



UPPSALA  
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2014/43-SE

Examensarbete 15 hp  
Juni 2014

# Upprustningsmetoder för en bankropp

En jämförelse ur LCC-perspektiv

---

Karin Rehn



UPPSALA  
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet  
UTH-enheten

Besöksadress:  
Ångströmlaboratoriet  
Lägerhyddsvägen 1  
Hus 4, Plan 0

Postadress:  
Box 536  
751 21 Uppsala

Telefon:  
018 – 471 30 03

Telefax:  
018 – 471 30 00

Hemsida:  
<http://www.teknat.uu.se/student>

## Abstract

### **Reinforcement of a railroad embankment - A comparison of methods with LCC-analyses**

*Karin Rehn*

In recent years, the Swedish railway track system has been neglected in terms of capacity and maintenance. To adapt the existing system to current traffic load there is a great need for extensive improvement and maintenance. Shortcomings are especially occurring on older embankments running over soft subgrades. To select the most suitable method for reinforcement of the embankment, it is important to evaluate different solutions from a life cycle cost perspective. In long-term perspective, it is often shown that a method with low investment cost causes a higher maintenance cost and a shorter technical lifetime. Today, most of the decisions regarding reinforcement and maintenance are based on existing experience and budgetary constraints. This can often limit the ability to think long term and make sustainable cost efficiencies. Currently the most common reinforcement method is ballast cleaning with frost insulation. A method that should be seen as relatively short-term and in most cases does not increase the capacity to a desired level. An alternative to this method is to reinforce the embankment with geogrid and shift the ballast in the top ballast layers. The method is practical more comprehensive but from a theoretical perspective it is more beneficial.

The purpose of this study is therefore to investigate whether reinforcement of track bed using geogrids and shift ballast in the overlaying ballast layer is more beneficial from a life-cycle cost perspective, than ballast cleaning and new frost insulation. This study is based on a simplified life cycle cost analysis that includes investment costs, maintenance costs and energy costs. System boundaries and model specifications will be based on a literature review, reference projects and interviews with suppliers of used products and technical solutions. The established model should be seen as a simplification of reality but seeks to illustrate a realistic case where an older railway embankment over soft subgrade is in need of reinforcement. The life-cycle cost analysis showed that reinforce the track bed with geogrid and shifting ballast in the overlaying ballast layer was the most favorable option from both a cost and environmental standpoint. This is mainly due to the long lifetime and extended maintenance intervals. In the model, there is some uncertainty and it seems to be that an area that is in need of more research. If resources are spent on expanding the use of life-cycle cost analysis in the transport sector there can be economically, socially and ecologically sustainable development.

Handledare: Malin Wicklander  
Ämnesgranskare: Maria Espersson  
Examinator: Kristofer Gamstedt  
ISRN UTH-INGUTB-EX-~~\*~~-20~~\*~~\*/00-SE

# **UPPRUSTNINGSMETODER FÖR EN BANKROPP**

**En jämförelse ur LCC-perspektiv**

---

**Karin Rehn**

Institutionen för teknikvetenskaper, Byggt teknik, Uppsala universitet

Examensarbete 2013

Detta examensarbete är tryckt på Polackbackens Repro, Uppsala universitet,  
Box 337, 751 05 Uppsala  
ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2014/00-SE

Copyright@Karin Rehn  
Institutionen för teknikvetenskaper, Byggt teknik, Uppsala universitet

## **ABSTRACT**

In recent years, the Swedish railway track system has been neglected in terms of capacity and maintenance. To adapt the existing system to current traffic load there is a great need for extensive improvement and maintenance. Shortcomings are especially occurring on older embankments running over soft subgrades. To select the most suitable method for reinforcement of the embankment, it is important to evaluate different solutions from a life cycle cost perspective. In long-term perspective, it is often shown that a method with low investment cost causes a higher maintenance cost and a shorter technical lifetime. Today, most of the decisions regarding reinforcement and maintenance are based on existing experience and budgetary constraints. This can often limit the ability to think long term and make sustainable cost efficiencies. Currently the most common reinforcement method is ballast cleaning with frost insulation. A method that should be seen as relatively short-term and in most cases does not increase the capacity to a desired level. An alternative to this method is to reinforce the embankment with geogrid and shift the ballast in the top ballast layers. The method is practical more comprehensive but from a theoretical perspective it is more beneficial.

The purpose of this study is therefore to investigate whether reinforcement of track bed using geogrids and shift ballast in the overlaying ballast layer is more beneficial from a life-cycle cost perspective, than ballast cleaning and new frost insulation.

This study is based on a simplified life cycle cost analysis that includes investment costs, maintenance costs and energy costs. System boundaries and model specifications will be based on a literature review, reference projects and interviews with suppliers of used products and technical solutions. The established model should be seen as a simplification of reality but seeks to illustrate a realistic case where an older railway embankment over soft subgrade is in need of reinforcement.

The life-cycle cost analysis showed that reinforce the track bed with geogrid and shifting ballast in the overlaying ballast layer was the most favorable option from both a cost and environmental standpoint. This is mainly due to the long lifetime and extended maintenance intervals. In the model, there is some uncertainty and it seems to be that an area that is in need of more research. If resources are spent on expanding the use of life-cycle cost analysis in the transport sector there can be economically, socially and ecologically sustainable development.

## **SAMMANFATTNING**

Järnvägen är dagsläget eftersatt vad gäller kapacitet och underhåll. För att anpassa det befintliga järnvägsnätet till dagens trafikbelastning behövs omfattande upprustnings och underhållsåtgärder. Största bristerna finns speciellt på äldre bankroppar på lösa undergrundar. Vid val av upprustningsmetod är det viktigt att ur ett livscykelkostnadsperspektiv utvärdera olika lösningar för att erhålla största möjliga samhällsnytta. Detta på grund av det ofta inte är den lösningen med lägst investeringskostnad som är den mest fördelaktiga under ett längre tidsintervall. I dagsläget baseras merparten av besluten gällande upprustning och underhåll på tidigare erfarenheter och budgetrestriktioner. Det kan i många fall begränsa möjligheterna att tänka långsiktigt och göra hållbara kostnadseffektiviseringar. Den i nuläget vanligaste upprustningsmetoden är ballastrening med frostisolering. En åtgärd som bör ses som relativt kortsiktig och som i de flesta fall inte höjer kapaciteten till önskvärd nivå. Ett alternativ till denna åtgärd är förstärka bankroppen med geonät och skifta ballast i överbyggnaden. Metoden är rent praktiskt mer omfattande men har ur ett teoretiskt perspektiv fler fördelar.

Syftet med denna studie är därför att utreda om upprustning av bankroppen med hjälp av geonät med ballastskifte är mer fördelaktigt ur ett livscykelkostnadsperspektiv än ballastrening med ny frostisolering.

Studien baseras på en förenklad livscykelkostnadsanalys som inkluderar investeringskostnader, underhållskostnader och energikostnader. Avgränsningar och modellspecifikationer kommer att baseras på en litteraturstudie, referensprojekt och intervjuer med leverantörer av tekniska produkter och lösningar. Den modell som upprättas bör ses som en förenkling av verkligheten men syftar till att illustrera ett realistiskt fall där en äldre bankropp över lös undergrund är i behov av upprustning.

Livscykelkostnadsanalysen visade att geonätsarmera bankroppen och skifta ballast i överbyggnaden var det mest fördelaktiga alternativet ur både kostnads- och miljösynpunkt. Detta beror till största del på längre teknisk livslängd och utökat underhållsintervall. I modellen finns viss osäkerhet och mycket tyder på att det är ett område som är i behov av mer forskning. Om resurser läggs på att utöka användandet av livscykelkostnadsanalys inom transportsektorn kan ekonomisk, social och ekologisk hållbar utveckling främjas.

# FÖRORD

Examensarbetet har gjorts i samarbete med Tyréns, Järnväg Bana och Mark, där även merparten av arbetet utförts. Jag vill därmed börja med att tacka alla på avdelningen för ett fantastiskt mottagande och två väldigt trevliga månader. Ett speciellt tack vill jag rikta till min handledare Malin Wiklander som inte tröttnat på att besvara mina frågor.

Vidare vill jag även tacka personal hos alla leverantörer som bidragit med värdefull kunskap och information. Utan er hjälp hade studien varit svår att genomföra.

Jag vill också tacka min ämnesgranskare Maria Espersson vid Uppsala universitet som visat engagemang och trott på min idé.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING .....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Problembeskrivning .....	2
1.3 Syfte .....	3
1.4 Frågeställningar .....	3
1.4 Mål.....	3
1.5 Avgränsningar .....	3
2. METOD .....	4
2.1 Val av vetenskapligt angreppssätt .....	4
2.2 Val av vetenskaplig metod .....	4
2.3 Datainsamling .....	4
2.3.1 Litteraturstudie .....	5
2.3.2 Intervjuer.....	5
2.3 Livscykelkostnadsanalys (LCC-analys).....	5
2.3.1 Systemavgränsningar .....	5
3. LITTERATURSTUDIE .....	6
3.1 Bankroppen.....	6
3.1.1 Övergripande krav på bankroppen .....	6
3.1.2 Livslängd .....	7
3.1.3 Principiell uppbyggnad av bankroppen .....	8
3.1.4 Jämvägsöverbyggnaden .....	9
3.1.5 Jämvägsunderbyggnaden .....	10
3.1.6 Underhåll av bankroppen.....	10
3.1.8 Långsiktig hållbarhet .....	11
3.2 Upprustning och förstärkning av bankroppen.....	12
3.2.1 Upprustning av bankroppen .....	12
3.2.2 Jordarmering med geonät .....	12
3.2.3 Ballastrening och ballastkomplettering.....	18
3.2.4 Frostisolering med cellplast.....	19

4.	TEORETISK REFERENSRAM.....	21
4.1	Livscykelkostnadsanalys (LCC-analys).....	21
4.2	LCC-analys inom järnvägssektorn.....	22
4.3	Kostnader vid förenklad LCC-analys.....	22
4.3.1	<i>Investeringskostnader</i> .....	24
4.4	Hållbar utveckling.....	25
4.5	Problem med LCC.....	25
4.5	Aktuell LCC-modell.....	26
4.5.1	<i>Nuvärdesmetoden</i> .....	26
4.5.2	<i>Annuitetsmetoden</i> .....	27
5.	TILLÄMPNING AV MODELLEN.....	28
5.1	Övergripande förutsättning.....	28
5.2	Resultat och analys.....	30
5.2.1	<i>Upprustning med geonät</i> .....	30
6.	ANALYS OCH DISKUSSION.....	32
6.1	Investeringskostnader.....	32
6.2	Årlig underhållskostnad.....	33
6.3	Energikostnader.....	34
6.4	Känslighetsanalys.....	35
7.	SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER.....	36
	REFERENSLISTA.....	39
	BILAGOR.....	42
	Bilaga 1.....	B1
	Bilaga 2.....	B2
	Bilaga 3.....	B3

# 1. INLEDNING

*Det inledande kapitlet avser att ge läsaren en inblick i studiens bakgrund samt redogöra för studiens syfte och mål.*

## 1.1 Bakgrund

Det svenska järnvägsnätet har ett uppdämt behov av upprustning för att kunna hålla jämna steg med den ökande trafikutvecklingen och kraven på snabbare och tyngre tåg. För att kunna uppfylla de förväntningar som finns på transportkvalitet och tillgänglighet krävs en markant ökning av större utbyten och upprustningar inom en överskådlig framtid. (Trafikverket Controlling, 2013)

Eftersom järnvägsnätet inte är bättre än dess svagaste länk innebär det att tågstörningar snabbt fortplantar sig i systemet. Nätet måste ha en jämn standard vilket ställer stora krav på underhållet. I många trafikflöden ingår bandelar med varierande ålder. För att möjliggöra en god samverkan mellan äldre och yngre bandelar krävs en bibehållen standard hos de äldre delarna. Idag löper många äldre bankroppar över lösa undergrunder och i takt med ökad trafikbelastning och ändrad trafikstruktur uppstår problem med banans bärighet. Detta leder i sin tur till ett högfrekvent, dyrt och för trafikanterna störande underhåll. Det är därför viktigt att enkelt och kostnadseffektivt kunna rusta upp och förstärka konstruktionen. (Banverket, 2007)

För att kunna värdera olika konstruktionstyper räcker det inte med att jämföra investeringskostnaderna. Den totala livscykelkostnaden, där bland annat underhållskostnader under livslängden inkluderas, bör tas med i beräkningen vid val mellan olika investeringsalternativ. Att välja det minst kostsamma investeringsalternativet resulterar ofta i kapitalförstörning i form av höga underhållskostnader, minskad tillgänglighet och en kort teknisk livslängd. Utrustning med hög kvalitet är ofta dyrare initialt men resulterar i lägre underhållskostnader, högre tillgänglighet och längre teknisk livslängd. (Levin & Lilliehorn, 2008)

Den långa livslängden för komponenter och deras höga installationskostnader innebär att alla investeringsbeslut har en hög grad av oåterkallelighet. Det är därför viktigt att all aktivitet leder till lägsta livscykelkostnaden och/eller största möjliga driftsäkerheten och då är investeringskostnaden av underordnad betydelse för åtgärden. (Corshammar, 2005)

Genom att använda sig av livscykelkostnadsanalyser i konstruktions- och projekteringsstadiet, både vid upprustning och nybyggnation, kan den ur samhällsekonomiskt perspektiv mest lönsamma konstruktionstypen väljas. Beställaren Trafikverket är idag starkt styrda av budgetrestriktioner och interna regelverk vilket innebär att det i många fall kan vara svårt att agera utifrån det som är mest långsiktigt hållbart. I dagsläget baseras merparten av besluten gällande upprustning och underhåll på erfarenhet och historiskt beprövade lösningar. Ofta kan nya mer passande lösningarna finnas inom räckhåll men det uppstår hinder på grund av organisatoriska och institutionella gränser. Med både de kortsiktiga budgetkraven och de långsiktiga ägarkraven i åtanke finns ett behov av att systematiskt använda livscykelkostnadsanalyser för att optimera underhålls- och förnyelsestrategier. Genom att utnyttja de personella och ekonomiska resurserna så effektivt som möjligt kan en i tiden mer hållbar kostnadseffektivisering av olika typer av järnvägsarbeten göras. (Patra, 2009)

## **1.2 Problembeskrivning**

Högre hastigheter och axellaster ökar problemen med vibrationer vilket ställer stora krav på bankroppens stabilitet. Om bankroppens utformning inte är anpassad för det aktuella belastningsfallet leder detta till att deformationer snabbt uppstår som skapar problem för spårens geometri. Problemet uppstår speciellt på äldre bankroppar på svaga undergrunder och lösa jordar med låg bärighet. För att klara de ökade påfrestningarna kräver bankropparna upprustning och förstärkningar för att klara utvecklingen. Ballastrening och ny frostisolering är idag de i Sverige vanligaste förstärkningsåtgärderna då en upprustning av bankroppen ska göras. Denna åtgärd kan på många sätt ses som relativt kortsiktig med återkommande underhåll och banans kapacitet ökar i många fall inte i den utsträckning som skulle vara önskvärt. (Karlsson, 2014) En mer omfattande metod för att förstärka bankroppen är att utrusta bankroppen med jordarmering av geonät och skifta ballast i överbyggnaden. Då upprustningsarbeten ofta är förknippade med höga kostnader är det viktigt att utvärdera vilken metod som är den mest kostnadseffektiva, utan att inskränka på kvalitet och krav. (Tensar International, 2010)

### **1.3 Syfte**

Syftet med denna studie är att utreda om upprustning och förstärkning av bankroppen med hjälp av geonät och ballastskifte är mer fördelaktigt ur ett livscykelkostnadsperspektiv än ballastrening med ny frostisolering.

