stålindustrins energianvändning – forskning och utveckling 2013-2017 (Dnr 2013-3549) [Programbeskrivning]. Beslutsdatum 2013-04-18. Hämtat [2023-03-26], från https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/industri/programbeskrivning-jarn_stal.pdf

 - b. Jernkontoret. (2022, 4 april). Processernas miljöpåverkan [Informationsblad]. Senast uppdaterad 2022-04-04. Kontaktperson: Helén Axelsson, Energi- och miljödirektör. Hämtad [2023-03-26], från <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processernas-miljopaverkan/>

- Joline Ekman.2020. Miljö & Utveckling. *Ragn-Sells ger flygaskan ett nytt liv*. Hämtad [2023-04-27], från <https://www.aktuellhallbarhet.se/alla-nyheter/debatt/flygaska-i-betong-ar-inte-miljofarligt/>

K.

- Kump, B. (2022). *No need to hide: Acknowledging the researcher's intuition in empirical organizational research*. *Human Relations*, 75(4), 635–654. <https://doi.org/10.1177/0018726720984837> [2023-04-27]

L.

- LivetOmbord. (2014, 19 maj). Sjövett 1964. Här sänker de soporna med stenar. PraktisktBåtagande.se. Hämtad [2023-05-15], från <https://www.praktisktbåtagande.se/artiklar/tv-har-sanker-de-batsoporna-med-stenar>

M.

- MB. Miljöbalken. 1999. [Environmental Code]. (1998:808). Stockholm, Sverige: Fritzes.
- Metallkompetens [2023] n.d
 - a. Energibehov i material - Metallkompetens. Hämtad [2023-03-26], från <https://metallkompetens.se/handbok/7-energi-och-ugnsteknik/varmning-och-varmningsforlopp/energibehov-i-material/>
 - b. 1.0 Från malm till stål- Metallkompetens. Hämtad [2023-03-26], från <https://metallkompetens.se/handbok/7-energi-och-ugnsteknik/produktionsvagar-och-energifloden/fran-malm-till-stal/>
 - c. 1.1 Energiflöden i malmbaserat verk- Metallkompetens. Hämtad [2023-03-26], från <https://metallkompetens.se/handbok/7-energi-och-ugnsteknik/produktionsvagar-och-energifloden/energifloden-i-malmbaserat-verk/>
 - d. Hårdhet- Metallkompetens. Hämtad [2023-03-26], från <https://metallkompetens.se/handbok/laglegerade-stal/egenskaper/hardhet/>

- Munde, H., Svedberg, B., Mácsik, J., Maijala, A., Lahtinen, P., Ekdahl, P., & Néren, J. (2006). *Fly ash in civil engineering, Gravel roads* (VÄRMEFORSK Service AB, Q4-270). Stockholm: VÄRMEFORSK Service AB. ISSN 1653-1248. Hämtad [2023-03-29] från <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19023/handbok-flygaska-i-mark-och-vagbyggnad-grusvagar-varmeforskrapport-954.pdf>
- Mäki, A. (Vatten & Miljökonsulterna), Myrland, J., & Nickman, A. (AFRY/ÅF). (2020, februari 28). *Fördjupad riskanalys grundvatten Västerhaninge - Jordbromalm*. ISBN: 978-91-7725-787-5. Hämtad [2023-03-27] från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1512309/FULLTEXT01.pdf>

N.

- Naturvårdsverket (n.d.)
 - a. Växthusgaser - Därför blir det varmare. Hämtad [2023-04-24], från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/>
 - b. Jordbruk, utsläpp av växthusgaser. Hämtad [2023-04-24], från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-jordbruk/>
 - c. Fakta om kväveoxider i luft. Hämtad [2023-04-24], från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/luft/luftforening-ar-och-dess-effekter/fakta-om-kvaveoxider-i-luft/>
 - d. Kväveoxider, utsläpp till luft. Hämtad [2023-04-26], från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/luft/utslapp/utslapp-av-kvaveoxider-till-luft/>

