

# CHALMERS



## Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar

Uppdatering av kalkylmodellen 2Ö

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

**HILDA DAHLIN & ÅSA ELIASSON**

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för geologi och geoteknik*  
*Grupp Väg och trafik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2007  
Examensarbete 2007:122



EXAMENSARBETE 2007:122

# Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar

Uppdatering av kalkylmodellen 2Ö

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

HILDA DAHLIN & ÅSA ELIASSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för geologi och geoteknik*  
*Grupp Väg och trafik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2007

Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar  
Uppdatering av kalkylmodellen 2Ö  
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad  
HILDA DAHLIN & ÅSA ELIASSON

© HILDA DAHLIN & ÅSA ELIASSON, 2007

Examensarbete 2007:122  
Institutionen för bygg och miljöteknik  
Avdelningen för geologi och geoteknik  
Grupp Väg och trafik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Flygbild på övergång från betong- till asfaltbeläggning vid E4 Uppsala - Mehedeby,  
Sky Movies (2007).

Chalmers reproservice  
Göteborg 2007

Comparison between asphalt and concrete pavements  
Update of the calculation model 2Ö  
Master's Thesis in the Master Degree Programme Civil Engineering  
HILDA DAHLIN & ÅSA ELIASSON  
Department of Civil and Environmental Engineering  
Division of GeoEngineering  
Road and Traffic group  
Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

Due to the high oil price the bitumen component of asphalt paving is very expensive. The ongoing climate change makes it essential to find sustainable alternatives that reduces emissions and are inexpensive for the Swedish Road Administration. Concrete pavements are more wear resistant and rigid than flexible asphalt pavement, which leads to no permanent deformations and fewer occasions of maintenance. As maintenance and repair lead to an increased risk of accident for road users as well as labour on the road, the costs for society also increases. When a road is designed it is essential to see to the total lifecycle cost in contrast to the investment expenditure.

The Swedish Road Administration uses models for economic calculation when planning a new road project, one of which is the model 2Ö (Two Superstructures). The Thesis's main purpose is to update 2Ö with current prices and research results. This is done by gathering research and experience from foreign countries, foremost Germany. Furthermore, calculations are done so that the life lengths of a rigid and flexible pavement's service life are equivalent as well as calculations to predict permanent deformations on a flexible pavement throughout its service life. To the 2Ö model expenses for fuel consumption, carbon dioxide emissions and a rough estimation of investment expenditure are added. Moreover, the possibility to calculate with combined pavements, that is asphalt and concrete paving in lanes next to each other, is also added to the model.

Given a specified scenario the result of the analysis shows that the asphalt pavement has higher expenses for society as well as maintenance costs compared to the concrete pavement. In contrast, the concrete pavement is more expensive regarding investment expenditures, which is the greatest part of the analysis costs. In this lifecycle analysis the concrete pavement has the lowest total costs. In order to choose the most cost effective pavement, one of our conclusions is that all expenses during a pavement's life cycle need to be reliable. The maintenance strategy is particularly important to determine correctly, since an incorrectly predicted maintenance strategy can lead to a wrong decision of pavement material.

Key words: Lifecycle cost, asphalt pavement, concrete pavement, combined pavement, calculation model

Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar  
Uppdatering av kalkylmodellen 2Ö  
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad  
HILDA DAHLIN & ÅSA ELIASSON  
Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för geologi och geoteknik  
Grupp Väg och trafik  
Chalmers Tekniska Högskola

## SAMMANFATTNING

På grund av det höga oljepriset är bitumenkomponenter kostsamma. Den pågående klimatförändringen gör det nödvändigt att hitta hållbara alternativ som minskar emissioner och minskar kostnaderna för väghållaren. Betongvägar kan ta upp högre trafikbelastningar än flexibla asfaltbeläggningar på grund av dess styvhet, vilket leder till inga permanenta deformationer och färre underhållstillfällen. Då underhåll och reparationer leder till en ökad olycksrisk för både trafikanter och vägarbetare ökar även kostnaden för samhället i form av exempelvis olyckskostnad. När en beläggning skall väljas är det nödvändigt att se till dess totala livscykelkostnad, till skillnad från att endast titta på investeringskostnader.

Vägverket använder sig av samhällsekonomiska kalkylmodeller vid utvärdering av ett nytt vägprojekt. En av dessa är modellen 2Ö (2 överbyggnader). Examensarbetets främsta syfte är att uppdatera 2Ö med dagsaktuella prisuppgifter och forskningsresultat. Detta görs bland annat genom att ta in forskning och erfarenhet från utlandet, främst Tyskland. Vidare utförs beräkningar för att jämföra styva och flexibla beläggningars livslängd likvärdig som en uppskattning av framtida deformationer på en flexibel beläggning. Till modellen 2Ö läggs effekter av minskad bränsleförbrukning och medföljande minskning av koldioxidutsläpp på styva beläggningar samt en grov uppskattning av investeringskostnad. Utöver det ges även möjligheten att beräkna kombinerade beläggningar, det vill säga asfalt- och betongbeläggning bredvid varandra i en körriktning.

Utifrån ett scenario där en asfalt- och en betongbeläggning har jämförts visar resultatet att asfaltbeläggningen har högre samhälls- och underhållskostnader än betongbeläggningen. Å andra sidan visar analysen att betongbeläggningen har högre investeringskostnad. Sett över hela livslängden har betongbeläggningen i analysen den lägsta totalkostnaden. En av slutsatserna som dras är att det är viktigt att alla kostnader i en kostnadsanalys är väl förankrade. Speciellt viktigt är att underhållsstrategin är korrekt och noga genomtänkt, en felaktigt bedömd underhållsstrategi kan i slutändan leda till ett felaktigt val av beläggningsmaterial.

Nyckelord: Livscykelkostnad, asfaltbeläggning, betongbeläggning, kombinerad beläggning, kalkylmodell

# Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	III
BILAGOR	VI
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problembeskrivning	2
1.3 Syfte och avgränsning	3
1.4 Metod	3
1.5 Arbetsupplägg	3
2 LITTERATURSTUDIE	5
2.1 Betongvägar i Sverige	5
2.2 Betongvägar i Tyskland	6
2.3 Livscykelkostnadsanalys	9
2.4 Ekonomiska termer	10
2.4.1 Kalkylränta	10
2.4.2 Nuvärde	10
2.4.3 Annuitet	10
2.4.4 Restvärde	11
2.4.5 Nettonuvärdeskvot	11
3 INVESTERINGSKOSTNAD	12
3.1 Investeringskostnad för asfaltbeläggning	12
3.2 Investeringskostnad för betongbeläggning	14
3.3 Ökning av en asfaltbeläggnings tekniska livslängd	15
3.4 Aktiv Design	18
4 UNDERHÅLLSKOSTNAD	19
4.1 Underhållskostnad för asfaltbeläggning	19
4.2 Underhållskostnad för betongbeläggning	20
5 SAMHÄLLSKOSTNAD	23
5.1 Trafikantkostnad	23

5.1.1	Restidskostnad	23
5.1.2	Fordonskostnad	23
5.1.3	Komfortkostnad	24
5.2	Olyckskostnad	24
5.3	Miljökostnad	24
6	MODELLER FÖR LIVSCYKELKOSTNADSANALYS	25
6.1	MNV	25
6.1.1	Modellens uppbyggnad	25
6.1.2	Kommentarer	28
6.2	2Ö	28
6.2.1	Modellens uppbyggnad	28
6.2.2	Kommentarer	31
6.3	”LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt”	31
7	UPPDATERING AV 2Ö	33
7.1	Uppdatering av indata	33
7.2	Investeringskostnad	34
7.3	Bränslebesparing	35
7.4	Koldioxidutsläpp	37
7.5	Uppdatering av resultatredovisning	37
7.6	Uppdatering av layout	38
7.7	Åtkomst av indata	38
8	KOMBINERADE BELÄGGNINGAR	39
8.1	2+1-vägar	40
8.2	Beräkning av permanent deformation på 2+1-väg med asfaltbeläggning	41
8.2.1	VägfEM	43
8.2.2	Styvhetsmoduler	44
8.2.3	De bitumenbundna lagrens temperaturberoende	45
8.2.4	Resultat för beräkning av permanenta deformationer	46
9	RESULTAT	47
10	KÄNSLIGHETSANALYS AV 2Ö	51
11	DISKUSSION	54
12	SLUTSATSER	56
13	REFERENSER	57





## **Bilagor**

1. Brev till Tyskland
2. Brev till USA
3. Beräkning i PMS Objekt för ökning av teknisk livslängd
4. Litteraturstudie samhällskostnad
5. Antal sommardagar i klimatzon 1 - 5
6. Indata VägFEM
7. Korrigering av  $a_1$
8. Resultat VägFEM
9. Beräkningsexempel 2Ö
10. Känslighetsanalys 2Ö – felbedömd underhållsstrategi

## Förord

Detta examensarbete har utförts som en avslutande del av civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad vid Institutionen för bygg- och miljöteknik vid Chalmers. På institutionen har ansvarig avdelning varit Avdelningen för geologi och geoteknik, Grupp Väg och trafik. Examensarbetet har utförts på Vägverket Region Väst i Göteborg under sommaren och hösten 2007. Under examensarbetets gång har vi fått hjälp, stöd och tips av ett flertal personer vilka vi vill tacka.

Ett stort tack vill vi rikta till Tomas Winnerholt och Anders Huvstig, våra handledare vid Vägverkets huvudkontor i Borlänge respektive Vägverket Region Väst i Göteborg.

Tack även till Gunnar Lannér, vår examiner och handledare vid Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers.

Under arbetet har vi även fått synpunkter och uppgifter från Carl-Gösta Enocksson, Vägverket Region Väst, Christer Hagert, Vägverkets huvudkontor i Borlänge samt Stig Jansson, Cementa, ett stort tack även till Er.

Tack till Erwin Kornherr och Hartwig Engelking på Landesstelle für Straßentechnik i Tübingen, Tyskland.

Slutligen vill vi tacka alla de personer vilka inte nämnts ovan men som möjliggjort att detta examensarbete kunnat utföras.

Göteborg november 2007

Hilda Dahlin

Åsa Eliasson

# Beteckningar

## Förkortningar

ABS	Stenrik asfaltbetong
AG	Asfaltgrus
BBÖ	Bergbitumenöverbyggnad
BÖ	Betongöverbyggnad
CBÖ	Cementbitumenöverbyggnad
CB	Cementbetong
CG	Cementstabiliserat grus
FEM	Finit element metod
GBÖb	Grusbitumenöverbyggnad med bindlager
IRI	International Roughness Index
K1	Långsamgående körfält, störst andel tung trafik
K2	Snabbgående körfält, omkörningsfält
K3	Snabbgående körfält, omkörningsfält
LCC	Livscykelkostnad
LCCA	Livscykelkostnadsanalys
MNV	Modell för nuvärdesbeskrivning av en vägs funktionstidskostnad
NHCRP	National Cooperative Highway Research Program
PMS	Pavement Management System
SA	Standardaxel
ÅDT	Årsdygnstrafik
2Ö	2 överbyggnader

## Latinska versaler

<i>B</i>	Spänningsberoende modellparameter
<i>B</i>	Nuvärde av ett projekts vinster

$C$	Nuvärde av ett projekts utgifter
$M_s$	Styvhetsmodul [MPa]
$N$	Antal tunga överfarter
$NNK$	Nettonuvärdeskvot
$N1 - N4$	Klassning av torr beläggnings ljushet
$O$	Asfalt: Nykonstruktion av slitlager
$P$	Asfalt: Konstruera tjockare slitlager
$QA$	Asfalt: Fräsning och nykonstruktion av slitlager och bindlager
$QA$	Betong: Uppbrytning och rekonstruktion av betongslitlager
$QB$	Asfalt: Rivning och nykonstruktion av alla bituminösa lager
$QB$	Betong: Uppbrytning och rekonstruktion av alla cementbundna lager
$R$	Restvärde
$R1 - R4$	Klassning av torr beläggnings ljushet
$T$	Temperatur i bituminösa lager [°C]
$W1 - W4$	Klassning av våt beläggnings ljushet

### Latinska gemena

$a_1 - a_3$	Modellparametrar [-]
$m$	Lutning på brottlinje
$n$	Ekonomisk livslängd
$r$	Kalkylränta
$s$	Kohesion [kPa]

### Grekiska gemena

$\varepsilon_1^{p0}$	Regressionsparameter [-]
$\varepsilon_p$	Plastisk deformation [-]
$\varepsilon_r$	Elastisk, resilient deformation [-]

$p_a$	Referenstryck
$p_{\max}$	Medelnormalspänning [kPa]
$q_{\max}$	Maximal deviatorspänning [kPa]

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Olja är en ändlig naturresurs och en minskad oljeförbrukning är idag nödvändig. Den pågående klimatförändringen gör att vi tvingas se över vår användning av viktiga naturresurser, inte bara för de växthusgaser som uppkommer vid oljeanvändning utan även för att nå en hållbar utveckling. Dagens ökande oljepriser påverkar i högsta grad priset på bitumen, en betydande beståndsdel i asfaltbeläggningar och inget tyder på att priserna kommer att sjunka tillbaka.

Asfalt är idag det vanligaste bindemedlet för bundna lager i svenska vägkonstruktioner. Mindre än 1 % av dagens vägnät utgörs av betongvägar. Utomlands är det mer vanligt med vägar byggda i betong. I till exempel Tyskland, Schweiz och Belgien består närmare 20 % av de stora vägarna av betongvägar, Löfsjögård (2003). Det finns en tradition i att bygga vägar av asfalt i Sverige, till viss del på grund av landets klimat. Sällan övervägs andra materialval inför ett nytt vägprojekt, trots det faktum att styva konstruktioner tar upp tung trafik bättre och därmed kräver mindre underhåll.

Under den tekniska livslängden för en väg uppkommer fler kostnader än investeringskostnader, såsom underhållskostnader, trafikantkostnader, olyckskostnader och miljökostnader. Inför val av beläggingsmaterial utreds vanligtvis endast investeringskostnaden, något som talar till fördel för asfaltbeläggningar. Sverige saknar betongläggare, vilket kräver upphandling från utlandet och höjer investeringskostnaden.

Med Nollvisionen har konceptet med mötesfria motortrafikleder tagits in i Sverige och blivit allt vanligare. Vägar av sådant slag, även kallat 2+1-vägar, ökar trafiksäkerheten och minskar olyckskostnaden. Uppföljning visar att 2+1-vägar däremot kan ge ökad spårbildning då den tunga trafiken som körs i K1 blir mer kanaliserad, varför modifikation av konstruktionen är intressant. I Tyskland finns lång erfarenhet av betong som vägbeläggning och utvecklingen går snabbt framåt. På Autobahn är det vanligt med flerfältiga körbanor, med höger körfält byggd med betongbeläggning och de vänstra körfälten byggda med asfaltbeläggning. Det konceptet kan vara av intresse att titta på, utvärdera och ta in i Sverige.

1996 påbörjades en utredning av Vägverket där det undersöktes hur olika regioner inom Vägverket valde överbyggnadsalternativ inför ett vägprojekt. Fem av Vägverkets sydligaste regioner fick i en enkät bland annat svara på frågan om hur och varför flexibla överbyggnader hade valts vid nybyggnation till nackdel för styva beläggningar. Under utredningen utvecklades en kalkylmodell för beräkning av underhållskostnader och medföljande samhällskostnader för två eller fler överbyggnadsalternativ. Modellen kom att kallas 2Ö (2 överbyggnader) och är en vidareutveckling av MNV (Modell för nuvärdesberäkning av en vägs funktionstidskostnad), en livscykelkostnadsmodell vilken tar hänsyn till bygg-, underhålls- och samhällskostnader, Vägverket (1997).

En stor utbyggnad av betongvägnätet i Sverige ägde rum under slutet av 1930-talet fram till slutet av 1950-talet. Den tidens betongvägar byggdes kontinuerligt armerat,

utan dymningar mellan plattorna och med längre plattor än vad som byggs idag. Detta skapade ett flertal problem, till exempel ”skarvdunket” som kan upplevas vid färd på dessa vägar, men även ökad sprickbildning, NVF (1985). Betongvägar av idag byggs som oarmerade, fogade betongvägar. Detta innebär att betongen läggs ut med en läggare och dymningar läggs var femte meter. Plattorna sågas sedan till och foglisters sätts i sågspringorna för att tätas, Flies, Lundberg (2007). År 1989 togs ett politiskt beslut att provvägar av betong skulle byggas på ett antal platser i Sverige. Dessa byggdes med ett antal olika konstruktioner för att kunna utvärdera och skapa erfarenhet från betongvägsbygge i Sverige, Vägverket (1997).

Vägverkets internrevision vill ha en jämförande undersökning mellan betong och asfalt, på grund av de höga oljepriserna samt för möjligheten att hämta betongbeläggningsens beståndsdelar inom landets gränser. Det har skrivits två examensarbeten på vardera tio poäng tidigare, se Flies, Lundberg (2007) och Borg, Dagefors (2007), vilka behandlat investeringskostnader och försökt påvisa en skillnad mellan betong- och asfaltbeläggningar. Rön från dessa examensarbeten samt ny forskning skall föras samman i denna rapport.

## 1.2 Problembeskrivning

Inför nybyggnation av en beläggning är beräkning av dess livscykelkostnad begränsad. För en beläggning beaktas för det mesta endast investeringskostnaden, vilket inte speglar vägens verkliga kostnader under livslängden rättvist. Om skillnader mellan överbyggnadsalternativ påvisas redan under projekteringen, exempelvis med hjälp av en heltäckande livscykelkostnadsanalys, kan valet av den mest ekonomiskt fördelaktiga beläggningsen göras.

En asfaltbeläggning är mindre kostsam att anlägga än en betongbeläggning men är under livslängden i många fall i större behov av underhåll. Med tätare underhållsperioder ökar även risken för trafikanterna som färdas på vägen att råka ut för olycka. Detta kostar samhället pengar i form av bland annat sjukhus- och miljökostnader vid olyckor till följd av vägarbete.

Det finns ett flertal skillnader mellan flexibla och styva beläggningar men Vägverket bygger flexibla beläggningar för dess lägre investeringskostnader. Asfaltvägars fördel med lägre investeringskostnader kan för betongvägar sparas in på underhålls- och driftskostnader. Med liknande indata är det av intresse att se vilka skillnader utöver de rent ekonomiska som finns och vad dessa skillnader gör för vägens livscykelkostnad. De modeller som används idag för att beräkna livscykelkostnader är gamla och använder schabloniserade värden. Kalkylmodellen 2Ö bör kunna uppdateras och specificeras ytterligare med ny forskning som kommit fram under senare år.

Sju stora betongvägsprojekt har sedan 1970-talet genomförts i Sverige. Detta måste innebära att mycket värdefull erfarenhet finns från de betongvägsprojekt som varit. Dessa kunskaper är viktiga att samla in och ta vara på. Med erfarenhet från betongvägsprojekten och med ny forskning är det möjligt att identifiera för- och nackdelar med betongbeläggningar.

En annan fråga av intresse är hur mycket en entreprenör i Sverige skulle tjäna på att köpa in en betongläggare. Om en djupare livscykelkostnadsanalys utförs för varje



större vägprojekt kan utfallet för val av överbyggnad bli annorlunda än vad som varit fallet tidigare.

På de 13 m breda 2+1-vägar som byggs har stora permanenta deformationer kunnat påvisas i K1, som en följd av att den tunga trafiken trycks ut närmare väggkanten, Jansson (2006). En framtida tillämpning på 2+1-vägar i Sverige kan vara att bygga dessa med kombinerad beläggning, därför bör även kalkylmodellen 2Ö kunna ta hänsyn till detta.

### **1.3 Syfte och avgränsning**

Rapportens huvudsyfte är att identifiera och värdera skillnader mellan två överbyggnadsalternativ, betong- och asfaltbeläggning, vad gäller deras livscykelkostnad och samhällsekonomiska effekter.

Den kunskap och erfarenhet om styva beläggningar som finns i Sverige men även utomlands, främst Tyskland och USA, skall sammanställas. Beräkningar i rapporten skall påvisa skillnad i deformationer mellan en flexibel och en styv beläggning. Respektive alternativ skall även jämföras med avseende på den tekniska livslängden, genom att beräkna ökning av ingående lagars tjocklek.

Fokus skall främst ligga på uppkomna effekter och kostnader för samhället till följd av byggnation och användande av en väg. Mindre tyngd läggs på anläggnings- och underhållskostnader då dessa idag redan är väl belysta ämnen.

### **1.4 Metod**

Jämförelsen utfördes bland annat med hjälp av framtagna fakta från föregående examensarbeten. Den teoretiska bakgrunden inhämtades genom litteraturstudie inom ämnet, med tidigare utredningar och rapporter som grund. Ett frågeformulär skickades inledningsvis till delar av Tyskland och USA för att ta del av erfarenheter från dessa länder, se Bilaga 1 och Bilaga 2.

Den samhällsekonomiska modellen 2Ö uppdaterades med nya forskningsrön om samhällskostnader samt grova investeringskostnader. 2Ö analyserades även med avseende på känslighet för förändrade förhållanden, främst tätare eller glesare underhållsintervall.

För att beräkna permanenta deformationer på 2+1-vägar med asfaltbeläggning användes den finita elementmodellen VägFEM, se Bilaga 6, Bilaga 7 och Bilaga 8. Dimensioneringsprogrammet PMS Objekt nyttjades för att beräkna en ökning av asfaltbeläggningens tjocklek och därmed förlängning av dess tekniska livslängd, se Bilaga 3.

### **1.5 Arbetsupplägg**

Ett första möte hölls tillsammans med Carl-Gösta Enocksson, Anders Huvstig och Tomas Winnerholt, alla tre från Vägverket, där en diskussion fördes om examensarbetets huvudmål. Resultatet från mötet blev att livscykelkostnadsmodellen 2Ö skulle uppdateras och utvecklas vidare. Även erfarenheter från betongvägar

utomlands samlades in genom ett utskick av brev med frågeformulär till Tyskland och USA.

Det andra mötet hölls med Anders Huvstig och Tomas Winnerholt där utkast till frågeformulären gick igenom och diskuterades. Frågeformuläret färdigställdes och skickades ut till några olika delar i Tyskland och USA.

En litteraturstudie inom det breda ämnesområdet tog vid samt utvärdering och sammanställning av litteratur från Tyskland. Ett omfattande litteraturmaterial erhöles från såväl Tomas Winnerholt som Anders Huvstig.

Under litteraturstudien hölls även ett möte med Anders Huvstig och Lars Wikander, Volvo, där grunderna gavs för beräkning av permanenta deformationer i bitumenbundna lager med hjälp av finita elementmetoden VägFEM.

De samhällsekonomiska kalkylmodellerna MNV, 2Ö och "LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt" analyserades och fördjupades i. 2Ö uppdaterades med avseende på investerings-, samhälls- och miljökostnad. Till 2Ö lades även möjligheten att räkna med kombinerade beläggningar liksom möjligheten att beräkna bränslebesparing och medföljande minskning av koldioxidutsläpp. Uppdateringen innebar även en genomgång av 2Ö där hänvisningar till insamling av indata aktualiserades.

När 2Ö var uppdaterad utfördes en känslighetsanalys av modellen. I den analysen beräknades främst de kostnader som uppkommer när en vägs underhållsstrategi förändras eller behöver modifieras. Då känslighetsanalysen var utförd sammanställdes resultatet och slutsatser kunde dras.

## 2 Litteraturstudie

### 2.1 Betongvägar i Sverige

Betongvägar har funnits i Sverige sedan lång tid tillbaka. 1926 öppnades Lundavägen mellan Malmö och Lund och var då den längsta betongvägen i Sverige med sina 2200 m. Lundavägen var bara en början på en expansion av det svenska betongvägnätet som var som störst under 1930-talet och efter andra världskriget. Betongvägarna byggdes fram till år 1972 med kontinuerligt armerade betongplattor med fogavstånd på upp till 17 m. Denna konstruktion visade sig dock inte vara optimal. Vägar av denna typ var mycket skadebenägna och inventeringar fastslog att skadorna bland annat berodde på dålig vägöverbyggnad, ingen eller dålig cementstabilisering under fogarna, för långa betongplattor med fogrörelser som följd och otillräckliga fogunderhåll. Skadorna resulterade inte bara i kostnader för Vägverket, utan drabbade också trafikanterna negativt i form av det ökända ”fogdunket”, NVF (1985). Bristen på ekonomiska medel till upprustning av de gamla betongvägarna ledde till fortsatt skadebildning. Detta resulterade i så stora skador på dessa vägar att den mest ekonomiska lösningen var att lägga över dem med asfalt, NVF (1989).

Under 1970-talet byggdes två större betongvägar, E6 Malmö – Vellinge 1972 och E4 Väla – Hyllinge 1978. Lärdom från misstagen med de tidigare betongvägarna gjorde att dessa vägar konstruerades enligt en modernare princip än vad som använts tidigare. Istället för långa kontinuerligt armerade plattor användes oarmerade betongplattor på ett bärlager av cementstabiliserat grus (CG) och ett förminskat fogavstånd till ungefär 5 m, NVF (1985). Resultatet av konstruktionsförändringen blev betydligt skadefriare betongvägar med god bärighet, dock uppkom problem med spärrtillväxt på grund av dubbdäcksanvändande, Petersson (1990).

Under 1980-talet byggdes det i Sverige inga betongvägar. Men en ökande trafikmängd och belastning på det svenska vägnätet tillsammans med betongvägarnas förbättrade konstruktioner jämfört med tidigare resulterade i ett återigen växande intresse för betongvägar under sent 1980-tal, Vägverket (1997). Förbättringar av konstruktionerna gällde till största del betongens hållfasthet och motstånd mot dubbdäcksslitage. Den ökade hållfastheten medförde att konstruktionens tjocklek kunde minskas, detta medförde dock inte önskad minskning av deformationerna varför dymlingar lades in i fogarna för att uppnå en bra lastöverföring mellan plattorna, Petersson (1990). Två provvägar med betongbeläggning byggdes för att skapa erfarenhet och utforma allmänna tekniska beskrivningar för betongvägar. Den första av de två provvägarna uppfördes som anslutning mellan E4 och Arlanda flygplats år 1990. Den andra byggdes i Halland på väg E6 utanför Falkenberg, delen Heberg – Långås och var färdigbyggd under 1993. Året efter var de allmänna tekniska beskrivningarna färdigställda, Vägverket (1997). Under 1996 öppnades ytterligare en betongväg utanför Falkenberg, denna gång delen Fastarp – Heberg.