### **1.4 Frågeställningar**

Syftet kommer att besvaras genom följande frågeställningar.

- Är geonät och ballastskifte eller ballastrening med ny frostisolering den mest kostnadseffektiva upprustningsmetoden av en bankropp ur ett livscykelkostnadsperspektiv?
- Finns det någon av metoderna som kan ses som mer hållbar ur miljösynpunkt?

### **1.4 Mål**

Det befintliga järnvägsnätet är i behov av omfattande förbättringsarbeten till följd av bland annat ökade hastigheter och åldrade anläggningar. Alla investeringar i järnvägsnätet bör ses som långsiktiga med hög samhällspåverkan och stora kostnader. Det är därför av stor vikt att jämföra alla delsystem, metoder eller utrustning med hänsyn till både ekonomisk effektivitet och långsiktig hållbarhet.

Arbetet kommer att genomföras på uppdrag av Tyréns, avdelningen Järnväg- bana och mark. Det kommer förhoppningsvis leda till ett beslutsstöd i valet av förstärkningsmetod vid förbättring av befintliga bankroppar, samt i framtida järnvägsprojektering.

### **1.5 Avgränsningar**

Arbetets omfattning begränsas av den ungefärliga tiden två månader som är utsatt för genomförandet av examensarbetet. Det är även begränsat till att enbart beröra en specifik produkt för varje utförande, men kan användas för likartade produkter för det specifika utförandet om de uppfyller samma byggnadstekniska prestanda.

## **2. METOD**

*Metodavsnittet syftar till att redovisa hur studien upprättats och genomförts, samt hur studieresultatet analyserats.*

### **2.1 Val av vetenskapligt angreppssätt**

Den aktuella studien kommer att genomföras som en fallstudie. En fallstudie syftar till att skapa en djupare förståelse för men inte ge en förklaring till det fenomen som undersöks. Den kännetecknas av att beskriva verkligheten genom att studera en specifik del i en större kontext med närhet till det som undersöks.

(Adolfsson & Persson, 2001)

### **2.2 Val av vetenskaplig metod**

Studien kommer att baseras på en blandning av kvantitativ och kvalitativ metod. Genom att integrera kvantitativa data i en kvalitativ undersökning skapas en mer utförlig förståelse och genererar större förtroende för de slutsatser som dras. En kvalitativ metod blir ofta vag utan konkreta data och data utan djupare kontext blir ofta svårtolkade. (Langemar, 2012)

Den kvantitativa metoden bygger på att det som ska studeras görs mätbart och resultatet ska kunna presenteras med numerisk data. Kvantitativa metoder bygger ofta på exempelvis experiment och enkäter. Dessa metoder är inte flexibla och ny kunskap som kommer fram vid genomförandet får inte ändra undersökningens upplägg. Fördelen med kvantitativa metoder är att de möjliggör generalisering. (Adolfsson & Persson, 2001)

Kvalitativa metoder bygger ofta på en närhet till forskningsobjektet vilket leder till en djupare förståelse för det som studeras. Dessa metoder präglas av flexibilitet och undersökningens upplägg kan ändras under studiens gång. Kvalitativa metoder kännetecknas av att de aldrig använder siffror eller tal. Fördelen med dessa typer av metoder är att de möjliggör ökad förståelse för totalsituationen.

(Adolfsson & Persson, 2001)

### **2.3 Datainsamling**

Datainsamlingen har en rad olika funktioner och syftar till att ge studien validitet och reliabilitet. Det vill säga ge författarna en sådan bred och djup inblick i ämnet att de kan skapa och återge det för läsaren på ett så korrekt sätt som möjligt. Det är dock mycket viktigt att läsaren kan följa alla uppgifter tillbaka till den initiala källan.

Datainsamlingen baseras på både primärdata och sekundärdata. Sekundärdata i form av litteraturstudier i både tryckt- och digitala form. Primärdata baseras främst på kunskap hos personal på bana- och markavdelningen på Tyréns, samt intervjuer med leverantörer av material och sakkunniga inom området.

### **2.3.1 Litteraturstudie**

Valet av litteratur syftar till att beskriva ämnesområdet samt ge svar på de frågor som ställts i det inledande kapitlet. Litteraturstudien kommer att baseras på forskningsartiklar, branschpublikationer, litteratur i bokform samt tidigare examensarbeten som behandlar det aktuella ämnet.

### **2.3.2 Intervjuer**

Intervjuer kommer att göras utifrån en semistrukturerad intervjumetod, vilket innebär fasta frågor men med möjlighet för den intervjuade att besvara frågorna med egna ord och formuleringar. Frågorna kommer att baseras på både tidigare och nya kunskaper inom området och de kommer ske både per mail och per telefon. Respondenterna kommer att väljas med avseende på studiens syfte, intervjupersonen ska med andra ord vara verksam inom det aktuella området och vara insatt i ämnet.

## **2.3 Livscykelkostnadsanalys (LCC-analys)**

LCC, life-cycle cost, är en analysmetod för att beräkna hur mycket en produkt kostar under den totala livslängden. LCC-analysen genomförs med enklare ekonomiska samband och antagna modeller för nedbrytning av problemen. Metoden kommer att presenteras närmare i den teoretiska referensramen.

### **2.3.1 Systemavgränsningar**

Vid en fullständig LCC-analys ska alla kostnader associerade med produkten/systemet tas med, men vissa kostnader är svårare att uppskatta och måste behandlas separat. De kostnader som kommer att inkluderas är:

- Investeringskostnader
- Årlig underhållskostnad
- Energikostnader – i form av bränsle (Levin & Lilliehorn, 2008)

### 3. LITTERATURSTUDIE

*Syftet med detta avsnitt är att beskriva ämnesområdet baserat på det aktuella kunskapsläget. Det ämnar ge förståelse för vilka krav som ställs på en modern bankropp, hur den är uppbyggd och hur den bör underhållas. Vidare kommer de två i studien valda upprustningsmetoderna att presenteras.*

#### 3.1 Bankroppen

##### 3.1.1 Övergripande krav på bankroppen

Med hänsyn till samhällets krav, kunders krav, trafikutövarens krav etc. finns några grundläggande krav för järnvägsystemet. Det primära kravet är att lasten ska föras genom bankroppen ned till undergrunden och konstruktionen ska vara beständig under en ekonomiskt rimlig livslängd. De faktorer som påverkar en banas beständighet är följande:

- Klimat
- Geologiska och geotekniska förhållanden
- Järnvägsunderbyggnadens konstruktion
- Järnvägsöverbyggnadens konstruktion
- Trafikbelastningen, det vill säga axellast, hastighet, trafikmängd etc.
- Trafikens struktur, det vill säga antalet tåg och typ av tåg  
(Sahlin & Sundqvist, 1995)

Den största tillåtna axellasten (stax), det vill säga hur mycket varje hjulaxel får belasta spåret är i Sverige, liksom i övriga Europa, som standard 22,5 ton.

Trafikverket bygger successivt ut och rustar prioriterade sträckningar till 25 ton för tyngre godståg. Malmбанan och sträckan Boden-Luleå är ombyggd för att klara 30 tons axellast. (Trafikverket, 2014) Vid uppgradering eller ombyggnad av gamla banor har så långt möjligt samma standard eftersträvat. Hastigheten hos både gods- och persontåg varierar kraftigt, men på senare år har en satsning gjorts för att uppnå hastigheter på 160-200 km/h på fler banor. (Alexandersson & Hultén, 2009)



Bankroppen definieras som den del av järnvägsstrukturen som finns över markytan och består av överbyggnad och underbyggnad. Konstruktionen av bankroppen baseras på Trafikverkets detaljkrav i tidigare nämnda standard, så kallad BVS (Banverkets standard). De ingående materialerna som används för uppbyggnad av bankroppen måste alla innehålla vissa allmänna tekniska dimensioneringskrav för att säkerställa kvaliteten på konstruktionen. Dessa är:

- Stabilitet – det använda materialets hållfasthetsegenskaper och tunghet över grundvattenytan vid olika trafikbelastningsfall.
- Deformationer – det använda materialets tunghet, elasticitetsmodul och vattenabsorptionsförmåga för beräkning av sättningar.
- Tjällyftning och termiska egenskaper – materialet får ej ha tjällyftande egenskaper om det används i järnvägsöverbyggnaden.
- Dränerande egenskaper – materialet i överbyggnaden måste vara dränerande. För underballastmaterial (förstärkningslager) bör permeabiliteten vara större än  $10^{-4}$ .
- Styvhet och vibrationer – materialet måste uppfylla givna krav på dynamisk styvhet och skjuvvågshastighet.
- Korrosionsegenskaper – materialets korrosiva egenskaper måste uppfylla givna krav med hänsyn till de stålkonstruktioner och armerade betongkonstruktioner som placeras i bankroppen.

Alla funktionella krav finns dock inte fullständigt specificerade i Trafikverkets regelverk. Att funktionella krav saknas innebär att projektörer och entreprenörer i viss mån kan använda alternativa material så länge som de uppfyller de allmänna tekniska dimensioneringskraven. (Lindgren, 2007)

### **3.1.2 Livslängd**

Spårkonstruktionens förväntade tekniska livslängd är 40 år om inte slitaget ökar nämnvärt. Den tekniska livslängden är den tid under vilken systemet kan förvaltas med normalt underhåll och är optimal ur ett kostnads- och driftsäkerhetsperspektiv. Ingående material i bankroppen ska motsvara spårkonstruktionens livslängd. (Trafikverket, 2012)

Den nuvarande utbytetakten förutsätter dock en teknisk livslängd på 80 år. Detta uppnås genom komponentbyten som över kortare tid kan tyckas vara ekonomiskt lönsamma men över en längre tid blir väldigt kostsamma. Återkommande komponentbyten är även avgörande för antalet funktionsstörningar och underhållskostnaden. (Banverket, 2007)

### 3.1.3 Principiell uppbyggnad av bankroppen

Bankroppens uppbyggnad förklaras specifikt i Banverkets handbok "Typsektioner för banan", BVH 585.31. Handboken beskriver en typsektion med övergripande uppbyggnad av och mått för en järnvägssektions geometriska utformning och sammansättning, se tabell 1. För att projektanpassa bankroppskonstruktionen efter lokala förhållanden görs en modifierad sektion kallad normalektion. Typsektionerna innefattar både nybyggda järnvägar och banupprustning.

**Tabell 1** Järnvägstekniska benämningar (Trafikverket, 2012)

Terminologi	Nivå	Lager	Materialtyp
	RÖK (räls överkant)		
Bankropp	Spåröverbyggnad	Spåranläggning	Räl, mellanlägg, befästning, sliper, spårväxel etc.
		Ballastlager	Makadamballast klass 1, DCH.311
	Överbyggnad <sup>1</sup>	Underballastlager	Förstärkningslager av: bergkrossmaterial, DCH.15
		Underballastlager	Frostisoleringslager av: bergkrossmaterial, DCH.16 jordmaterial, DCH.16 gruskrossmaterial, DCH.16
	Underbyggnad	Bankfyllning	Fyllning, CEB.3 eller CED.1
		Förstärkt bankfyllning	Förstärkt jord, DBB.2 eller DBC.2
Undergrund		Jord eller berg	Naturlig jord eller berg Materialtyp 1-6 enligt tabell CB/1
		Förstärkt jord eller berg	Förstärkt jord, CDB, DBB.2 eller DBC.2 Pålverk, CC Förstärkt berg, CDC, CDD, EBE.1131 eller EBF.3

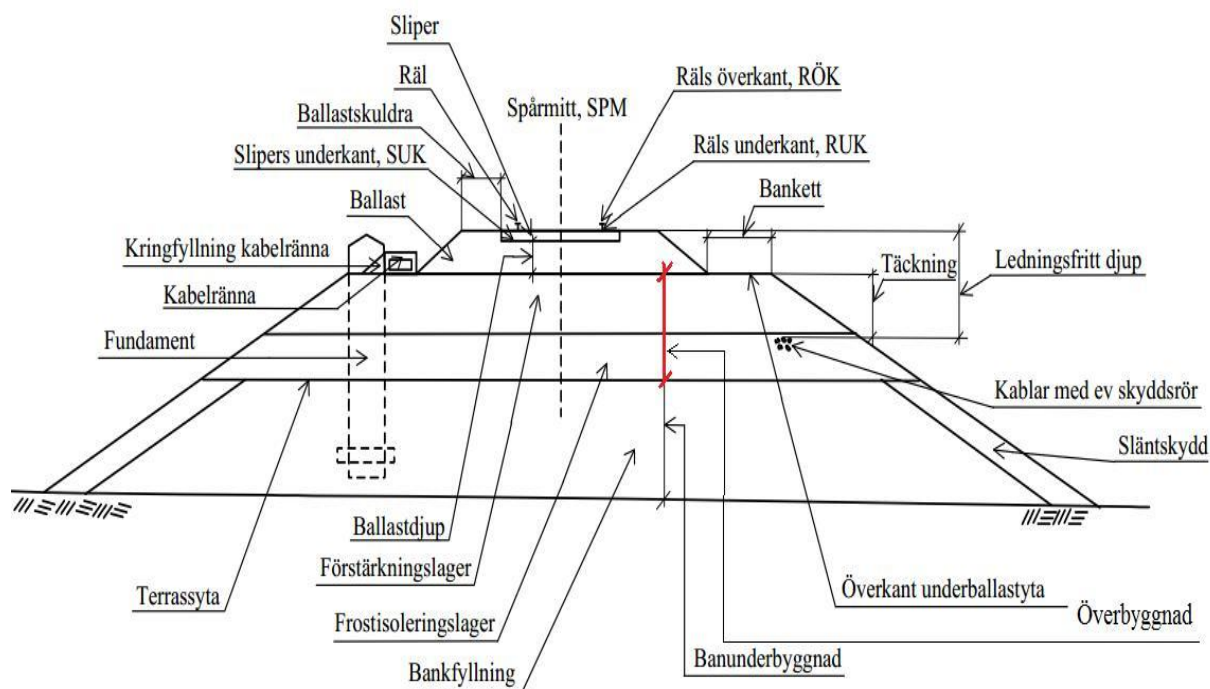
1) I överbyggnad ingår eventuella släntbeklädnader och erosionsskydd.