- e. Hur kan transporternas miljöpåverkan minska? Hämtad [2023-05-08], från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallning/en/omraden/klimatet-och-transporterna/hur-kan-transporternas-miljopaverkan-minska/>
- f. Miljöbalken. Hämtad [2023-05-08], från <https://www.naturvardsverket.se/lagar-och-regler/om-miljobalken/>
- g. Läckagekontroll, nya gränsvärden. Hämtad [2023-05-09], från <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/kemikalier/fluorerade-vaxthusgaser/lackagekontroll-nya-gransvarden/>
- h. Internationella miljöarbeten. Hämtad [2023-05-09], från <https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/internationellt-miljoarbete/>
- i. Sveriges Klimatarbete. Hämtad [2023-06-04], från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallning/en/sveriges-klimatarbete/>
- j. Grön infrastruktur. Hämtad [2023-06-18], från <https://www.naturvardsverket.se/gron-infrastruktur>
- k. Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser. Hämtad [2023-06-26], från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/>
- l. Klimatklivet. 2022 - Vägledning om beräkning av utsläppsminskning Hämtad [2023-06-18], från <https://www.naturvardsverket.se/contentassets/9db319015c994a9d88f64fffae725765/vagledning-berakna-utslappsminskning-2022-05-06.pdf>

- Naturskyddsföreningen 2023
Naturskyddsföreningen. (2022, 7 februari). *Cement, klimat och miljö* [Faktablad]. Uppdaterad 11 januari, 2023. Hämtad [2023-03-27], från <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>
- Nisbet, E. G., Dlugokencky, E. J., & Bousquet, P. (2014). *Methane on the rise—again*. *Science*, 343(6170), 493-495. Hämtad [2023-06-27]
- Nohrstedt, L. (2015, november 30). *Sliprar utan kreosot ska testas i Småland*. *Ny Teknik*. Hämtad från [\[https://www.nyteknik.se/fordon/sliprar-utan-kreosot-ska-testas-i-smaland/563570\]](https://www.nyteknik.se/fordon/sliprar-utan-kreosot-ska-testas-i-smaland/563570) [2023-03-27]
- National Ready Mixed Concrete Association. (2008, June). *Concrete CO2 Fact Sheet* (Publication No. 2PCO2). Hämtad från [\[https://www.greenconcrete.info/downloads/11_ConcreteCO2.pdf\]](https://www.greenconcrete.info/downloads/11_ConcreteCO2.pdf)[2023-03-26]
- Nordström, E., Hassanzadeh, M. (2018). *Inblandning av flygaska i vattenbyggnadsbetong* (Rapport 2018:479). ISBN 978-91-7673-479-7. Energiforsk AB. Hämtad från <https://www.energiforsk.se> [2023-04-13]

O.

- Olander, S., Hansson, B., Aulin, R., Landin, A., ., & Persson, U. (2021). *Byggledning Projektering*. Information (2:1 uppl.). Lund: Studentlitteratur AB. (Artikelnummer: 44835-PA01). ISBN: 9789144155685.

- Orrgard, J., & Nyström, L. (2018). *Upplevda faktorer som påverkar nyttjandet av friskvårdsförmåner: Ur ett medarbetarperspektiv* (Dissertation). Hämtad [2023-04-06] från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hh:diva-37377>

P.

- Paulsson, U. (2020). *Examensarbeten- att skriva uppdragsbaserade uppsatser och rapporter*. Studentlitteratur AB.
- PBL. *Plan- och bygglagen*. 2011. [Planning and Building Act]. (2010:900). Stockholm, Sverige: Fritzes.
- Peterson, M. (2021). *Reviderad betongstandard ökar takten i klimatomställningen*. Bygg & teknik, 6/21. https://cms.betongarhallbart.se/wp-content/uploads/2021/12/byggteknik_6_21_reviderad-betongstandard-okar-takten-i-klimatomstallningen.pdf [2023-03-29] flygaska..
- Perby, H. (1989). *Beräkning av koldioxidproduktion vid bensin och dieselförbrukning*. Väg- och trafikinstitutet (VTI). Meddelande 593, ISSN 0347-5049. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:671644/FULLTEXT01.pdf> [2023-04-20]

R.

- Risser, P. G. (1991). *The Human Impact on the Natural Environment*, 3rd ed. BioScience, 41(3), 173+.

<https://link.gale.com/apps/doc/A10548832/HRCA?u=anon~370c2171&sid=bookmark-HRCA&xid=d1b21b29> [2023-05-12]

- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Published online at OurWorldInData.org. Hämtad från: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions> [Online Resource] [2023-03-29]

S.

- SI: International Bureau of Weights and Measures. (2019). *The International System of Units (SI)* (9th ed.). <https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9-EN.pdf>

- Shi, L., Han, L., Yang, F., & Gao, L. (2019). *The Evolution of Sustainable Development Theory: Types, Goals, and Research Prospects*. *Sustainability*, 11(24), 7158. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su11247158> [2023-05-06]

- SJ (a). n.d , *Höghastighetståg – här är de vanligaste myterna*. <https://sverige320.realcontent.se/hoghastighetstag-har-ar-de-vanligaste-myterna/> [2023-03-22]

- SJ. (b) n.d, *Res klimatsmart med SJ*. Hämtad [2023-06-22] från <https://www.sj.se/sv/om/om-sj/klimatsmart.html>

- Stenström, T. (2011). *”Som en pusselbit som passar överallt” : En kvalitativ studie om hur gymnasieelever upplever kreativitet på psykologilektionerna* (Dissertation). Hämtad [2023-04-06], från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kau:diva-11790>

- St: Eriks. (n.d.). Hämtad från <https://www.steriks.se/> [2023-03-29]

- Statistiska centralbyrån.