Under 1996 och 1997 gjordes av Vägverket en utredning benämnd ”Översyn betongvägsalternativ”. Syftet med utredningen var bland annat att se över hur val mellan olika vägkonstruktioner hittills gått till i olika regioner runt om i landet och om någon eventuell förfördelning av asfaltbeläggning skett framför betongbeläggning. Utredningen bygger på svar från en enkät som skickades ut till de fem sydligaste regionerna i Sverige där betongkonstruktioner på grund av klimatet skulle kunna

tänkas vara aktuella. Som en del av utredningen utvecklades även ett beräkningshjälpmedel för att jämföra kostnadsskillnader mellan två olika överbyggnader. Modellen benämnd 2Ö bygger på samma princip som sin föregångare MNV, Vägverket (1997).

Som ett resultat av utredningen togs rekommendationer fram inför framtiden. Dessa rekommendationer gällde bland annat hur val och jämförelser mellan olika beläggningar borde gå till, men även hur regionerna skulle agera i framtida projekt. Några av rekommendationerna var enligt följande, Vägverket (1997):

- Alla regioner skall använda sig av samma bedömnings- och värderingsgrunder.
- Överbyggnadskonstruktionerna som jämförs skall ha tekniskt jämförbara utformningar.
- Fler kostnader än investeringskostnaden bör beaktas vid val mellan olika överbyggnadsalternativ.
- Den tekniska livslängden skall vara lika för alla jämförda överbyggnadstyper. Är detta inte fallet skall överbyggnaden med kortast livslängd iståndsättas till att uppnå lika lång livslängd.
- Värdering av miljöpåverkan som exempelvis återvinningsmöjligheter av bundet material och bullerpåverkan skall utvecklas vidare.

Den första och hittills enda vägen som upphandlats som betongväg med konkurrens mot asfaltbeläggning är E20 mellan Eskilstuna och Arphus som öppnades 1999, Vägverket (2007a). Senaste betongvägen att byggas i Sverige är E4 mellan Uppsala – Mehedeby som invigdes hösten 2007, Vägverket (2007b).

## 2.2 Betongvägar i Tyskland

För att få en uppfattning av andra länders erfarenheter av betongvägsbyggnation skickades ett frågeformulär ut till några utvalda områden i Tyskland och USA. Båda dessa länder ligger jämfört med Sverige långt före i erfarenhet och utveckling av betongvägar. Brevet och dess frågeformulär återfinns som Bilaga 1 och Bilaga 2. Detta kapitel bygger specifikt på den litteratur och de svar vi fått från Baden-Württemberg i Tyskland, då den information vi fick från USA var begränsad.

I Tyskland används så kallade Cost Benefit-analyser som möjliggör beskrivning av en beläggnings tekniska livslängd i samhällskostnader. Inför varje nytt vägprojekt är det viktigt att studera hur konstruktionen antas bete sig under hela livstiden. Liksom i Sverige diskonteras totalkostnaderna, vilka utgör de viktigaste indikatorerna för det slutgiltiga beslutet, Pichler (1994). Inför varje nytt projekt tas vanligtvis enbart hänsyn till investeringskostnader eller investerings- och underhållskostnader, men det är viktigt att vara objektiv när val av beläggning skall göras, Ressel, Schmuck (1992).

Väghållaren får utöver nybyggnadskostnader även följdskostnader för samhället i form av olyckskostnader samt trafikantkostnader som innefattar restidsfördröjnings- och fordonshållarkostnader. En ny väg används dock mer än en gammal väg, något som

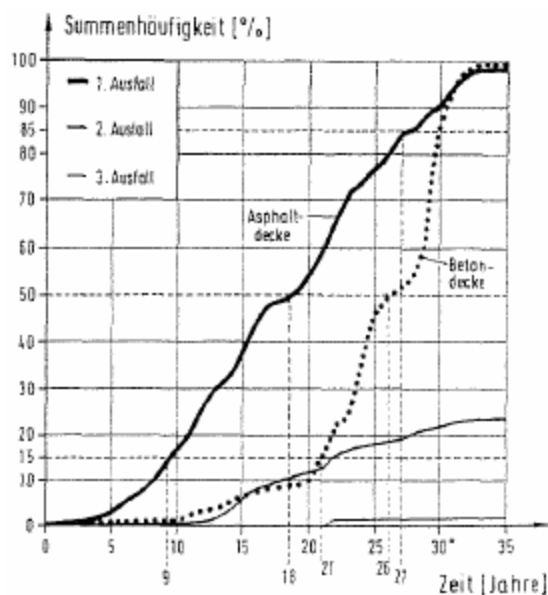
ger ett tillskott i kostnadskalkylen i form av ökad servicemöjlighet. För att den totala livscykelkostnaden ska utvärderas bör en enhetlig och allomfattande beräkningsmodell finnas, Huvstig (1997).

En förebyggande underhållsåtgärd är tre till fyra gånger så kostnadseffektiv som en åtgärd som utförs när det är precis nödvändigt. Om förebyggande åtgärder görs för asfaltvägar förlängs underhållsintervallen med fem till sex år, medan betongvägars underhållsintervall kan förlängas med nio till tio år, Geoffroy (1996).

För att ta reda på vilken underhållsstrategi som krävs används vanligtvis Pavement Management System (PMS) i Tyskland. Dess främsta uppgift är att fastställa tidpunkt då det är bäst att utföra en underhållsåtgärd för att på så sätt möjliggöra längre livslängd och lägre kostnader. Den information som PMS-programmet ger kräver datorstödda system för att få en överblick av underhållsbehoven. Dessutom bör informationen tolkas av kunnig personal, vilket gör personalen till en del av själva managementsystemet. Resultaten av PMS-programmet ger en framtida beskrivning på tillståndsutveckling och ligger därför till grund för 1- respektive 5-årsintervallet för underhåll. Det ger även påvisning av vilka effekter annorlunda underhållsstrategier kan få. På det viset blir det möjligt för väghållaren att ge bakgrund inför framtida politiska beslut.

Aktuellt, objektivt och i enlighet med tyska normer görs tillståndsinformation begriplig genom insamling och uppskattning av vägarnas tillstånd. Informationen används för att planera korta och medellånga underhållsintervall på ett individuellt vägavsnitt eller på en del av vägnätet. Detta görs regelbundet i fyra olika delar; jämnhet, friktion, vägytans tillstånd samt uppskattning av åtgärdsstorlek.

Orsaker till underhåll på asfaltbeläggningar är i 55 % till 86 % av fallen främst spårdeformationer medan betongbeläggningar även har sprickbildning på vägytan som orsak. Ackumulerade deformationskurvor har sammanställts för respektive beläggnings deformationer under dess livslängd. Beläggningsarnas 15 % -, 50 % - samt 85 % -percentil har sedan använts för att jämföra nödvändiga underhållsintervall, se Figur 2.1, Ressel, Schmuck (1992).

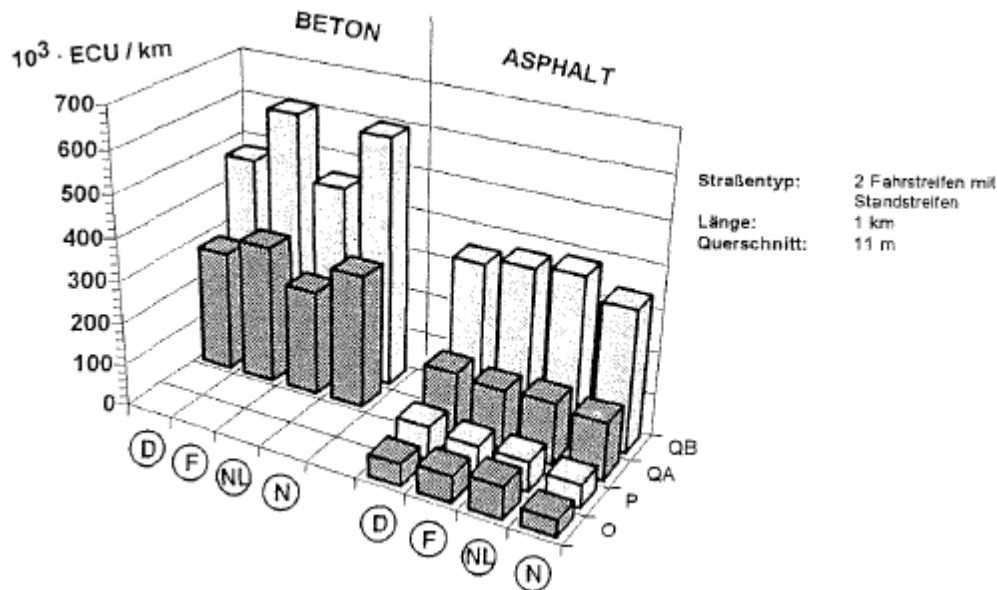


Figur 2.1 Jämförelse mellan deformationsfördelningar för asfaltbeläggning respektive betongbeläggning, Ressel, Schmuck (1992).

Vid summering av deformationskurvorna för vardera beläggningen, se Figur 2.1, ser vid en första anblick betongbeläggningen mer fördelaktig ut. Brott på betongvägar kan dock kräva mer tidskrävande renoveringar och högre samhällskostnader som följd, Ressel, Schmuck (1992).

Betongbeläggningar kräver normalt åtgärder för exempelvis ytstruktur och råhet, samt nivåutjämning som uppkommit av sättningar. Äldre betongvägar med plattlängder över sex meter behöver även underhållas för diverse brottfenomen. Enskilda plattor behöver vanligtvis en årlig plattrenovering efter det sjunde året vägen varit i bruk, Ressel, Schmuck (1992).

De underhållsåtgärder som tas med i undersökningen är för asfaltbeläggningar "Nykonstruktion av slitlager" (O), "Bygga tjockare slitlager" (P), "Fräsning och nykonstruktion av slit- och bindlager" (QA) samt "Rivning och nykonstruktion av alla bituminösa lager" (QB). Betongbeläggningar får i strategimodellen endast åtgärder i form av (QA) och (QB), vilket innebär "Uppbrytning och rekonstruktion av betongslitlager" respektive "Uppbrytning och rekonstruktion av alla cementbundna lager". Undersökningen visar, enligt Figur 2.2, att betongbeläggningar kostar minst att underhålla i Nederländerna, medan asfaltbeläggningar är minst kostsamma att underhålla i Norge, Ressel, Schmuck (1992).



Figur 2.2 Underhållskostnader för betong- respektive asfaltbeläggning i Tyskland, Frankrike, Nederländerna samt Norge, Ressel, Schmuck (1992).

När beläggningsens totala livscykelkostnad studeras visar undersökningen att asfaltbeläggningar är billigast att bygga i Tyskland, Frankrike och Norge, medan Nederländerna har approximativt likställda beläggningar, Ressel, Schmuck (1992).

## 2.3 Livscykelkostnadsanalys

För att jämföra olika alternativ och valmöjligheter med varandra vid byggande av en väg kan en livscykelkostnadsanalys, LCCA, göras. En LCCA tar hänsyn till vägprojektets totala kostnad under hela dess livslängd, vilket innefattar kostnader för investering, underhåll samt påverkan på samhället och optimerar projektets lönsamhet.

I en livscykelkostnadsanalys definieras livslängden för en konstruktion utifrån två synvinklar, en ekonomisk livslängd och en teknisk livslängd. Den ekonomiska livslängden kan ses som ett mått på optimal användningstid, alltså den tid då det är gynnsamt att utnyttja en gjord investering. Teknisk livslängd innebär istället den tekniskt möjliga tid då det är möjligt att nyttja investeringen. Inom vägbyggnad kan den tekniska livslängden definieras som den tidsperiod då en normalt underhållen konstruktion uppfyller de från början ställda funktionskraven, Degerman, Haraldsson (2003).

Vid val av beläggning för en ny väg övervägs många gånger endast de direkta kostnaderna, det vill säga investeringskostnaderna. Sverige har en tradition i att bygga vägar med bituminös beläggning, vilket gör att alltid samma konstruktioner och material används och förhindrar val av annat beläggingsmaterial, Löfsjögård (2003). Då ett vägprojekt är ett stort ekonomiskt projekt med lång livslängd är det viktigt att se över alla tänkbara kostnader som vägen ifråga kan komma att ge upphov till jämfört med nollalternativet, det vill säga alternativet att ingen väg byggs.

Det finns ett antal ekonomiska begrepp som är viktiga inför en livscykelkostnadsanalys. Dessa beskrivs i kommande kapitel.

## 2.4 Ekonomiska termer

### 2.4.1 Kalkylränta

Den stora kostnadsinvestering som ett vägprojekt innebär medför en del ekonomiska risker. De största riskerna är enligt Degerman, Haraldsson (2003):

- Kapitalet kan ge avkastning vid en alternativ användning, (alternativkostnad).
- Pengarnas värde minskar, (inflation).
- Osäkerhet vid uppskattning av framtida kostnader, (risk).

Vid byggnation av en väg sammanfaller inte alla kostnader vid ett och samma tillfälle. De infaller oregelbundet under hela livslängden på grund av bland annat underhållsåtgärder och påverkan på samhället. För att ändå kunna jämföra kostnader med varandra med hänsyn till alternativkostnad, inflation och risk används kalkylränta för att räkna om framtida kostnader till en och samma tidpunkt, Degerman, Haraldsson (2003). Vägverket använder i sina beräkningar idag en kalkylränta på 4 %, SIKA (2002). Kalkylräntan i sig förutsätter även en vinst i minskade samhällskostnader, Huvstig (2007).

### 2.4.2 Nuvärde

En nuvärdesberäkning är en omräkning av framtida kostnader till en viss tidpunkt, exempelvis dagens nivå, nuvärdet, SIKA (2002). Med hjälp av en nuvärdesfaktor, se ekvation (2.1), räknas den framtida kostnaden om enligt ekvation (2.2).

$$\text{Nuvärdesfaktor} = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \quad (2.1)$$

$$\text{Nuvärde} = \text{Investeringskostnad} \cdot \text{Nuvärdesfaktor} \quad (2.2)$$

där:

$r$  = kalkylränta

$n$  = ekonomisk livslängd

### 2.4.3 Annuitet

Annuitet innebär att summan av investeringens avskrivningar och ränta under den ekonomiska livslängden räknas om till årligen lika stora kapitalkostnader. Detta görs med hänsyn till kalkylräntan och investeringens livslängd, se (2.3) och ekvation (2.4). Att räkna med annuitet är fördelaktigt när två investeringar med olika livslängd skall jämföras, Degerman, Haraldsson (2003).



$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (2.3)$$

$$\text{Annuitet} = \text{Investeringskostnad} \cdot \text{Annuitetsfaktor} \quad (2.4)$$

där:

$r$  = kalkylränta

$n$  = ekonomisk livslängd

#### 2.4.4 Restvärde

Om den tekniska livslängden är längre än den ekonomiska livslängden kan ett restvärde tas med i den ekonomiska kalkylen. Detta restvärde ska då representera återstående nyttor och kostnader, diskonterade till nuvärdet, SIKÅ (2002). När två investeringsalternativ har olika teknisk livslängd kan de göras jämförbara genom att rekonstruera ett av alternativen, exempelvis genom att utföra en åtgärd som återställer konstruktionen till dess ursprungliga skick, Degerman, Haraldsson (2003).

#### 2.4.5 Nettonuvärdeskvot

Lönsamheten vid investering av ett vägobjekt mäts i nettonuvärdeskvot (NNK). Detta är ett mått på hur mycket bättre samhällsekonomiskt vägnätet blir jämfört med om ett projekt inte genomförs, Säisä et al. (2005). NNK definieras enligt ekvation (2.5).

$$NNK = \frac{B - C}{C} \quad (2.5)$$

där:

$B$  = nuvärdet av projektets vinster

$C$  = nuvärdet av projektets kostnader

Nettonuvärdeskvoten bör vara positiv för att investeringen skall anses lönsam, Säisä et al. (2005).

### 3 Investeringskostnad

Investeringskostnaden för ett vägobjekt innefattar de totala kostnaderna för projektering, material och byggnation av vägen.

Marknaden för vägmateriel ändras kontinuerligt. Kostnader för konstruktionsmaterial kan skilja mycket åt mellan olika projekt, men även mellan olika entreprenörer. Detta faktum gör det svårt att skapa en exakt bild av skillnader i investeringskostnad för asfalt- och betongbeläggningar.

En faktor som försvårar jämförelsen mellan betong- och asfaltbeläggning är att de dimensioneras för olika tekniska livslängder. En betongbeläggning dimensioneras för 40 år, där hänsyn tas till diverse utmattnings- och sprickkriterier. Bitumenbundna lager konstrueras med samma kriterier, men med livslängden 20 år. I Kapitel 3.3 utförs en grov beräkning gällande kostnader då asfaltbeläggnings tjocklek ökas för att nå en teknisk livslängd likvärdig en betongbeläggning.

För att säkerställa en god funktion under vägens livslängd kan det också vara av värde att ta till sig konceptet Aktiv Design. Ur väghållarens synpunkt ligger principen med Aktiv Design i att en högre investeringskostnad kan ge lägre framtida underhållskostnader. Kostnaden för att exempelvis öka bärigheten tjänas in under vägens livslängd i högre kvalitet och mindre underhåll, Huvstig (2007). Konceptet Aktiv Design beskrivs mer ingående i Kapitel 3.4.

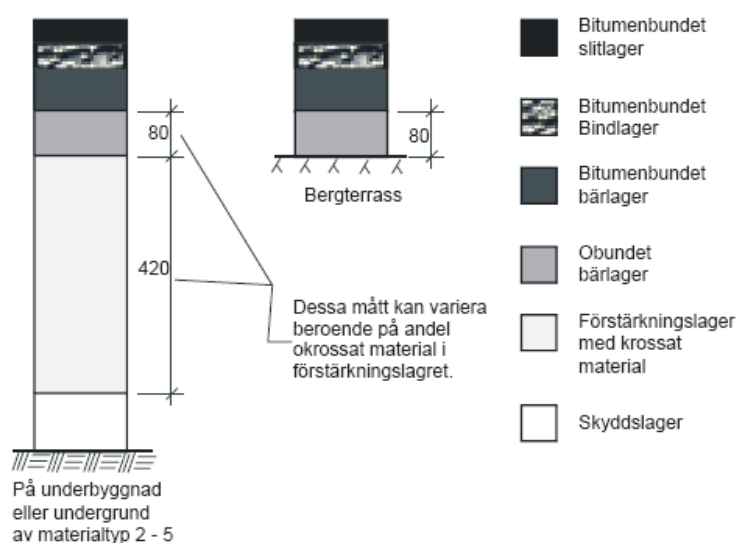
Det finns överbyggnadsalternativ där både betong och asfalt används i överbyggnaden. Exempel på detta är cementbitumenöverbyggnad (CBÖ), där slit- och bindlagret utgörs av bitumen och det bundna bärlagret av cementstabiliserat grus (CG), eller betongöverbyggnad (BÖ) med bitumenbundet bärlager och cementbundet slitlager. I följande analys kommer dock investeringskostnad för beläggningar som är renodlat bituminösa respektive uppbyggda av cement att behandlas. De materialkostnader som redovisas i Kapitel 3.1 och Kapitel 3.2 bör ses som ungefärliga, inkluderar både material och arbetsutförande samt ligger i 2007 års prisnivå.

#### 3.1 Investeringskostnad för asfaltbeläggning

Vägar med asfaltbeläggning är som tidigare nämnts i stor majoritet i det nationella vägnätet i Sverige idag. Asfaltvägarnas konstruktion är i de flesta fall uppbyggda med följande lager:

- Bitumenbundet slitlager
- Bitumenbundet bindlager
- Bitumenbundet bärlager
- Obundet bärlager
- Förstärkningslager

Då konstruktionen Grusbitumenöverbyggnad med bindlager, (GBÖb), se Figur 3.1, är en vanligt förekommande överbyggnad på svenska högtrafikerade vägar idag kommer följande analyser och beräkningar att avgränsas till denna konstruktion.



Figur 3.1 Grusbitumenöverbyggnad med bindlager, GBÖb, Vägverket (2005).

Vid utläggning av asfalten i de bundna lagren används en asfaltläggare varefter asfalten packas med hjälp av en vält. I klimatzon 1 krävs ett tjockare förstärkningslager för att uppnå samma bärighet i en asfaltöverbyggnad jämfört med en överbyggnad av betong, Flies, Lundberg (2007). För övriga klimatzoner är det tjälen som blir dimensionerande, vilket innebär att det inte blir någon skillnad i tjocklek på förstärkningslagret mellan asfalt- och betongkonstruktionerna, Vägverket (2005).

Prisuppgifter för de ingående lagren i en GBÖb redovisas i Tabell 3.1, där priserna kommer från Hagert (2007) och Jansson (2007).

Tabell 3.1 Material- och arbetskostnader för GBÖb, enligt Hagert (2007) och Jansson (2007).

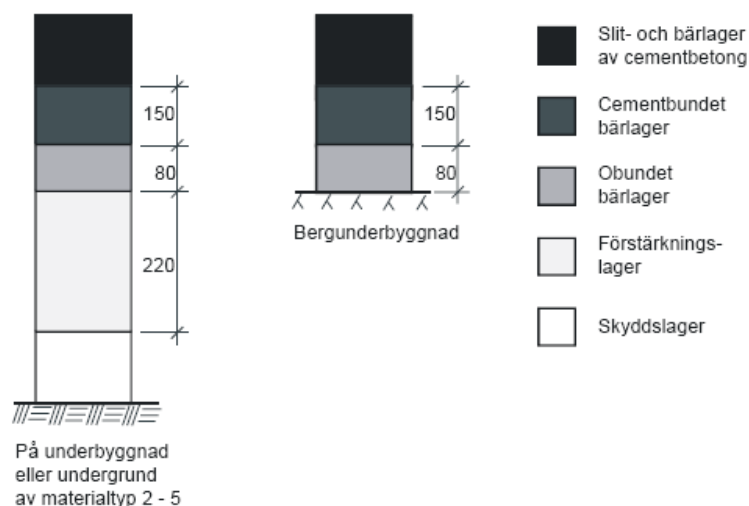
GBÖb	
	Pris [kr/m <sup>3</sup> ]
Slitlager (ABS)	1 600
Bindlager	1 300
Bärlager (AG)	1 100
Obundet bärlager	400
Förstärkningslager	250

### 3.2 Investeringskostnad för betongbeläggning

En betongöverbyggnad är uppbyggd på liknande sätt som en asfaltöverbyggnad, skillnaden ligger i de bundna lagren enligt;

- Slitlager av cementbetong
- Bundet bärlager av cementgrus
- Obundet bärlager
- Förstärkningslager

En vanlig konstruktion för betongvägar i Sverige är den oarmerade fogade betongbeläggningen, BÖ. En BÖ är uppbyggd enligt Figur 3.2.



Figur 3.2 Betongöverbyggnad BÖ, Vägverket (2005).

Det cementstabiliserade gruset (CG) i betongöverbyggnadens bärlager kan tillverkas och läggas ut med två olika metoder. Den första metoden är enklast och minst kostsam; ballasten läggs ut på vägkroppen och vatten och cement blandas in med hjälp av frästrustning. Då problem som oönskad sprickbildning kan uppstå med platsblandad CG som bärlager kan geotextil läggas mellan de båda cementbundna lagren för att minska vidhäftningen mellan dem, Flies, Lundberg (2007). Utförandet med geotextil används dock inte i Sverige utan är mer vanligt i Tyskland, Huvstig (2007). Justeringar sker sedan med väghyvel och en vält packar lagret. Vid den andra, mer kostsamma metoden tillverkas cementgruset vid en stationär eller mobil betongfabrik och transporteras sedan till platsen för utläggning med en glidformsläggare. Justeringar sker likaså här med väghyvel och vält, Vägverket (2005).

Ovanpå det bundna bärlagret läggs sedan ett slitlager som skall vara tåligt och slitstarkt. Slitlagret utgörs i betongbeläggningar av cementbetong som tillverkas vid en stationär eller mobil betongfabrik och transporteras till platsen. Cementbetongen tippas på det cementbundna gruset och läggs ut med glidformsläggare, Vägverket

(2005). Betonglagret sågas sedan till plattor, detta för att förhindra ofrivillig sprickbildning och möjliggöra att plattorna kan ta upp laster. Sågning vid fel tidpunkt under konstruktionsstadiet kan i framtiden leda till ett större underhållsbehov för en betongväg, Löfsjögård (2003). En för tidig sågning gör att betongbeläggningsflisan sig, medan en sen sågning kan leda till en okontrollerad sprickbildning i beläggningsflisan, Huvstig (2007). Längden på plattorna bör inte överstiga 5 meter, och fogar skall sågas såväl i tvär- som i längsled. Mellan plattorna ingjuts en sorts armeringsjärn kallade dymlingar, vilka överför tvärkrafter mellan plattorna, Vägverket (2005). För att bland annat förhindra vatteninträning läggs fogmassa eller foglister i fogarna. Ballasten i betongbeläggningsflisan kan i konstruktionsskedet friläggas, vilket görs för att öka friktionen och dämpa vägbanans buller, Flies, Lundberg (2007).

Idag finns ingen glidformläggare för betongbeläggning i Sverige, dessa tjänster köps istället in av utländska entreprenörer från till exempel Tyskland, Nederländerna och Belgien, Löfsjögård (2003). Då en glidformläggare är kostsam vid inköp krävs det en kontinuerlig användning av den för att det skall bära sig ekonomiskt. Därför är det i dagsläget inte aktuellt att köpa in en större glidformläggare, likt den som användes vid nybygget av E4 Uppsala – Mehedeby. Om kombinerade beläggningar på motorvägar blir mer aktuellt kan det däremot finnas ett värde i att köpa in en mindre betongläggare, då denna även kan tjänstgöra som asfaltläggare, Jansson (2007).