2) I banunderbyggnaden ingår även övriga fyllnadslager. (Trafikverket, 2012)

### 3.1.4 Järnvägsöverbyggnaden

Enligt tidigare presenterad definition, se tabell 1, så utgörs bankroppen av underbyggnad och överbyggnad.

Järnvägsöverbyggnaden är den del som påförs den schaktade eller fyllda terrassen, se figur 1 nedan. Terrassytan kan antingen vara belägen på högre nivå än befintlig markyta och då kallas det bank, se figur 1. Banken delas in i jordbank och bergbank beroende på materialet i bankfyllningen.



Figur 1 Järnvägsöverbyggnad (Trafikverket, 2012)

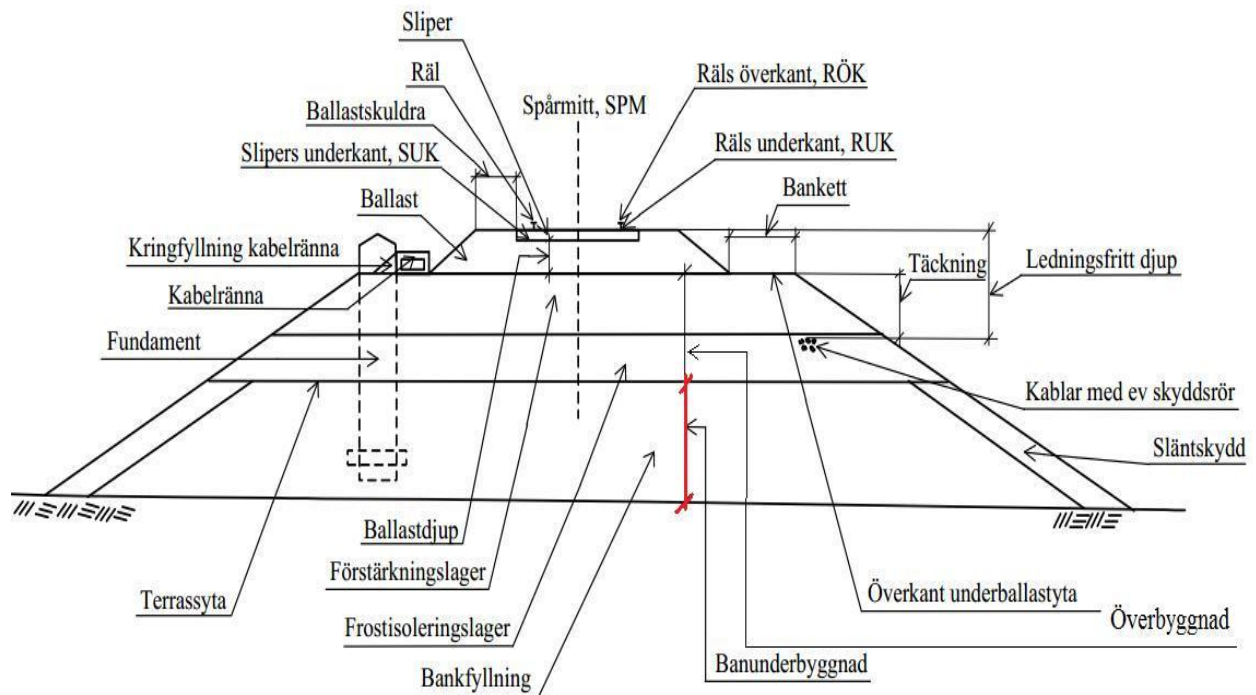
Om terrassytan är belägen på lägre nivå än befintlig markyta kallas konstruktionen skärning. Som tidigare nämns kommer den typen av konstruktion ej att undersökas i denna studie.

Oavsett om bankroppen är konstruerad som skärning eller bank är den principiella utformningen av överbyggnaden densamma ut. Frostisolerings-, förstärknings- och ballastlager ska alltid finnas med. Detaljutformningen av lagertjocklekar bestäms med hänsyn till bland annat befintliga jordarts- och klimatförhållanden.

(Trafikverket, 2012)

### 3.1.5 Järnvägsunderbyggnaden

Järnvägsunderbyggnaden är den del av markanläggningen som är belägen mellan terrassytan och undergrunden, se figur 1. Överbyggnaden vilar med andra ord på underbyggnaden vilket innebär att underbyggnadens styvhet i stor utsträckning påverkar deformationer i ovanliggande ballastlager. Detta påverkar spårets geometri. Underbyggnaden består av fyllnadsmassor av bergkross eller jord, se tabell 1. Underbyggnaden måste även utformas med god dränering för att vatten inte ska samlas där och påverka bärigheten.



Figur 2 Järnvägsunderbyggnad (Trafikverket, 2012)

### 3.1.6 Underhåll av bankroppen

Utan mycket stora investeringskostnader kan man konstatera att järnvägar ej kan konstrueras utan något behov av underhåll. Underhållskostnaden för en järnväg varierar beroende på trafikintensitet och spårkonstruktion samt flexibilitet i anläggningen. Om inte underhåll utförs bryts anläggningen ned snabbare än vad som är normalt och det kan bli mycket kostsamt. (Corshammar, 2008)

Underhåll delas i huvudsak in i två typer – förebyggande underhåll (FU) eller avhjälpan underhåll (AU). Allt förebyggande underhåll är programmerat underhåll som syftar till att förebygga uppkomsten av fel (direkt FU) eller att

upptäcka felen innan de leder till haveri (indirekt FU). Direkt förebyggande underhåll resulterar i ett mindre behov av underhåll tack vare mindre antal fel, vilket i sin tur resulterar i kortare stilleståndstider och högre produktion. Det förebyggande underhållet består av:

- Basunderhåll – Ett icke förhandlingsbart underhåll som måste utföras för att bibehålla kvaliteten.
- Övrigt förebyggande – Ett förhandlingsbart underhåll som kan skjutas på men kan leda till kostbara konsekvenser om det dröjer för länge. (Sahlin & Sundqvist, 1995)

Indirekt förebyggande underhåll med tillståndskontroll är grunden för planerat underhåll. Planerat underhåll minskar andelen oplanerat och resulterar i lägre underhållskostnader och kortare stilleståndstider. Oplanerat underhåll medför ofta höga kostnader, både för underhåll och stillestånd. Det avhjälpande underhållet består av:

- Akuta åtgärder – De fel som omedelbart måste åtgärdas.
- Övrigt avhjälpande – De fel som inte omedelbart måste åtgärdas men bör göras inom den närmsta framtiden. (Sahlin & Sundqvist, 1995)

I dagsläget är spåråtgärdsriktning med spårlyft, komprimering av makadamballast under sliper samt ballastkomplettering de vanligaste underhållsåtgärderna. (Trafikverket, 2012) Spårriktning med spårlyft och ballastkomprimering bör göras med ett 3-års intervall. (Corshammar, 2005) Toleranskrav på tillåtna avvikelser från spårets koordinatbestämda läge som indikerar behov av underhåll är +/- 50 mm i sidoläge och + 50 mm, - 100 mm i höjdläge. (Trafikverket, 2014)

### ***3.1.8 Långsiktig hållbarhet***

Bygg- och anläggningsbranschen står idag för omkring 40 procent av EU:s energianvändning och 35-40 procent av Sveriges. För att minska energianvändningen och andelen skadliga utsläpp måste både offentlig och privat sektor ta egna initiativ och ställa krav både ned- och uppströms i försörjningskedjan. (Normark, 2012) Transportsektorn har under de senaste åren haft ett övergripande mål att skapa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för

medborgare och näringsliv. Ett hållbart transportsystem ska uppnås genom att sociala, ekonomiska och ekologiska faktorer kombineras. Detta innebär i korta drag att val av material, arbetsmetod och utformning ska minimera påverkan på naturen och människors hälsa. Rätt resurser i rätt omfattning och i rätt tid ska skapa långsiktig lönsamhet. (Aava-Olsson, 2012)

## 3.2 Upprustning och förstärkning av bankroppen

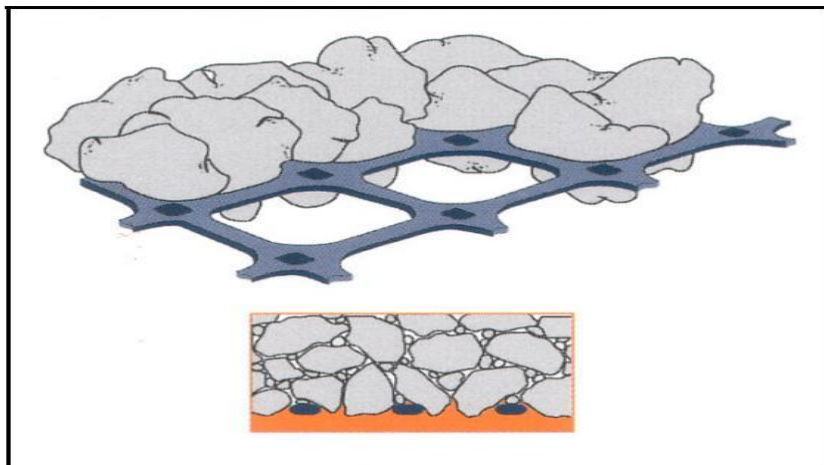
### 3.2.1 Upprustning av bankroppen

Upprustning av bana kan göras antingen till följd av bristande bärighet för befintlig trafik, högre trafikbelastning och/eller ändrad trafikstruktur. Hur upprustningen ska göras beror till stor del på hur de lokala förutsättningarna ser ut. Kostnaden för upprustningen kan variera väldigt mycket beroende på hur långa delsträckor av banan som ska rustas. Vanligtvis är det bara vissa sektioner av spåret som ska anpassas och då sjunker kostnaderna i förhållande till nybyggnation. Finns längre partier som uppfyller kraven sjunker kostnaden ytterligare. Detta förutsatt att spårgeometrin inte ändras utan endast bankroppen rustas. (Corshammar, 2008)

### 3.2.2 Jordarmering med geonät

#### 3.2.2.1 Principiell uppbyggnad

Geonät är en typ av armering för markkonstruktioner. Det har en enplans polymerisk nätstruktur som förbättrar markens bärighet genom att låsa partiklar i jorden som tillsammans bildar ett mekaniskt stabiliserat lager, se figur 3.



Figur 3 Geonät funktion (Kwan, 2006)

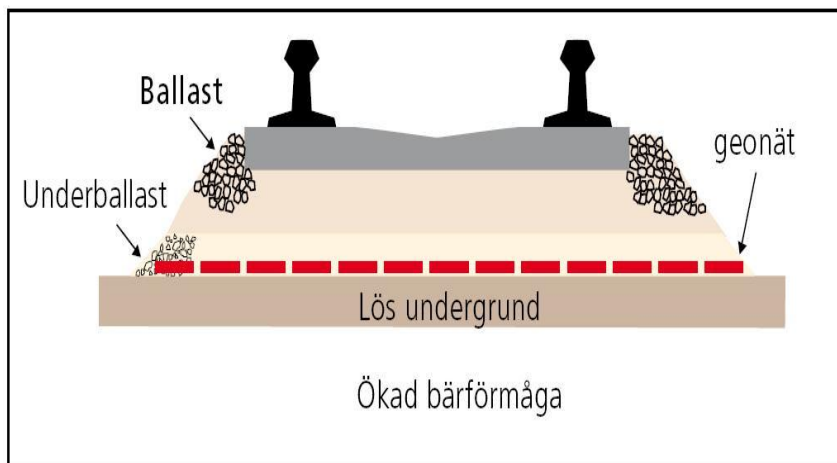
I järnvägsbankar trycks och delvis penetrerar underballasten nätet vilket ger stöd åt hela banken. (Kwan, 2006)

Geonätet kan vara styvt eller flexibelt, ha olika tjocklekar och läggas in i flera lager beroende på projektspecifika förutsättningar. Konventionella geonät är ofta två- eller treaxiala med hög dragstyvhet i två riktningar. På senare år har även triaxiala nät utvecklats vilket innebär en jämnare lastspridning eftersom lasten kan spridas i 360 grader. Det triaxiala nätet har även en högre styvhet till följd av den stela geometrin i en triangel. Nätet erhåller därmed näst intill isotropiska egenskaper.

Ett geonät är uppbyggt av olika typer av syntetiska material, så kallade polymerer. De vanligaste materialen är polyeten (PE), polypropen (PP) och polyester (PET). Polyeten finns i både hög och låg densitet, där hög densitet är det vanligaste i geonät. (Tensar International, 2010)

### 3.2.1.2 Användningsområden

Geonät har främst två användningsområden i järnvägssammanhang. Den ena typen av lösning ökar bankroppens bärförmåga om banan löper på en svag undergrund och man av kostnadsskäl inte vill förstärka undergrunden, se figur 4. Geonätets lastupptagning och lastfördelning medför att permanenta sättningar undviks. Ett fullskaligt försök av British Rail i Storbritannien 1994 visade att armering med geonät på lös undergrund nästan erhöll samma prestanda som en bankropp placerad på en styv undergrund. (Tensar International, 2010) Faktum är att vinsterna med att använda geonät ökar ju lösare grunden är. (Kwan, 2006)

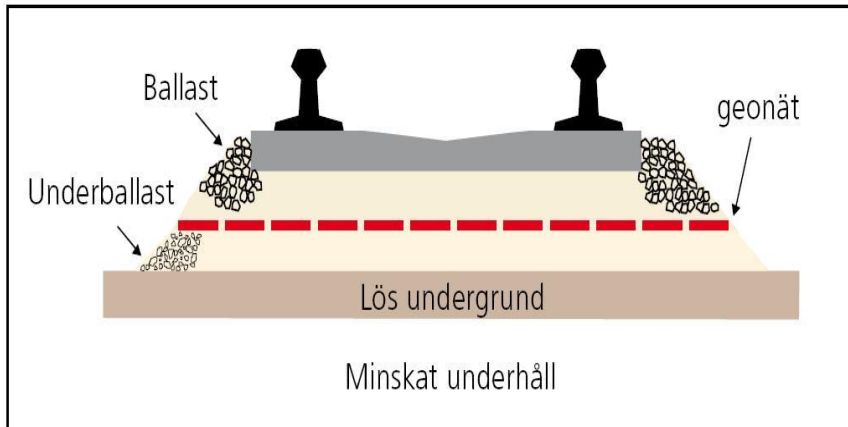


Figur 4 Ökad bärighet med hjälp av geonät (Tensar International, 2013)

Belastning på en bankropp över en lös undergrund medför även elastisk deformation i ballasten.