- a. *Befolkningsprognos för Sverige* (2023). Hämtad [2023-05-03] från <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/befolkningsprognos-for-sverige/>
 - b. *Beräkningsmodell för bensin respektive dieselförbrukning per kommun* (2009). (I. Karlsson & A. Johansson, Författare). hämtad [2023-05-02] från https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/trafik/Berakningsmodell_SCB.pdf
 - c. *Sveriges befolkning*. (2022). Hämtad [2023-06-14] från <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/sveriges-befolkning/>
 - d. *Varannan svensk har övervikt eller fetma* (2018). Hämtad [2023-06-14] från <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2018/varannan-svensk-har-overvikt-eller-fetma/>
- Strokirk, B. (2019). *Bergmaterialindustrin i praktik och teori: Kurslitteratur med studiehandledning*. Stockholm, Sweden: Sveriges Bergmaterialindustri
https://www.sverigesbergmaterialindustri.se/images/pdf/om_sbmi/For_hogskolor/Bergmaterialindustrin-litteratur_med_studiehandledning.pdf
[2023-05-02]
 - Stripple, H., & Uppenberg, S. (2010). *Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line*. Hämtad från IVL Svenska Miljöinstitutet website:
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-2715> [2023-04-10]
 - Sveriges Miljömål. [2023] (n.d.),
 - a. Sveriges miljömål och de globala hållbarhetsmålen. Hämtad [2023-04-24], från

<https://sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/sveriges-miljomal-och-de-globala-hallbarhetsmalen/>

b. Sveriges miljömål- *Generationsmålet*. Hämtad [2023-04-24], från <https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/generationsmalet/>

c. Sveriges miljömål. Hämtad [2023-04-24], från <https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/>

d. Sveriges miljömål - *Etappmålen*. Hämtad [2023-04-24], från <https://sverigesmiljomal.se/etappmalen/>

e. Sveriges miljömål- *Sveriges miljömål och de globala hållbarhetsmålen*. Hämtad [2023-04-24], från <https://sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/sveriges-miljomal-och-de-globala-hallbarhetsmalen/>

- Sveriges geologiska undersökning. (2020). *Grus, sand och krossberg 2020: Statistik över svensk aggregatproduktion 2020* (Periodiska publikationer No. 2021:3). Upplands Väsby: Sveriges geologiska undersökning.

Hämtad [2023-05-02], från <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/pp/pp202103rapport/pp2021-3-rapport.pdf>

T.

- TRV. Trafikverket
 - a. Järnkoll – fakta om svensk järnväg- Trafikverket (n.d.). Hämtad [2023-04-22], från <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/jarnkoll--fakta-om-svensk-jarnvag/>
 - b. Trafikverket. (2017, 6 oktober). *16 mil järnväg Boden-Bastuträsk har nu nytt spår* [Pressmeddelande]. Hämtad

[2023-03-22], från
<https://via.tt.se/pressmeddelande/16-mil-jarnvag-boden-bastutrask-har-nu-nytt-spar?publisherId=44450&releaseId=1771023>

c. Johansson, H. (2022, 7 februari). Vägtrafikens utsläpp 2021 [Dokumentdatum]. Ärendenummer TMALL 0423 PM 3.0. Hämtat [2023-03-25], från
<https://bransch.trafikverket.se/contentassets/7ce1527807fa44ff9aa195ab440d5184/pm-vagtrafikens-utslapp-220207.pdf>

d. TRVINFRA-00227: Krav på hållbarhet vid upphandling av järnvägsinfrastruktur [Kravdokument]. Hämtad [2023-04-22], från
https://puben.trafikverket.se/dpub/api/v1/Dokument/DownloadDokument?id=83177c7c-9dea-4d47-ab1d-19ae1db9ccc3&dokumentName=Krav%20TRVINFRA-00227%20Bro%20och%20broliknande%20%20v2_0.pdf [2023-04-22] (kabelrännor)