Priserna i Tabell 3.2 inkluderar dymlingar, friläggning av ballast, sågning och foglister, samt utläggning av de cementbundna lagren med läggare. Prisuppgifterna kommer från Hagert (2007) och Jansson (2007).

Tabell 3.2 Material- och arbetskostnader för betongväg, enligt Hagert (2007) och Jansson (2007).

<b>BÖ</b>	
	Pris [kr/m <sup>3</sup> ]
Slitlager (CB)	975
Bundet bärlager	800
Obundet bärlager	400
Förstärkningslager	250
Foglister [kr/m <sup>2</sup> ]	50

### 3.3 Ökning av en asfaltbeläggningens tekniska livslängd

Eftersom den tekniska livslängden som tidigare nämnts är olika för betong- och asfaltbeläggningar genomförs en uppräkningsprogrammet PMS Objekt. Tanken med denna beräkning är att likställa de båda beläggningarnas tekniska livslängd. Beräkningen kan utföras på några alternativa sätt, exempelvis:

- Beläggningen förstärks med cirka 10 cm extra bitumen efter 20 år.
- Alla de bitumenbundna lagren byts ut efter 20 år.

Utöver dessa alternativ är det även möjligt att överdimensionera tjockleken av de bitumenbundna lagren redan vid byggnationen, vilket enligt en uppskattning handlar om cirka två till tre cm extra bituminöst lager, Enocksson (2007).

En uppskattning av den extra tjockleken på en asfaltbeläggning har beräknats med hjälp av programmet PMS Objekt. Datorprogrammet PMS Objekt beräknar bärigheten på en vald överbyggnad utifrån den trafikbelastning i form av antalet ekvivalenta standardaxlar som antas påverka vägen, i enlighet med svenska normer, Vägverket (2005).

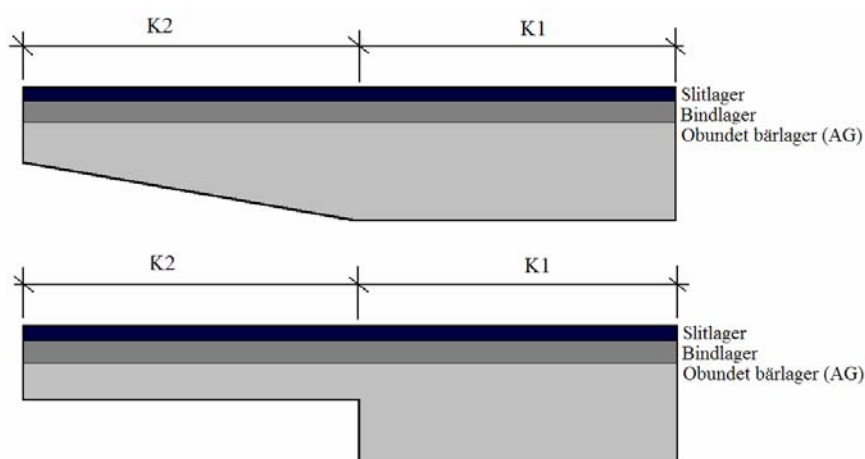
Beräkningarna utförs för en tänkt motorväg med fyra körfält och överbyggnadstypen GBÖb. Lagertjocklekar för överbyggnaden har dimensionerats utifrån en antagen trafikbelastning från tunga fordon med 1 500 tunga fordon per årsmedeldygn, Enocksson (2007), samt för klimatzon 1 och klimatzon 2. Antalet ekvivalenta standardaxlar har sedan dubblerats för att se vilka skillnader i lagertjocklekar detta ger upphov till. Grovt sett skall ett dubblerat antal standardaxlar motsvara en dubbelt så stor belastning under en och samma tidsperiod, det vill säga en uppskattning av en dubbelt så lång livslängd.

Antalet ekvivalenta standardaxlar som trafiken ger upphov till i respektive körfält redovisas i Tabell 3.3. Vidare har den årliga trafikens ökning antagits vara konstant 3 % och fördelas till 90 % i K1 och resterande 10 % i K2, Enocksson (2007). Undergrunden antas bestå av lera i de båda klimatzonerna.

*Tabell 3.3 Antalet ekvivalenta standardaxlar som belastar K1 och K2 vid enkel respektive dubbel trafikbelastning.*

	K1	K2
SA	27 279 177	3 030 576
2*SA	54 550 354	6 061 152

Beräkningarna har utförts för K1 och K2 för sig eftersom mindre andel tung trafik belastar K2. Lageruppbyggnaden blir onödigt kostsam för K2 om det dimensioneras med samma tjocklek som K1. För vägar med två körfält dimensioneras vanligtvis överbyggnaden enligt Figur 3.3.



Figur 3.3 Schematisk skiss över skillnaden på lagertjocklekar för K1 respektive K2.

Då beräkningen ska ses som en grov uppräknig av asfaltbeläggnings konstruktion för en enkel respektive dubbelt belastad väg kommer varken någon "övergångskil" mellan K1 och K2 eller tjocklek på körbanans vägren att beräknas. De bitumenbundna slit- och bindlagrens tjocklek kan antas till 40 mm respektive 50 - 60 mm medan det bitumenbundna bärlagret tillåts variera i tjocklek vid utvärderingen, Enocksson (2007).

De beräknade tjocklekarna för de bitumenbundna lagren i K1, K2 beroende av klimatzon kan ses i Tabell 3.4. I Bilaga 3 redovisas beräkningen från PMS Objekt för K1 och K2 i klimatzon 1.

Tabell 3.4 Totalt beräknad tjocklek i mm för bitumenbundna lager i GBÖb, klimatzon 1 och 2 samt för enkel och dubbel trafikbelastning.

	Klimatzon 1		Klimatzon 2	
	K1 [mm]	K2 [mm]	K1 [mm]	K2 [mm]
SA	210	130	210	140
2*SA	230	160	230	150

Som resultaten visar behövs de bitumenbundna lagren endast ökas med ett par centimeter för att vidhålla tillräcklig bärighet när antalet ekvivalenta standardaxlar dubbleras. Beräkningarna påvisar ingen skillnad i lagertjocklek för K1 i respektive klimatzon, dock en viss skillnad i K2. Den fiktiva vägen hade i klimatzon 2 inga problem att klara bärigheten med de lagertjocklekar som föreslogs i PMS Objekt. Där är det kravet på minimalt tjällyft som blir dimensionerande vilket ökar tjockleken på de obundna lagren.

Då skillnaden på lagertjocklekarna inte blev så stora som förväntats utvecklas inte detta resonemang vidare.

### 3.4 Aktiv Design

En högre kostnad i investeringsskedet kan med Aktiv Design ge lägre underhållskostnader sett över vägens ekonomiska livslängd. Med högre krav på vägkroppens bärighet kan beläggningstjocklekarna minskas och därmed även investeringskostnaden, Huvstig (2007).

Konceptet med Aktiv Design innebär bland annat att beställaren utfärdar incitament till de entreprenörer som i konstruktionsskedet preparerar underliggande lager till att hålla ett visst värde. Dessa krav kan exempelvis vara bättre packning av de obundna materialen eller en bra stabilisering av terrassmaterialet. Tanken är att belöningen skall driva entreprenörer till att införskaffa kunskap samt utbilda och engagera sina arbetare. Incitamentet är även tänkt att sporra och sätta stolthet i entreprenören och dess arbetstagares arbete, samtidigt som väghållaren skall kunna spara in underhållskostnader, en ”vinna-vinna”-situation för båda parter, Huvstig (2007).

Oavsett val av slitlager kan en väl utförd packning av underliggande lager säkerställa mindre spårdeformationer under vägens tekniska livslängd. Då asfaltbeläggningen är flexibel och påverkad av både temperatur och trafikmängd ökar risken för spårbildning. Polymermodifierad asfalt kan även vara av intresse att ta med som alternativ i kostnads kalkylen, då känsligheten för spårbildning minskas. Om sättningarna i vägkroppen minskar, minskar även risken för knäckning i styva beläggningar. På senare tid har forskning framkommit som visar att ett väl utfört byggskede, med exempelvis ökad bärighet på underliggande lager leder till minskade deformationer, Huvstig (2007).

När det är möjligt att beräkna framtida spårbildning är det även möjligt att lägga upp strategin för framtida underhållsintervall och beräkna medföljande kostnader. Den norm för dimensionering av vägar som används i Sverige idag är ATB VÄG 2005, Vägverket (2005). Den bygger på att ingående material i vägkroppen skall uppfylla vissa minimikrav. Dock är det idag inte möjligt att beräkna vägens framtida nedbrytning, Huvstig (2007).

Utvecklingen inom vägteknik är långsammare än exempelvis inom maskinindustrin. Av gammal vana används äldre utrustning och beprövade metoder vid vägbyggnationer, eftersom det idag inte lönar sig för entreprenör att bedriva teknisk utveckling. En annan orsak för långsam utveckling kan vara brist på kunskap då resultat från forskning sällan översätts till mer lättförståelig dokumentation. Genom att ta till sig konceptet Aktiv Design kan utvecklingen gå framåt, Huvstig (2007).



## 4 Underhållskostnad

Ett drift- eller underhållsarbete medför en kostnad för väghållaren, samtidigt som olycksrisken ökar för såväl trafikanten som vägarbetaren. Vanligt förekommande kostnader är upphandling av underhållsentreprenörer eller utformning av vägavstängningar, Bolling et al. (2006). Väghållarens underhållskostnader kan minskas om möjligheten att leda om trafiken finns, eftersom vägarbetarna då kan arbeta ostört, Säisä et al. (2005).

Belägningens tillstånd och överbyggnadens bärighet påverkar det intervall för underhåll som fordras. Vilket underhåll som krävs beror inte enbart på belägningens ålder utan även på vilken trafik som belastar vägbanan, den tid trafiken belastat vägbanan och vilket klimat som råder i området kring vägbanan, Degerman, Haraldsson (2003). Utöver detta påverkas kostnaden för underhåll även av den beständighet den valda åtgärden ger.

Den strategi som väghållaren skall ha gällande underhåll kan variera. Grovt sett kan strategin vara antingen defensiv, med längre underhållsintervall och ökade trafikantkostnader som följd, eller offensiv då väghållaren har många och korta underhållsintervall. Den offensiva strategin leder till ökade kostnader för väghållaren, men minskar trafikantkostnaderna. En god idé kan vara välja den underhållsstrategi som ger lägst samhällskostnader, Degerman, Haraldsson (2003).

Vid uppskattning av framtida underhållsinsatser är det viktigt att utföra en känslighetsanalys och se vilka kostnader som uppkommer om åtgärdsintervallen blir tätare eller glesare än vad som förutsätts vid den första uppskattningen. Ökat dubbdäcksanvändande eller ökad andel super-single-axlar kan vara orsaker som kräver ökade underhållsinsatser. Ett annat behov av förändrade underhållsintervall uppkommer om trafikprognoserna slår fel. För att kunna göra en rimlig jämförelse för underhållskostnader krävs att känslighetsanalysen även beaktar olika sorters underhållsalternativ, Vägverket (1997).

Underhåll av vägmarkeringar bör utföras återkommande för att säkerställa en god funktion. I likhet med slitlagrets ljushet och lyster är det viktigt för trafiksäkerheten att vägmarkeringar har tillräcklig reflexion. Skillnader i underhållsbehov av vägmarkeringar bör belysas när en kostnadsanalys mellan två olika överbyggnadsalternativ utförs, Vägverket (2000).

De kostnader för drift och underhåll som redovisas i Kapitel 4.1 och Kapitel 4.2 härstammar från kalkylmodellen ”LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt”, Hagert (2007) och Jansson (2007), vilken beskrivs närmare i Kapitel 6. De priser som redovisas inkluderar både material och utförande och ligger i 2007 års prisnivå.

### 4.1 Underhållskostnad för asfaltbeläggning

Eftersom det svenska nationella vägnätet till största del består av vägar med asfaltbeläggning är erfarenheten av underhållsstrategier för dessa välkända. På grund av bitumens viskösa egenskaper mjuknar de bitumenbundna lagren i vägkroppen och

blir mer deformationskänsliga vid högre lufttemperaturer, exempelvis under sommarmånaderna, Huvstig (2007).

Underhåll som kan förekomma för bitumenbundna lager är bland annat de som följer, Vägverket (2005):

- **Slamförsegling av slitlagret** - Ett nytt bindemedel och krossat finkornigt grus läggs ut på beläggningen för att undvika stensläpp.
- **Ytbehandling** - Ytan förseglas med bitumen och stenmaterial läggs över med tänkt funktion som ett tunt slitlager.
- **Fräsning** - Spårdeformationer fräs bort så vägen får rektangulära hålrum där deformationerna tidigare varit, i vilka ny asfalt läggs
- **Heating/Remixing** - Frästa beläggningsmassor hettas upp och blandas vilket kräver ytterligare stenmaterial och nytt bindemedel.

Asfaltentreprenörer i Sverige har något skiftande prisnivåer, vilket kan göra en kostnadsanalys missvisande, Flies, Lundberg (2007). Kostnadsberäkningen gällande underhåll på en GBÖb utförs i detta examensarbete främst med följande underhållstrategi, se Tabell 4.1, med prisuppgifter från Hagert (2007) och Jansson (2007).

Tabell 4.1 *Underhållsstrategier och tillhörande kostnader för en asfaltbeläggning, från Hagert (2007) och Jansson (2007).*

GBÖb		
År	Åtgärd	Pris [kr/m <sup>2</sup> ]
14	Slitlager K1	84
20	Slitlager K2	84
27	Asfaltgrus K1	84
27	Slitlager K1	84
40	Slitlager K1	64
40	Slitlager K2	64

## 4.2 Underhållskostnad för betongbeläggning

Spårbildning på betongbeläggning uppkommer endast från slitage av dubbdäck. Deformationernas omfattning beror bland annat på hur kanaliserad trafiken är samt vilket klimat som råder. Underhåll och reparation för betongvägar delas upp i två delar; underhåll av fogar samt spårreparation, Löfsjögård (2003). Spårunderhåll utförs vanligtvis då vägbanan har uppnått eller närmar sig Vägverkets krav på maximalt

spårdjup vid 17 mm, något som sällan uppnås på betongvägar under den tekniska livslängden på 40 år. I Sverige delas spårbildning på betongvägar även upp i två delar, nötning initialt och årlig nötning, något som bör tas upp i kostnadsberäkningar, Löfsjögård (2003). Vägar byggda tidigare än 1990-talet med betongbeläggning har krävt spårunderhåll runt var 15 - 20: e år. De provvägar som byggdes i Sverige under 1990-talet har följts upp och analyserats. De svenska provvägarna har haft en genomsnittlig spårtillväxt på upp till 0,6 mm per år utöver initial spårtillväxt, varpå det konstaterats att provvägarna troligtvis inte kommer fordra underhåll som följd av spårdeformationer förrän efter 20 - 40 år av trafikering, Löfsjögård (2003).

En betongväg behöver även periodvis under sin livslängd få dess fogar omfogade. Det intervall som i Sverige används för omfogning av de tvärgående fogarna baseras ofta på praktisk erfarenhet. Användande av foglister kräver underhåll var 10 - 20: e år, till skillnad från användande av fogmassa, som fordrar underhåll dubbelt så ofta, var 5 - 10: e år, Löfsjögård (2003). Då K2 trafikeras av mindre antal tunga fordon kan foglister i detta körfält bytas ut med längre intervall.

I Sverige har det endast byggts oarmerade betongvägar med foglister de senaste åren, detta på grund av fördelen att foglisten kräver mindre underhåll. I följande kostnadsanalys kommer därför kostnaden för byte av armeringsjärn eller byte av fogmassa inte att behandlas. Nedanstående prisuppgifter i Tabell 4.2 kommer från Hagert (2007) och Jansson (2007) och är en fingervisning om ett rimligt underhållsintervall.

*Tabell 4.2 Underhållsstrategier och tillhörande kostnader för en betongbeläggning, enligt Hagert (2007) och Jansson (2007).*

<b>BÖ med CG</b>		
År	Åtgärd	Pris [kr/m <sup>2</sup> ]
20	Omfogning tvärfog (foglist)	30
20	Omfogning längsfog (foglist)	30
40	Slipning K1	60
40	Slipning K2	60
40	Omfogning tvärfog (foglist)	30
40	Omfogning längsfog (foglist)	30

För att en betongväg skall tillhandahålla tillräcklig friktion med en godtagbar bullernivå och säkerhet för trafikanten krävs en strukturbehandling. Den kan ske i form av antingen friläggning av ballast med retarderande medel eller en längsgående slipning på den hårdnande betongbeläggningen med en diamantslip, Vägverket (2005). På fyra av de svenska provvägarna av betong visas på en friktion mellan 0,6 och 0,8, Löfsjögård (2003).

Lossning av vägmarkering orsakas av bristfällig rengöring, avsaknad av eller inte tillräcklig ”priming” samt felaktigt utförande av målningen, Vägverket (2005). Ommålning av vägmarkeringar på vägar byggda med cementbundna lager bör utföras ungefär vart femte år, Vägverket, (2003), något som kan jämföras med asfaltvägar och bör tas med i beräkningarna av livscykelkostnaden. Vid betongvägarna i Halland har det funnits problem med att få vägmarkeringarna att fästa på grund av bristfällig rengöring, vilket beställaren Vägverket drog lärdom av inför konstruktionen av betongvägen i Eskilstuna, Jansson (2007).

## 5 Samhällskostnad

I en livscykelkostnadsanalys kan samhällskostnader sägas vara de kostnader som påverkar alla individer i samhället vid nyttjandet av en väg. Begreppet samhällskostnad är komplext och alla dess ingående beståndsdelar är mer eller mindre knutna till varandra. En utförlig litteraturstudie om de samhällskostnader som kan ingå i en samhällsekonomisk kalkyl har gjorts. Nedan följer en sammanfattning av resultatet. Den fullständiga litteraturstudien återfinns i Bilaga 5.

De effekter, både positiva och negativa, som följer av en viss åtgärd och kan värderas i pengar sammanställs i en samhällsekonomisk kalkyl, SIKÅ (2005). Genom att upprätta samhällsekonomiska kalkyler kan samhällets tillgängliga resurser användas effektivt. Utöver investerings-, drift- och underhållskostnader värderas även effekter på bland annat restid, fordonskostnad, olyckor, emissioner och buller i en samhällsekonomisk kalkyl, Vägverket (2001a).

### 5.1 Trafikantkostnad

En del av den samhällsekonomiska analysen för en väg är att värdera uppkommande kostnader för trafikanterna som nyttjar vägen. Trafikantkostnad kan definieras som både känslomässiga och materiella kostnader som uppkommer för en trafikant i form av restids-, fordons- och komfortkostnader.

#### 5.1.1 Restidskostnad

Vid kö som följd av exempelvis drift- och underhållsåtgärder ökar fordonens restid vilket resulterar i ökade restidskostnader. Utifrån fordonstyp, om det är ett tjänstefordon eller inte, samt om det är en människa eller fler som färdas i fordonet så varierar kostnaderna, Vägverket (2001c). Ett fordons restid längs en väg beror av vilken framkomlighet som råder på vägsträckan. Framkomligheten i sin tur påverkas av bland annat eventuell köbildning eller trafikanternas körbeteende, Ihs, Magnusson (2000).

#### 5.1.2 Fordonskostnad

Begreppet fordonskostnad innefattar alla kostnader som uppkommer för ett fordon då det framförs på en väg. Faktorer som påverkar fordonskostnaden och som kan beaktas i en samhällsekonomisk analys är slitage, värdeminskning och bränslekostnad, Vägverket (2001c).

Fordonsslitage och uppkomna kostnader kan minskas genom att hålla vägnätet i gott skick, Ihs, Magnusson (2000). Trafikantkostnader som uppkommer av fordonsslitage är bland annat byte av däck, som kan anses utsättas för det största direkta slitaget, Vägverket (2001c). Om vägens yta exempelvis har mycket lösa stenar kan stenskott på lack och glasrutor resultera i kostsamma skador för trafikanten, Wågberg et al. (1991). Utifrån fordonets nybilspris antas värdet på fordonet minska för varje år som går, Vägverket (2001c).

Den bränslekostnad som uppkommer på en väg kan vara komplicerat att värdera eftersom bränsleförbrukningen skiljer sig åt utifrån om det är ett bensin- eller

dieseldrivnet fordon respektive om det är en person- eller lastbil. Därtill varierar även priset för bränsle mellan åren, Vägverket (2001c).

### **5.1.3 Komfortkostnad**

Den bekvämlighet, trygghet och det välbefinnande som upplevs i såväl fysisk som psykisk form kan i trafiksammanhang definieras som komfort. Eftersom alla människor upplever olika saker annorlunda är det svårt att värdera den psykiska aspekten av komfort, Ihs, Magnusson (2000). Upplevd komfort kan även handla om tillgången på bekvämligheter längs med vägen, som rastplatser, toaletter och olika typer av service, Forsberg, Magnusson (2000).

## **5.2 Olyckskostnad**

I samhällsekonomiska analyser brukar olyckskostnader stå för de olycksrisker och kostnader som tillkommer vid underhållsarbete, eftersom olyckskvoten i normala fall antas vara lika för de alternativ som jämförs, se även Kapitel 6.

Olyckor värderas olika utifrån om det är en faktiskt inträffad olycka eller en polisrapporterad olycka, där materialkostnader och riskvärdering summeras för respektive olycksfall. Olyckskostnaden uppskattas efter bland annat allvarlighetsföljd, skadeföljd och olyckskvot, Vägverket (2001b).

## **5.3 Miljökostnad**

De kostnader som drabbar och påverkar de människor som inte använder sig av vägen kan benämnas miljökostnader och innefattar kostnader för nedsmutsning, emissioner, buller och bränsleförbrukning. Miljökostnader uppkommer även vid framställningen av beläggningen.

I en samhällsekonomisk kalkyl för en väg spelar beläggningens rullmotstånd roll då rullmotståndet påverkar ett fordon's bränsleförbrukning och därmed även dess emissioner. Den energiförbrukning som krävs för att föra fram fordonet på en styv beläggning blir mindre, enligt en kanadensisk undersökning visas en bränslebesparing på 11 %, Löfsjögård (2003). En beläggning's nötningsresistens liksom den bullernivå som råder vid framfart på vägen ger miljökostnader för såväl trafikanterna i fordonet som för de boende i närheten av vägen, Löfsjögård (2003).

För en beläggning's totala livscykelkostnad har även behovet av vägbelysning under mörker betydelse, bland annat för trafiksäkerheten men även för elektricitetsförbrukningen. En mörk beläggning kräver mer elektricitet än en ljus och därmed mer miljökostnader, upp till 20-30 % mer när en ljusare betongbeläggning jämförs med en asfaltbeläggning, Löfsjögård (2003).

## 6 Modeller för livscykelkostnadsanalys

En kalkylmodell som beräknar en vägs livscykelkostnad är ett värdefullt hjälpmedel inför ett stundande vägprojekt. Om framtida underhållsinsatser och effekter på samhället kan identifieras och värderas verklighetstroget blir det enklare att ekonomiskt motivera ett val av beläggning.

Det finns flera exempel på datorbaserade kalkylmodeller som beräknar livscykelkostnader för olika överbyggnadsalternativ för en väg. Det som ofta skiljer modellerna åt är omfattningen av indata som ingår i beräkningen, men gemensamt för beräkningsmodellerna är att det blir enkelt att få en tydlig översikt på kostnadsskillnader mellan olika beläggningsalternativ. En datorbaserad modell är även relativt lätt att göra användarvänlig, vilket är en förutsättning för att skapa ett intresse för användande av modellen. En pålitlig modell med rättvisande resultat kan vara en mycket betydande hjälp till beslutsunderlag vid val av vägbeläggning, Winnerholt (1997).

Modellerna MNV och 2Ö har använts som hjälpmedel för val av överbyggnad vid ett flertal projekt i Sverige, se Figur 6.1.

Objekt	Beräknings hjälpmedel	Vald överbyggnad
E 20 Eskilstuna - Arphus	MNV	<b>BÖ</b>
E6 Yttre Ringvägen Malmö	MNV och 2Ö	<b>CBÖ</b>
E18/E20 Örebro - Arboga	2Ö	<b>BBÖ</b>
E4 Väderstad - St Åby	2Ö	<b>GBÖ</b>

Figur 6.1 Utvärderade vägprojekt med hjälp av beräkningshjälpmedlen MNV och 2Ö, Winnerholt (1997).