Om geonätet istället placeras i underballastens överkant begränsas sidorörelser i ballasten, vilket i sin tur minskar behovet av underhåll, se figur 5.

(Tensar International, 2013)



Figur 5 Minskat underhåll med hjälp av geonät (Tensar International, 2013)

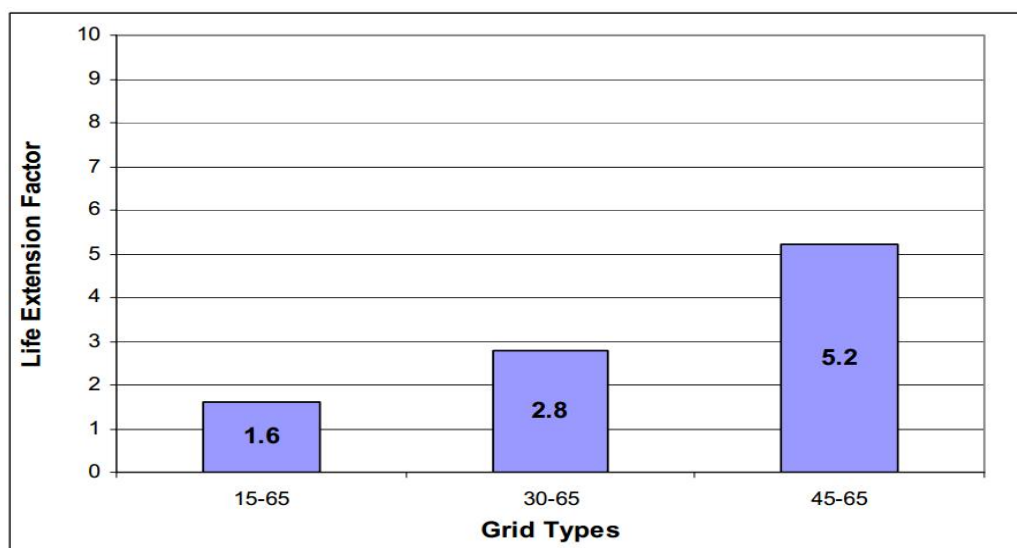
Användningen av geonät i en bankropps konstruktion innebär även att tjockleken på underballastlagret kan reduceras utan minskad bärighet. Tyska järnvägsmyndigheten Deutsche Bahn genomförde en studie på fördelarna med geonät på en järnvägssträcka med väldigt lös undergrund, E-modul=7-15 MPa, mellan Hochstadt och Probstella. Resultatet visade att en geonätsförstärkt sektion med 400 mm underballast hade samma styvhet som en oförstärkt sektion med 600 mm underballast. Ett liknande projekt nära Köln, Tyskland, installerades geonät i en bankropp på lös undergrund, E-modul=10 MPa. Underballasten kunde då reduceras från 1050 mm till 700 mm. Trots reduceringen av tjockleken uppnåddes kravet på E-modul i bankroppen, E-modul=120 MPa. (Tensar International, 2013)

Underballastens tjocklek kan vid användningen av geonät av en viss typ således reduceras med upp till 33 %. (Minser, 2014) En installering av geonät kombineras ofta med ballast/underballastbyte. (Tensar International, 2013)



### 3.2.1.3 Livslängd

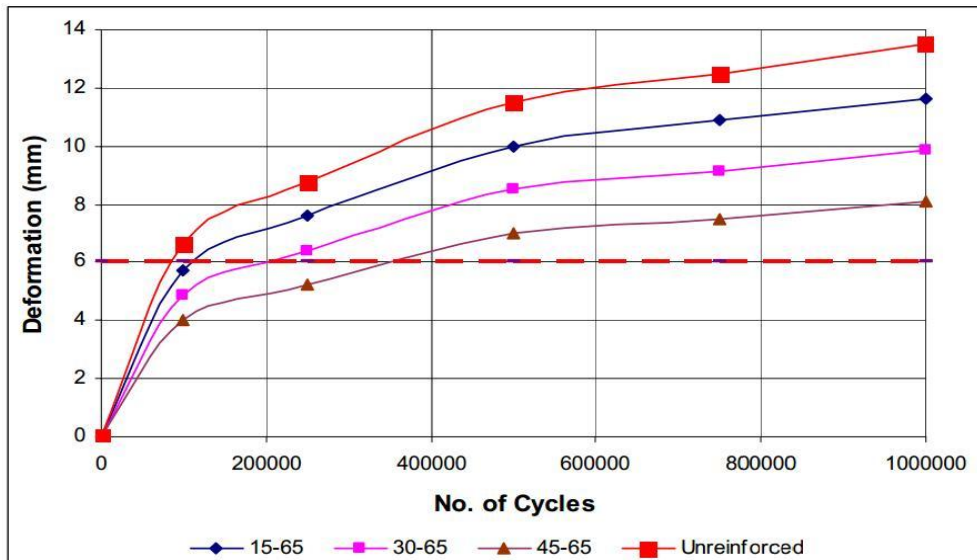
En geonätsarmerad bankropp på lös undergrund har även en längre teknisk livslängd än en oarmerad. Vid University of Nottingham utfördes mellan november 2002 och februari 2006 en omfattande experimentell studie - "Geogrid reinforcement of railway ballast" - av Cho Ching Joe Kwan. Studien genomfördes i samarbete med bland andra geonätstillverkaren och leverantören Tensar International och The Royal Society, Storbritanniens nationella vetenskapsakademi. Studien visade att bankroppar på lösa undergrunder med elasticitetsmodul, E-modul=25 MPa och belastning 100 kN/m erhöll en längre livslängd med faktor 1,6–5,2, beroende på nättyp, se figur 6. Varje nättyp beskrivs med två nummer där draghållfasthet (kN/m) anges i första siffran och dimension (mm) i andra siffran. (Kwan, 2006)



Figur 6 LEF för geonätsförstärkt bankropp över lös undergrund, E-modul=25-50 MPa (Kwan, 2006)

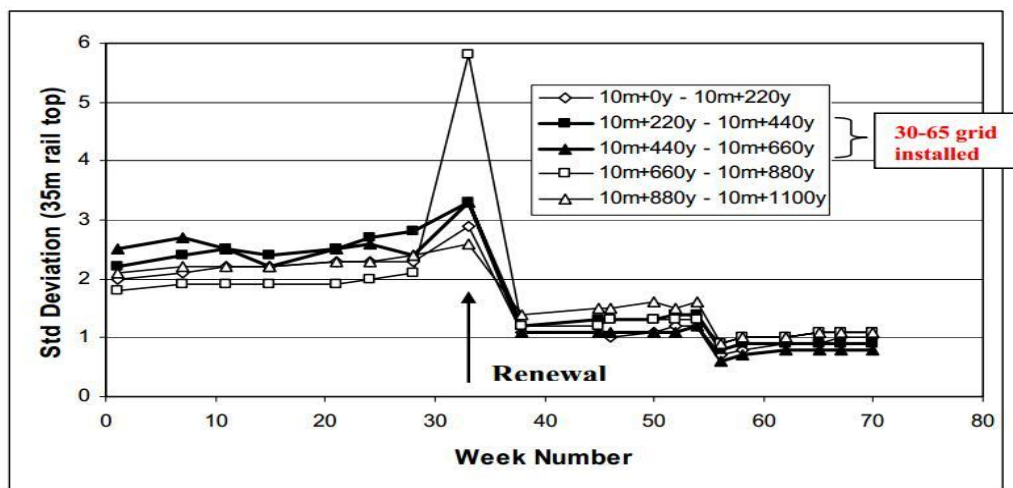
Den ökade livslängden beror främst på minskad deformation i ballasten på grund av sidorörelse. Graden av förbättring beror på vilket nät som används och ballastmaterialet. Data från en längre tidsperiod visar att bankroppar i Storbritannien deformeras omkring 6 mm/år men med geonät installerat minskade deformationen till 2,5 mm/år. Med hänsyn till Trafikverkets krav på -100 mm deformation i höjdläge ger det en skillnad i livslängd på 17 respektive 40 år. Då svenska och brittiska geotekniska förutsättningar liknar varandra kan detta åtminstone användas som ett riktmärke för geonätets inverkan i Sverige. (Store norske leksikon, 2012)

Detta underbyggs av ytterligare ett test av Kwan där högre axellast använts. Testerna är utförda med 250 kN axellast under noll till en million lastcykler. De visar på 6 mm minskning av deformation i ballasten om konstruktionen armeras med det starkaste geonätet, se figur 7.



Figur 7 Effekten av förstärkning med geonät över lös undergrund E-modul=25 MPa (Kwan, 2006)

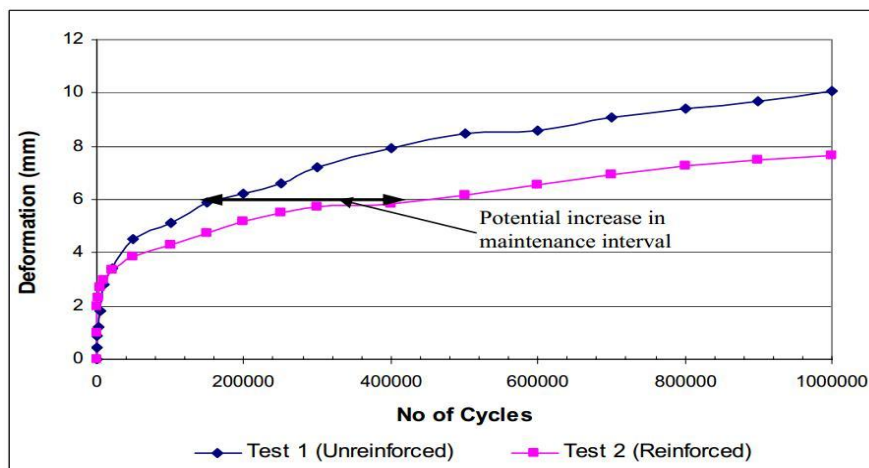
Slutligen utförde Kwan även ett fälttest på en befintlig bankropp. Underballasten bestod främst av siltig, sandig aska. Ett 30-65 geonätet placerades 410 mm under RÖK och ett ballastbyte gjordes. Efter belastning uppvisade konstruktionen minskade sättningar i jämförelse mot det tidigare oförstärkta fallet, se figur 8. Denna förbättring ledde till en ökad livslängd med en faktor 2,5.



Figur 8 Effekten av förstärkning med geonät på befintlig bankropp (Kwan, 2006)

### 3.2.1.5 Underhåll

En längre livslängd hos ballasten innebär även att förutsättningarna för en bibehållen spårgeometri under längre tid ökar. Detta leder i sin tur till minskade kostnader då intervallen mellan underhållsåtgärder såsom spårriktning med spårlyft och ballastkomprimering ökar, se figur 9. (Kwan, 2006)



Figur 9 Potentiell ökning av underhållsintervall (Kwan, 2006)

Kwans test visar att underhållsintervallet ökar med 1,8 millioner lastcykler om geonätet är korrekt installerat. (Kwan, 2006) Om konstruktionen dessutom byggs och körs in på ett korrekt sätt kommer ej AU att behövas under dess livslängd. Förutsatt att allt FU görs regelbundet och planerligt. (Goeffeng, 2014)

### 3.2.1.6 Miljöaspekter

Geonät innebär även vissa miljömässiga fördelar, förutom ökad livslängd som i sig är en miljömässig vinst. Mindre schaktning, deponering av massor och utläggning av underballast innebär en signifikant minskning av transporter och därmed en minskning av energikostnader i form av bränsle. Minskad maskin användning och reducering av tillverkad mängd underballast resulterar även i en markant minskning av andelen CO<sub>2</sub>-utsläpp. (Tensar International, 2013)

### 3.2.1.7 Forskning och utveckling

Sedan införandet av geonät i början av 1980, har mycket forskning gjorts för att förstå egenskaperna hos partiklar, nät och interaktionen dem emellan. Däremot finns vissa rent praktiskt begränsade kunskaper om hur konstruktionen ska utformas effektivt. Den verkliga potentialen vid förbättring av bankroppen med hjälp av geonät har inte fullskaligt kartlagts. Nuvarande förfarande vid spår förstärkning med geonät baseras främst på erfarenhet samlad på plats och på ad hoc-arbete. Geonät

har dock visat sig vara relativt lätt att installera och kan med fördel ingå i en annan underhållsrutin, exempelvis ballastrening. (Kwan, 2006)

### 3.2.3 Ballastrening och ballastkomplettering

Vid uppgradering av befintliga spår för högre trafikbelastning och/eller högre axellast kan en förbättring av bankroppen göras med så kallad ballastrening. Ballastreningen görs ofta på äldre bankroppar som saknar materialskiljande lager där finjord och organiskt material har tagit sig upp genom underballast- och ballastlagret. Då ballastlagret kontamineras med organiskt finjordsmaterial sker en successiv försämring av bankroppens stabilitet och bärighet, vilket leder till reducerade hastigheter. (Misar, 2005) Ofta görs ballastrening i samband med spårbyte men kan även göras för att förbättra bankroppens prestanda. Genom att rena ballasten förbättras materialets dränerande egenskaper vilket i sin tur leder till ett minskat problem med tjällyft som ofta är en anledning till försämrat spårsläge. Ett rent ballastlager ökar även elasticiteten och därmed också förutsättningarna för att bra spårsläge. (Infranord, 2012)

Reningen av ballasten utförs av en speciell ballastrenare, se figur 10. Maskinen plockar upp omkring 300-1000 mm material under RUK som sedan siktas i tre olika nivåer.