e. Abetong AB. (2012). Betongsliper: Teknisk specifikation rörande Trafikverkets linjesliprar i betong med e-clip befästning, produktgrupp 1. Gäller för Version TRV Koncern 3.0. (Diarienummer TRV 2011/60376). Handläggare: Anders Hammar. Utfärdande organisation: Abetong AB. Växjö, Sverige. Hämtat [2023-03-22], från
<https://bransch.trafikverket.se/contentassets/c86948a9ace04b32b352c781849d7dc8/a13.pdf>

f. Så sköter vi järnvägar- Trafikverket (n.d.). Hämtad [2023-04-23], från
<https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skoter-vi-jarnvagar/> [senast uppdaterad 2022-04-05]

g. Mäki, A., Myrland, J., & Nickman, A. (2020). *Fördjupad riskanalys grundvatten Västerhaninge – Jordbromalm: Haninge kommun*. Hämtad [2023-04-13], från Trafikverket website:
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:trafikverket:diva-4472>

h. Järnvägsnätsbeskrivning 2022: Bilaga 5 C – Schabloner och beräkningsexempel elkostnad (Utgåva 2020-10-01). Hämtad [2023-06-25] från

https://bransch.trafikverket.se/contentassets/88e6412ebbc9448497828c1e6779ad35/nya-filer/bil_5_c_2022_schabloner-och-beraknings-exempel_elkostnad.pdf

i. Håkan Johansson. 2022. *Vägtrafikens utsläpp 2021*. Hämtad [2023-06-22] från

<https://bransch.trafikverket.se/contentassets/7ce1527807fa44ff9aa195ab440d5184/pm-vagtrafikens-utslapp-220207.pdf>

j. RAPPORT. 2017. Samgods och tomtågsflöden. Ett Trafikverksprojekt. Hämtad [2023-06-25] från

https://bransch.trafikverket.se/contentassets/773857bcf506430a880a79f76195a080/forskningsresultat/rapport_samgods_tomtag_leverans_20170630.pdf

- Trigaux, Damien & Allacker, Karen & Debacker, Wim. (2021). *Environmental benchmarks for buildings: a critical literature review*. The International Journal of Life Cycle Assessment. 10.1007/s11367-020-01840-7. Hämtad [2023-04-02]

- Tynhage, E., Lif, E. (2021). *Betonghållfasthet Vs. Normhållfasthet för cement: Underlag för framtida hantering av variationer i cementens normhållfasthet* Stockholm, Sverige: KTH, Inst. för arkitektur och samhällsbyggnad.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1591252/FULLTEXT01.pdf>
[2023-03-28]

U.

- UEA. 2023. (n.d.) University of East Anglia. *CLIMATIC RESEARCH UNIT*. Hämtad [2023-03-27], från <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit>

V.

- Vasilca, I.-S., Nen, M., Chivu, O., Radu, V., Simion, C.-P., & Marinescu, N. (2021). *The Management of Environmental Resources in the Construction Sector: An Empirical Model*. *Energies*, 14(9), 2489. MDPI AG. Hämtad [2023-04-01], från <http://dx.doi.org/10.3390/en14092489>
- Vattenfall. n.d (2023), *Så påverkas din elförbrukning när du skaffar elbil*. hämtad [2023-07-02] från: <https://www.vattenfall.se/fokus/eldrivna-transporter/hur-paverkas-elforbrukningen-med-elbil/>

W.

- WWF. (2022) (n.d.) *Konsekvenser av global uppvärmning*. Bildreferens. Hämtad [2023-05-10], från https://www.wwf.se/klimat/konsekvenser/?psafe_param=1&gad=1&gclid=CjwKCAjw9pGjBhB-EiwAa5jl3N6K-H9qPnRPjcwXqUv2KRRWSE13ge_mQvhemTL5prjeKpPj0F5xuRoCnF0QAvD_BwE
- Walker, G. (2006). Climate change: The tipping point of the iceberg. *Nature*, 441(7095), 802+. <https://link.gale.com/apps/doc/A185450114/HRCA?u=anon~370c2171&sid=googleScholar&xid=c923b970>

Ö.