### 6.1 MNV

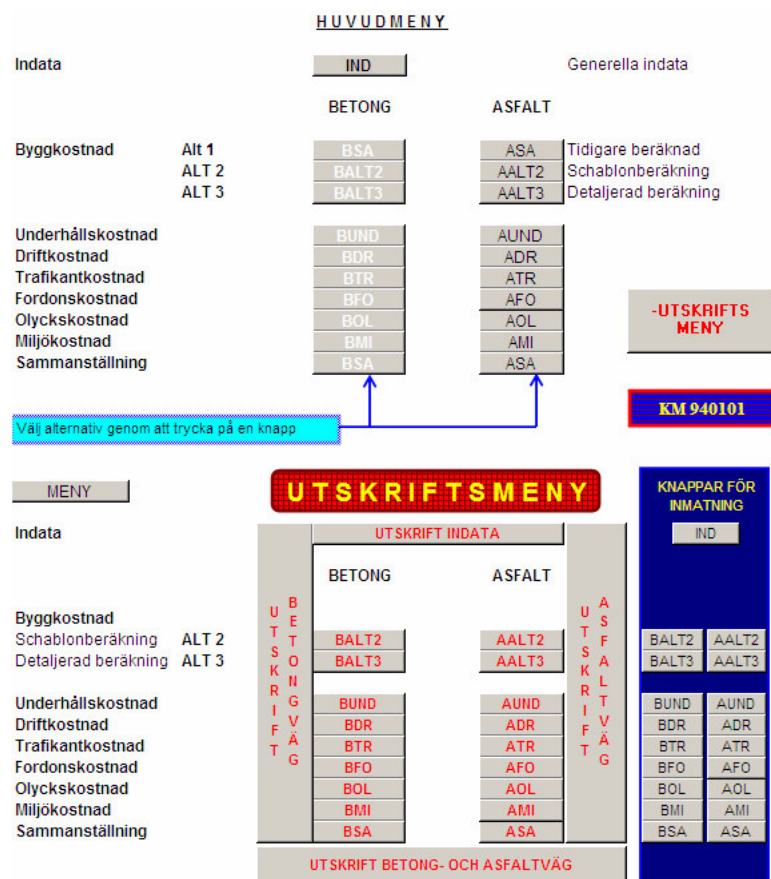
Framtagandet av MNV eller ”Modell för nuvärdesbeskrivning av en vägs funktionstidskostnad” som modellen egentligen heter, var ett av fyra delprojekt som startades efter ett beslut från Vägverkets generaldirektör år 1989. Ett av de andra delprojekten innebar att två provvägar med betongkonstruktion skulle byggas i Sverige som stöd och som ett försök till att bredda konkurrensen mellan vägbeläggningar av asfalt och betong. Ett av huvudsyftet med MNV var att kunna ta fram beslutsunderlag till val av vägkonstruktion sett ur ett totalekonomiskt perspektiv, Nilsson (1991).

#### 6.1.1 Modellens uppbyggnad

MNV är ett effektsamband och en mall för totalekonomisk värdering av en väg under hela dess livslängd. MNV utför nuvärdesberäkning av bygg-, underhålls-, drift-, trafikant-, fordons-, olycks- och miljökostnader. Beräkningarna utförs för två olika konstruktioner; en styv konstruktion och en flexibel konstruktion. Kostnaderna

summeras sedan samman och kan jämföras mot varandra. Även differensen mellan de två olika överbyggnaderna redovisas. Kostnaderna i modellen redovisas som väghållar- respektive samhällskostnader.

Modellen är uppbyggd som en tillämpning i Microsoft Excel. En huvudmeny med ”knappar” till de olika ”blocken” och en utskriftsmeny är det centrala i modellen, se Figur 6.2. Ett block innehåller en typ av kostnadsberäkning och alla kostnader har var sitt eget block. Från varje block kan huvudmenyn och övriga beräkningsblock sedan lätt återvändas till genom knappfältet.



Figur 6.2 Huvudmenyn i MNV.

I MNV förs indata för aktuell vägsträcka in i ett speciellt block, exempelvis vägdata och trafikdata, se Figur 6.3. Dessa indata skall vara samma för den styva och flexibla beläggningen.



IND	INDATA BETONG- OCH ASFALTSVÄG		PROJEKT: Test		
MENY			RUBRIK: MNV		
VÄGDATA:			DATUM: 07-10-25		
TRAFIKDATA:					
Väglängd	10.1	km	Årsdygnstrafik	13 505	f/d
Vägtyp (13m=1,MVL=2,MV=3)	3		Andel vintertrafik	30.0	%
Belagd bredd	22.0	m	Andel dubbdäck	90.0	%
Hastighet	110	km/tim	Andel Pb	90.0	%
Hastighet vid vägarbete	70	km/tim	Andel Buss	0.0	%
			Andel Lätt Lb	0.0	%
			Andel Tung Lb	10.0	%
Livslängd	40	år	Andel i höger körf.	70.0	%
Ränta	4.0	%	Trafikutveckling		
Prisnivå	1999	år	1-10 år	1.50	%
Öppningsår	2005		10-20 år	1.00	%
			20-40 år	1.00	%
			Trafikförändr.(+/-)	0	f/d
			Tidpunkt för förändr	0	
FÖRKLÄRINGAR:					
Indataruta	→				
Indata- och/eller formelruta	←				

Figur 6.3 Indatablocket i MNV.

De två olika vägobjektens byggkostnader kan beräknas i MNV. För byggnadskostnadsberäkningen finns tre olika alternativ. Alternativ ett är att göra en schablonmässig kostnadsberäkning, alternativ två en detaljerad kostnadsberäkning och det tredje alternativet är att föra in en tidigare beräknad byggkostnad i modellen.

Vid beräkning av underhållskostnader anges förväntade underhållsstrategier för vägarna under livslängden och kostnaderna för dessa åtgärder. Driftskostnadsberäkning kan utföras som detaljerad beräkning eller som en schablonmässig beräkning. I drift innefattas kostnader för snöröjning, halkbekämpning, tvätt av vägs skyltar, mindre fogreparationer och försegling av sprickor.

I beräkningen för trafikantkostnaden definieras den värderade restidskostnaden för respektive fordonstyp. Trafikantkostnaden beräknas sedan som den extra kostnad som uppkommer vid eventuella tidsfördröjningar.

Den detaljerade fordonskostnadsberäkningen innefattar fordonets bränsleförbrukning, däckslitage, reparationer, tvätt och värdeminskning. Fordonskostnaderna kan även beräknas schablonmässigt.

Beräkning av olyckskostnad sker genom att olyckskvoten per miljoner fordonskilometer samt kostnad per olycka anges för dels normalt tillstånd på vägen och dels vid underhållsåtgärder. MNV beräknar sedan den totala olyckskostnaden vid både normalt tillstånd och underhållsåtgärder.

Miljökostnadsberäkningen innefattar endast påverkan från buller och avgaser. Det finns dock utrymme för fler faktorer. Kostnaden beräknas med ett uppskattat eller antaget värde på antal personer som blir störda av respektive påverkan. Till en början innefattade MNV även en uträkning av slitaget och nötningen på de båda vägarna. En revidering av modellen gjordes senare där dessa beräkningar togs bort eftersom dessa samband inte var tillräckligt säkerställda, Vägverket (1997).

När alla delberäkningar utförts fås resultatet som en total kostnadssammanställning av de båda konstruktionerna samt en differensberäkning mellan dem, se Figur 6.4.

Differensberäkning Betong - Asfalt	Betong	Asfalt	Differens Btg-Asf	Betong Nuvärde	Asfalt Nuvärde	Differens Nuvärde
Byggekostnad (BALT3)	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr
Underhållskostnad	15 Mkr	29 Mkr	-14 Mkr	6 Mkr	15 Mkr	-9 Mkr
Driftkostnad	25 Mkr	25 Mkr	0 Mkr	12 Mkr	12 Mkr	0 Mkr
Trafikantkostnad	2 521 Mkr	2 519 Mkr	2 Mkr	1 202 Mkr	1 201 Mkr	1 Mkr
Fordonskostnad	2 185 Mkr	2 185 Mkr	0 Mkr	1 042 Mkr	1 042 Mkr	0 Mkr
Olyckskostnad	639 Mkr	637 Mkr	2 Mkr	304 Mkr	304 Mkr	0 Mkr
Miljökostnad	275 Mkr	275 Mkr	0 Mkr	136 Mkr	136 Mkr	0 Mkr
<b>Summa</b>	<b>5 659 Mkr</b>	<b>5 670 Mkr</b>	<b>-11 Mkr</b>	<b>2 702 Mkr</b>	<b>2 710 Mkr</b>	<b>-9 Mkr</b>
Betong lönsammast						
Utan trafikstörn. Betong - Asfalt	Betong	Asfalt	Differens Btg-Asf	Betong Nuvärde	Asfalt Nuvärde	Differens Nuvärde
Byggekostnad (BALT3)	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr
Underhållskostnad	15 Mkr	29 Mkr	-14 Mkr	15 Mkr	29 Mkr	-14 Mkr
Driftkostnad	25 Mkr	25 Mkr	0 Mkr	13 Mkr	13 Mkr	0 Mkr
Trafikantkostnad	2 309 Mkr	2 309 Mkr	0 Mkr	1 101 Mkr	1 101 Mkr	0 Mkr
Fordonskostnad	2 007 Mkr	2 007 Mkr	0 Mkr	957 Mkr	957 Mkr	0 Mkr
Olyckskostnad	582 Mkr	582 Mkr	0 Mkr	278 Mkr	278 Mkr	0 Mkr
Miljökostnad	275 Mkr	275 Mkr	0 Mkr	136 Mkr	136 Mkr	0 Mkr
<b>Summa</b>	<b>5 213 Mkr</b>	<b>5 227 Mkr</b>	<b>-14 Mkr</b>	<b>2 498 Mkr</b>	<b>2 512 Mkr</b>	<b>-14 Mkr</b>
Betong lönsammast						
Störningskostn. Betong-Asfalt	Differens Betong	Differens Asfalt	Differens Btg-Asf	Differens Nuvärde Btg	Differens Nuvärde Asf	
Byggekostnad (BALT2)	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr
Underhållskostnad	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	-9 Mkr	-13 Mkr	
Driftkostnad	-1 Mkr	-1 Mkr	0 Mkr	-0 Mkr	-0 Mkr	
Trafikantkostnad	211 Mkr	210 Mkr	1 Mkr	101 Mkr	100 Mkr	
Fordonskostnad	179 Mkr	179 Mkr	0 Mkr	85 Mkr	85 Mkr	
Olyckskostnad	56 Mkr	55 Mkr	1 Mkr	26 Mkr	26 Mkr	
Miljökostnad	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	0 Mkr	

Figur 6.4 Kostnadssammansättning och differensberäkning för betongväg respektive asfaltväg i MNV.

## 6.1.2 Kommentarer

Det krävs mycket indata till modellen och om MNV inte är välbekant för användaren sedan tidigare kan det vara svårt att veta vilken indata som skall fyllas i. Detta gör att användarvänligheten inte blir speciellt bra. En användarhandledning finns att tillgå i Vägverket (1997), men det skulle vara lättare och mer behändigt med förklaringar direkt i modellen. Dock underlättar knapparna förflyttandet mellan de olika beräkningarna.

MNV behandlar kostnader vid såväl normal användning som då något utförs eller inträffar som gör att extra kostnader tillkommer, till exempel en trafikolycka eller en underhållsätgard. Detta medför att det blir svårt att se skillnaderna mellan de olika beläggningarna då den normala användningen bidrar med så stora siffror som i grund och botten är desamma för de båda konstruktionerna.

## 6.2 2Ö

Som en utveckling och uppdatering av MNV skapades 2Ö, eller ”2 överbyggnader”, vid Vägavdelningen på Vägverket i Borlänge. Uppdateringen utfördes som en del i utredningen ”Översyn betongvägsalternativ” under 1997. 2Ö är liksom MNV gjord som en applikation i Microsoft Excel, Vägverket (1997).

### 6.2.1 Modellens uppbyggnad

Till skillnad från MNV räknar 2Ö inte med de kostnader som uppkommer vid normal användning av vägen. Hänsyn tas endast till de kostnader som uppstår i samband med underhåll och dess medföljande samhällskostnader. I 2Ö finns inte heller möjligheten att beräkna några byggekostnader. 2Ö kan utföra jämförelser mellan flexibla och styva

konstruktioner, men även två styva eller två flexibla konstruktioner mot varandra. Jämförelsen kan även göras mellan fler än två konstruktioner.

En förutsättning för att jämförelsen skall bli så rättvisande som möjligt är att överbyggnaderna i modellen bör ha liknande förhållanden gällande tjäle och geoteknik, Vägverket (1997).

Inledningsvis definieras aktuell indata som gäller för de överbyggnader som skall ingå i kalkyljämförelsen. Indata som krävs för beräkning är vägdata, trafikdata och trafikknostnader, se Figur 6.5.

## Beräkningshjälpmedel

### Info: Test exempel

Objekt AB34 Astad - Bköping  
Anmärkning Demonstration  
Datum 2007-10-25

## INDATA

Vägdata	Trafikdata	Trafikkostnader
<b>Vägen vid användning</b> Väglängd 12 [km] Vägtyp [MV, 13 m, 9 m etc] Motorväg Slitlagerbredd 18 [m] Skyltad hastighet 110 [km/h] Skyltad hast vid vägarb 70 [km/h]	<b>Trafik vid öppningstidpunkt</b> ÅDT <sub>tot</sub> 14500 [fordon/dygn] Andel vintertrafik 20 [%] Andel dubbdäck 20 [%] Andel Personbil 88 [%] Andel Tung Lastbil 12 [%]	<b>Restidskostnad</b> Personbil 84 [kr/tim] Lastbil 267 [kr/tim] Vägarbetslängd 1 [km]
<b>Ingångsparametrar</b> Livslängd 40 [år] Ränta 4 [%]	<b>Trafikutveckling</b> 1 - 10 år 1.5 [%] 10 - 20 år 1.3 [%] 20 - 40 år 1 [%]	<b>Olyckskostnad</b> Olyckskvot vid 0.56 [ol/Mfkm] Vägarbete Kostnad för olycka 23100 [kr/ol]
Prisnivå [år] 1996 [år] Öppningsår 2000 [år] Klimatzon 2 Tjälfarlighetsklass 3 Materialtyp i terrass 4 Jämnhetsklass 5	<b>Fördelning i körfält</b> K1 90 [%] K2 10 [%]	<b>Beräkningar</b> Annuitetsfaktor 19.79 Väghyra Pb 0.44 [kr/fordon] Väghyra Lb 1.39 [kr/fordon] Passage av vägarb 0.0052 [tim]
	<b>Trafikclassberäkning</b> VÄG 94 3.4.1.1 A 12 [%] VÄG 94 3.4.1.1 B 1.3 [%]	
	<b>Konstruktionstyp</b> Konstruktion 1 GB0 [Text] Konstruktion 2 B0 m CG [Text]	Ex: GB0, BB0, B0, CB0, G0 etc Ex: GB0, BB0, B0, CB0, G0 etc

Figur 6.5 Indatabladet i 2Ö.

Det som skiljer de olika beläggningarna åt i beräkningskalkylen är underhållskostnader och dess medföljande samhällskostnader. Den planerade underhållsstrategin för respektive beläggning och de sammansatta kostnaderna för material och utförande förs in i underhållsberäkningen, se Figur 6.6. Utöver materialkostnader beräknas de samhällskostnader som uppkommer vid underhållstillfället. I samhällskostnaderna innefattas kostnader för eventuell ökning av trafikolyckor vid underhållstillfällena samt den väghyra som uppstår på grund av restidsfördröjningar i trafiken.



## 6.2.2 Kommentarer

2Ö tar inte hänsyn till lika många parametrar som MNV gör, men är mycket mer överskådlig och pedagogiskt uppbyggd. Till de flesta indatarutorna i 2Ö finns pedagogiska kommentarer med hänvisningar och tips, se Figur 6.8. Detta medför att det blir lätt att fylla i indata.

The screenshot shows a software interface with two main panels. The left panel is titled 'Trafikkostnader' and contains several input fields. The right panel is titled 'Konstr' and shows 'Namn: GBO'. A tooltip is displayed over the 'Personbil' field, providing detailed information about the cost parameter.

Trafikkostnader	
Restidskostnad	
Personbil	84 [kr]
Lastbil	267 [kr]
Vägarbetslängd	1 [kr]
Olyckskostnad	
Olyckskvot vid	0,56 [o]
Vägarbete	
Kostnad för olycka	23100 [kr/ol]

**Konstr**  
Namn: GBO

Kostnad som skall belasta vägobjektet vid användning av Personbil.

Värden för detta kan hämtas ur "Effektkatalog Väg- och gatuinvesteringar"

I rapporten "Yttre Ringvägen i Malmö" används för 1996 beloppet 96 kr/fordonstimma

Figur 6.8 Kommentar i 2Ö med förklaring om vilken indata som efterfrågas samt vidare hänvisning.

## 6.3 "LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt"

En ytterligare kalkylmodell för uppskattning av totalkostnader med hänsyn tagen till underhålls-, olycks- och samhällskostnader vid ett vägprojekt har under 2007 tagits fram. Grundare är Christer Hagert på Vägverket, i nära samarbete med Stig Jansson vid Cementa. Liksom för 2Ö och MNV är modellen med arbetsnamnet "LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt" tänkt som en applikation i Microsoft Excel. Eftersom "LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt" fortfarande är under utveckling av Vägverket, genom Hagert och Jansson, kan den slutgiltiga versionen ännu inte beskrivas.

Totalkostnaderna för K1 och K2 beräknas i "LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt" separat, oavsett konstruktionsval eller vägkroppens lagertjocklekar. En beräkning av kombinerade beläggningar kan alltså enkelt utföras. Skall en styv betongbeläggning beräknas kan den i modellen utformas både som oarmerad fogad konstruktion och som armerad konstruktion. Det är även möjligt att beräkna kostnader för konstruktionerna utifrån vilken undergrund vägen skall byggas på.

Modellen tar hänsyn till ett flertal faktorer som tidigare kalkylmodeller inte gjort, exempelvis kostnader för bränsleförbrukning, olyckor vid vägarbete och olyckor på grund av spårdjup större än 10 mm i kombination med våt vägyta. Modellen värderar olyckskostnaderna olika, en olycka som sker under vägarbete antas kosta samhället mindre än en olycka som sker vid övriga tidpunkter. Olycksrisken vid underhållsåtgärder antas liksom i 2Ö vara 1,5 gånger högre än vid normal användning av vägen.

För flexibla beläggningar beräknas dess lägre rullmotstånd vara ett tillskott i kalkylen för betongbeläggningar. Det vill säga, kostnaden för bränsleförbrukning som kommer av asfaltbeläggningens lägre rullmotstånd "tjänar" betongbeläggningen in på att vara styv. När bränsleförbrukningen är känd blir det även möjligt att beräkna den mängd CO<sub>2</sub> som släpps ut och den "kostnad" som därav uppkommer. Alla kostnader i "LCC-modell för investeringsbeslut av ett vägobjekt" är möjliga att nuvärdesberäkna och sammanställs överskådligt i ett separat blad.

## 7 Uppdatering av 2Ö

Det är idag cirka tio år sedan 2Ö skapades och forskningen kring olika beläggnings påverkan på samhället har under de senaste åren gått framåt. En uppdatering av ursprungsmodellen är därför aktuell, med ambitionen att bland annat vidareutveckla beräkningen av samhällskostnader. Modellen skall utöver samhälls- och underhållskostnader även innehålla en grov uppskattning av investeringskostnader för olika vägkonstruktioner och inkludera dessa kostnader i jämförelsen.

Som tidigare kapitel beskrivit och behandlat har skillnader påvisats mellan betong- och asfaltbeläggning som får betydelse vid en samhällsekonomisk analys av en väg. Det är dock svårt att sätta ett exakt kostnadsvärde på dessa skillnader vid en livscykelkostnadsanalys av de olika beläggningsarna. En skillnad som är möjlig att sätta ett värde på är bränsleminskningen, se Kapitel 5.3 och Bilaga 4. Som en följd av minskad bränsleåtgång blir koldioxidutsläppen lägre, även dessa effekter kan värderas till en kostnadsminskning.

Tyskland ligger idag långt före Sverige i kunskap och erfarenhet om betongvägar. I Tyskland har det under de senaste åren byggts flertalet vägar med så kallad kombinerad beläggning, se Kapitel 8. Då 2Ö skall erbjuda möjlighet att beräkna den under livslängden mest kostnadseffektiva typen av vägbeläggning bör även möjligheten att jämföra kombinerade beläggnings finnas med i modellen. Detta eftersom det i framtiden är mycket tänkbart att vägar med denna konstruktion byggs i Sverige.

Följande avsnitt beskriver närmre de förändringar som gjorts i 2Ö.

### 7.1 Uppdatering av indata

Indatabladet är det centrala i 2Ö och här förs den huvudsakliga informationen om vägobjektet och dess egenskaper in, se Figur 7.1. Det som främst skiljer indatabladet i den nya uppdateringen från den ursprungliga modellen är tillägget av bränslekostnader. Beräkning av kostnadsbesparingen på grund av skillnad i bränsleförbrukning mellan styv- och flexibel beläggning utförs med hjälp av dessa indata.

# Beräkningshjälpmedel 2Ö

## Info: Känslighetsanalys

Objekt: Motorväg  
Anmärkning:  
Datum: 2007-11-13

### INDATA

Färgkoder på detta blad  
Uppgifter som ej används i beräkningarna

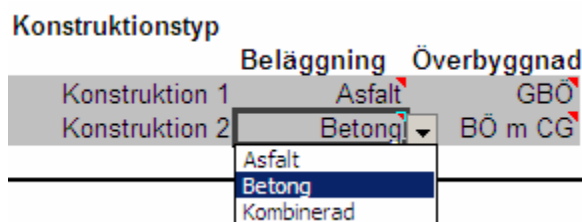
Beräkningssceller  
Indataceller (obligatoriskt)

Vägdata	Trafikdata	Trafikkostnader	Bränslekostnader															
<b>Vägen vid användning</b> Vägslängd 3,00 [km] Vägtyp [M.V. 13 m, 9 m etc.] Motorväg Slitlagerbredd 23 [m] Skyttad hastighet 110 [km/h] Skyttad hastighet vid vägarb 70 [km/h]	<b>Trafik vid öppningstidpunkt</b> ADT <sub>tot</sub> 15 000 [fordon/dygn] Andel vintertrafik 20 [%] Andel dubbdäck 20 [%] Andel Personbil 86 [%] Andel Tung trafik 14 [%]	<b>Restidskostnad</b> Personbil 120 [kr/rh] Lastbil 216 [kr/rh] Vagarbetslängd 1,50 [km]	<b>Bränsle</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Personbil</th> <th>Lastbil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bränslepris</td> <td>5,41</td> <td>5,08 [kr/l]</td> </tr> <tr> <td>Bränsleförbrukning</td> <td>0,08</td> <td>0,395 [l/km]</td> </tr> <tr> <td>Bränsleminskning</td> <td>0,25</td> <td>5 [%]</td> </tr> </tbody> </table>		Personbil	Lastbil	Bränslepris	5,41	5,08 [kr/l]	Bränsleförbrukning	0,08	0,395 [l/km]	Bränsleminskning	0,25	5 [%]			
	Personbil	Lastbil																
Bränslepris	5,41	5,08 [kr/l]																
Bränsleförbrukning	0,08	0,395 [l/km]																
Bränsleminskning	0,25	5 [%]																
<b>Ingångsparametrar</b> Livslängd 40 [år] Ranta 4 [%] Prismivå [år] 2007 [år] Öppningsår 2009 [år] Klimatzon 2 Tjälfarlighetsklass 3 Materialtyp i terrass 4	<b>Trafikutveckling</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Personbil</th> <th>Lastbil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - 10 år</td> <td>1,5</td> <td>2,0 [%]</td> </tr> <tr> <td>11 - 20 år</td> <td>1,3</td> <td>1,5 [%]</td> </tr> <tr> <td>21 - 40 år</td> <td>1,0</td> <td>1,3 [%]</td> </tr> </tbody> </table>		Personbil	Lastbil	1 - 10 år	1,5	2,0 [%]	11 - 20 år	1,3	1,5 [%]	21 - 40 år	1,0	1,3 [%]	<b>Olyckskostnad</b> Olyckskvot vid vägarb 0,56 [ol/Mtkm] Kostnad för olycka 30 000 [kr/ol]	<b>Koldioxid</b> Värdening koldioxid 1,5 [kr/kg]			
	Personbil	Lastbil																
1 - 10 år	1,5	2,0 [%]																
11 - 20 år	1,3	1,5 [%]																
21 - 40 år	1,0	1,3 [%]																
	<b>Fördelning i körfält</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>K1</th> <th>K2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>80 [%]</td> <td>20 [%]</td> </tr> </tbody> </table>		K1	K2		80 [%]	20 [%]	<b>Beräkningar</b> Annuitetsfaktor 19,79 Vaghya Pb 0,94 [kr/fordon] Vaghya Lb 1,68 [kr/fordon] Passage av vägarb 0,01 [h]	<b>Koldioxidgenerering</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Personbil</th> <th>Lastbil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Värdening koldioxid</td> <td>2,7</td> <td>2,7 [kg/l]</td> </tr> </tbody> </table>		Personbil	Lastbil	Värdening koldioxid	2,7	2,7 [kg/l]			
	K1	K2																
	80 [%]	20 [%]																
	Personbil	Lastbil																
Värdening koldioxid	2,7	2,7 [kg/l]																
	<b>Trafikclassberäkning</b> ATB VÄG 2005 C3.1 A 14 [%] ATB VÄG 2005 C3.1 B 1,3		<b>Beräkningar</b> Dagar då T > 10°C 123 [antal]															
	<b>Konstruktionstyp</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Beläggning</th> <th>Överbyggnad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Konstruktion 1</td> <td>Asfalt</td> <td>GBÖ [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc</td> </tr> <tr> <td>Konstruktion 2</td> <td>Betong</td> <td>BÖ m CG [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc</td> </tr> </tbody> </table>		Beläggning	Överbyggnad	Konstruktion 1	Asfalt	GBÖ [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc	Konstruktion 2	Betong	BÖ m CG [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc		<b>Bränslekostnader</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Personbil</th> <th>Lastbil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bränsleminskning</td> <td>0,0002</td> <td>0,0198 [l/km]</td> </tr> </tbody> </table>		Personbil	Lastbil	Bränsleminskning	0,0002	0,0198 [l/km]
	Beläggning	Överbyggnad																
Konstruktion 1	Asfalt	GBÖ [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc																
Konstruktion 2	Betong	BÖ m CG [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc																
	Personbil	Lastbil																
Bränsleminskning	0,0002	0,0198 [l/km]																

Figur 7.1 Det uppdaterade indatabladet i 2Ö.

Den framtida trafikutvecklingen, som används i modellens trafikberäkning, har uppdaterats och kan nu till skillnad från tidigare varieras för personbil och lastbil.

För att modellen skall inkludera rätt beräkningar i den totala kostnaden för de olika beläggningsalternativen krävs i indatabladet en definiering av beläggningstyp för varje konstruktion som skall jämföras. Detta har utformats med en "rullista" där beläggningstyp väljs för respektive konstruktion, se Figur 7.2.