Figur 10 Ballastrenare med insamling av restmaterial och enhet för ballastkomplettering (Infranord, 2012)

Endast godkänd klass 1-makadam(32-64 mm) läggs tillbaka och resterande material omhändertas för återvinning och eventuell destruktion. (Infranord, 2012) Vid vanligt reningsdjup på omkring 400 mm separeras cirka 0,3-1 m<sup>3</sup>/m finmaterial från ballasten. Moderna maskiner renar uppskattningsvis 350 m<sup>3</sup>/ h. Med ungefärliga mått mätt blir det ett medeltal på 0,5 m<sup>3</sup>/m och på en dagsetapp på 1 km blir det 500-1000 m<sup>3</sup>. Materialbortfallet i bankroppen måste ersättas med kompletterande ballast för att rätt tjocklek på ballastlagret ska uppnås. (Misar, 2005) Enligt "Typsektion för banan" ska den kompletterande ballasten inneha klass 1 och bör vara makadamballast istället för grusballast av miljöskäl. (Trafikverket, 2012)

Alternativet till ballastrening är utskiftning av ballasten. Den åtgärden är ur ett teoretiskt perspektiv den mest effektiva åtgärden. Ur ett ekonomiskt och praktiskt

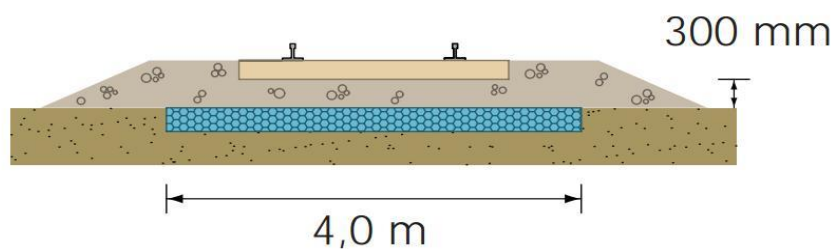
perspektiv kan det dock vara svårt att genomföra ballastbyte på längre sträckor i befintligt spår på grund av de störningar som uppkommer i samband med arbetet. Detta medför att alternativa metoder såsom ballastrening används.

För att bankroppens kapacitet inte ska bli alltför nedsatt och i behov av större underhållsåtgärder bör ballastrening utföras inom en 20-årsperiod. (Corshammar, 2005)

### 3.2.4 Frostisolering med cellplast

På befintliga banor över lösa undergrunder är det vanligt att man i samband med ballastrening/ballastutskiftning förstärker bankroppen med frostisolering av cellplast. Cellplasten ska bestå av extruderad polystyren(XPS) och uppfylla krav för aktuellt belastningsfall. Polystyren ger i allmänhet goda hållfasthetsegenskaper, motstår vattenabsorption och kan överleva mekaniska skador såsom sprickor och fördjupningar som kan uppstå på grund av belastning från ballast och fordon. Användningen av cellplast som isolering kan även reducera konstruktionens totala djup genom minskat förstärkningslager av bergkross. (Lautala, 2012) Åtgärden görs med fördel i samband med ballastrening av både ekonomiska och praktiska skäl. (Karlsson, 2014)

Om bankroppen ska ha kapacitet för en axellast på 250 kN måste cellplasten ha en densitet på 40-45 kg/m<sup>3</sup> och en tryckhållfasthet på mer än 450 kPa. (AMA Anläggning 10) Frostisoleringens överyta ska ligga minst 0,3 m under slipers underkant och ha en bredd av 4-5 m i spårriktningen, se figur 11. Frostisolering av järnvägar utformas enligt "Typsektioner för bana", se bilaga.



Figur 11 Lägsta läggningsdjup isolering banvall (Karlsson, 2014)

Trots många fördelar med frostisolering av cellplast har viss forskning klassat lösningen som mindre attraktiv. Till följd av den höga belastningen sker en nedsättning av livslängden vilket medför att utbyte måste ske inom en överskådlig framtid då cellplasten förlorat sin isolerförmåga. Forskning har även visat på att det

är önskvärt att placera isoleringen under underballasten istället för mellan ballast och underballast. (Lautala, 2012)

## 4. TEORETISK REFERENS RAM

*Den teoretiska referensramen syftar till att beskriva vad livscykelanalys är, fördelarna med att använda denna typ av analys och den aktuella beräkningsmodellen för just denna studie. Avsnittet kommer även att lite kort redogöra för problemen med att använda livscykelanalys och hur det kan användas för långsiktig hållbarhet inom det studerade ämnesområdet.*

### 4.1 Livscykelkostnadsanalys (LCC-analys)

LCC-analys är en metod för att beräkna den totala kostnaden för ett system eller en produkt över hela dess livslängd, från framställning till avveckling. Genom att samla in och tolka data kan en modell upprättas som kan prediktera det framtida läget och resursåtgången hos det studerade systemet eller produkten.

(Swarr & Hunkeler, 2011)

Begreppet LCC kan tolkas olika beroende på användaren men kan primärt delas in i två definitioner:

- 1) LCC är ett mått på ett system eller en produkts totala kostnader sett över hela dess livslängd.
- 2) LCC är ett jämförelsetal för ett systems eller en produkts totala kostnader under hela dess livslängd där vissa förenklingar och uteslutningar gjorts för att underlätta användningen av jämförelsetalet.

(Levin & Lilliehorn, 2008)

Rent praktiskt är LCC en metod för att påverka det slutliga utförandet tidigt i projekteringsfasen. Analysen skapar ett beslutsunderlag för ett projekt genom att hänsyn tas till det framtida kostnadsutfallet. Kostnader kan presenteras för olika stadier i livscykeln vilket ger en mer solid beslutsgrund än om det endast baseras på anskaffningsvärdet. Det kan innebära en högre initial kostnad men generera besparingar i drifts- och underhållsfasen. Denna typ av analys kan därför vara väldigt användbar i offentliga infrastrukturinvesteringar som spänner över en lång tidsperiod och är kostsamma. LCC är även ett fördelaktigt verktyg för att jämföra alternativa lösningar och identifiera både tekniska och organisatoriska områden i behov av förbättring och kostnadsbesparing. (NATO, 2009)

I "Code of Practice for Life Cycle Costing" som NATOs forskningsorganisation tagit fram presenteras ett antal fördelar med användningen av LCC:

- En bättre förståelse för samtliga kostnader i verksamheten och identifiering av problemområden där kostnadsbesparingar kan göras.
- En mer realistisk verksamhets- och budgetplanering genom metodisk och konsekvent uppskattning av kostnader.
- Ett underlag för att mäta effektiva organisations- och logistikscenarios.
- Underlättar jämförelse av två eller fler tekniska lösningar.  
(NATO, 2009)

## **4.2 LCC-analys inom järnvägssektorn**

Användningen av LCC-analys är i dagsläget något som inte är speciellt utbrett inom järnvägssektorn i Sverige. Trafikverket har utarbetat vissa kalkyleringsmanualer för väg, men inom järnväg saknas allmänna modeller och beräkningsverktyg. (Juntti, 2014) INNOTRACK är ett internationellt gemensamt projekt stöttat av EU-kommissionen, där de viktigaste aktörerna inom järnvägssektorn – förvaltare, industrier och forskare – utarbetat en stringent, enhetlig metodik på europeisk nivå för livscykelkostnader. Ett av huvudmålen med projektet är att fokusera på implementering bland internationella organisationer och nationella tillsynsmyndigheter runt om i Europa. Det har traditionellt varit svårt att introducera nya kunskaper inom järnvägssektorn, men med INNOTRACKs projekt görs en ansats att på ett professionellt sätt införliva livscykelkostnadsanalyser inom järnvägssektorn. (INNOTRACK, 2010)

## **4.3 Kostnader vid förenklad LCC-analys**

För att kunna upprätta och genomföra en LCC-analys måste kvalitativa indata finnas att tillgå. I brist på data eller vid stor osäkerhet ska en modell med fördel anpassas så att inte alltför stora uppskattningar görs. Kostnadsdata kan baseras både på empiri och analytiska studier. Om en något förenklad LCC-analys ska göras, se definition två ovan, behövs ändå relativt omfattande kunskaper om ett antal parametrar.



Exakt vilka parametrar som behövs beror slutligen på vilken beräkningsmodell som används, men de är i huvudsak:

- Kostnader för investering, reparation, drift och underhåll
- Haverikostnader
- Rivningskostnader
- Trafikantkostnader
- Miljökostnader

(Boverket, 2005)

En LCC-analys kan enligt ovanstående alltså göras trots att alla kostnadsdata inte finns tillgängliga. Men även en förenklad LCC-analys kan i många fall vara komplicerad att utföra. Detta på grund av att tillförlitlig kostnadsdata saknas och uppskattningar ej är aktuella då komplexiteten är alltför stor. En sådan typ av kostnad är direkta kostnader i samband med rivning. Kostnader som uppkommer vid en kollaps är ytterligare ett exempel på mer komplexa kostnader. Även om sannolikheten för kollaps är liten så kan det medföra enorma kostnader om det skulle ske. Den kostnad som förmodligen är svårast att bedöma är de trafikantkostnaderna som uppkommer till följd av driftstörningar. Dessa kostnader påverkar både den enskilda användaren och samhället. Exempel på trafikantkostnader är sjukvårdskostnader och minskade skatteintäkter. Kostnader för planering och projektering kan ofta uteslutas i LCC-analysen, då dessa vanligtvis är någorlunda lika för de olika alternativen.

(Boverket, 2005)

Den förenklade LCC-analysen måste dock innehålla vissa nyckelkomponenter för att metoden ska få ett något så när rättvisande utfall. Följande komponenter bör inkluderas:

- Investeringskostnader för systemet/produkten.
- Underhållskostnader för systemet/produkten under dess livslängd.
- Energikostnader under systemets/produktens livslängd.

(Levin & Lilliehorn, 2008)

Med ovanstående resonemang i åtanke ska en LCC-analys med andra ord inte ses som ett budgetalternativ, eftersom det i många fall är mer fördelaktigt att använda sig av den förenklade analysen. Detta på grund av att den ändå ger en tämligen bra indikation på kostnadsbilden och en fingervisning om hur de olika kostnaderna är fördelade. Beslut om vilka kostnader som kan uteslutas utan att det har alltför stor inverkan kan baseras på om kostnaderna:

- Anses försumbara.
- Anses vara lika i de olika alternativ som studeras.
- De har redan förbrukats och kommer ej påverka framtida beslut.

Detta innebära att LCC är ett ungefärligt kostnadsmått knutet till en viss typ av modell med en viss uppsättning data som för ett givet system eller produkt kan ändras om modellen eller indata ändras. (Levin & Lilliehorn, 2008)

#### ***4.3.1 Investeringskostnader***

Investeringskostnaderna är de kostnader som det i de flesta fall är lättast att hitta tillförlitlig data på. (Boverket, 2005) Trafikverket har utarbetade standarder som hjälpmedel vid projektering av järnvägsanläggningar med avseenden på markarbeten vid såväl nybyggnad som banupprustning. Standarden innehåller typsektioner som visar vilka geometriska gränser som gäller för järnvägar i Sverige och hur de ska utformas rent tekniskt. Trafikverkets aktuella utförandekrav har i sin tur beaktats och samordnats i ett enhetligt och välstrukturerat referensverk av Svensk Byggtjänst - Allmänna material och arbetsbestämmelse (AMA) för anläggning.

Utifrån de tekniska standarderna kan sedan de specifika mängderna i form av m, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, kg etc. tas fram för en specifik sektion. Kostnader kan sedan erhållas från leverantörer av de byggnadstekniska komponenterna vilka inarbetas i den aktuella LCC-modellen. (Boverket, 2005)

#### ***4.3.2 Drift- och underhållskostnader***

Drift- och underhållskostnader är alla de kostnader som associeras med upprätthållandet av bankroppens standard under den estimerade livslängden, se avsnitt 3.1.3. Att uppskatta dessa kostnader är det som anses svårast i livscykelkostnadsanalysen på grund av att det är svårt att veta när och vilka typer av underhållsåtgärder som kan tänkas behövas längre fram i tiden. (Holmvik & Wallin,

2007) Dessa data bygger ofta på empiriska kunskaper från tidigare projekt av samma typ. (NATO, 2009) Underhållskostnaderna kommer att variera under årens lopp och det är svårt att säga hur stora variationerna blir. Vid en förenklad LCC-analys antas kostnaderna vara lika för varje år. (Tuenter, 2012)

Underhållskostnaderna fås genom uppskattningar av entreprenören som utför underhållet för en specifik komponent på en homogen delsträcka. En bedömning med periodicitet, tidplan och typ av åtgärd ska framgå, samt prissättning på åtgärderna. (Vägverket, 2008)

### **4.3.3 Energikostnader**

En mer omfattande LCC-analys inkluderar alla kostnader för miljöeffekter och de är ofta svåra att värdera. Buller, utsläpp av miljöskadliga ämnen, elförbrukning vid materialframställning, materialförbrukning är alla exempel på miljökostnader. De kan dock förenklas till kostnaden för använd energi under den totala livslängden. Energikostnaderna kan i sin tur delas in i de för studien intressanta posterna, exempelvis elförbrukning vid materialtillverkning och bränsleförbrukning. (Olofsson, 2010) Kostnaden för energi kan ofta visa sig vara betydande för den totala summan. (Tuenter, 2012)

## **4.4 Hållbar utveckling**

Kostnadseffektiviserande åtgärder associeras ofta med produktdesign, produktion, anskaffningskostnader etc. och ligger i många fall till grund för beslutsfattande. De kan illustreras med toppen på ett isberg – de synliga kostnaderna. Kostnader för utsläpp, energianvändning, drift och underhåll under den totala livslängden är svårare att identifiera – den delen av isberget som befinner sig under ytan. (Blanchard, 1998) Genom att åskådliggöra alla kostnader – de synliga och osynliga - som ett material- eller metodval innebär under den totala livslängden ökar incitamenten att hitta och utveckla nya mer hållbara material och metoder. (Swarr & Hunkeler, 2011)

## **4.5 Problem med LCC**

Det mest utmärkande problemet med LCC är brist på data och kunskap. En aspekt som kan vara problematisk med LCC är då vissa kostnader bärs av olika aktörer med potentiellt motstridiga mål med skilda perspektiv på vilka de faktiska kostnaderna är. (Swarr & Hunkeler, 2011) Skillnaden mellan vinstdrivande företag och den offentliga sektorn är att den offentliga sektorn även måste ta hänsyn till samhällsnyttan och inte bara till kostnadseffektivisering. Detta har medfört att den

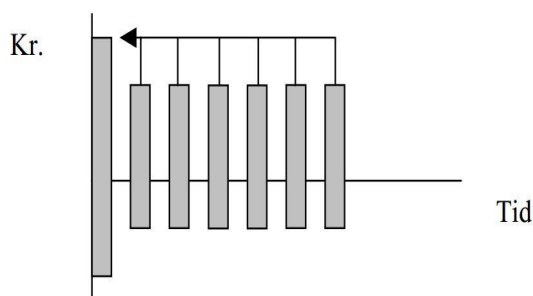
offentliga sektorn är organiserad på ett sådant sätt att det i vissa fall tar bort incitamentet för att välja mer optimala lösningar sett ur ett större perspektiv. Den långtgående standardiseringen i anläggningsbranschen har även medfört att övriga aktörer än beställaren har begränsat inflytande över projektet. Detta är något som på sikt hämmar kreativiteten och drivkraften att hitta nya tekniska lösningar som kan bidra till både kostnads- och miljömässiga vinster. (Holmvik & Wallin, 2007)

## 4.5 Aktuell LCC-modell

När en jämförelse av två eller fler tekniska lösningar ska utföras kan nuvärdesmetoden eller annuitetsmetoden användas. Livscykelkostnaden definieras som den totala kostnaden under den totala livslängden. Vilka kostnader som innefattas beror på studiens omfattning, se tidigare avsnitt om kostnader.