- Öresundståg. [Våra tåg].(2023-03-26) Hämtad från: <https://www.oresundstag.se/om-oresundstag/vara-tag/> [2023-03-26]

Bilaga 1. Ordregister

- Analys: Att noggrant undersöka eller utvärdera data, information eller material för att dra slutsatser eller hitta mönster.
- Banunderbyggnad - ämnar banan i relation till hur den är förlagd i terrängen, dess geometriska form samt det som bär banans överbyggnad som ballast, slipers, kontaktledningar, signal-och telekommunikationsanläggningar.
- Banöverbyggnad - Ämnar de tekniska systemen som nödgår spårens vitala funktioner, består av saker som ballast, slipers och spår.
- Banvall: Den del av järnvägen där spåren ligger och tågen rör sig.
- Biologisk mångfald - hänvisar till den variation av livsformer som finns i naturen, inklusive djur, växter och mikroorganismer. Det omfattar också den genetiska mångfalden inom varje art och den mångfald av ekosystem och livsmiljöer som de utgör. Bevarande och skydd av biologisk mångfald är avgörande för att upprätthålla ekosystemens funktioner, främja ekologisk balans och säkerställa långsiktig hållbarhet för planeten.
- Drivfordon - Spårfordon med egen framdrivningsutrustning, ibland inbyggt i en homogen design tillsammans med tåget och ibland enbart ett lok eller motorvagn.
- Emissioner: Utsläpp av föroreningar, gaser eller partiklar i miljön, vanligtvis som en följd av mänsklig aktivitet.
- Fordonsprofil - spårfordons bredd- och höjdmått, differens av statiskt fordon (stillastående) och dynamiskt (i rörelse) förekommer då dynamisk profil inkluderar rörelseutrymme för fordonet.

- Formelutveckling: Processen att skapa eller utveckla matematiska eller vetenskapliga formler för att beskriva och förutsäga fenomen och samband.
- Forskning: Systematisk undersökning av ett ämne för att generera ny kunskap, upptäcka samband eller validera tidigare resultat.
- Färd - Benämning för trafikverksamheterna växling, tågfärd, och spårfärd i trafikföreskrifterna.
- Försening - den tid som ett tåg ligger efter i tidtabellen.
- Genetisk mångfald/ variation - Avser förekomsten av genetiskt olika individer inom en population, detta är en förutsättning för naturligt urval, anpassning och evolution.
- Geologi: Vetenskapen om jordens uppbyggnad, material och processer.
- Godståg - Tåg för godsbefordran (transport av material istället för persontrafik).
- Granskning: En noggrann undersökning, bedömning eller utvärdering av något.
- Green Cargo AB - järnvägsföretag som bedriver godstrafik, främst i Sverige men även till viss del utlandet. Green Cargo ägs av staten och bildades 2001 vid bolagiseringen av affärsverket Sjöstrafik som då var divisionen SJ Gods
- Greenwashing: Felaktig eller vilseledande marknadsföring som ger sken av att vara miljövänligare än vad det faktiskt är.
- Järnvägsnätsbeskrivning (JNB) - Grundläggande information från infrastrukturförvaltaren om förutsättningarna att ansöka om infrastrukturkapacitet eller att utföra järnvägstrafik på järnvägsnätet, utfärdas i Sverige av TRV.
- Klimat: Långsiktig väderstatistik och förändringar i atmosfärens förhållanden på en geografisk plats.
- Klimatsmart: Att agera eller fatta beslut med hänsyn till klimatförändringar genom att minska utsläpp och främja hållbarhet.
- Konduktör - En konduktör är en person som arbetar ombord på tåg och ansvarar för att kontrollera biljetter, assistera passagerare och ge information om resan.
- Konstruktion: Processen att bygga eller skapa något, särskilt fysiska strukturer eller anläggningar.

- Linje - Kortform av järnvägslinje, alt. Banan utanför driftplatsernas gränser.
- Lokaltåg - Regionaltåg med täta stationsuppehåll främst i storstadsområden. Jämförelsebar benämning är "Regionaltåg" eller "Pendeltåg".
- Merförsening - Skillnaden i utgångs-och ingångsförseningen hos ett tåg.
- Miljöarbete: Insatser och aktiviteter som syftar till att skydda, bevara och förbättra miljön.
- Miljöförorening: Närvaron av skadliga ämnen eller faktorer i miljön som kan påverka människor, djur eller ekosystem negativt.
- Neutraliseringshorisont - den horisont i tid som uppskattar när ett projekt har kompenserat för dess initiala utsläpp och då alltså har blivit neutraliserad och kan börja fungera som en Co2 sänka.
- Ordjungel - En härva information klassiskt upplagd med snåriga utsvävningar, ofta del av remanentning.
- Pedagogik: Vetenskapen om undervisning och lärande, inklusive metoder, strategier och teorier för att underlätta kunskapsöverföring.
- Plattform - Upphöjt område vid ett spår för att underlätta resenärers av- och påstigning av tåg. Standard för en medelhög plattform är 0,55 m och för en hög plattform är det 0,76 m över rälsöverkant.
- Punktlighet - Kvalitetsmått på hur väl tågen följer tidtabellen.
- Rallare - är arbetare som historiskt sett var involverade i byggandet av järnvägar, inklusive spårläggning och underhåll av järnvägsräls.
- Remanentning - processen att fylla ut eller lägga till material för att öka ytan eller fylla tomrum.
- Restid - Den tid ett tåg behöver för att framföra en viss linjesträcka med tillägg för uppehåll.
- Rälsöverkant - Plan bildat av toppen av rälerna, spårplanet. Referensmått för anläggningar som ansluter till tågfordon.
- Samhällsbehov: De behov och krav som finns inom ett samhälle, inklusive ekonomiska, sociala och miljömässiga aspekter.
- SI enheter - Système International d'Unités, d v s franska för "det internationella måttenhetssystemet". Bokstäverna SI används på alla språk för att beteckna detta system. SI-systemet blev en standard på en