Figur 7.2 Rullista med valbara beläggningar som skall definieras för respektive konstruktion.

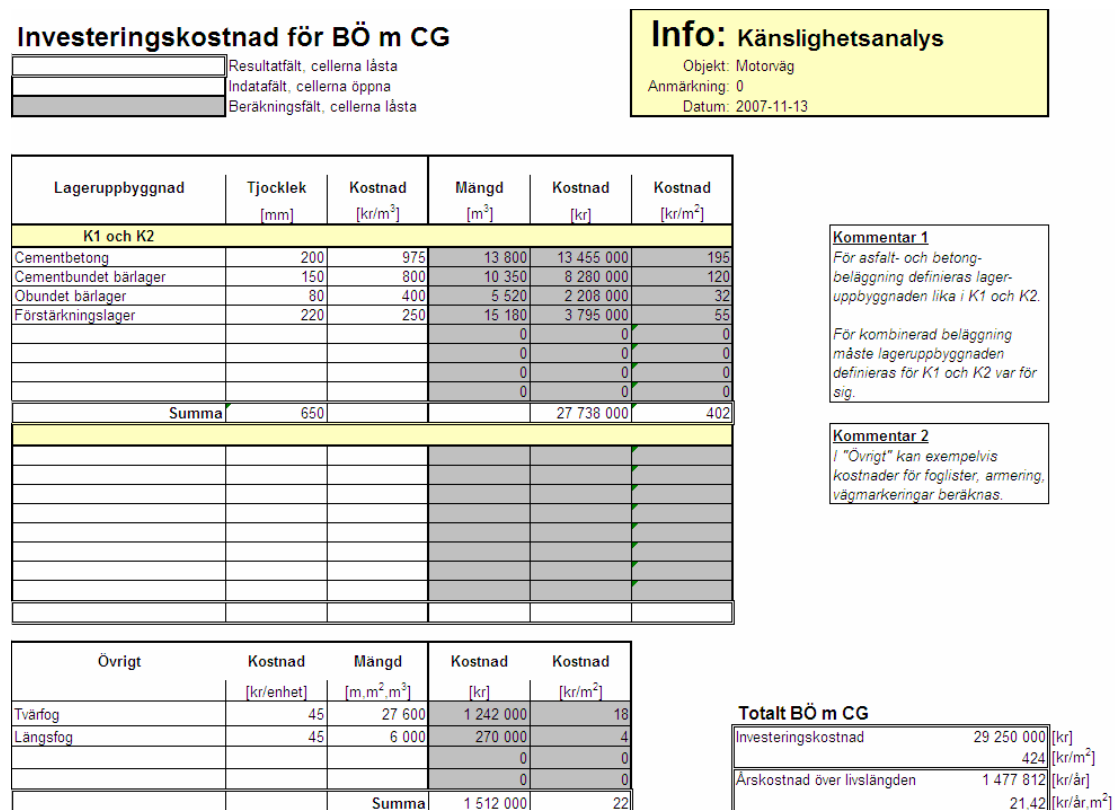
En uppdatering av kommentarerna till de olika indatarutorna har utförts. De gamla kommentarerna hänvisade bland annat i flera fall till den gamla publikationen VÄG 94, dessa har nu ändrats till motsvarande kapitel i ATB VÄG 2005, Vägverket (2005). Nya kommentarer har även lagts till de nytillagda indatavärdena för bränslebesparingsberäkning.

## 7.2 Investeringskostnad

Investeringskostnaden beräknas för de konstruktioner som ingår i analysen var för sig i två olika blad. För att utföra beräkningen krävs att de olika konstruktionernas



lageruppbyggnad med materialtyp och tjocklek definieras samt det sammanlagda priset per kubikmeter för material och arbetsutförande, se Figur 7.3.



Figur 7.3 Blad för beräkning av investeringskostnad i den uppdaterade 2Ö.

Beroende på vilken typ av beläggning konstruktionerna definieras som i indatabladet beräknas investeringskostnaden på olika sätt. För en renodlad asfalt- eller betongbeläggning i en körriktning måste vägens lageruppbyggnad definieras samma i K1 och K2. För en kombinerad beläggning krävs däremot att lageruppbyggnaderna definieras för K1 och K2 var för sig. Utöver väggroppens kostnader kan övriga kostnader som till exempel foglister eller armering beräknas i en separat tabell.

Summering sker sedan av den totala investeringskostnaden för konstruktionen. Resultatet ges dels som en total investeringskostnad för hela vägavsnittet och dels som en total kostnad per kvadratmeter väg. Även en "annuitetskostnad" redovisas, det vill säga en årskostnad utspridd på hela livslängden.

## 7.3 Bränslebesparing

Skillnader i bränsleförbrukning mellan flexibla och styva beläggningar beaktas och värderas i uppdateringen av 2Ö. Då forskningen kring hur stor bränslebesparing det i verkligheten handlar om fortfarande är osäker har modellen utformats så att bränslebesparingens storleksordning definieras av användaren själv i indatabladet. Ansvaret läggs på användaren att ett rimligt och aktuellt värde används. På grund av osäkerheterna kring denna beräkning är det viktigt att utvärdera vad olika storlekar på bränslebesparingen får för följder och hur stor påverkan på slutresultatet det har. Trots

osäkerheterna är det dock viktigt att beakta bränslebesparingen, även en liten procentuell bränsleminskning kan ge en stor påverkan under vägens livslängd.

Bränslepriser och bränsleförbrukning för personbil och tunga fordon är värden aktuella för 2007 års nivå, men bör ändras till tidsaktuella värden för varje projekt. Kostnadsvärdering av bränsle finns bland annat i "Effektsamband 2000", Vägverket (2001c). Den genomsnittliga bränsleförbrukningen definieras för personbilar och tunga fordon för sig.

Bränslebesparingen skall ses som en "lättnad" i samhällskostnad för vägar med betongbeläggning, det vill säga minskningen av bränslekostnad dras ifrån den totala samhällskostnaden. Asfaltbeläggningar antas utgöra "nollalternativet" och får varken kostnad eller besparing. Beräkningen beaktar endast skillnaden i bränsleförbrukning mellan de båda konstruktionerna under livslängden, den totala bränsleförbrukningen räknas ej med. En betongbeläggning får kostnadsbesparing för båda körfälten, asfaltbeläggning får ingen besparing i något av körfälten, och en kombinerad beläggning får bränslebesparing i K1. Dessa förutsättningar innebär att modellen måste skilja K1 och K2 i beräkningen av bränslebesparing. Beräkningen delar även upp personbilar och lastbilar för sig. Minskningen av bränsleåtgång är störst för de tunga fordonen dels på grund av att de har ett större rullmotstånd på flexibla beläggningar och dels för att de drar mer bränsle än personbilar.

Minskad bränsleförbrukning antas endast ske de dagar då dygnsmedeltemperaturen är högre än 10°C, det vill säga endast under den meteorologiska sommaren. Under resten av året antas asfalt- och betongbeläggningar ha liknande styvhetsegenskaper. I ATB VÄG 2005, Vägverket (2005), finns antal sommardagar per år angivet för de fem klimatzonerna, det är dock inte definierat hur dessa värden tagits fram. Genomsnittliga värden har därför tagits fram med hjälp av data från SMHI, se Bilaga 5. Dessa värden kan ses i Tabell 7.1.

Tabell 7.1 Antal dagar per år med dygnsmedeltemperatur > 10°C i de fem olika klimatzonerna.

Klimatzon	1	2	3	4	5
Antal dagar per år då $T_{\text{dygnsmedel}} > 10^{\circ}\text{C}$	148	123	108	87	61

Beroende på vilken klimatzon som anges som indata i 2Ö räknar modellen med rätt tillhörande antal sommardagar. Kostnadsbesparingarna beräknas utifrån den totala mängden trafik som färdas på vägsträckan alla dagar under livslängden då temperaturen som innan nämnts är högre än 10°C. Detta ger det totala antalet fordonskilometer, som i sin tur används till att beräkna den totala bränslebesparingen i liter.

Utifrån den beräknade mängden sparat bränsle redovisas resultatet som direkt besparing och nuvärdesbesparing samt som en årsbesparing utspridd på hela livslängden, se Figur 7.4.

	Resultat											
	GBÖ						BÖ m CG					
	Direkt besparing		Nuvärdesbesparing		Årsbesparing över livslängden		Direkt besparing		Nuvärdesbesparing		Årsbesparing över livslängden	
	[kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	[kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	[kr/år]	[kr/år,m <sup>2</sup> ]	[kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	[kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	[kr/år]	[kr/år,m <sup>2</sup> ]
Bränsle	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4 627 688	67,07	2 209 660	32,02	111 640	1,62
Koldioxid	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3 676 351	53,28	1 755 320	25,44	88 685	1,29
<b>Totalt</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>	<b>8 304 039</b>	<b>120,35</b>	<b>3 964 980</b>	<b>57,46</b>	<b>200 325</b>	<b>2,90</b>

Figur 7.4 Resultatruta för beräkning av bränsle- samt koldioxidbesparing i 2Ö.

## 7.4 Koldioxidutsläpp

En minskning av fordonens bränsleförbrukning får bland annat minskade koldioxidutsläpp som positiv följd. Även minskade koldioxidutsläpp leder till en reducering av samhällskostnader för styva beläggningar. Utifrån uppskattning av den mängd koldioxid som personbilar och lastbilar genererar per liter bränsle samt utifrån värdering av vad ett kilo koldioxid kostar att släppa ut i naturen kan den totala kostnadsbesparingen uppskattas. Resultatet av kostnadsbesparingen på grund av minskade koldioxidutsläpp redovisas tillsammans med resultatet för minskad bränsleåtgång i 2Ö, se Figur 7.4 ovan.

## 7.5 Uppdatering av resultatredovisning

Utöver de totala kostnaderna exklusive och inklusive samhällskostnader redovisas nu även alla delkostnaderna var och en för sig i resultatbladet, se Figur 7.5. Detta för att göra det lättare att se vilka kostnader som har störst påverkan på det slutliga beräkningsresultatet. Delkostnaderna redovisas även grafiskt i diagramjämförelsebladet.

	Totala kostnader						
	Exklusive samhällskostnader			Inklusive samhällskostnader			
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	
<b>Direkta kostnader</b>							
	[kkr]	40 296	34 776	5 520	41 032	27 329	13 703
	[kr/m <sup>2</sup> ]	816,00	683,91	132,09	826,66	575,98	250,68
<b>Nuvärde</b>							
	[kkr]	30 214	30 573	-359	30 454	26 831	3 623
	[kr/m <sup>2</sup> ]	523,77	495,44	28,34	527,25	441,21	86,04
<b>Årskostnad över livslängden</b>							
	[kkr/år]	1 527	1 545	-18	1 539	1 356	183
	[kr/år,m <sup>2</sup> ]	26,46	25,03	1,43	26,64	22,29	4,35

	Delkostnader						
	Direkta kostnader [kkr]			Nuvärdeskostnader [kkr]			
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	
<b>Investering</b>							
		24 288	29 250	-4 962	24 288	29 250	-4 962
<b>Underhåll</b>							
		16 008	5 526	10 482	5 926	1 323	4 603
<b>Påverkan på samhället</b>							
varav							
Ökad restid		702	817	-116	229	213	16
Ökad olyckskvot		34	40	-6	11	10	1
Bränslebesparing		0	-4 628	4 628	0	-2 210	2 210
Koldioxidbesparing		0	-3 676	3 676	0	-1 755	1 755

Figur 7.5 Den uppdaterade redovisningen av beräkningsresultatet i 2Ö.

## 7.6 Uppdatering av layout

Modellens färgsättning och uppbyggnad är i huvuddrag samma som i ursprungsmodellen. Den främsta förändring som skett är att trafikberäkningsbladet nu är dolt eftersom aktuella värden redan redovisas i flera av de andra bladen i modellen då dessa hämtar värden från trafikberäkningen.

De olika bladen är färgsatta för att bland annat förtydliga och förena de blad som hör samman. Även diagramjämförelsen har fått en något förändrad layout.

## 7.7 Åtkomst av indata

En stor del av den indata som krävs för livscykelkostnadsberäkning i 2Ö är främst information gällande den specifika vägens uppbyggnad och utformning, exempelvis längd, slitlagerbredd, hastighet, livslängd, klimatzon med mera.

Beskrivningar av olika valbara konstruktioner och trafikklassberäkning finns i ATB VÄG 2005, Vägverket (2005). Värderingar av restidskostnad, bränslepris och koldioxidutsläpp finns som tidigare nämnts i Effektsamband 2000, Vägverket (2001c).

Priser för material och utförande vid byggande och underhåll av vägen varierar från projekt till projekt. Erfarenhet och dagens prisläge kan underlätta vid uppskattning av dessa värden.

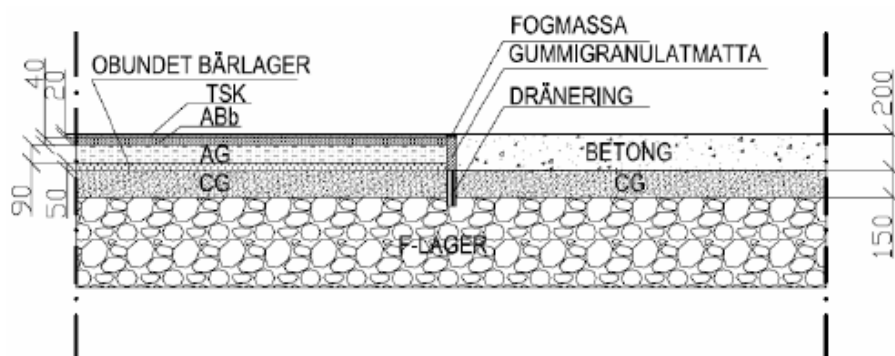
## 8 Kombinerade beläggningar

I Tyskland byggs idag motorvägar med så kallade kombinerade beläggningar där det långsamgående körfältet, K1, har betongbeläggning och de snabbgående körfälten, K2 och K3, har asfaltbeläggning, se Figur 8.1. Denna typ av konstruktion kan sägas vara ett kostnadseffektivt alternativ då de tunga fordonen och därmed den största belastningen kör på den styvare beläggningen i K1. Asfaltskiktet i K2 och K3 dimensioneras till en lägre tjocklek och ger lägre investeringskostnader samtidigt som spårdeformationerna minskar i K1 på grund av betongbeläggningens goda förmåga att ta upp laster, Flies, Lundberg (2007).



Figur 8.1 Kombinerad beläggning i Tyskland med betongbeläggning i det långsamgående körfältet samt vägrenen och asfaltbeläggning i de två snabbgående körfälten, Flies, Lundberg (2007).

I Sverige har vi inte lika stora trafikmängder att tampas med som i Tyskland. Konstruktionen med tre körfält beskriven ovan är därför inte aktuell i det svenska vägnätet, men varianter av den skulle kunna tänkas fungera som ett jämförbart alternativ. Ett sådant alternativ kan exempelvis vara att bygga mötesfria landsvägar, så kallade 2+1-vägar, med K1 i betong och K2 i asfalt. 2+1-vägar beskrivs djupare i avsnitt 8.1. Flies, Lundberg (2007) har utformat ett konstruktionsförslag för en vägöverbyggnad med kombinerad beläggning på en 2+1-väg, se Figur 8.2. Konstruktionen är inspirerad av liknande konstruktioner från Tyskland, men tar även hänsyn till våra svenska klimatförhållanden.



Figur 8.2 Förslag på konstruktion med kombinerad beläggning, Flies, Lundberg (2007).

## 8.1 2+1-vägar

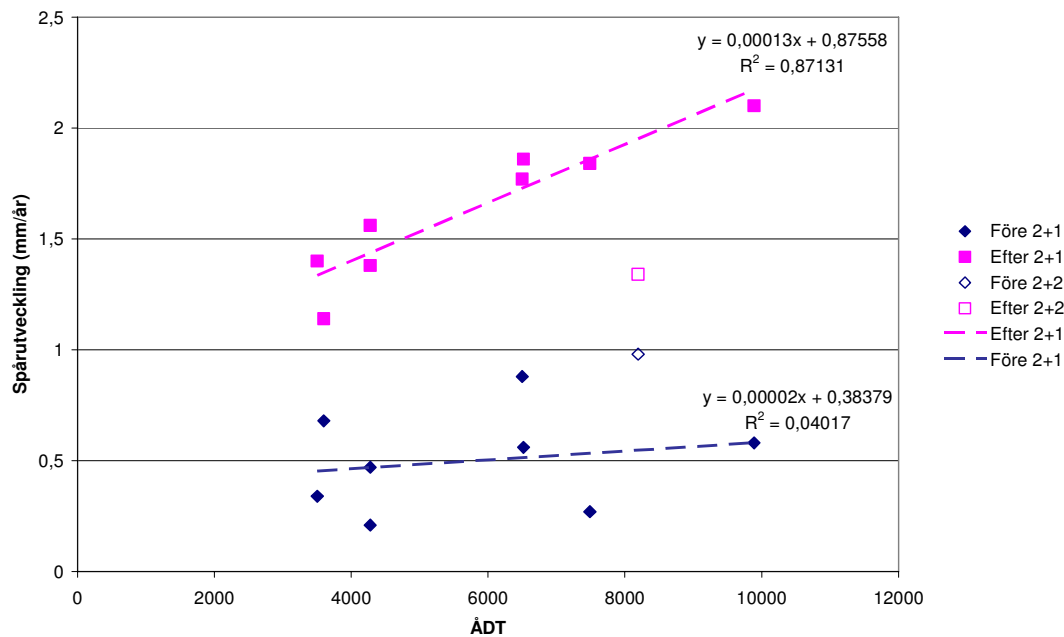
1998 startade Vägverket utvecklingsprogrammet ”alternativa 13 m-vägar” vars syfte var att öka trafiksäkerheten kostnadseffektivt på dåvarande 13 m-vägar och motortrafikleder. Bakgrund till utvecklingsprogrammet var att 25 % av det årliga totala antalet dödsolyckor respektive 20 % av det årliga totala antalet olyckor med svårt skadade inträffade på dessa vägar under 1990-talet, Brüde, Carlsson (2005). Resultatet av utvecklingsprogrammet blev de så kallade mötesfria motortrafiklederna, även kända som 2+1-vägar. Idag byggs många vägar i Sverige om till 2+1-vägar då dessa är mycket effektiva med avseende på trafiksäkerhet. En 2+1-väg är 13 m bred och växlar mellan ett respektive två körfält i vardera riktning, se Figur 8.3.



Figur 8.3 Bild över en mötesfri motortrafikled, Vägverket (2006).

När vägen byggs om från två till tre körfält i bredd blir körfälten också smalare då tvärsnittens totalbredd inte förändras. Detta resulterar i att trafiken på vägen blir mer spårbunden eftersom spåren får mindre körfältsbredd att spridas ut över. Spårbildningen ökar med högre hastighet jämfört med vad fallet skulle vara med vägens ursprungliga utformning. Ett annat uppkommande problem är att den tunga trafiken blir placerad nära vägkanten med denna typ av vägutformning. Även detta kan leda till stora permanenta deformationer, Jansson (2006).

I Mälardalen har ett antal bredare vägar byggts om till mötesfria 2+1-vägar och därefter vägytemätts minst två gånger. Data från dessa mätningar har sammanställts och jämförts med mätningar gjorda innan ombyggnation, se Figur 8.4. Resultat från jämförelsen visar att spårutvecklingen för de nybyggda 2+1-vägarna är mer ogynnsam än för de gamla vägarna, Jansson (2006).



Figur 8.4 Den årliga spårutvecklingen som funktion av ÅDT för en riktning före och efter ombyggnation, enligt Håkan Jansson, Vägverket (2006).

För att eventuellt kunna påvisa en ökning av spårbildning vid ombyggnation till 2+1-väg har en beräkning för att förutspå framtida permanenta deformationer utförts med hjälp av den finita elementmetoden VägFEM, se Kapitel 8.2. Då inga permanenta deformationer bildas i betongöverbyggnader har endast beräkning för en GBÖb utförts.

## 8.2 Beräkning av permanent deformation på 2+1-väg med asfaltbeläggning

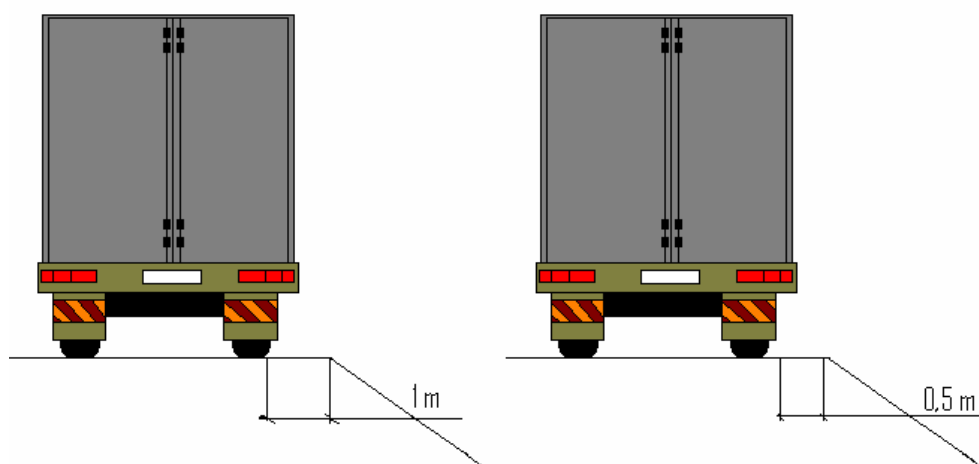
En fiktiv 2+1-väg med asfaltbeläggning har beräknats med avseende på framtida permanenta deformationer. För den typ av väg som här skall analyseras vore det mest korrekta vara att jämföra en BÖ med en GBÖb, men då bindlager är en förhållandevis ny företeelse är storleken på dess styvhetsmodul osäker, Huvstig (2007). Att räkna på en asfaltkonstruktion med bindlager skulle för detta fall bli i det närmaste en gissning, varför beräkningen istället utförs på en GBÖ med uppbyggnad enligt Tabell 8.1.

Tabell 8.1 Beräknad GBÖ.

	Tjocklek [mm]
Bitumenbundet slitlager	40
Bitumenbundet bärlager	100
Obundet bärlager	80
Förstärkningslager	420
Undergrund	2 360

Beräkningarna är utförda med hjälp av den finita elementmodellen VägFEM som beskrivs utförligare i Kapitel 8.2.1. I VägFEM räknas med en totalt 3000 mm hög överbyggnad där de permanenta deformationerna antas uppkomma rakt under fordonets hjul. De permanenta deformationerna har beräknats för en 13 m bred väg tänkt som en mötesfri 2+1-väg enligt följande tre scenarier. Två av scenarierna visas schematiskt i Figur 8.5 där:

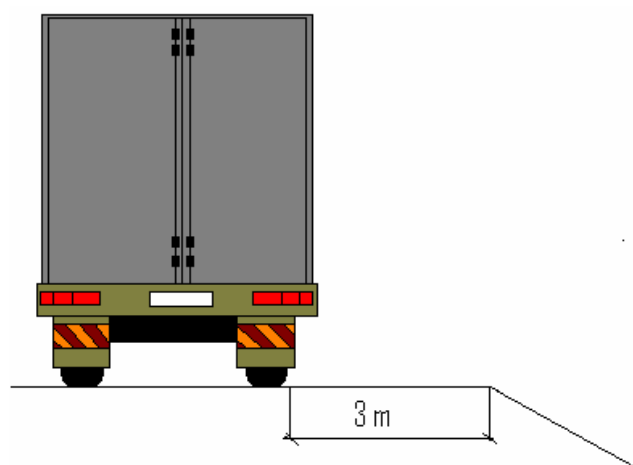
1. De tunga fordonen antas köra mitt i K1, det vill säga höger fordonshjul 1,0 m från vägens kant
2. De tunga fordonen antas köra i utkanten av K1, det vill säga höger fordonshjul 0,5 m från vägkanten



Figur 8.5 Scenario 1 och 2 enligt ovan.

Det tredje scenariot bygger på den äldre utformningen av en 13 m-väg med ett körfält i vardera riktningen och med 3 m breda vägrenar. Detta visas schematiskt i Figur 8.6 där:

3. De tunga fordonen antas köra med höger fordonshjul 3,0 m från vägens kant



Figur 8.6 Scenario 3 enligt ovan.



Den fiktiva vägen antas vidare ha en årsdygnstrafik på 10 000 fordon/dygn, varav 15 % av dessa är tunga fordon. Beräkningarna har gjorts för en period på 20 år och vägen antas ligga inom klimatzon 2. Programmet ansätter 3000 mm bankhöjd för vägöverbyggnaden. I Bilaga 6 redovisas indata för beräkningen av scenario 2. Alla tre scenarier har samma indata och förutsättningen med avståndet till väggkanten som enda skillnad.

## 8.2.1 VägFEM

VägFEM är en webbaserad finit elementmodell i 3D som beräknar en väggkroppens bärlighet och deformationer. Genom att definiera parametrar för indata såsom geometri, trafikbelastning, klimat och temperatur skapas en rapport med resultat från beräkningarna. Modellen baseras på en principkonstruktion med överbyggnadstypen GBÖ, Johansson (2007).

För de bitumenbundna lagren beräknas spårdjupen med hjälp av ekvation (8.1), en materialmodell benämnd NCHRP 1-37A, medan de obundna lagrens deformationer beräknas med hjälp av en materialmodell enligt Gidel, se ekvation (8.2).

$$\varepsilon_p = \varepsilon_r \cdot a_1 \cdot N^{a_2} \cdot T^{a_3} \quad (8.1)$$

där:

$\varepsilon_p$  = Plastisk deformation [-]

$\varepsilon_r$  = Elastisk, resilient deformation [-]

$N$  = Antal tunga överfarer

$T$  = Temperatur i bituminösa lager, [°C]

Övriga koefficienter för beräkning enligt materialmodell NCHRP 1-37A kan ses i Tabell 8.2. Regressionskoefficient  $a_1$ ,  $a_2$  respektive  $a_3$  har hämtats från Oscarsson (2007). Speciellt skall koefficient  $a_1$  korrigeras för beräkningar i Sverige, då  $a_1$  i NCHRP 1-37A grundar sig på enheterna Fahrenheit och inch, i Bilaga 7 redovisas differensen som måste åtgärdas vid beräkning.