### 4.5.1 Nuvärdesmetoden

Nuvärdesmetoden går ut på att livscykelkostnaden beräknas genom att diskontera framtida kostnader med hjälp av nuvärdesfaktorn, se ekvation 3.1. (Holmvik & Wallin, 2007) Kostnaderna för olika produkter/system vid olika tidpunkter under den ekonomiska livslängden blir jämförbara. Alla löpande kostnader diskonteras tillbaka till nuvärdet vid tidpunkt noll, det vill säga investeringen, se figur 3. (Wittenfelt, 2004)



Figur 12 Nuvärdesmetoden (Wittenfelt, 2004)

$$\text{Nuvärdesfaktor} = \frac{1}{(1-r)^n} \quad (3.1)$$

Där

$n$  = *investeringens ekonomiska livslängd*

$r$  = *kalkylräntan, vanligen 4 % inom Trafikverket*

(Vägverket, 2008)

Efter summering av de i studien utvalda kostnaderna, i detta fall miljö och underhåll, görs en nuvärdesberäkning, se ekvationer 3.2, 3.3. I investeringskostnaden ingår kostnad för energianvändning vid uppförande.

$$LCC_{energi} = \text{årlig energikostnad} \times \text{nuvärdesfaktor} \quad (3.2)$$

$$LCC_{underhåll} = \text{årlig underhållskostnad} \times \text{nuvärdesfaktor} \quad (3.3)$$

(Tuenter, 2012)

Där årliga energikostnad baseras på den årliga åtgången av bränsle vid transporter för underhåll, se ekvation 3.4.

$$\text{Energi kostnad} = \text{årligt behov} \times \text{kostnad/tillfälle} \quad (3.4)$$

Underhållskostnaden beräknas utefter det årliga behovet, se ekvation 3.5.

$$\text{Underhållskostnad} = \text{årligt behov} \times \text{kostnad/tillfälle} \quad (3.5)$$

Därefter kan den totala livscykelkostnaden beräknas, se ekvation 3.6.

$$LCC_{tot} = \text{investeringskostnad} + LCC_{energi} + LCC_{underhåll} \quad (3.7)$$

(Tuenter, 2012)

#### 4.5.2 Annuitetsmetoden

Om investeringar med olika livslängd ska jämföras kan annuitetsmetoden bygga vidare på nuvärdesmetoden. De summerade nuvärdena multipliceras med en annuitetsfaktor vilket resulterar i en genomsnittlig årskostnad under den totala livslängden, se ekvation 3.5.

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \quad (3.5)$$

Slutligen kan livscykelkostanden per år (annuiteten) beräknas, se ekvation 3.6.

$$LCC_{\text{år}} = LCC_{tot} \times \text{annuitetsfaktor} \quad (3.6)$$

(Olofsson, 2010)

## 5. TILLÄMPNING AV MODELLEN

*Detta avsnitt kommer att redogöra för den praktiska tillämpningen av den aktuella LCC-modellen. I samband med presentationen av resultatet kommer en jämförande analys att göras. Indata baseras på uppgifter från leverantörer av aktuella produkter och tjänster som ingår i respektive upprustningsmetod. Beräkningarna kommer att utföras i Excel och kan ses som bilagor, se bilaga 1, 2 och 3.*

### 5.1 Övergripande förutsättning

För att kunna upprätta en fungerande LCC-modell är det viktigt att specificera förutsättningarna. Fokus har legat på att upprätta ett realistiskt fall där en bankropp på lös undergrund är i behov av kapacitetshöjande åtgärder för att uppnå en ny hastighetsnivå och högre axellast, se bilaga 1 och 2.

- Projektspecifikation – banupprustning av en sektion på 1000 m med ballastrening och frostisolerande cellplast, alternativ ballastskifte och armering med geonät.
- Trafikspecifikationer – ingående material ska klara kraven i AMA Anläggning 10 för stax 25 och konstruktionen ska utföras enligt "Typsektioner för banan".
- Ekonomiska förutsättningar – kalkylränta på 4 % i enlighet med vad Trafikverket använder i interna LCC-analyser. Förväntad reell prisökning kommer ej att inkluderas. (Vägverket, 2008)
- Konstruktionsdata – lös undergrund med sand, silt, lera och torv. Elasticitetsmodul, E-modul=10-30 MPa, klimatzon 2.
- Förväntad livslängd– förväntad teknisk livslängd för ballastrening med frostisolering är 20 år. Bankropp med geonät och ballast/underballastbyte antas ha en teknisk livslängd som är 2,5 gånger längre än tidigare nämnda metod, det vill säga 50 år.
- Underhåll – baseras endast på deformationer i höjdläge. Spårriktning med spårlyft och ballastkomprimering utförs vart tredje år om ballastrening med frostisolering görs. Med metod geonät kommer dessa åtgärder behöva göras vart sjätte år till följd av att den årliga deformationen mer än halveras.

- Övergripande förenklingar – projekteringskostnader, trafikantkostnader, haverikostnader, deponikostnader och restvärde kommer ej att inkluderas.

De förenklingar som gjorts bygger på referensobjekt och forskning på det aktuella området. De kostnader som är associerade med spårgeometrin kommer ej att inkluderas då de antas vara lika för de olika metoderna. Modellen är specifikt framtagen för denna studie men kan användas i liknande studier med projektspecifika tillägg och förändringar i specifika kostnadsposter.

## 5.2 Resultat och analys

### 5.2.1 Upprustning med geonät

Den i studien genomförda livscykelkostnadsanalysen för upprustnings- och förstärkningsåtgärden med geonät och ballastskifte resulterade i följande. Se bilaga 2 för fullständig beräkning.

Tabell 2 LCC-analys för en bankropp som rustas/förstärks med geonät och ballastskifte

GEONÄT OCH NY ÖVERBALLAST	
FÖRUTSÄTTNINGAR	
Livslängd	50 år
Kalkylränta	4,00 %
Sektionslängd	1000 m
Investeringskostnad	
Geonät, TX190L	151 500 kr
Ny ballast	1 826 840 kr
Transport ny ballast	225384 kr
Schakt gammal bankropp	151 673 kr
Masshantering	631 534 kr
Summa investeringskostnad	2 986 931 kr
Årlig underhållskostnad	
Kostnad FU	49130 kr
Kostnad AU	0 kr
Summa underhållskostnad/år	49 130 kr
Årlig energikostnad	
Underhåll	20842 kr
Summa energikostnad/år	20 842 kr
Nuvärdesfaktor	0,1407
Investeringskostnad	2 986 931 kr
LCC underhåll	6 912 kr
LCC energi	2932 kr
LCC tot	2 996 775 kr
Annuitetsfaktor	0,0466
LCC tot	2 996 775 kr
LCC år	139 650 kr



### 5.2.2 Upprustning med ballastrening och frostisolering

Den i studien genomförda livscykelkostnadsanalysen för upprustnings- och förstärkningsåtgärden med ballastrening och frostisolering resulterade i följande. Se bilaga 1 för fullständig beräkning.

Tabell 3 LCC-analys för en bankropp som rustas/förstärks med ballastrening och frostisolering

#### BALLASTRENING MED FROSTISOLERING

##### FÖRUTSÄTTNINGAR

Livslängd	20 år
Kalkylränta	4 %
Sektionslängd	1000 spm

##### Investeringskostnader

Cellplast, Sundolitt XPS 700	1 605 000 kr
Förschakt	36 402 kr
Ballastrening	125 000 kr
Ballastkomplettering	436 000 kr
Transport ballastkomplettering	247 800 kr
Masshantering	133 601 kr
Investeringskostnad	2 583 803 kr

##### Årlig underhållskostnad

Kostnad FU	96 460 kr
Kostnad AU	3450 kr
Underhållskostnad/år	99 910 kr

##### Årlig energikostnad

Underhåll	41 683 kr
Energikostnad/år	41 683 kr

##### Nuvärdesfaktor

Investering	2 583 803 kr
LCC underhåll	45 598 kr
LCC energi	19024 kr
LCC tot	2 648 425 kr

##### Annuitetsfaktor

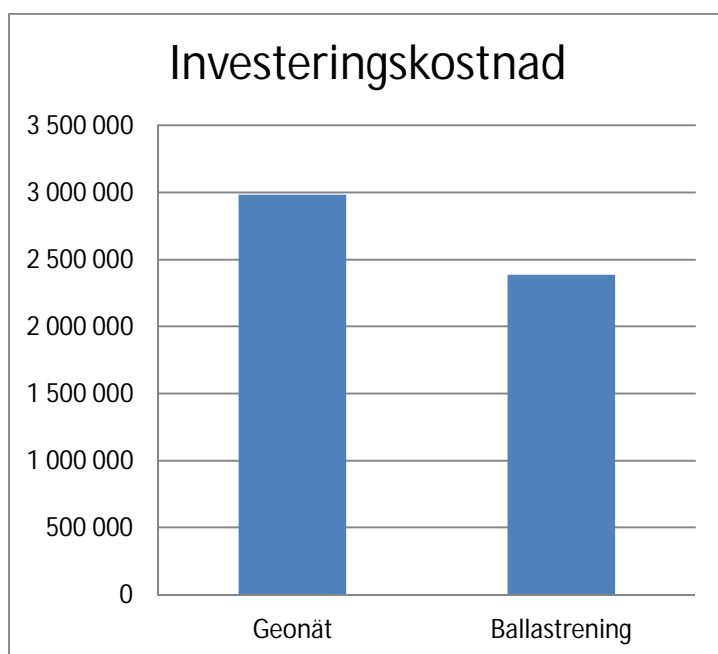
LCC tot	2 791 749
LCC år	1944 kr

## 6. ANALYS OCH DISKUSSION

Detta avsnitt avser att förklara innebörden av de uppnådda resultaten och analysera dessa. För att utröna vilket metod som är den bäst lämpade lösningen ur ett livscykelkostnads-perspektiv jämförs resultaten.

### 6.1 Investeringskostnader

Resultatet visade att metoden med geonät var den med högst investeringskostnad, se figur 14. Den klart största kostnadsposten blev den nya ballasten i överbyggnaden. Skillnaden mellan de olika investeringskostnaderna blev ~600 000 kr, där cellplaten var den största kostnadsposten hos metoden med ballastrening, se bilaga 2. Andra utmärkande kostnader var masshanteringen av den gamla ballasten för metod geonät och den ballast som behövdes för komplettering vid ballastrening, se bilaga 1 och 2.

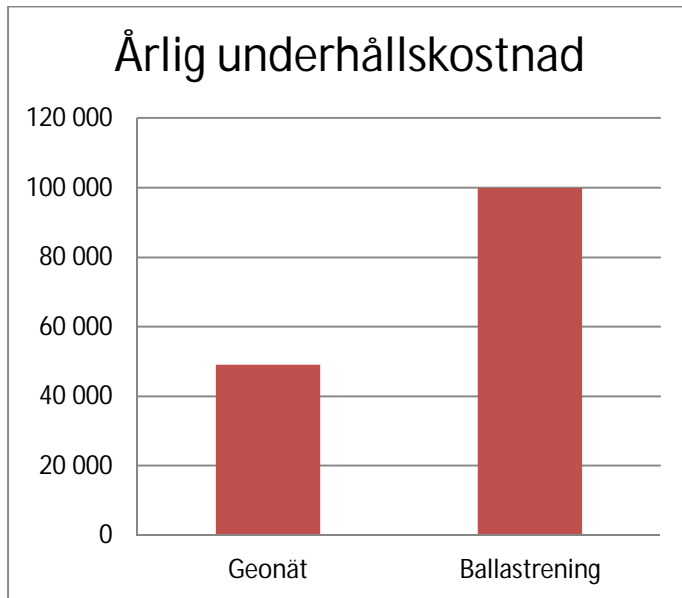


**Figur 13 Jämförelse av investeringskostnaderna**

Inbakat i investeringskostnaden finns också energikostnaden för det arbete som varje specifik metod innebär. Denna post skiljde sig relativt mycket mellan de olika alternativen, där metod geonät låg ~375 000 kr över metod ballastrening. Detta beror främst på transporter av ny ballast och hantering av gamla massor, se bilaga 1.

## 6.2 Årlig underhållskostnad

Underhållskostnaderna visade sig var omvänt fördelade mellan de olika metoderna. Ballastrening med frostisolering har enligt analysen en fördubblad årlig underhållskostnad i jämförelse med en bankropp som upprustas och förstärks med geonät och ny ballast i överbyggnaden, se figur 14.