internationell kongress 1960 och används i stora delar av världen. (SI. 2019)

- Signalställverk - Anläggning för att ställa växlar och signaler på en station. Alternativt ämnas en signalanläggning för en driftplats i system H eller M.
 - System H - Trafikeringsystem som baseras på att det finns fullständiga signalställverk på driftplatserna samt linjeblockering på linjen.
 - System M - Trafikeringsystem som baseras på att linjen övervakas av två tågklarerare utan hjälp av linje/ radioblockering.
- Sliper - Tvärgående balk under rälerna, lastfördelande funktion över banunderbyggnaden.
- Snabbtåg - Tåg med korglutning som kan köra med överhastighet i kurvor. STH 200-250 km/h.
- Socioekonomiska perspektiv: Att betrakta och analysera frågor utifrån samspelet mellan samhälls- och ekonomiska faktorer.
- Spår - I järnvägstekniska sammanhang en enhet av räler, rälsbefästningar, sliprar samt spårväxlar och andra komponenter som utgör körvägen för tåg och spårfordon.
- Stambana - Historisk benämning på statsbana av nationell betydelse med relativt mycket trafik.
- Station (st) - En allmän benämning på en (större) anordnad plats för resande eller godsutbyte på järnvägen, har i regel två eller flera spår och alltid en signalsäkerhetsanläggning så att tågen kan byta ordning (tågmöte, tågvändning etc).
- STH - Största tillåtna hastighet. Det är den högsta hastighet som är tillåten inom en viss trafikmiljö eller på en viss vägsträcka. STH kan variera beroende på typ av fordon, vägkvalitet, vägförhållanden och eventuella trafikregler. Att överskrida STH kan leda till böter och andra sanktioner, samt öka risken för olyckor och skador.
- Stins - En stins är en person som tidigare arbetade som chef på en järnvägsstation och hade ansvar för att övervaka tågtrafiken och hantera biljettförsäljning.
- Subsekvent - bastardiserat uttryck från det engelska "Subsequent" som är synonym på "följande" eller "efterföljande". Uttrycket finns som

subsekvent flod, dock är detta ett topografiskt uttryck och inte relaterbart till detta. Författaren för detta arbete gillar att hitta på nya ord.

- subsekvent flod: subsekve'nt flod (latin su'bsequens 'efterföljande', av su'bsequor 'följa tätt efter'), flod

- Teori: En systematiskt organiserad uppsättning begrepp och principer som används för att förklara eller förstå ett fenomen.
- Trafikverket - Svensk myndighet som ansvarar för den samlade långsiktiga infrastrukturplaneringen samt för byggande, drift och underhåll av statliga järnvägar och vägar. Den bildades den 1 april 2010.
- Tåg - Allmänt begrepp för ett eller flera ihopkopplade spårfordon, en kortform av "tågfärd"..
- Lok/ Lokomotiv- Ett lokomotiv är en kraftdriven järnvägsfordon som används för att dra eller skjuta tågvagnar på järnvägsspår. Lokomotivet är vanligtvis utrustat med en motor och drivsystem som genererar kraft för att driva tåget framåt. Det finns olika typer av lokomotiv, inklusive ånglok, diesellok och elektriska lok.
- Tågklarerare (TKL) -Den som övervakar och ansvarar för tågrörelser och annan verksamhet på huvudspår och vissa sidospår.
- Tågväg - De delar av tågspår på en station som tåget ska använda, i praktiken spår som med hjälp av signalsystemet är reserverat för ett tåg.
- Utsläpp: Frekvent utsläpp av ämnen, särskilt föroreningar, till luft, vatten eller mark.
- Utsläppsberäkning: Att beräkna och kvantifiera mängden utsläpp av växthusgaser eller andra föroreningar som genereras av en verksamhet eller produkt.
- Vagn - Spårfordon som saknar egen framdrivningsutrustning.
- Växel - Del av spåret med rörliga komponenter för att reglera tågets färdriktning mellan olika spåralternativ.
- Överhastighet - Högre hastigheter än STH normalt tillåter, specifikt för tåg med kapacitet att köra snabbare utan att riskera skador eller andra konsekvenser.