Tabell 8.2 Olinjära regressionskoefficienter för deformationsberäkning, enligt materialmodell NCHRP 1-37A.

$a_1$	$a_2$	$a_3$
$10^{-3,35412}$	0,479244	1,5606

Plastiska deformationer i de obundna lagren beräknas i VägFEM, likt tidigare skrivet, med Gidels materialmodell enligt ekvation (8.2).

$$\varepsilon_p = \varepsilon_1^{p0} \cdot N^{-B} \cdot \left( \frac{\sqrt{p_{\max}^2 + q_{\max}^2}}{p_a} \right)^n \cdot \frac{1}{m + \frac{s}{p_{\max}} - \frac{q_{\max}}{p_{\max}}} \quad (8.2)$$

där:

$\varepsilon_p$  = Plastisk deformation [-]

$\varepsilon_1^{p0}$  = Regressionsparameter

$N$  = Antalet tunga överfarter

$B$  = Spänningsberoende modellparameter

$p_{\max}$  = Medelnormalspänning [kPa]

$q_{\max}$  = Maximal deviatorspänning [kPa]

$p_a$  = Referenstryck (100 kPa)

$m$  = Lutning på brottlinje

$n$  = Regressionsparameter

$s$  = Kohesion [kPa]

För de obundna lagren varierar konstanterna  $\varepsilon_1^{p0}$ ,  $B$ ,  $m$ ,  $n$  och  $s$  enligt Tabell 8.3.

Tabell 8.3 Koefficienter för deformationsberäkning i obundna lager, enligt Gidels materialmodell.

	$\varepsilon_1 [\cdot 10^{-4}]$	<b>B</b>	<b>n</b>	<b>m</b>	<b>s [kPa]</b>
Obundet bärlager	963,7	-0,0036	0,752	2,55	20
Förstärkningslager	963,7	-0,0036	0,752	2,55	20
Undergrund	31,45	0,366	0,36	1,6	26,2

## 8.2.2 Styvhetsmoduler

För att beräkna den permanenta deformationen i en vägöverbyggnad krävs att de ingående lagrens styvhetsmoduler är kända. Styvhetsmodulerna för de obundna lagren antas vara konstanta med temperaturen. De bitumenbundna lagrens styvhetsmoduler antas däremot variera med årstiderna. Värden på styvhetsmoduler kan ses i Tabell 8.4, Vägverket (2005).

Tabell 8.4 Styvhetsmoduler,  $M_s$ , för respektive lager samt för de årstider då deformationer antas uppstå i en asfaltväg.

	Styvhetsmoduler, $M_s$ [MPa]			
	Vår	Vår/Sommar	Sommar	Höst
Bitumenbundet slitlager	11 000	8 000	4 000	11 500
Bitumenbundet bärlager	8 000	4 500	2 500	8 500
Obundet bärlager	-	-	-	-
Förstärkningslager	450	450	450	450
Undergrund	100	100	100	100

Alla årstider förutom vintern beaktas för beräkningarna då inga permanenta deformationer antas uppstå vid låga temperaturer. Ett intervall mellan vår- och sommarmodulerna respektive sommar- och höstmodulerna har interpolerats fram eftersom skillnaden mellan dessa är stor.

### 8.2.3 De bitumenbundna lagrens temperaturberoende

Bitumenbundna beläggningar är när det gäller permanenta deformationer väldigt beroende av rådande temperatur. Vid pålastning under höga temperaturer i bitumenbundna lager deformeras dessa snabbt på grund av att bituminet då blir mjukare, Hakim, Hermansson, Said (2006). Det är därför viktigt att ta hänsyn till det aktuella vägojektets geografiska läge vid dimensionering av dessa lager samt förväntade temperaturfördelningar och variationer under året i vägens olika lager.

På uppdrag av Vägverket har VTI kartlagt beläggningstemperaturer och variationer på olika platser runt om i landet, bland annat för att prognostisera framtida spårbildningar, Hakim, Hermansson, Said (2006). Temperaturfördelningar uppmätta i Jönköpings län har använts till beräkningen av permanenta deformationer. Endast temperaturer högre än 10°C beaktas i beräkningarna då detta kan anses vara gränsen för när bitumen påverkas, Huvstig (2007). Två mätningar finns tillgängliga för temperaturfördelningen i Jönköpings län; en första mätserie utförd 1994 och en andra från 1999, Hakim, Hermansson, Said, (2006). Mätserien från 1999 ligger generellt på lägre temperaturer jämfört med 1994. I beräkningarna används således mätserien från 1994 då det är mest troligt att temperaturerna framöver kommer gå mot högre värden.

För att ta hänsyn till de bitumenbunda lagrens temperaturberoende har mätningarna från Jönköpings län använts till att representera temperaturfördelningen i den GBÖ som skall beräknas. Mätseriens uppmätta temperaturer på 20 mm djup får representera det bitumenbundna slitlagret. I det bitumenbundna bärlagret antas temperaturen variera och ligga 5 – 10°C lägre än slitlagret, se Tabell 8.5. På det viset beaktas temperatureffekter av bland annat solstrålning direkt på slitlagret i beräkningarna.

Tabell 8.5 De temperaturer i slit- och bärlager som används i beräkningarna.

$T_{\text{Slitlager}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{Bärlager}} [^{\circ}\text{C}]$	Årstid
42,5	32,5	Sommar
37,5	27,5	Sommar
32,5	22,5	Sommar
27,5	17,5	Vår/Sommar
22,5	17,5	Vår
17,5	12,5	Vår
12,5	7,5	Höst

Temperaturerna i mätserien är uppmätta under perioden maj till juli, men har räknats om till att representera maj till september. Under resterande månader antas att temperaturen inte når högre än 10°C.

#### 8.2.4 Resultat från beräkning av permanenta deformationer

Spårdeformationerna har med hjälp av VägFEM beräknats på båda sidor om det tänkta fordonets hjulaxel. För de tre olika scenarierna beskrivna tidigare i kapitlet kan resultaten från beräkningarna ses i Tabell 8.6 samt i Bilaga 8.

Tabell 8.6 Beräknade spårdjup.

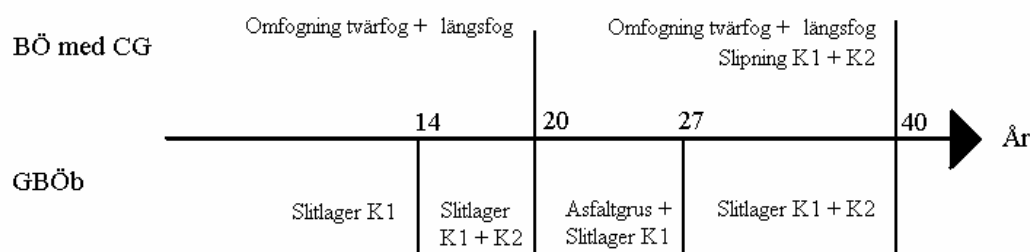
	Fordonets avstånd till väggkant		
	0,5 m	1,0 m	3,0 m
Spårdjup vid fordonsaxel närmast väggkant [mm]	25,7	28,3	29,3
Spårdjup vid fordonsaxel närmast vägmitt [mm]	30,2	29,3	29,5

När fordonen färdas på olika placeringar i körfältet visar Tabell 8.6 på vissa variationer i permanenta deformationer. Den fordonsaxel som körs närmast väggkant har lägst deformationer oavsett avstånd till den tänkta väggbankens yttre kant. Det är troligt att VägFEM inte tar hänsyn till den minskning av inspänning som råder vid väggbankens kant på grund av bankens släntlutning. Uppskattningsvis kan dock sägas att de permanenta deformationerna på en väg med liknande förutsättningar enligt denna beräkning ligger runt 30 mm sett över vägens livslängd.

## 9 Resultat

För att demonstrera 2Ö som beräkningsmodell samt för att utreda ett vad som skulle kunna vara verkligt fall har en beräkning utförts där en asfaltväg jämförs med en betongväg. Exemplet i 2Ö med använda indata, beräkningar och resultat återfinns i Bilaga 9. I detta kapitel kommer resultatet av jämförelsen diskuteras.

Grundförutsättning för beräkningen är att en GBÖb, se Kapitel 3.1, jämförs med en BÖ m CG, se Kapitel 3.2. Dessa konstruktioner samt materialkostnader för ingående lager finns beskrivna i angivna kapitel. Underhållsstrategi under livslängden för respektive vägöverbyggnad och materialkostnader till följd av underhållet finns beskrivet i Kapitel 4 och visas schematiskt i Figur 9.1.



Figur 9.1 Underhållsstrategi enligt Kapitel 4 för vägtyp BÖ med CG samt GBÖb under 40 år.

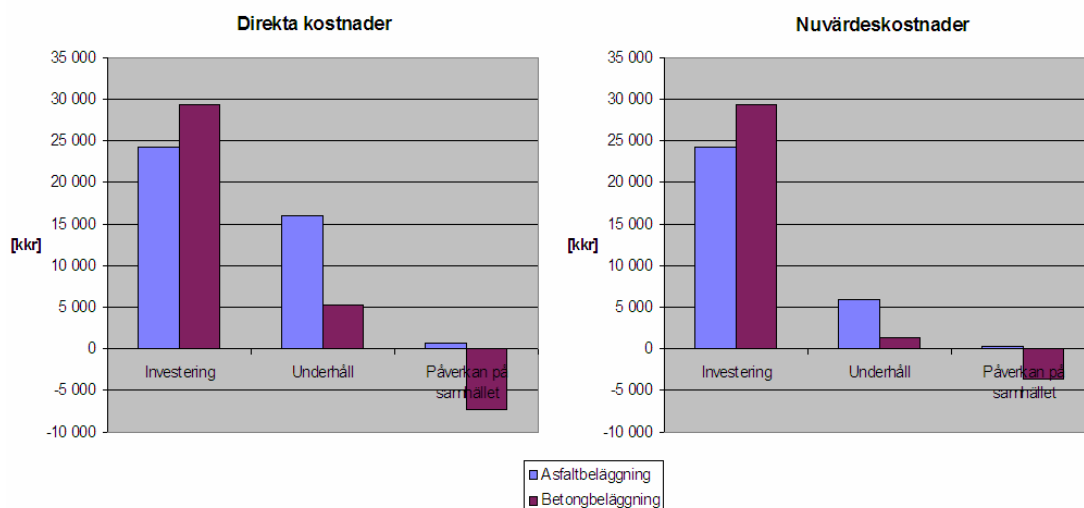
Sett över hela livslängden är betongbeläggningen i detta exempel det mest fördelaktiga alternativet, se Tabell 9.1. Den nuvärdesberäknade differensen mellan de båda beläggningarna utifrån givna indata är cirka 3 500 000 kr. Förklaringen till den stora skillnaden mellan de direkta kostnaderna och nuvärdeskostnaderna för asfaltbeläggningen är dess höga samhällskostnader som är utspridda under hela livslängden och som vid en omräkning från direkt kostnad till nuvärde får ett lägre värde.

Tabell 9.1 De totala kostnaderna samt differensen mellan asfalt- och betongbeläggning.

	Direkta kostnader [kkkr]	Nuvärdeskostnader [kkkr]	Årskostnad över livslängd [kkkr/år]
Asfaltbeläggning	40 952	30 440	1 538
Betongbeläggning	27 329	26 941	1 361
<i>Differens</i>	<i>13 623</i>	<i>3 499</i>	<i>177</i>

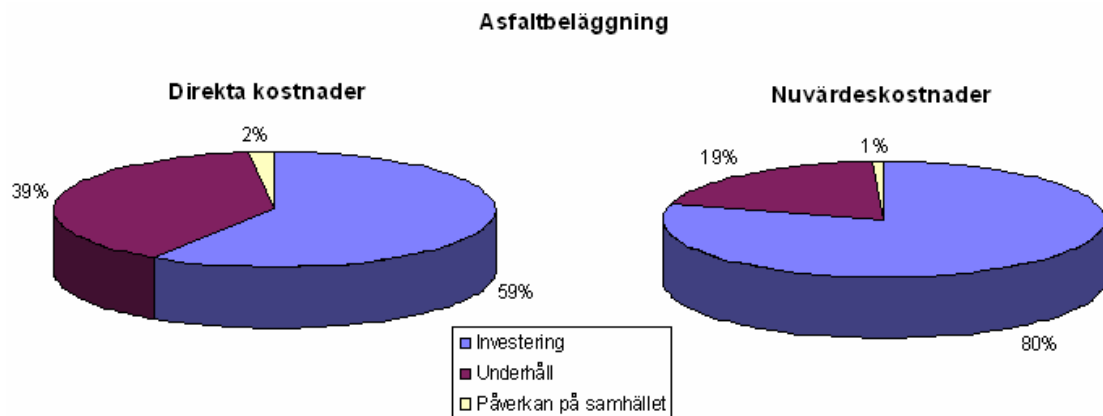
Vid en närmare analys av storleken på de ingående kostnaderna kan det konstateras att investeringskostnaderna är högre för betongbeläggningen, men övriga kostnader är

högre för asfaltbeläggningen, se Figur 9.2. Figuren visar även att det är investeringskostnaderna som är den kostnad som har störst betydelse för resultatet. I nuvärdesberäkningen är investeringskostnaderna lika stora som de direkta kostnaderna på grund av att dessa kostnader uppkommer ”år 0”. De övriga kostnaderna uppkommer senare under livslängden vilket innebär att de i dagens läge inte anses lika mycket värda.

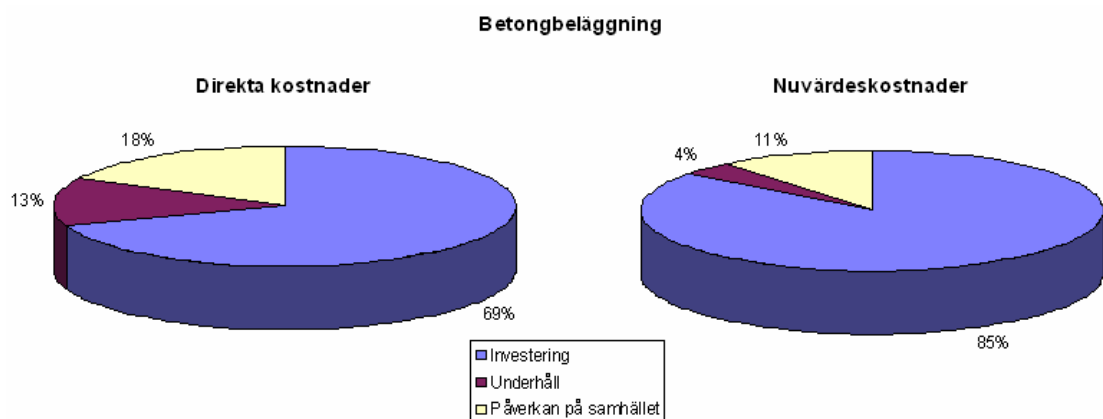


Figur 9.2 Direkta kostnader och nuvärdeskostnader för asfalt- och betongbeläggningen från den jämförande beräkningen i 2Ö.

Den procentuella kostnadsfördelningen är olika för de båda beläggningarna, se Figur 9.3 och Figur 9.4. För asfaltbeläggningen står investeringskostnaden för 80 % av den totala nuvärdeskostnaden, medan investeringskostnaden för betongvägen står för 85 %. Underhållet bidrar till 19 % av asfaltbeläggningens totala nuvärdeskostnader och 4 % för betongbeläggningen. Den beräknade påverkan på samhället för beläggningarna är svårare att jämföra då denna i 2Ö utgörs av en kostnad för asfaltbeläggningen och en kostnadsbesparing för betongbeläggningen. 1 % av asfaltbeläggningens totala nuvärdeskostnad utgörs av kostnad för samhällspåverkan respektive 11 % av betongbeläggningens nuvärdeskostnad.

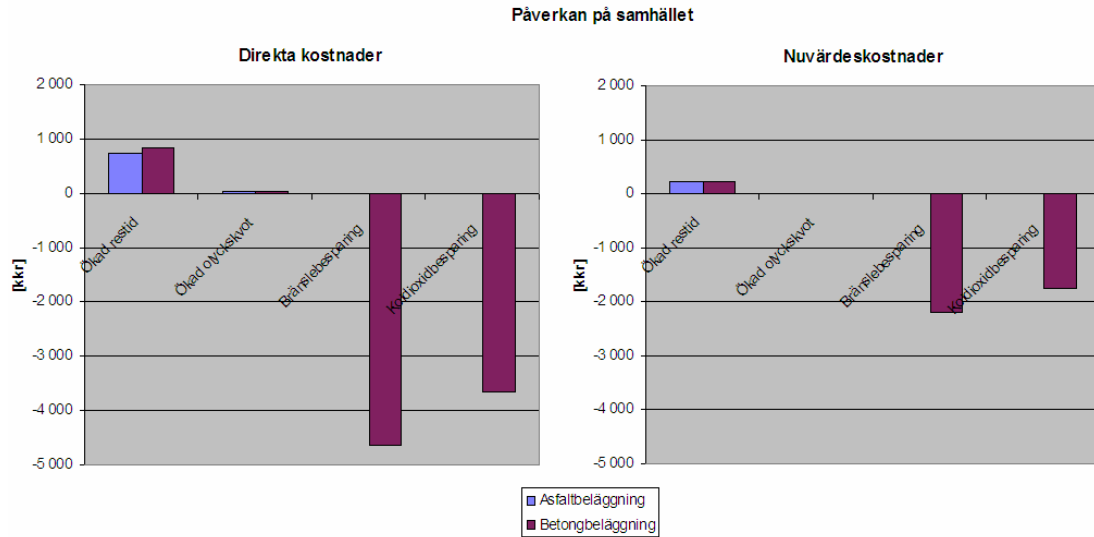


Figur 9.3 *Fördelningen mellan kostnaderna beräknade i 2Ö för asfaltbeläggningen som direkta kostnader och nuvärdeskostnader.*



Figur 9.4 *Fördelningen mellan kostnaderna beräknade i 2Ö för betongbeläggningen som direkta kostnader och nuvärdeskostnader. Observera här att "Påverkan på samhället" är en besparing.*

Vid en uppdelning av de olika samhällskostnaderna för asfalt- och betongbeläggningen fås storleksfördelning enligt Figur 9.5. Restidskostnader och olyckskostnader drabbar båda beläggningarna, men bränsle- och koldioxidbesparingar uppkommer endast för betongbeläggningen. Som Figur 9.5 visar ligger storleksordningen på restids- och olyckskostnaderna på ungefär samma kostnadsnivå för både asfalt- och betongbeläggningen. Det som har en avgörande betydelse här är att bränsle- och koldioxidbesparingarna i jämförelse är så stora att det blir de som får övertaget i beräkningen. Detta resulterar i en stor fördel för betongbeläggningen. Samhällspåverkan genererar således i detta exempel en stor kostnadsbesparing för betongbeläggningen.



*Figur 9.5 Storlek på påverkan på samhället för asfalt- och betongbeläggningen i direkta kostnader respektive nuvärdeskostnader.*



## 10 Känslighetsanalys av 2Ö

För att utreda hur olika variationer av ingående parametrar påverkar den totala slutsumman bör känslighetsanalyser av kalkyleringar utförda i 2Ö göras. Det finns många faktorer som kan påverka det slutliga resultatet, här följer några tänkbara sådana:

- Priser för material och utförande ökar/minskar, samt ökar/minskar olika mycket för respektive beläggning?
- Bränsleminskningen varierar? Hur mycket påverkar bränsleminskningen egentligen samhälls- respektive de totala kostnaderna?
- Kostnaden för utsläpp av koldioxid ökar, vilken inte är orimligt med framtida åtgärder mot den globala uppvärmningen.
- Underhållsstrategierna visar sig vara fel? Att betongen måste slipas en extra gång eller att asfaltbeläggningen måste åtgärdas tidigare än planerat?
- Trafikökningen ökar/minskar mer/mindre än förutspått?

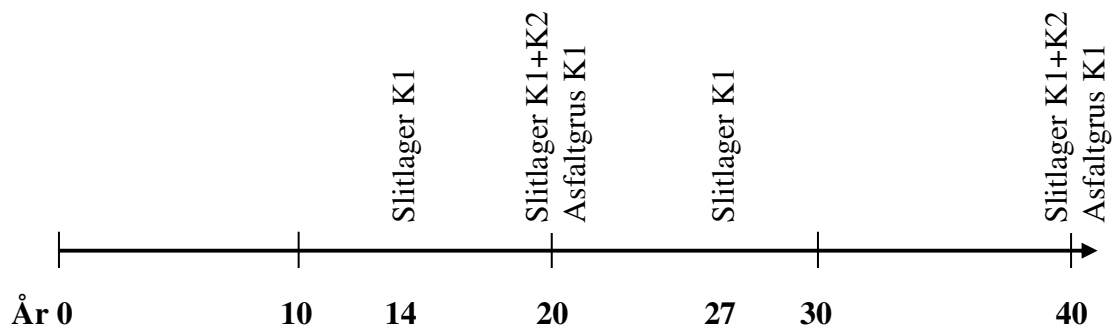
En avgränsning har gjorts till att endast utföra en känslighetsanalys av det tidigare beräknade exemplet. Avsikten är att analysera vad en felbedömd underhållsstrategi kan ge för påverkan på de olika beläggningarnas livscykelkostnader.

En felbedömning av framtida underhållsbehov kan få en stor påverkan för en vägs livscykelkostnad. Om skillnaden på livscykelkostnad inte är särskilt stor mellan två olika beläggningsoptioner kan det vara en god idé att titta lite extra på och värdera trovärdigheten i de underhållsstrategier som fastställts.

I denna känslighetsanalys utökas de båda beläggningarnas ursprungliga underhållsstrategier och kostnaderna jämförs sedan.

### 10.1.1.1 Asfaltväg

En tidigareläggning av underhåll på asfaltgruset i K1 antas ske år 20 istället för planerade år 27. Detta får till följd att ett ytterligare underhåll av asfaltgruset kommer att krävas år 40. Även slitlagret behöver underhållas år 20, vilket blir ett extra tillfälle mot det förväntade, se Figur 10.1.



Figur 10.1 Ny underhållsstrategi för asfaltbelägningen.

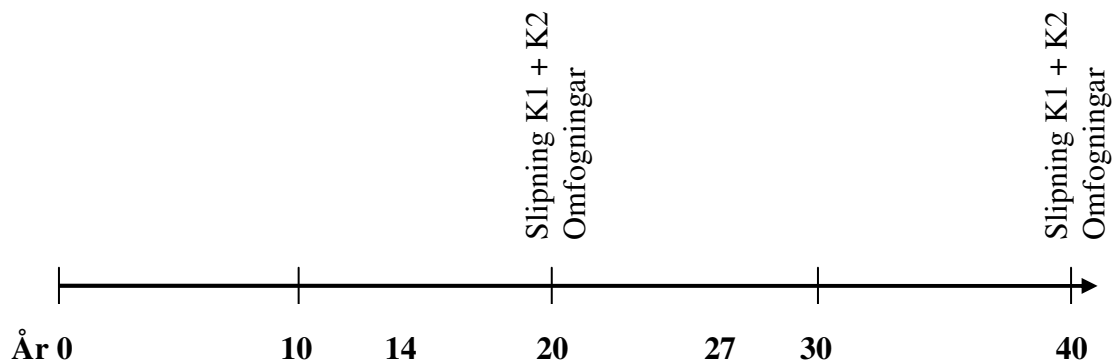
Resultatet blir en ökning av den nuvärdesberäknade underhållskostnaden med cirka 2 200 000 kr, se Tabell 10.1. Till följd av de ökade underhållsåtgärderna ökar också restids- och olyckskostnaderna något, men denna ökning är liten. Fullständigt resultat från beräkningen återfinns i Bilaga 10.

Tabell 10.1 Skillnad i underhållskostnad då en förändrad underhållsstrategi för en asfaltbeläggning krävs.

	Underhållskostnad, Asfaltbeläggning	
	Direkt kostnad [kkr]	Nuvärdeskostnad [kkr]
Ursprunglig underhållsstrategi	16 008	5 926
Utökad underhållsstrategi	21 804	8 170
<b>Differens</b>	<b>5 796</b>	<b>2 244</b>

### 10.1.1.2 Betongväg

Ett scenario där en ytterligare slipning av betongbelägningen tvingas utföras år 20 har analyserats med hjälp av 2Ö, se Figur 10.2.



Figur 10.2 Ny underhållsstrategi för betongbelägningen.

Den extra slipningen medför en nuvärdesberäknad kostnadsökning för underhåll med ca 1 800 000 kr, se Tabell 10.2. Till följd av ökat antal dagar med underhållsarbete på vägen sker en ökning av samhällskostnaderna, vilket även för betongbeläggningen är så liten att slutresultatet inte påverkas nämnvärt. Hela beräkningsresultatet återfinns i Bilaga 10.

*Tabell 10.2 Skillnad i underhållskostnad då en förändrad underhållsstrategi för en betongbeläggning krävs.*

	<b>Underhållskostnad, Betongbeläggning</b>	
	Direkt kostnad [kkkr]	Nuvärdeskostnad [kkkr]
Ursprunglig underhållsstrategi	5 526	1 323
Utökad underhållsstrategi	9 468	3 147
<b>Differens</b>	<b>3 942</b>	<b>1 824</b>

Den förändrade underhållsstrategin mer än fördubblar betongbeläggningens nuvärdesberäknade underhållskostnad. Denna stora ökning beror på att betongvägen i sitt ursprungsläge utöver byte av foglistor endast hade en slipning år 40 inplanerad. En ytterligare slipning år 20 får stora konsekvenser eftersom den infaller mycket tidigare, vilket medför en större nuvärdeskostnad.