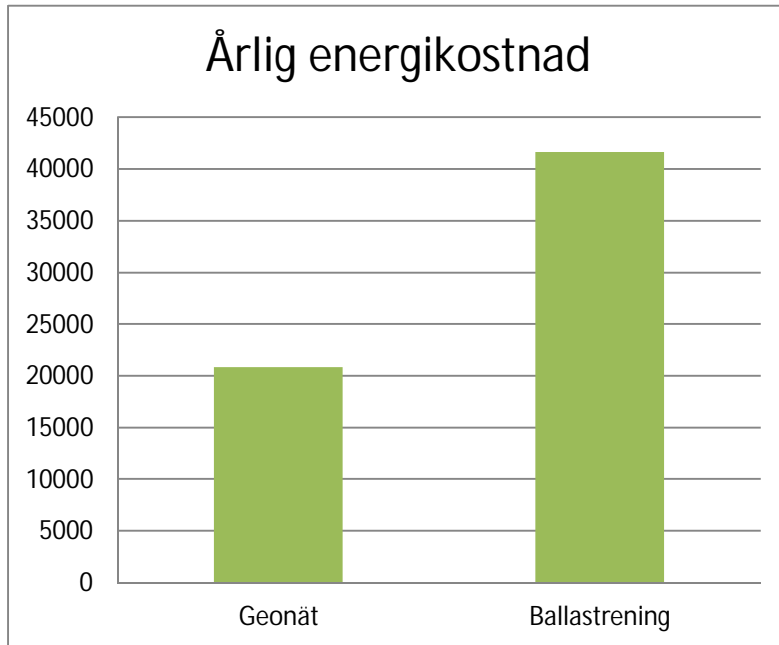
Figur 14 Jämförelse av årlig underhållskostnad

Skillnaden i pris kan direkt härledas till skillnaden i underhållsintervall som för metoden med ballastrening är det dubbla gentemot metoden med geonät, se bilaga 2. Största kostnaden i underhållet var ballastkompletteringen. Att antagandet om att ballastkomplettering skulle öka för denna metod underbyggs av Kwan's tester som visar på att deformationen i ballasten minskar avsevärt om konstruktionen armeras med geonät. Huruvida den verkliga skillnaden dem emellan är så stor eller liten som visas ovan är svårt att veta eftersom ingen liknande studie gjorts tidigare. Skillnad är dock inte allmängiltig då den baseras på ett specifikt förhållande i undergrunden. Om undergrunden är styvare kommer förhållandet metoderna emellan att förändras och det skulle kunna innebära ytterligare vinst med att använda geonät eller tvärtom.

Ytterligare en bidragande faktor till differensen i underhållskostnader är att metoden med geonät inte behöver något avhjälpande underhåll om den utförs på rätt sätt.

### 6.3 Energikostnader

Energikostnaderna visade sig ha ungefär samma förhållande metoderna emellan där metoden med ballastrening har fördubblat energikostnad, se figur 15. Detta beror främst på att den årliga energianvändningen är direkt kopplad till underhållet. Eftersom deformationen sker i dubbel hastighet för metoden med ballastrening blir behovet av underhåll och därmed energikostnaderna de dubbla. I energikostnader ingår endast underhållsåtgärden ballastkomplettering med tillhörande transporter av ny ballast. Detta på grund av att de andra underhållsåtgärderna är spårbundna och inte drivs av fossilt bränsle.



Figur 15 Jämförelse av årlig energikostnad

## 6.4 Känslighetsanalys

Precis som teorin indikerade så var underhållskostnaderna de som var svårast att hitta tillförlitliga data på. Vissa underhållskostnader och underhållsintervall kunde ej erhållas från underhållsentreprenör och referensprojekt och baseras därför på typvärden i "Perfect track" av Pelle Corshammar. (Corshammar, 2005) Eftersom samma värden används i båda analyserna ska detta inte påverka förhållandet utan snarare slutsumman.

Ytterligare en svårighet med underhållet var att uppskatta antalet AU per år. Med stöd från Sigvald Goeffeng på Infranord togs ett beslut om att sätta kostnaden till noll kronor för AU på metod geonät. (Goeffeng, 2014) Detta baseras på att konstruktionen i viss mån rekonstrueras och om de i studien angivna underhållsåtgärderna utförs på utsatt tid ska AU ej behövas. Eftersom annan tillförlitlig data saknades användes detta antagande med reservation för att underhållskostnaderna för geonät kan öka om fallet är så att AU faktiskt behövs. Antalet AU och typ av AU är även något som i verkligheten påverkar den årliga energikostnaden. Men eftersom inga data för ett liknande fall hittades uteslöts den posten ur båda kalkylerna för att de inte skulle ge missvisande resultat till följd av okvalificerade uppskattningar. Detta skulle i hög grad kunna förändra den årliga livscykelkostnaden, men eftersom metod ballastrening antas ha mest AU så skulle skillnaden metoderna emellan öka och inte minska.

Sist men inte minst är uppskattningen av felplacerad makadam och ballastkomplettering något som bör belysas som just uppskattningar. Då posterna associerade med ballast och transporter av denna visat sig vara betydande för slutsumman kan detta förändra resultatet om inte projektspecifikationerna överensstämmer med referensprojektet "Spårupprustning Hallsberg – Mosås – Örebro, Teknisk beskrivning" som uppskattningarna är baserade på. (Rickhamn, 2009)

## 7. SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER

*Det avslutade kapitlet syftar till att knyta samman studiens syfte, den teoretiska referensramen och studiens resultat utifrån egna tankar och iakttagelser.*

Resultatet i detta examensarbete visar på att upprusta och förstärka en befintlig bankropp över lös undergrund med fördel görs med hjälp av geonät och överballastskifte, framför den vanligaste metoden som innefattar ballastrening och ny frostisolering. Ballastisolering och ny frostisolering har en lägre investeringskostnad men en betydligt högre årlig kostnad i termer av underhåll och energi. Labbtester har även visat att en lösning med geonät kan öka kapaciteten hos bankroppen i relativ stor utsträckning. Största inverkan har den på bankroppar på lösa undergrunder och där den avsevärt förbättrar bankroppens prestanda i termer av bärighet och deformationsförmåga. En ökad kapacitet hos bankroppen bidrar till att öka robustheten och skapar mer effektiva transportkedjor för både näringsliv och enskilda resenärer, både vad gäller komfort och tid.

Huvuddragen i en LCC-analys är de samhällsekonomiska kostnaderna som är associerade med valet av teknisk lösning. Dessa kostnader är ej inkluderade i denna studie men skulle kunna ha betydande påverkan på resultatet. Om metoden med geonätsarmering och överballastskifte medför en kapacitetshöjning blir tågtrafiken ett mer attraktivt transportslag för både resenärer och godstransportörer. Detta kan sin tur leda till ökade intäkter i form av skatter för samhället i stort och minskade utgifter i termer av underhåll. Användningen av geonät bidrar även till minskat behov av ballast. Eftersom ballasten hade betydande påverkan på alla kostnadssegment- investering, underhåll och energianvändning - bör detta verkligen tas i beaktande. Ytterligare en fördel med geonätet i koppling till samhällsekonomiska fördelar är möjligheten att utnyttja äldre bankroppar utan alltför stora ingrepp. Eftersom de flesta järnvägsarbeten är förknippade med höga kostnader, inte minst ny produktion av anläggningar, är det viktigt att det befintliga och åldrande järnvägsnätet kan användas och kapacitet höjas i den mån det är möjligt.

Det ska återigen tilläggas att modellen är egenkomponerad och inte precis. Eftersom modellen är konstruerad efter viss typ av underbyggnad och undergrund kan resultatet bli annorlunda om befintliga förhållanden ändras. Detta till följd av att geonätets inverkan varierar vid olika marktyper. I beräkningen innehåller LCC-modellen osäkerhet främst inom parametrar som rör underhåll. Tillförlitligheten

skulle kunna ökas genom omfattande enkätundersökningar till underhållsentreprenörer som arbetat med liknande projekt. Med den givna tidsramen var detta ej möjligt. Resultatet ska främst ses som en indikation på vilket alternativ som är mest fördelaktigt ur ett livscykelkostnads-perspektiv. Då transportpolitikens nya övergripande mål är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transport-försörjning, är det av största vikt att hitta lösningar och alternativ som har lägsta möjliga livscykelkostnad.

Under studiens gång har LCC identifierats som ett vedertaget begrepp inom branschen men metoden används ännu inte i den utsträckning som är önskvärt. I dagsläget baseras många investeringsbeslut på initiala kostnader och beaktar inte underhållsbehovet över tid. Inom järnvägsområdet saknas även en del underlag för att göra en bra livscykelkostnadsanalys då merparten av de befintliga kalkylverktygen är utarbetade för vägprojekt. Med det svenska järnvägsnätets befintliga skick i åtanke borde detta område ges hög prioritet för att långsiktiga satsningar med största möjliga samhällsnytta – social, ekonomisk och ekologisk- ska kunna genomföras. Trafikverket brottas i dagsläget med strategiska utmaningar i form av skapandet av energieffektiva transportsystem, transportsystem som har hög tillförlitlighet, effektiva transportkedjor för näringslivet etc. Genom att använda LCC-analys i större utsträckning underlättas arbetet med att överbrygga dessa utmaningar.

Men för att kunna utvärdera olika alternativ måste även utrymme ges från beställarens sida. Konsultens begränsningar minskar möjligheterna att utvärdera olika alternativ för utförande och material som skulle kunna innebära kostnads- och miljömässiga vinster. Detta kräver organisatoriska och strukturella förändringar som kan vara svåra att få till stånd den konservativa anläggningsbranschen.

Problemen som finns i associationen med järnvägen och dess underhåll implicerar att det finns en hel del forskning kvar att göra. Utveckling bör ske både på institutionella och organisatoriska plan, men också på den tekniska sidan. Detta arbete kommer förhoppningsvis vara till nytta vid projektering och dessutom uppmuntra till vidare forskning inom området.

Nedan presenteras egna tankar och förslag kring fortsatt utvecklingsarbete.

- Utveckla ett allmängiltigt kalkyleringsverktyg för olika delsystem inom järnvägen.
- Undersök vilka ekonomiska- och miljömässiga vinster som kan göras om konsulten får större frihet från beställarens sida.
- Beställaren bör ställa krav på LCC-analyser av olika utförande- och materialalternativ vid upphandling av konsult.
- Kartlägg underhållsåtgärder och intervall för att se vad det faktiskt kostar.
- Kartlägg kapacitetshöjningen som en viss upprustnings- och förstärkningsmetod innebär i termer av axellast och hastighet.



## REFERENSLISTA

- Aava-Olsson, B. (den 13 Maj 2012). *Hållbarhet i Trafikverket*. Hämtat från trafikverket.se: [http://www.trafikverket.se/PageFiles/78291/5\\_tom\\_dagen\\_2012\\_hallbarhet\\_i\\_trv.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/78291/5_tom_dagen_2012_hallbarhet_i_trv.pdf) den 5 Februari 2014
- Adolfsson, U., & Persson, P. (2001). *Knowledge Management - Kunskapshantering inom Saab Automobile AB*. Göteborg: Handelshögskolan vid Göteborgs universitet, institutionen för informatik.
- Alexandersson, G., & Hultén, S. (2009). *Scenarier för järnvägens utveckling fram till 2035*. Stockholm: Kungl. vetenskapsakademien(IVA).
- Banverket. (2007). *Järnvägens bidrag till samhällsutvecklingen - inriktningsunderlag 2010-2019*. Borlänge: Banverket.
- Blanchard, B. (1998). *Life-cycle costing: An effective tool for total asset management*. Petersburg: Virginia Polytechnic Institute & State University.
- Boverket. (2005). *Helhetssyn på tunnelns livscykel, Delprojekt 3, bilaga till regeringsuppdrag Personssäkerhet i tunnlar*. Karlskrona: Boverket.
- Corshammar, P. (2005). *Perfect track - Din framgång i järnvägsunderhåll och driftsäkerhet*. Lund: Järnvägsskolan.
- Corshammar, P. (2008). *Perfekt spårgeometri - framtidens spår*. Lund: Järnvägsskolan.
- Goeffeng, S. (den 4 Mars 2014). Underhållsåtgärder bankropp. (K. Rehn, Intervjuare)
- Holmvik, N., & Wallin, H. (2007). *Användning av livscykelanalys och livscykelkostnad för en vägkonstruktion*. Lund: Lunds tekniska högskola, institutionen för teknik och samhälle.
- Infranord. (den 11 April 2012). *Ballastrening för ett bra spårläge*. Hämtat från infranord.se: [http://www.infranord.se/Documents/projektblad/Ballastrening\\_INFRANORD\\_120411.pdf](http://www.infranord.se/Documents/projektblad/Ballastrening_INFRANORD_120411.pdf) den 8 Februari 2014
- INNOTRACK. (2010). *Sammanfattning av avslutande teknisk rapport*. Göteborg: Chalmers teknisk högskola.
- Juntti, U. (den 22 Januari 2014). LCC-modell förstärkningsmetoder bankropp. (K. Rehn, Intervjuare)
- Karlsson, M. (den 29 Januari 2014). Upprustning/underhåll av bankropp. (K. Rehn, Intervjuare)

- Kwan, J. C. (2006). *Geogrid reinforcement of railway ballast*. Nottingham: University of Nottingham.
- Langemar, F. (2012). *Blandade metoder - Integrering av kvalitativa och kvantitativa data i en marknadsundersökning*. Uppsala: Uppsala universitet, företagsekonomiska institutionen.
- Lautala, P. (2012). *Synthesis of railroad engineering best practices in areas of deep seasonal frost and permafrost*. Michigan: Michigan transportation insitute.
- Levin, P., & Lilliehorn, P. (2008). *Livscykeleekonomi vid planering, byggande och förvaltning*. Karlskrona: Boverket.
- Lindgren, Å. (2007). *Alternativa material i väg- och järnvägsbyggnad*. Borlänge: Vägverket.
- Minser, A. (den 28 Januari 2014). Tensar geonät. (K. Rehn, Intervjuare)
- Misar, H. (2005). Criteria for cost-effective ballastcleaning: machine design considerations. Wien, Österrike.
- NATO. (2009). *Code of practice for life cycle costing*. Research and technology organisation(RTO).
- Normark, A. (2012). *Skärpning politiker! Om behovet av långsiktighet i samhällsbyggande och arbetskraftsförsörjning*. Byggnads.
- Olofsson, N. (2010). *LCC för utvärdering vägkonstruktioner*. Lund: Lunds tekniska högskola, institutionen för teknik och samhälle.
- Patra, A. P. (2009). *Maintenance Decision Support Models for Railway Infrastructure using RAMS & LCC Analyses*. Luleå: Luleå tekniska universitet.
- Rickhamn, J. (den 23 September 2009). Spårupprustning Hallsberg – Mosås - Örebro, Teknisk beskrivning. Stockholm, Sverige: Tyréns.
- Sahlin, S., & Sundqvist, H. (1995). *Banteknik*. Stockholm: KTH, Insitutionen för byggkonstruktion.
- Store norske leksikon. (den 12 Juli 2012). *Europas geologi*. Hämtat från Store norske leksikon: [http://snl.no/Europas\\_geologi](http://snl.no/Europas_geologi) den 7 Februari 2014
- Swarr, T., & Hunkeler, D. (2011). *Environmental life-cycle costing: a code of practice*. Pensacola: Springer-Verlaug.