Bilaga 2.

Denna bilaga visar på utvecklingen av formel skapandet, de initiala stegen och uträkningar. Denna del är grundläggande för den ekvation formulering som innefattas i resultat och diskussion.

Ekvations utformning och prövningar

Denna bilaga visar helt enkelt utveckling formeln har följt och dess initiala steg, från start och framåt. Slutgiltiga beräkning finnes i kapitel 4

Vissa ekvationer byggde på en källa från TRV som finnes via Trafikverket. (2017 b).

Det kan vara luddigt att följa dessa steg, men det är formelutvecklingen som är det intressanta och dem överensstämmer det det slutgiltiga uttrycket.

- sammanställning 1. [2023-03-26], Beräknar ej frakt eller utvinning. Utan mer eller mindre bara kWh värdet för de olika processerna som hittills framtagits.

0.0684 Co₂ per meter räl (minst)

2 slipers met meter, 500 kg CO₂ (bara rå betong värdet)
0.00743 CO₂ per meter ballast (bara kross)

500+0.0684+0.00743 ger ett approximativt värde på 500.07583 kg/m järnväg för bara dessa komponenter utan frakt och liknande beräknat.

Om du bygger en ny bana på 100 km får du alltså en väldigt basal utsläppsfaktor på ungefär 50007583 kg CO₂ genom bara dessa första steg beräkningarna.

Ny personbil enligt TRV släpper 75 g per km, bara processen för att bygga 100 km spår motsvarar alltså en resa på nästan 6667.7 mil. Det motsvarar 1.67 varv runt jorden i utsläpp för en ny personbil.

Jag insåg idag (27:e) att värdet för rälsen ska dubblas, då det är två räler .

Detta ger 500.14423 kg/m räl i CO₂ utsläpp. På 10 mil är detta 50014423 kg Co₂ och detta motsvarar 6668.6 mil. Då alltså fortfarande 1.67 varv.

Dela motsvarigheten för transpor i bil med distansen för byggt spår så får du alltså att om de uppskattade dagliga tågresenärerna i sverige (290 000) skulle åka i varsin modern personbil kan de köra denna sträckan 2.3 gånger per person och åstadkomma samma grad av totala utsläpp som enkom den initiala uträkningen för samma sträcka i produktionsutsläpp av järnvägen.

Halverar vi dock betongbruket halverar vi i princip denna siffra.

Per pågatåg är det ungefär max 687 sittplatser,
1 tåg= 687 resenärer.

Produktion av ett ton cement kan ge utsläpp av kring 700-800 kilo koldioxid enligt Naturskyddsföreningen, så multipeln för kg betong kan approximeras till 0.75 då vi tar medelvärdet och det även finns kross i materialet och stål som kan försummas just nu.

Renskrivning av ekvation Vol.1

Variabel	original värden	Utskrivna värden
Distans (meter)	100 000	100 000
Slipers	500*0.75 Co ₂ kgm ⁻¹	375 Co ₂ kg m ⁻¹
Räler	2(0.0684) Co ₂ kg m ⁻¹	0.137 Co ₂ kg m ⁻¹
Makadam	0.08044 Co ₂ kg m ⁻¹	0.08044 Co ₂ kg m ⁻¹
Resenärer per tåg 75%	687*0.75	515
Antal avgångar per dag	81	80

$$\frac{(Distans (Samtliga Co_2 variabler))}{(tågresor * avgångar * 365)} \\ \frac{100\ 000 (375+0.137+0.08044)}{515*80*365} \approx 2.5 \text{ år}$$

Väldigt enkel matte med beräkningar på liknande turtäthet från HBG till Lund på ca 81 turer dagligen, inga grenspår eller liknande utan enbart imaginära tåg situationer skulle ge en approximativ neutralitet för dessa variabler efter ungefär 2.5 år.

Detta gäller bara för en sträcka på 10 mil, vilket är ungefär mellan Lund och Osby för referens.

Konstanten för beräkningarna kan framtas om man sätter distansen som 1 då blir värdet:

$$\frac{(375+0.137+0.08044)}{(515*80*365)} = 2.49512859 * 10^{-5}$$

$$\frac{(375+0.137+0.08044)}{(515*80*365)} \approx 2.5 * 10^{-5}$$

Så med denna konstant, gör vi en enkel spårberäkning på en sträcka mellan sthlm till malmö som har som kortaste väg som fågeln flyger, ett avstånd på 512.94 km.