# 11 Diskussion

En väg är ett långsiktigt projekt där det är viktigt att se på kostnaderna som uppkommer under alla år över livslängden. Att inte utreda och jämföra olika alternativ och typer av vägbeläggningar utan bygga det som av gammal vana alltid tidigare byggts tyder på okunskap och eventuell ovilja att sträva framåt i branschen.

Många tveksamheter finns kring värdering av samhällspåverkande faktorer vilket förmodligen är en av anledningarna till att en total livscykelkostnadsanalys inte används fullt ut vid planering av ett vägprojekt. Alla påverkande faktorer går inte att värdera till en exakt kostnad. Dock kvarstår faktumet att dessa faktorer ändå finns där och måste tas hänsyn till på ett eller annat sätt.

En betydande del av livscykelkostnaden står investeringskostnaden för, så med exempelvis en prisnivå som talar till fördel för en viss beläggning blir kostnadsnivån och medföljande jämförelse missvisande. Kvaliteten på investeringen påverkar tydligt framtida underhålls- och samhällskostnader. Likaså är det viktigt att redan från början ha de framtida underhållsstrategierna klara och tydliga och framförallt förstå sambandet mellan investerings- och underhållskostnaderna.

För tillfället finns få konkurrenter till asfalt som beläggningsmaterial och asfaltentreprenörer kan agera tämligen fritt. En kvalitetsökning av svenska vägbeläggningar pressar priserna, ökar konkurrensen och sätter press på tillverkarna. Detta kan exempelvis göras genom att effektivisera konstruktionsprocessen eller köpa in en beläggningsläggare som kan användas för både flexibla och styva beläggningar.

En viktig aspekt att diskutera är huruvida det är rättvisande att jämföra två beläggningar med olika livslängder. Någon typ av restvärdesbedömning borde göras efter 20 år alternativt konstruera asfaltbeläggningsen så att även den, likt betongbeläggningsen, får en 40-årig livslängd. Med samma utgångspunkter är det lättare att värdera kostnader och se skillnader två beläggningar emellan.

Kombinerade beläggningar på flerfiliga vägar kan vara ett koncept att ta in i Sverige i framtiden. Med betongbeläggning i det körfält där det färdas mest tung trafik kan behovet av underhåll minskas jämfört med om alla körfält är belagda med asfalt. Eftersom Sverige har relativt låga trafikmängder i jämförelse med andra länder skulle kombinerade beläggningar till en början kunna bli mest kostnadseffektivt på 2+1-vägar, speciellt om de äldre 13-metersvägarna byggs ut.

En faktor som också spelar roll vid utvärdering av ett framtida vägprojekt är kostnadsvärderingen av olyckor. I 2Ö värderas en olycka till 30 000 kr, som ett genomsnittligt värde då olyckor sker under underhållsperioder. Effektsamband 2000 värderar å andra sidan olyckor något högre, men efter parametrar som exempelvis allvarlighetsgrad på olyckan och om olyckan rapporteras till polisen. Oavsett om olyckor inträffar vid underhåll, då vägytan har stora brister såsom djupa spår, eller då vägen används normalt bör olyckan speglas rättvist i både beräkningar och prisnivåer.

I analys med 2Ö finns vissa felkällor som kan slå på resultatet, enligt nedan:

- Investeringskostnaden beräknas utan att ta hänsyn till några släntlutningar på vägbanken, vilket gör att kostnaden blir i underkant för de båda alternativen. Eftersom konstruktionerna, förutom slitlagret, skall vara lika för båda slår dock felet lika mycket på de båda beläggningsarnas obundna lager.
- Priserna för material och utförande till både investerings- och underhållskostnaderna är svåra att fastställa exakta värden på. Prisnivåerna varierar för olika projekt, vid olika tidpunkter och för olika entreprenörer.
- Storleken på den minskade bränsleförbrukningen är som tidigare nämnts mycket osäker. Den bör sättas till ett lägre värde än vad forskningen visar så risken för att felet skall gå åt andra hållet minimeras. Dessutom är det viktigt att inte ta i för mycket, för att få en trovärdig och rättvisande beräkning.
- Minskningen av bränsleförbrukningen antas som ett genomsnittligt värde för alla personbilar respektive lastbilar. Dessa värden kan naturligtvis variera en hel del även inom fordonsklasserna.
- Den procentuella årliga trafikökningen är beroende av ett flertal faktorer, bland annat rådande konjunktur, vilket gör en prognostisering över en 40-årsperiod svår. En förändrad trafikökning än den förutspådda ger behov av annorlunda underhållsstrategier och därför ändrade kostnader.

Vidare finns det en klar skillnad mellan betong- och asfaltbeläggningsars ljushet och det av ljusheten beroende belysningsbehovet på vägen under mörker. Värderingen av beläggningsens ljushet kan vara svår att placera under livslängden, då den kommer sig av materialvalet i projekteringsfasen. Ljusheten påverkar kostnaden för vägens framtida belysningsbehov såväl som trafiksäkerheten. En beläggnings ljushet och speglingsgrad värderas inte i denna uppdatering av 2Ö, men är en faktor som är både intressant och värdefull att titta närmare på inför framtida uppdateringar och övriga livscykelkostnadsanalyser.

## 12 Slutsatser

De resultat som kommit fram vid vår analys visar att en betongbeläggning är mer fördelaktig sett över den totala livscykeln. Asfalt som beläggning har högre underhålls- och samhällskostnader än betong, medan betong har högre investeringskostnad. Sett till alla ingående kostnader tar investeringskostnaden störst andel, oavsett beläggning. Därför kan slutsatsen dras att ett välgenomtänkt investeringsunderlag ger bäst resultat i slutändan.

Vidare visar analysen att en felbedömd underhållsstrategi kan få betydande följder, vilket i värsta fall kan medföra ett i slutändan kostsamt val av beläggningsmaterial. Det är därför viktigt att underhållsstrategierna är stärkta av tidigare erfarenheter.

En utvärdering av ett framtida vägobjekt bör alltid vara objektiv, inte påverkad av en viss bransch samt innehålla säkerställda forskningsresultat. Analysen bör även visa på vilken påverkan på samhället en beläggning kan ha under dess livstid. Det är dock svårt att fastställa samband vad gäller samhällskostnader. Därför är det viktigt att forskning om samhällspåverkande faktorer fortsätter.

För att vägbeläggningar skall bli så kostnadseffektiva som möjligt bör en jämförande analys av olika alternativ alltid finnas i åtanke. Om det fortsätter byggas på rutin i framtiden finns risken att det svenska vägnätet blir dyrare än det behöver vara. En öppnare syn på olika beläggningsmaterial gynnar alla, såväl väghållare och entreprenörer som samhället.

## 13 Referenser

### Litteratur

- Bolling, A., Nilsson, L. (2001): *Utvärdering av kameraövervakade vägarbetsplatser – en pilotstudie*. VTI notat 64-2001. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping, Sverige, 2001.
- Bolling, A., et al. (2006): *FORMAT – Optimerat vägunderhåll*, VTI notat 15-2006. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping, Sverige, 2006.
- Borg, J. Dagefors, E. (2007): *Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar, fördjupning mot asfalt*. Examensarbete 5/2007. Högskolan i Borås, Borås, Sverige, 2007.
- Brüde, U., Carlsson, A. (2005): *Uppföljning mötesfria vägar, Halvårsrapport 2004:2*. VTI notat 47-2005. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping, Sverige, 2005.
- Degerman, P., Haraldsson, M. (2003): *Vägverket, kalkyler vid val av överbyggnad – ett val med konsekvenser*. Magisteruppsats. Företagsekonomiska institutionen, Lunds universitet, Lund, Sverige, 2003.
- Flies, R., Lundberg, L. (2007): *Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar, fördjupning mot betong*. Examensarbete. Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sverige, 2007.
- Forsberg, I., Magnusson, G. (2000): *Vägojämnhet – Komfortkostnad, En litteraturstudie*. VTI notat 11-2000. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping, Sverige, 2000.
- Friberg, F. (2007): *Lugnare arbete på väg, Internationell utblick för säkrare vägarbeten med inriktning mot olycksanalys och nya metoder för trafiksäkra hastigheter*. Publikation 2007:26. Nordiska Vägtekniska Förbundets svenska avdelning, Borlänge, Sverige, 2007.
- Geoffroy, D. N. (1996): *Cost-effective preventive pavement maintenance*. Transportation Research Board, Washington, USA, 1996, 109 pp.
- Hakim, H., Hermansson, Å., Said, S. (2006): *Beläggningslagars temperaturer*. VTI notat 3-2006. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping, Sverige, 2006.
- Huvstig, A. (1997): *Wirtschaftlichkeit von Fahrbahnbefestigungen. Betonstrassentagung – Vorträge der Tagung der Arbeitsgruppe "Betonstrassen"*, Köln, Tyskland, 27 – 28 Oktober 1997.
- Ihs, A., Magnusson, G. (2000): *Betydelsen av olika karakteristika hos beläggningsytan för trafik och omgivning*. VTI notat 71-2000. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping, Sverige, 2000.

- Jansson, H. (2006): *Spårutveckling på 2+1-vägar i Region Mälardalen*. Vägverket, Borlänge, Sverige, 2006.
- Löfsjögård, M. (2003): *Functional Properties of Concrete Roads – Development of an Optimisation Model and Studies on Road Lighting Design and Joint Performance*. Doctoral Thesis. Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sverige, 2003.
- Nilsson, M. (1991): *Modell för nuvärdesberäkning av en vägs funktionstidskostnad*. Publ 1991:053. Vägverket, Borlänge, Sverige, 1991.
- NVF (1985): *Underhåll av betongbeläggningarna i Skåne*. Rapport nr 7:1985. Nordiska Vägtekniska Förbundet, Utskott 32, Borlänge, Sverige, 1985.
- NVF (1989): *70- talets betongvägar – tillstånd och underhållskostnader*. Rapport nr 5:1989. Nordiska Vägtekniska Förbundet, Utskott 34, Borlänge, Sverige, 1989.
- Oscarsson, E. (2007): *Prediction of Permanent Deformations in Asphalt Concrete using the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Licentiate Thesis. Institutionen för teknik och samhälle, Lunds Tekniska Högskola, Lund, Sverige 2007.
- Pettersson, Ö. (1990): *Dimensionering av oarmerade betongvägar*. Cement och Betong Institutet, Rapport 2:90, Stockholm, Sverige, 29 pp.
- Pichler, W. (1994): *Langzeitverhalten von Betonstrassen und Wirtschaftlichkeit*. Internationales Betonstrassen-Symposium, Wien, Österrike, 3 -5 Oktober 1994.
- Ressel, W., Schmuck, A. (1992): *Wirtschaftlichkeitsvergleich für unterschiedliche Bauweisen*. Die Asphaltstrasse, Vol 22, No. 9, 1992, pp. 24-30.
- Ressel, W. (1988): *Asphalt und Beton – Ein Wirtschaftlichkeitsvergleich*. Information – Verkehrsplanung und Strassenwesen. Universität der Bundeswehr München-Neubiberg. 1988. pp 103 – 121.
- SIKA (2002): *Översyn av samhällsekonomiska metoder och kalkylvärden på transportområdet*. SIKAs Rapport 2002:4. Stockholm, Sverige, 2002.
- SIKA (2005): *Den samhällsekonomiska kalkylen, en introduktion för den nyfikne*. SIKAs Rapport 2005:5. Stockholm, Sverige, 2005.
- Säisä, J., et al. (2005): *Trafikantmerkostnader vid vägåtgärder*. CERUM Report 14:2005. Umeå, Sverige, 2005.
- Vägverket (1997): *Översyn betongvägsalternativ*. Publ 1997:126. Vägverket, Borlänge, Sverige, 1997.
- Vägverket (2000): *RUV: Regler för underhåll av vägmarkeringar*. Publ 2000:102. Vägverket, Borlänge, Sverige, 2000.
- Vägverket (2001a): *Effektsamband 2000: Gemensamma förutsättningar*. Publ 2001:75. Vägverket, Borlänge, Sverige, 2001.



Vägverket (2001b): *Effektsamband 2000: Nybyggnad och förbättring – Effektkatalog*. Publ 2001:78. Vägverket, Borlänge, Sverige, 2001.

Vägverket (2001c): *Effektsamband 2000: Nybyggnad och förbättring –Handledning*. Publ 2001:80. Vägverket, Borlänge, Sverige, 2001.

Vägverket (2005): *ATB VÄG 2005: Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner*. Vägverket, Borlänge, 2005.

Wågberg, L-G. et al. (1991): *Bära eller brista – handbok i tillståndsbedömning av belagda gator och vägar*. Svenska kommunförbundet, Väg- och trafikinstitutet och Vägverket, Stockholm, Sverige, 1991, 44 pp.

### **Muntliga källor**

Engelking, H. (2007): *Personlig kontakt*. Mailkontakt, Landesstelle für Straßentechnik, Tübingen, Tyskland, September 2007.

Enocksson, C-G. (2007): *Personlig kontakt*. Fortlöpande kontakt under examensarbetets gång, Vägverket Region Väst, Göteborg, Sverige, Juni – November 2007.

Hagert, C. (2007): *Personlig kontakt*. Personligt möte, Vägverket Region Väst, Göteborg, Sverige, Augusti 2007.

Huvstig, A. (2007): *Personlig kontakt*. Handledning, Vägverket Region Väst, Göteborg, Sverige, Juni – November 2007.

Jansson, S. (2007): *Personlig kontakt*. Telefon- samt mailkontakt, Cementa, Stockholm, Sverige, Oktober – November 2007.

Kornherr, E. (2007): *Personlig kontakt*. Mailkontakt, Landesstelle für Straßentechnik, Tübingen, Tyskland, Juni – Juli 2007.

Winnerholt, T. (2007): *Personlig kontakt*. Handledning, Vägverkets huvudkontor, Borlänge, Sverige, Juni – November 2007.

### **Internet**

Johansson, M. S. (2007): *Användarhandledning VägFEM*, [http://vagfem.volvo.com/vagfem/images/guide/VagFEM\\_Manual.htm](http://vagfem.volvo.com/vagfem/images/guide/VagFEM_Manual.htm), November 2007.

Vägverket (2007a): *Betongvägens tekniska egenskaper och uppbyggnad*, [http://www.vv.se/templates/page3\\_14480.aspx](http://www.vv.se/templates/page3_14480.aspx), November 2007.

Vägverket (2007b): *E4 Uppsala - Mehedeby*, [http://www.vv.se/templates/page3\\_3837.aspx?epslanguage=EN](http://www.vv.se/templates/page3_3837.aspx?epslanguage=EN), Oktober 2007.

## 14 Bilagor

1. Brev till Tyskland
2. Brev till USA
3. Beräkning i PMS Objekt för ökning av teknisk livslängd
4. Litteraturstudie samhällskostnad
5. Antal sommardagar i klimatzon 1 - 5
6. Indata VägFEM
7. Korrigering av  $a_1$
8. Resultat VägFEM
9. Beräkningsexempel 2Ö
10. Känslighetsanalys 2Ö – felbedömd underhållsstrategi

# 1. Brev till Tyskland

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir sind zwei Studentinnen von der Chalmers Technische Universität, Göteborg Schweden, die eine Examensarbeit, auf Strassenamt für Verkehrswesen, Region West, schreiben sollen.

Unsere Arbeit ist Beton- und Asphaltfahrbahnen zu vergleichen, was Baukosten, Erhaltungskosten, und vielleicht auch Folgekosten betrifft. Wir möchten die Daten für die Forschung zusammenstellen und Erfahrungen sammeln.

Wir haben Ihre Adresse von Anders Huvstig, Strassenamt für Verkehrswesen, bekommen, weil Sie große Erfahrung mit Betonstrassen haben. Wir wären Ihnen deshalb für die Beantwortung folgender Fragen sehr dankbar.

1. Welche Faktoren sind für die Wahl zwischen Betonfahrbahnen und Asphaltfahrbahnen ausschlaggebend? Untersuchen Sie jeden einzelnen Fall?
2. Haben Sie Statistiken über die Kosten/Häufigkeiten für Verkehrssicherheit, Störungen und Warteschlangen bei Erhaltung? Wenn möglich, möchten wir bitte die Antworten in Einheiten Trafikkosten für eine verlorene Stunde und Statistik für die Lastverteilung für ein einzelnes Fahrzeug, z.B. Lastkraftwagen bekommen?
3. Welche Erhaltungsstrategien für Betonfahrbahnen haben Sie?
4. Können Sie spezielle Effekte, wie Spurbildung und Griffigkeit an Betonfahrbahnen sehen?
5. Benutzen Sie spezielle Modelle für die Erhaltung, die Sie uns mitteilen können?

Wir hoffen dass wir während unsere Examensarbeit mit Ihnen weiter in Kontakt bleiben können.

Mit Freundlichen Grüßen,

Hilda Dahlin

Åsa Eliasson

## 2. Brev till USA

Dear Mr Forster,

We are two students at Chalmers University of Technology, that are going to start writing our master thesis at the Swedish Road Administration, Gothenburg. We are supposed to compare asphalt concrete and Portland cement concrete roads, concerning need of, and effects of maintenance and associative costs. Furthermore, we wish to gather research and experience.

Anders Huvstig at the Swedish Road Administration, Western Region, told us about Federal Highway, since you have a long experience of Portland cement concrete roads. Therefore we hope that you can help us with the following questions:

1. What determines the choice of road pavement construction in USA? Do you make investigation each individual choice?
2. Do you have any statistics of costs/frequencies for traffic accidents, disturbances and queues as a follow of maintenance? If so, is it possible to get the answers in units of traffic cost for one lost hour, and information about vehicle weight classes and normal statistical distribution between the vehicle classes? Do you have any "weight in motion" on the real road network?
3. What kind of maintenance strategies for Portland cement concrete roads do you have?
4. Do you see any effects with regard to particular depth of rutting and friction on Portland cement concrete roads?
5. Do you use any specific model when you plan maintenance from which you can send us information?

We hope that it is possible for us to get in touch further during our master thesis, if we have more questions.

Best regards,

Hilda Dahlin

Åsa Eliasson

### 3. Beräkning i PMS Objekt för ökning av teknisk livslängd

Created with PMS Object 2000 version 4.0  
Printed: 10/18/2007 1:48:

#### Project information - Motorväg Klimatzon 1

Created: 10/18/2007 1:35:

Annotations to the project

---

#### Section information - K1 - Dubbla SA

Section no: 2  
Section type: NEW CONSTRUCTION  
Created: 10/18/2007 1:38:  
Road number: E6  
Climatic zone: Klimatzon 1  
Reference speed: 110  
Number of lanes: 4  
County: Halland  
Design period(years): 20  
Section length: 1000  
Road width: 11  
Width of shoulder: 3  
Roadtype: Motorway  
Lanes: K1  
Starting pointX:  
Starting pointY:  
Starting pointZ:  
Ending pointX:  
Ending pointY:  
Ending pointZ:  
Slope 1:  
Slope 2:  
Shoulder 0  
Created by:  
Organization:

Annotations

--Sidbrytning--

#### Comments

No comments or annotations för avsnittet.

#### Traffic calculation section

Method for calculation: According to ATB VÄG  
AADTk: 2,700

Presumed traffic change per year: 3  
 Share of heavy vehicles:: 100  
 ESAL's per heavy vehicle:: 2  
 Calculated number of ESAL's: 54,550,354

--Sidbrytning--

## Road construction

Pavement type: GBÖb  
 Own pavement: NO  
 Material type, subgrade: 4b - Lera  
 Frost susceptibility class: 3 - Måttligt tjällyftande

## Layer

### Layer overview

Layer	Thickness	Changed	Name	
1	40	NO	Bitumenbundet slitlager	
2	60	NO	Bindlager	
3	130	NO	Bitumenbundet bärlager	
4	80	NO	Obundet bärlager	
5	610	NO	Förstärkningslager krossat material	
6	0	NO	Skyddslager	
7	0	NO	4b - Lera	UPPER

### FOUNDATION LEVEL

#### Total thickness above upper foundation level 920

Protective layer thinner than 200 mm and it has been replaced by equal amount of sub-base material.

### Stiffness modulii [MPa]

Layer	Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
1	14500	13000	13000	11000	3500	9000
2	15000	15000	10000	10000	4000	10000
3	11500	10000	10000	8000	2000	6500
4	1000	150	300	450	450	450
5	450	450	450	450	450	450
6	1000	1000	70	85	100	100
7	1000	1000	30	40	50	50

### Other properties

Layer	Lift	$\omega$	$\rho$	$\eta$	$\sigma_r$	$\lambda_{ofr}$	$\lambda_{ifr}$
1	NO	0.01	2200	0.17	0.13	2	2
2	NO	0.01	2200	0.17	0.13	2	2
3	NO	0.01	2200	0.17	0.13	2	2
4	NO	0.03	2000	0.25	0.24	1.33	1.02
5	NO	0.03	2000	0.25	0.24	1.33	1.02
6	NO	0.13	1900	0.28	0.88	1.8	2.43
7	NO	0.24	1600	0.4	0.96	1.52	2.51

--Sidbrytning--

## Bearing capacity calculation

**Calculation method:** GravelBitumenPavement  
**Adjustment factor due to drainage(FD):** 1.0

**Number of axle loads, according to:**

**Strain at the bottom of bitumen bound layer**

**Nallow, bb:** 70,202,232  
**Neqviv:** 54,550,354  
**Quotient:** 0.78

**Strain information**

**Neqviv:** 202,845,996  
**Neqviv \* 2:** 109,100,708  
**Quotient:** 0.54

**Vertical compression strain**

**Strain at formation level, isolated load**

**Calculated:** 0.0004  
**Maximum allowed:** 0.0025  
**Quotient:** 0.16

**Strains in detail**

**Tensile strain in bitumen bound layer, accumulated**

Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
0.000043	0.000058	0.000062	0.000066	0.000128	0.000073

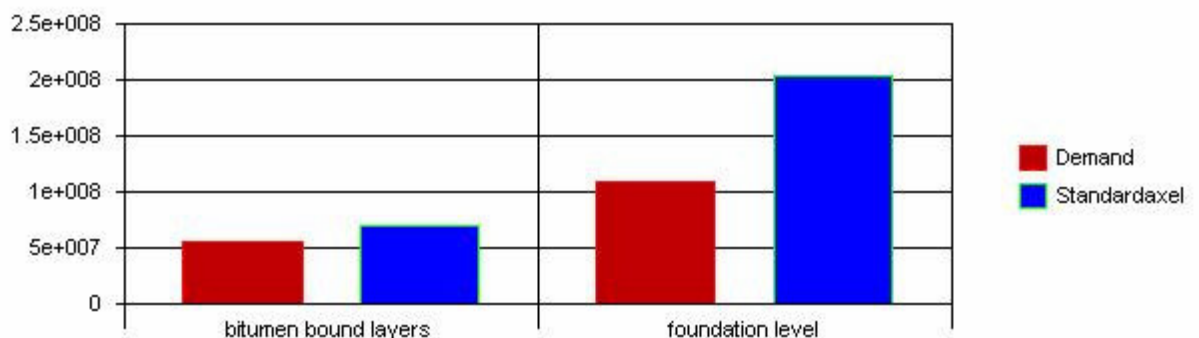
**Compression strain on formation level, ackumulated**

Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
0.000018	0.000019	0.000149	0.000136	0.000158	0.000130

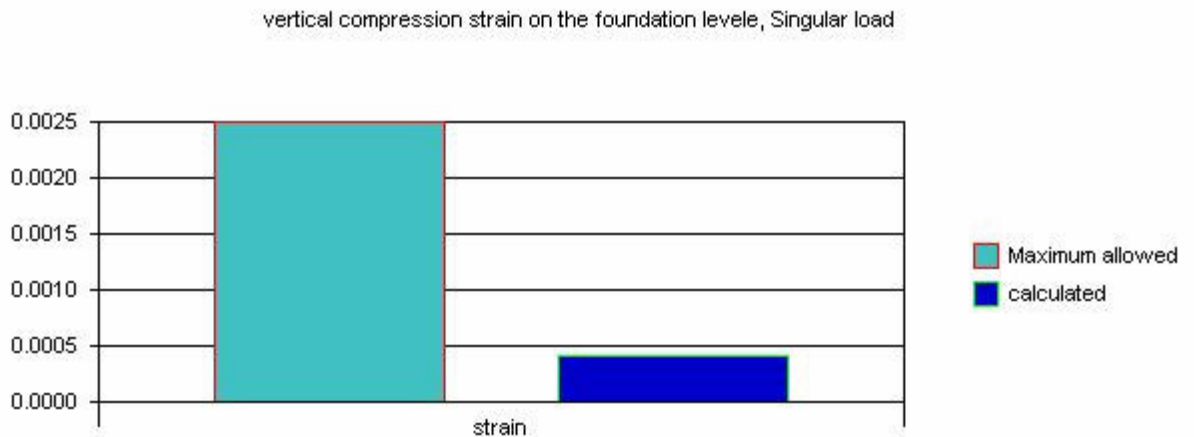
**Compression strain on formation level due to singular load**

Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
0.000047	0.000050	0.000385	0.000352	0.000408	0.000334

Number of ESALs, strain in:



NUmber of loadings - refers to foundation level and bitumen bound layers



Compression strain on formation level due to singular load  
--Sidbrytning--

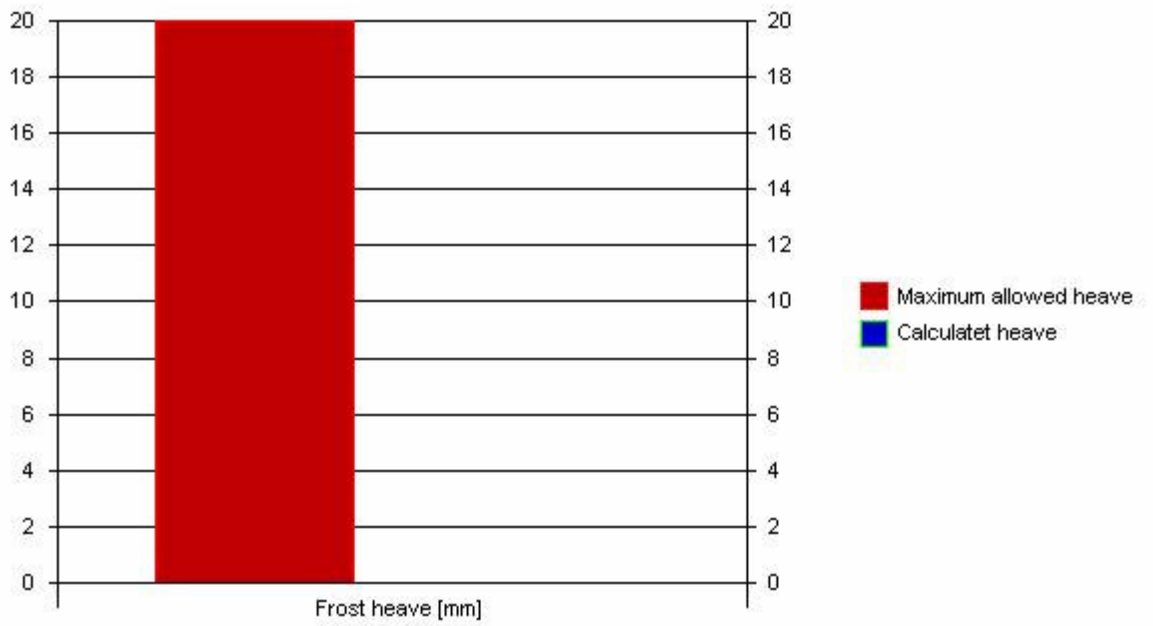
## Frost heave calculation

VViS file:	1335
Calculated lift:	0
Calculated maximum frost depth (mm):	506
Max allowed lift:	20
Lift speed above foundation level (mm/day):	0.5
Lift speed below foundation level (mm/day):	1.5
Gruondwater temperature(C):	7.0
Quotient:	0.00
VViS stationsname:	Broen
X coordinat:	6308361
Y coordinat:	1308356
Z coordinat:	0
Used season:	97/98

Commments and annotations:



Max allowed heave and calculated heave



*Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft*

Created with PMS Object 2000 version 4.0  
Printed: 10/18/2007 1:55:

## Project information - Motorväg Klimatzon 1

Created: 10/18/2007 1:35:

Annotations to the project

---

### Section information - K2 - Dubbla SA

Section no: 4  
Section type: NEW CONSTRUCTION  
Created: 10/18/2007 1:39:  
Road number: E6  
Climatic zone: Klimatzon 1  
Reference speed: 110  
Number of lanes: 4  
County: Halland  
Design period(years): 20  
Section length: 1000  
Road width: 11  
Width of shoulder: 3  
Roadtype: Motorway  
Lanes: K1  
Starting pointX:  
Starting pointY:  
Starting pointZ:  
Ending pointX:  
Ending pointY:  
Ending pointZ:  
Slope 1:  
Slope 2:  
Shoulder 0  
Created by:  
Organization:

Annotations

--Sidbrytning--

### Comments

No comments or annotations för avsnittet.