Tensar International. (Mars 2013). *Railway - Mechanical stabilisation of track ballast and sub-ballast*. Hämtat från tensar.se: <http://www.tensar.se/Downloads?subpath=Brochures> den 7 Februari 2013

Tensar International. (Mars 2010). *System och produkter - Tensar Triax*. Hämtat från tensar.se: <http://www.tensar.se/System-Produkter/Tensar-TriAx> den 30 Januari 2014

Tensar International. (2013). *Tensar geosynteter - En presentation av Tensars produkter och användningsområden*. Hämtat från tensar.se:  
<http://www.tensar.se/Downloads?subpath=Brochures> den 6 Februari 2014

Trafikverket. (2014). *Banöverbyggnad - Spårläge - krav vid byggande och underhåll*.  
Trafikverket.

Trafikverket Controlling. (2013). *Trafikverkets verksamhetsplan 2014-2016*. Borlänge:  
Trafikverket.

Trafikverket. (den 27 Januari 2014). *Sveriges järnvägsnät - järnvägstermer*. Hämtat från trafikverket.se: <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-jarnvagsnat/Jarnvagstermer/> den 2 Februari 2014

Trafikverket. (2012). *Typsektioner för banan*. Borlänge: Trafikverket.

Tuenter, G. (den 9 Mars 2012). *Beräkna LCC*. Hämtat från energimyndigheten.se:  
<http://www.energimyndigheten.se/Foretag/Energieffektivisering-i-foretag/Finansiering-och-inkop/Livscykelkostnad/Berakna-LCC/> den 5 Februari 2014

Wittenfelt, K. (2004). *Livscykelkostnadsmodellen i en generell och praktisk tillämpning*.  
Malmö: Lunds tekniska högskola.

Vägverket. (2008). *Vännen07 - Excelverktyg för Drift- och Underhållskalkyler*. Stockholm:  
Vägverket.

# BILAGOR

## Bilaga 1

Tabell 4 LCC-analys för bankropp med ny överballast och geonät

### GEONÄT och NY ÖVERBALLAST

---

#### FÖRUTSÄTTNINGAR

Livslängd	50 år
Kalkylränta	4,00 %
Sektionslängd	1000 spm

#### Investeringskostnad

Geonät, TX190L	151 500 kr
Ny ballast	1 826 840 kr
Transport ny ballast	225384 kr
Schakt gammal bankropp	151 673 kr
Masshantering	631 534 kr
Summa investeringskostnad	2 986 931 kr

#### Årlig underhållskostnad

Kostnad FU	49130 kr
Kostnad AU	0 kr
Summa underhållskostnad/år	49 130 kr

#### Årlig energikostnad

Underhåll	20842 kr
-----------	----------

Summa energikostnad/år	20 842 kr
------------------------	-----------

Nuvärdesfaktor	0,1407
----------------	--------

Investeringskostnad	2 986 931 kr
---------------------	--------------

LCC underhåll	6 912 kr
---------------	----------

LCC energi	2932 kr
------------	---------

LCCtot	2 996 775 kr
--------	--------------

Annuitetsfaktor	0,0466
-----------------	--------

LCCtot	2 996 775 kr
--------	--------------

LCCår	139 650 kr
-------	------------

**Tabell 5 Kompletterande information om hur LCC-analysen gjorts**

KOMPLETTERANDE INFORMATION			
TX190L			byggros.se
Kostnad	30,3	kr/m <sup>2</sup>	Agne Minser
Mängd	1000x4=4000	m <sup>2</sup>	
Kostnad geonät	30,3x4000=121200	kr	
Arbetskostnad, etablering/avetablering	121200x0,25=30300	kr	Perfect track, 25% påslag
Summa TX190L	151 500	kr	
<hr/>			
Ny ballast			
Kostnad	436	kr/m <sup>3</sup>	JEHANDER
Volym	4190	m <sup>3</sup>	"Typsektion för banan"
Summa ny ballast	1 826 840	kr	
<hr/>			
Transport ny ballast (5 mil till täkt)			
Kostnad transport	62	kr/tur	
Volym	12	m <sup>3</sup> /tur	
Antal tur	4190/12=349	st	
Bränslepris	13,9	kr/l	bensinpriser.nu
Bränsleförbrukning lastbil	4,2	l/mil	vti - Rep. Bränsleförbr.
Transport ny ballast	(5x2)x349=3490	mil	
Kostnad transport ny ballast	62x349=21638	kr	
Energikostnad	4,2x3490x13,9=203746	kr	
Summa tranport	225384	kr	
<hr/>			
Schakt gammal bankropp			
Maskin och förare	825	kr/h	Davidsson Markttjänst
Kapacitet	24	m <sup>3</sup> /h	maskinisten.net
Volym	4910	m <sup>3</sup>	"Typsektion för banan"
Tid	4910/24=175	h	
Kostnad maskin	175x825=144 375	kr	
Maskin bränsleförbrukning	3	l/h	maskinisten.net
Grävtid	175	h	
Energikostnad	(3x175)x13,9=7298	kr	
Summa schakt	151 673	kr	

**Tabell 6 Kompletterande information om hur LCC-analysen gjorts**

KOMPLETTERANDE INFORMATION FORTS.			-
Masshantering (5 mil till deponi/återv.)			(1000kg/m <sup>3</sup> =1 ton)
Massor, farligt avfall	0,5 m <sup>3</sup>		Uppskattning fr. refproj.
Deponi	1400 kr/ton		Vännäs avfallsanläggning.
Kostnad farligt avfall	0,5x1400=700 kr		
Massor, överskott	4909,5 m <sup>3</sup>		(4909 ton)
Deponi	80 kr/ton		Vännäs avfallsanläggning.
Kostnad överskott	4909,5x80=392760 kr		
Antal vändor	(4910/12)=409 st		
Kostnad transport schaktmassor	409x62=25368 kr		
Transport massor	(5x2)x409=4090 mil		
Energikostnad	4,2x4090x13,9=238774 kr		
Summa masshantering	631 534 kr		
<b>Underhåll</b>			
FU på plats	0,17 ggr/år		
Maskin spårriktning med spårlyft	50 000 kr/skift		Goeffeng, Infranord
Kapacitet	500 m/h		Perfect track
Kostnad spårriktningsmaskin	50000 kr		2h rening, 6h etablering
Arbetskostnad	30000 kr/skift		Goeffeng
Total arbetskostnad	30000 kr		2h rening, 6h etablering
Kostnad spårriktning	0,17x80000=13600 kr/år		
Maskin ballastkomprimering	70000 kr/skift		Goeffeng
Kapacitet	1000 m/h		Perfect track
Kostnad ballastkomprimeringsmaskin	70000 kr		1h rening, 7h etablering
Arbetskostnad	30000 kr/skift		Goeffeng
Total arbetskostnad	30000 kr		1h rening, 7h etablering
Kostnad ballastkomprimering	0,17x100000=17000 kr/år		
FU på plats	0,085 ggr/år		2ggr längre int. underh.
Ballastkomplettering	218000 kr		Se tidigare ber.
Kostnad ballastkomplettering	218000x0,085=18530 kr/år		
Kostnad FU	49130 kr/år		
AU på plats	0 ggr/år		Goeffeng
Kostnad	13 800 kr/st		Perfect track
Kostnad AU	0 kr/år		
Summa underhåll	49 130 kr/år		
<b>Energi</b>			
Transport för ballastkomplettering	0,085 ggr/år		
Energikostnad	245196 kr/gång		Se tidigare ber.
Energikostnad transport underhåll	245196x0,085=20842 kr		
Summa energi	20 842 kr		

## Bilaga 2

Tabell 7 LCC-analys för bankropp som ballastrenats och förstärkts med cellplast

### BALLASTRENING MED FROSTISOLERING

---

#### FÖRUTSÄTTNINGAR

Livslängd	20 år
Kalkylränta	4 %
Sektionslängd	1000 spm

#### Investeringskostnader

Cellplast, Sundolitt XPS 700	1 605 000 kr
Förschakt	36 402 kr
Ballastrening	125 000 kr
Ballastkomplettering	436 000 kr
Transport ballastkomplettering	53 622 kr
Masshantering	133 601 kr

---

Investeringskostnad 2 389 625 kr

#### Årlig underhållskostnad

Kostnad FU	96 460 kr
Kostnad AU	3 450 kr

---

Underhållskostnad/år 99 910 kr

#### Årlig energikostnad

Underhåll	41 683 kr
-----------	-----------

---

Energikostnad/år 41 683 kr

#### Nuvärdesfaktor

0,4564

Investering 2 389 625 kr

LCC underhåll 45 598 kr

LCC energi 19 024 kr

---

LCCtot 2 454 247 kr

Annuitetsfaktor 0,0736

LCCtot 2 454 247

---

LCCår 180 632 kr

**Tabell 8 Kompletterande information om hur LCC-analysen gjorts**

KOMPLETTERANDE INFORMATION			
Cellplast, Sundolitt XPS 700			sundolitt.se
Kostnad	321	kr/m <sup>2</sup>	Markvaruhuset
Mängd	1000x4=4000	m <sup>2</sup>	"Typsektion för banan"
Kostnad cellplast	4000x321=1284000		
Arbetskostnad, etablering/avetablering	1284000x0,25=321000	kr	Perfect track,25% påslag
Summa Sundolitt XPS 700	1 605 000	kr	
<b>Förschakt</b>			
Maskin och förare	825	kr/h	Davidsson Marktjänst
Kapacitet	24	m <sup>3</sup> /h	maskinisten.net
Volym felplacerad makadam	1	m <sup>3</sup> /spm	Uppskattning fr. refproj.
Tid	(1x1000)/24=42	h	
Maskin förschakt	3	l/h	maskinisten.net
Grävtid	42	h	
Kostnad förschakt	825x42=34650	kr	
Energikostnad	42x3x13,9=1752	kr	
Summa schakt	36 402	kr	
<b>Ballastrening</b>			
Kostnad ballastreningsmaskin	1250	kr/spm	"Perfekt spårgeomteri"
Sektionslängd	1000	spm	
Kostnad sektion, 1 km på ett skift	125000	kr	vti - Banretur
Bränsleförbrukning ballastrenare	0	l/mil	
Sektion för rening	1	mil	
Energikostnad	0	kr	
Summa ballastrening	125 000	kr	
<b>Ballastkomplettering</b>			
Kostnad ballast	436	kr/m <sup>3</sup>	JEHANDER
Volym finmaterial/spm	1	m <sup>3</sup>	Uppskattning fr. refproj.
Volym ny ballast	1x1000=1000	m <sup>3</sup>	
Kostnad ballastkomplettering	1000x436=436000	kr	
Summa ballastkomplettering	436 000	kr	
<b>Transport ballastkomp. (5 mil till täkt)</b>			
Kostnad	62	kr/tur	Uppskattning fr. lev. JEHANDER
Volym	12	m <sup>3</sup> /tur	JEHANDER
Antal turer	1000/12=83	st	
Kostnad transport	62x83=5167	kr	
Bränslepris	13,9	kr/l	bensinpriser.nu
Bränsleförbrukning lastbil	4,2	l/mil	vti - Rep. Bränsleförbr.
Transport ballastkomplettering	(5x2)x83=830	mil	
Energikostnad	4,2x830x13,9=48455	kr	
Summa transport	53 622	kr	



**Tabell 9 Kompletterande information om hur LCC-analysen gjorts**

KOMPLETTERANDE INFORMATION FORTS.			-	-
Masshantering (5 mil till deponi/återv.)				(1000kg/m <sup>3</sup> =0,1 ton)
Finmaterial, farligt avfall	0,1	m <sup>3</sup>		Uppskattning fr. refproj.
Deponi	1400	kr/ton		Vännäs avfallsanläggning.
Kostnad farligt avfall	0,1x1210=140	kr		
Finmaterial, överskott	1000	m <sup>3</sup>		1000 ton
Deponi	80	kr/ton		Vännäs avfallsanläggning.
Kostnad överskott	1000x80=80000	kr		
Antal vändor	1000/12=83	st		
Transport schaktmassor	83x62=5146	kr		
Kostnad masshantering	85146	kr		
Transport massor	(5x2)x83=830	mil		
Energikostnad	4,2x830x13,9=48455	kr		
Summa masshantering	133 601	kr		
<b>Underhåll</b>				
FU på plats	0,33	ggr/år		Perfect track
Maskin spårriktning med spårlyft	50 000	kr/skift		Goeffeng, Infranord
Kapacitet	500	m/h		Perfect track
Kostnad spårriktningsmaskin	50000	kr		2h rening, 6h etablering
Arbetskostnad	30000	kr/skift		Goeffeng
Total arbetskostnad	30000	kr		2h rening, 6h etablering
Kostnad spårriktning	0,33x80000=26400	kr/år		
Maskin ballastkomprimering	100000	kr/skift		Perfect track
Kapacitet	1000	m/h		Perfect track
Kostnad ballastkomprimeringsmaskin	700000	kr		1h rening, 7h etablering
Arbetskostnad	30000	kr/skift		Goeffeng
Total arbetskostnad	30000	kr		1h rening, 7h etablering
Kostnad ballastkomprimering	0,33x100000=33000	kr/år		
FU på plats	0,17	ggr/år		Goeffeng
Ballastkomplettering	218000	kr		Se tidigare ber.
Kostnad ballastkomplettering	218000x0,17=37060	kr/år		
Kostnad FU	96460	kr/år		
AU på plats	0,25	ggr/år		75 % av U är AU
Kostnad	13 800	kr/st		Perfect track
Kostnad AU	13800x0,25=3450	kr/år		
Summa underhåll	99 910	kr/år		
<b>Energi</b>				
Transport för ballastkomplettering	0,17	ggr/år		
Energikostnad	245196	kr/gång		Se tidigare ber.
Energikostnad transport underhåll	245196x0,17=41683	kr		
Summa energi	41 683	kr/år		

### Bilaga 3

Nedan visas kalkylerad nuvärdesfaktor och annuitetsfaktor för respektive metod.

#### *Geonät och ballastskifte, teknisk livslängd 50 år*

$$\text{Nuvärdesfaktor} = \frac{1}{(1-r)^n} = \frac{1}{(1-0,04)^{50}} = 0,1407$$

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{r}{1-(1+r)^{-n}} = \frac{0,04}{1-(1+0,04)^{-50}} = 0,0466$$

#### *Ballastrening och ny frostisolering, teknisk livslängd 20 år*

$$\text{Nuvärdesfaktor} = \frac{1}{(1-r)^n} = \frac{1}{(1-0,04)^{20}} = 0,4564$$

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{r}{1-(1+r)^{-n}} = \frac{0,04}{1-(1+0,04)^{-20}} = 0,0736$$