Denna imaginära enkelspåriga linje med ovanstående variabler, en neutraliseringshorisont på ungefär 7.2 år

Ekvations begränsningar och definitioner Vol.1

Ekvationen i Vol.1 avgränsar sig till approximationer, gynnsammaste förhållanden och uppskattad data som baserar sig i till exempel avgångar från HBG till lund dagligen och maxkapacitet hos ett trippel satt öresundståg. dessa förhållanden måste formateras efter mer relevanta förutsättningar och trovärdiga källor för att integriteten bakom ekvationen skall hålla.

vidare kan vi ersätta meter till km för att undvika potens delen:

$$\frac{1000(375+0.137+0.08044)}{(515*80*365)} \approx 0.02495$$

Då anger man helt enkelt antal kilometer istället för meter antalet och det blir lite lättare beräknat utan att kompromissa med resultatet.

T.ex. 1000 km ger en neutraliseringshorisont på ca 25 år.

Renskrivning av ekvation Vol.2

Med ny data från jernkontoret gör vi nya beräkningar

Variabel	original värden	Utskrivna värden
Distans (meter)	100 000	100 000

Slipers	500*0.75 Co ₂ kg	375 Co ₂ kg
Räler E	0.96 co ₂ kg	1 Co ₂ kg
Räler K	240 co ₂ kg	240 Co ₂ kg
Makadam	0.08044 Co ₂ kg	0.08044 Co ₂ kg
Resenärer per tåg 75%	687*0.75	515
Antal avgångar per dag	81	80

Beräkning 1, Med räler E

*(Distans (Samtliga Co2 variabler)) / (tågresor * avgångar * 365)*

$$\frac{100\ 000 (375+1+0.08044)}{515*80*365} = 2.5009 \text{ år}$$

Beräkning 2 med räler K

$$\frac{100\ 000 (375+240+0.08044)}{515*80*365} = 4.09 \text{ år}$$

Det är alltså en enorm skillnad i processernas olika utsläpp, utöver detta är de potentiella 20% adderade utsläppen för stålproduktion som Nilson, G (2023) hänvisade till inte inberäknade. men för ekvation med E är det en skillnad på 0.192 kg per meter. medans för kol, om det går att räkna på det sättet så är det en differens på 400 kg.

Denna typ av beräkning känns inte rimlig så vidare efterforskningar krävs.

Renskrivning av ekvation Vol.3

Med ny data från TRV klimatkalkyl gör vi nya beräkningar

Variabel	original värden	Utskrivna värden
Distans (meter)	100 000	100 000
Slipers	500*0.75 Co ₂ kg	375 Co ₂ kg
Räler E	0.96 co ₂ kg	1 Co ₂ kg

Räler K	240 co ₂ kg	240 Co ₂ kg
Makadam	0.08044 Co ₂ kg	0.08044 Co ₂ kg
Diesel, anläggningsfo rdon	17.49 Co ₂ kg	17.5 Co ₂ kg
Resenärer per tåg 75%	687*0.75	515
Antal avgångar per dag	81	80

Beräkning 1, Med räler E

*(Distans (Samtliga Co2 variabler))/(tågresa * avgångar * 365)*

$$\frac{100\,000 (375+1+0.08044+17.5)}{515*80*365} = 2.62\text{år}$$

Beräkning 2 med räler K

$$\frac{100\,000 (375+240+0.08044+17.5)}{515*80*365} = 4.21\text{år}$$

Bilaga 3.

Artikel: 16 mil järnväg Boden-Bastuträsk har nu nytt spår

Korta fakta

- Byggstart 2014, klart 2017
- Allt spårbyte skedde nattetid under 10 veckor i rad respektive år där 7 veckor användes till byte och resterande 3 veckor till efterarbeten
- Ca 1000 meter spår byttes per natt

- Ca 270 000 stycken slipers har använts
- 320 000 m räl har placerats till en vikt av 19 200 ton
- 120 000 m³ makadam har körts ut till spårbytet

[16 mil järnväg Boden-Bastuträsk har nu nytt spår | Trafikverket](#), 6.10.2017 06:30:00
CEST | [Trafikverket](#)

<https://via.tt.se/pressmeddelande/16-mil-jarnvag-boden-bastutrask-har-nu-nytt-spar?publisherId=44450&releaseId=1771023>

Bilaga TRV

Klimatkalkylsverktyget som refereras till finnes via TRV:s hemsida eller via länken:

<https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/minskad-klimatpaverkan/Klimatkalkyl/>