### Traffic calculation section

Method for calculation: According to ATB VÄG  
AADTk: 300  
Presumed traffic change per year: 3  
Share of heavy vehicles:: 100  
ESAL's per heavy vehicle:: 2

Calculated number of ESAL's: 6,061,151

--Sidbrytning--

## Road construction

Pavement type: GBÖb  
Own pavement: NO  
Material type, subgrade: 4b - Lera  
Frost susceptibility class: 3 - Måttligt tjällyftande

## Layer

### Layer overview

Layer	Thickness	Changed	Name	
1	40	NO	Bitumenbundet slitlager	
2	50	NO	Bindlager	
3	70	NO	Bitumenbundet bärlager	
4	80	NO	Obundet bärlager	
5	510	NO	Förstärkningslager krossat material	
6	0	NO	Skyddslager	
7	0	NO	4b - Lera	UPPER

### FOUNDATION LEVEL

Total thickness above upper foundation level 750

Protective layer thinner than 200 mm and it has been replaced by equal amount of sub-base material.

## Stiffness modulii [MPa]

Layer	Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
1	14500	13000	13000	11000	3500	9000
2	15000	15000	10000	10000	4000	10000
3	12500	10500	10500	9000	2500	7500
4	1000	150	300	450	450	450
5	450	450	450	450	450	450
6	1000	1000	70	85	100	100
7	1000	1000	30	40	50	50

## Other properties

Layer	Lift	$\omega$	$\rho$	$\eta$	$\sigma_r$	$\lambda_{ofr}$	$\lambda_{fr}$
1	NO	0.01	2200	0.17	0.13	2	2
2	NO	0.01	2200	0.17	0.13	2	2
3	NO	0.01	2200	0.17	0.13	2	2
4	NO	0.03	2000	0.25	0.24	1.33	1.02
5	NO	0.03	2000	0.25	0.24	1.33	1.02
6	NO	0.13	1900	0.28	0.88	1.8	2.43
7	NO	0.24	1600	0.4	0.96	1.52	2.51

--Sidbrytning--

## Bearing capacity calculation

Calculation method: GravelBitumenPavement

Adjustment factor due to drainage(FD): 1.0

Number of axle loads, according to:

### Strain at the bottom of bitumen bound layer

Nallow, bb: 13,010,661  
 Neqviv: 6,061,151  
 Quotient: 0.47

### Strain in formation

Neqviv: 34,626,221  
 Neqviv \* 2: 12,122,302  
 Quotient: 0.35

### Vertical compression strain

#### Strain at formation level, isolated load

Calculated: 0.0006  
 Maximum allowed: 0.0025  
 Quotient: 0.25

### Strains in detail

#### Tensile strain in bitumen bound layer, accumulated

Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
0.000066	0.000097	0.000099	0.000099	0.000179	0.000109

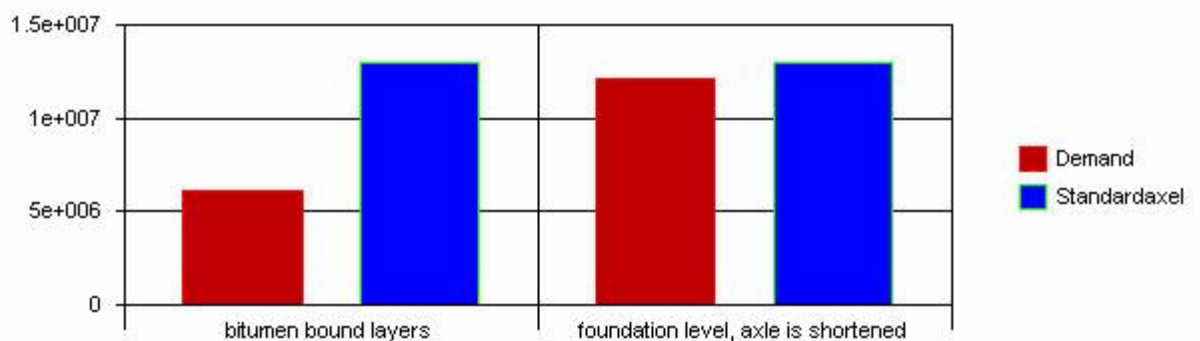
#### Compression strain on formation level, accumulated

Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
0.000029	0.000032	0.000244	0.000219	0.000241	0.000208

#### Compression strain on formation level due to singular load

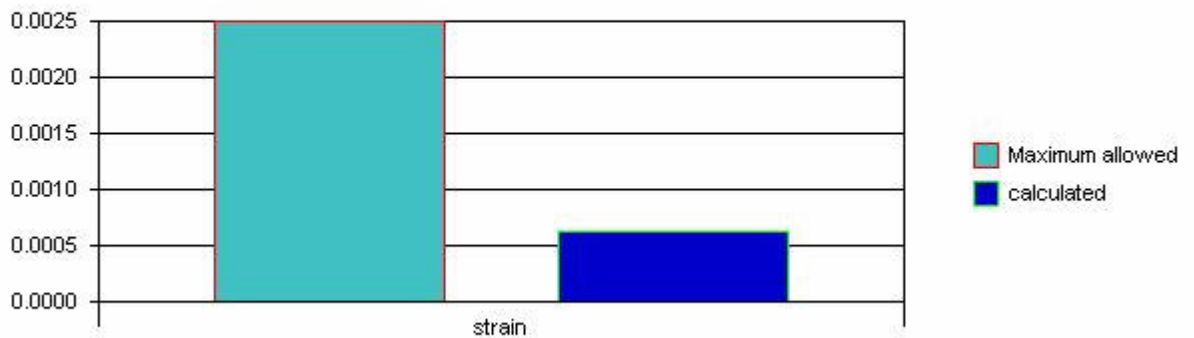
Winter	Thawing winter	Thawing	Late spring	Summer	Fall
0.000075	0.000082	0.000629	0.000565	0.000620	0.000534

Number of ESALs, strain in:



Number of loadings - refers to foundation level and bitumen bound layers

vertical compression strain on the foundation levele, Singular load

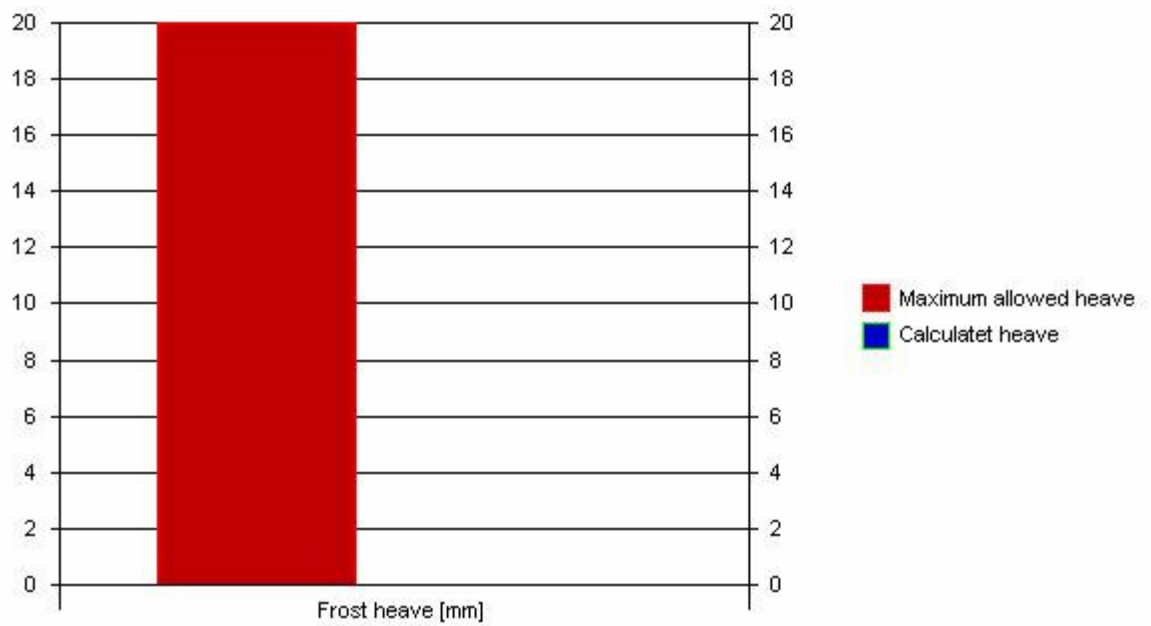


Compression strain on formation level due to singular load  
 --Sidbrytning--

### Frost heave calculation

VViS file:	1335
Calculated lift:	0
Calculated maximum frost depth (mm):	480
Max allowed lift:	20
Lift speed above foundation level (mm/day):	0.5
Lift speed below foundation level (mm/day):	1.5
Gruondwater temperature(C):	7.0
Quotient:	0.00
VViS stationsname:	Broen
X coordinat:	6308361
Y coordinat:	1308356
Z coordinat:	0
Used season:	97/98
Comments and annotations:	

Max allowed heave and calculated heave



*Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft*

## 4. Litteraturstudie samhällskostnad

För att en livscykelkostnadsanalys skall ge en rättvisande ekonomisk bild av olika alternativ bör utöver investerings- och underhållskostnader även samhällskostnader identifieras och värderas. Detta är dock inte alltid så enkelt, då alla människor upplever och värderar olika effekter på olika vis. Kostnader för material i en överbyggnad styrs av marknadspriser, men kostnader för exempelvis förseningar, buller och olyckor fastställs av människors betalningsvilja eller av myndigheter. Vägverket har tagit fram publikationen "Effektsamband 2000" som bland annat värderar olika effekter på samhället, Vägverket (2001a,b,c).

En form av samhällsekonomisk analys är samhällsekonomisk kalkyl. I en samhällsekonomisk kalkyl sammanställs alla positiva och negativa effekter som uppkommer till följd av en åtgärd och som kan värderas i pengar. Effekter av en åtgärd som inte kan värderas tas upp i diskussion gällande vad dessa effekter kan få för konsekvens, SIKÅ (2005). Inför ett beslutstagande är det viktigt att ett tillförlitligt beslutsunderlag finns till förfogande. Vägverket använder sig i sina beslutsunderlag inför stundande vägprojekt bland annat av en samhällsekonomisk kalkyl där tänkbara effekter på samhället under den planerade livstiden värderas. Avsikten med att upprätta samhällsekonomiska kalkyler är att arbeta för en effektiv användning av tillgängliga resurser i samhället. Kalkylen utgör dock endast en begränsad del av hela beslutsunderlaget. I kalkylen ställs investerings-, drift- och underhållskostnader mot värderade effekter på restid, fordonskostnad, godskostnad, trafiksäkerhet, emissioner och buller, Vägverket (2001a).

Samhällsekonomiska kalkyler har på Vägverket använts som hjälpmedel inför väginvesteringar sedan decennier tillbaka. Till en början endast vid mindre problem som exempelvis olika dragningar av en förbifart, för att senare även användas vid prioriteringar av investeringsbehov mellan olika delar i landet, Vägverket (2001a).

Vägverket gör idag i normala fall inga samhällsekonomiska analyser vid val av vägbeläggning. Som nämnts i tidigare kapitel finns det i Sverige inte så stor erfarenhet av andra beläggingsmaterial än asfalt. Bristen på erfarenhet gör det svårt att värdera skillnader i samhällskostnad mellan asfalt och betong som vägbeläggning. Detta medför att det vid en jämförelse beläggingsmaterialen emellan endast blir investerings- och underhållskostnaderna som beaktas och blir grunden för beslutsmaterial.

### Trafikantkostnad

En del av den samhällsekonomiska analysen för en väg är att värdera uppkommande kostnader för trafikanterna som nyttjar vägen. Trafikantkostnad kan definieras som både känslomässiga och materiella kostnader som uppkommer för en trafikant i form av restids-, fordons-, och komfortkostnader, men även som miljö- och olyckskostnad då även dessa kostnader påverkar trafikanten.

### Restidskostnad

Ett fordons restid längs en väg beror av vilken framkomlighet som råder på vägsträckan. Med begreppet framkomlighet menas i detta sammanhang "lättheten att

ta sig från en punkt till en annan”. Framkomlighet och därmed restid beror av hur vägen är utformad, till exempel hur många körfält som finns att tillgå och hur stort trafikflödet är, men den styrs även av i vilken kondition vägen är och vilka beläggningsegenskaper den har. De beläggningsegenskaper med stor betydelse för framkomligheten är enligt Ihs, Magnusson (2000):

- Friktion
- Megatextur
- Spårdjup, makrotextur och vattengenomsläpplighet
- Retroreflektion

Av dessa beläggningsegenskaper sägs friktion ha den främsta påverkan för framkomligheten. På en väg med dålig friktion uppstår känslan av osäkerhet hos föraren vilket leder till att hastigheten sänks och restiden blir längre. Dock kan en beläggningstextur med bra friktion leda till en hög bullernivå inne i fordonskupén, vilket även det påverkar hastighetsnivån, Ihs, Magnusson (2000).

Stora variationer i en vägbeläggnings megatextur, det vill säga ojämnheter i längd- och tvärled, kan leda till vibrationer och krängningar vilket inverkar på förarens hanterbarhet av fordonet. Även den ökande risken för skador på fordon, gods mm har en hastighetsdämpande effekt, Ihs, Magnusson (2000).

Spårdjup, makrotextur och vattengenomsläpplighet påverkar beläggningens vattenavrinning och dess dränerande förmåga vid nederbörd. Om vattnet inte kan rinna undan utan istället samlas på vägbanan ökar risken för vattenplaning, och vid snö och is blir risken större för att fordon får sladd. Tillfällen med mycket regn och snöfall får som följd att hastigheterna dämpas. Retroreflektion påverkar synbarhet och ljusreflektion på vägytan och är särskilt viktig vid mörker och regn, Ihs, Magnusson (2000).

Även trafikanternas körbeteende vid exempelvis omkörning, hastighetsförändringar och köbildning kan få stora konsekvenser för framkomligheten, Ihs, Magnusson (2000).

Drift och underhåll av vägar har många gånger köbildning som konsekvens. Vid kö ökar fordonens restid vilket resulterar i ökande restidskostnader. Kostnaderna varierar dels beroende på vad det är för typ av fordon, och dels om fordonet är i tjänst eller används under fritid. I Vägverkets ”Effektsamband 2000” har värderingar av genomsnittlig tidskostnad för olika fordon utförts, samt av godskostnaden som tillkommer för lastbilar, se Tabell 1.

Tabell 1 Värdering av tids- och godskostnad, Vägverket (2001c).

	Personbil	Lastbil utan släp	Lastbil med släp
Tidskostnad [kr/h]	120	216	216
Godskostnad [kr/h]	-	10	50



## **Fordonskostnad**

Begreppet fordonskostnad innefattar alla kostnader som uppkommer för ett fordon då det framförs på en väg. Faktorer som påverkar fordonskostnaden och som beaktas i detta avsnitt är slitage, värdeminskning och bränslekostnad.

### **Slitage**

Slitage på fordon som färdas på en väg är svårt att motverka, men omfattningen av slitaget går dock att påverka genom att hålla vägarna i god kondition. Faktorer som har stor påverkan på slitaget är framförallt vägens jämnhet i både längd- och tvärlängd, men även beläggningens tillstånd spelar stor roll. Höga IRI-värden, dvs. stor ojämnhet i längdled, sliter hårt på fordonens fjädring vid höga hastigheter, Ihs, Magnusson (2000).

Vid en dålig ytbeläggning med mycket stensläpp kan fordonen råka ut för stenskott på glasrutor och lack, vilket kan resultera i kostsamma skador. Ett annat problem som kan uppstå är vid varma sommardagar då asfaltvägar kan "blöda". Detta innebär att bitumen tränger upp ur ytbeläggningen och resulterar i att vägbanan blir hal, och överflödigt bitumen kan skvätta på bilen vilket sedan är svårt att avlägsna, Wågberg et al. (1991).

Även vinterväghållning med salt och sand ökar på fordonsslitage. På längre sikt resulterar saltet i korrosion om saltet inte tvättas bort ordentligt, och sand ökar risken för stenskott om den får ligga kvar på barmark.

Fordonens däck är den del som får anses utsättas för det största direkta slitaget. Däcken måste bytas ut med jämna mellanrum för att klara av ställda krav på spår djup i gummi. Jämfört med exempelvis stenskott är det relativt lätt att uppskatta en rimlig kostnad på däck och i "Effektsamband 2000" finns genomsnittliga kostnaden per däck värderat till 500 kr för personbil och 3 400 kr för lastbil utan och med släp, Vägverket (2001c).

Skillnader på fordonsslitage vid färd på asfalt- eller betongväg är mycket svåra att påvisa. Men det faktum att en betongbeläggning generellt har mindre spår tillväxt under sin livstid än en asfaltbeläggning och problem med mjukt bitumen som släpper under varma dagar medför att antagande kan göras att slitagekostnaderna under vägens livstid blir lägre för betongbeläggning jämfört med asfaltbeläggning.

### **Värdeminskning**

Ett fordon's årliga värdeminskning beräknas utifrån dess nybilspris och värderas till 13 % för alla typer av fordon. Av denna värdeminskning tros ca 33 % vara avståndsberoende för personbilar och 100 % för lastbil utan och med släp, Vägverket (2001c).

### **Bränsle**

Värdering av bränslekostnader är svårt då dessa varierar mellan åren. I "Effektsamband 2000" värderas bränslepriset per liter till 2,80 kr för bensin och personbil, samt 3,40 kr respektive 1,88 kr för diesel till personbil respektive lastbil, Vägverket (2001c).

## Komfortkostnad

Komfort definieras i trafiksammanhang som bekvämlighet, välbefinnande och trygghet både fysiskt och psykiskt att färdas på en väg. Den fysiska delen av komfortaspekten är förhållandevis enkel att identifiera; ojämnheter i beläggning, dålig friktion mm är effekter som alla vill slippa vid färd längs en väg. Det svåra i denna värdering är den psykiska biten, då vi alla upplever olika saker annorlunda. En typ av vägutformning kan tilltala en del människor, när en annan typ tilltalar andra. Det kan till exempel handla om linjedragningen av en vägsträcka, så som rak respektive kurvig väg, Ihs, Magnusson (2000).

I Effektsamband (2000), har ett komfortvärde av 11 kr/h tagits fram, och det är en värdering av att slippa köra på grusbelagd väg, Vägverket (2001c). Upplevd komfort kan även handla om tillgången på bekvämligheter längs med vägen, som rastplatser, toaletter och olika typer av service, Forsberg, Magnusson (2000).

## Olyckskostnad

Var gång det sker en olycka på en vägsträcka som trafikeras av fordon uppkommer samhällskostnader, bland annat för sjukvårdskostnader och kostnader för ambulansutryckning. I samhällsekonomiska analyser brukar olyckskostnader stå för de olycksrisker och kostnader som tillkommer vid underhållsarbete, eftersom olyckskvoten i normala fall antas vara lika för de alternativ som jämförs, se även Kapitel 6.

En trafikolycka kan uppkomma av ett flertal olika anledningar och samband. Exempelvis kan föraren vara ouppmärksam eller trött, hålla för hög hastighet på väg in i underhållsområdet eller brista i hänsyn. Huruvida vägarbetet är tydligt skyltat eller inte påverkar även olycksrisken, Bolling, Nilsson (2001). Något som även ökar olycksrisken under ett underhållsarbete är vägarbetarens oskyddade arbetssituation. Många vägarbetare upplever sin arbetsmiljö som otrygg på grund av den passerande trafikens hastighet, Friberg (2007). Hastigheten ökas och avstånden mellan fordonen minskas vid vägarbeten, Bolling, Nilsson (2001). På grund av vägarbetarens oskyddade arbetsplats sägs dock olycksrisken vara 1,5 gånger mot den normala olycksrisken enligt en engelsk undersökning, Vägverket (1991).

I "Effektsamband 2000" värderas olyckor olika utifrån om det är en faktiskt inträffad olycka eller en polisrapporterad olycka, där materialkostnader och riskvärdering summeras för respektive olycksfall. Olyckskostnaden uppskattas efter bland annat allvarlighetsföljd, skadeföljd och olyckskvot, exempelvis kostar en polisrapporterad olycka med en lindrigt skadad person 360 000 kr, medan endast en egendomsskada kostar 90 000 kr, Vägverket (2001b).

## Miljökostnad

Miljökostnader kan bland annat sägas omfatta de kostnader som drabbar icke-användarna av vägen för exempelvis nedsmutsning och utsläpp. Emissioner av exempelvis kolmonoxid, partiklar och sot kan leda till sjukdomar i andningsorganen, vilket i längden kostar samhället pengar för sjukvård. Att för olika

beläggningsalternativ fastställa eventuella skillnader i miljökostnad kan påverka valet av överbyggnad.

Framställningsprocesserna för materialet skiljer sig åt för betong- och asfaltvägar. Betongvägars beståndsdelar går till stor del att finna inom Sveriges gränser, medan asfalt kräver import av råolja, den ändliga resurs som bituminet utvinns ur. Betongindustrin genererar stor mängd emissioner och kräver energi när cement framställs, vissa åtgärder görs dock för att minska dessa. Möjligheten att återvinna material är god för båda materialen, betong kan återanvändas om än med tillsats av ytterligare cement, Flies, Lundberg (2007). Likaså är fallet för återvinning av asfalt, men då med tillsats av mer bitumen, Vägverket (2005).

Vid projektering av en väg uppkommer frågan om byggnationens bullereffekt, främst för bostäder nära vägen. Två olika beläggningar ger olika miljökostnader utifrån hur bulleralstrande beläggningarna är för boende i närheten av vägen liksom för de trafikanter som färdas i fordonen på vägen. Den bullernivå som alstras vid vägbanan påverkas av hastigheten. Vid hastigheter högre än 50 km/h är det ljudet från däck mot vägytan som är avgörande, vid hastigheter lägre än 50 km/h är det buller från fordonets motor som är dominerande. En porös, optimerad och slät beläggning alstrar lägre buller, Löfsjögård (2003). En monetär värdering för olika bullernivåer inomhus respektive utomhus i enhet kr per utsatt person och år kan studeras i Effektsamband 2000, Vägverket (2001b).

En beläggnings nötningsresistens ger skillnader i emissioner av partiklar och sot till följd av dubbdäcksanvändning. För miljökostnader spelar även beläggningens rullmotstånd roll, något som ökar fordonets bränsleförbrukning och därmed även dess emissioner. Rullmotståndet beror i sin tur på däck-, luft- och vägbanetemperatur samt hastighet och jämnhet på vägen, Löfsjögård (2003). Värdering av luftföroreningar görs på regional nivå i Effektsamband 2000, där kostnaden ges i kr per exponerad enhet. Koldioxid värderas till 1,50 kr/kg, Vägverket (2001b).

Behovet av vägbelysning under mörker har betydelse för en beläggnings totala livscykelkostnad, då belysningen kräver elektricitet och därefter uppkommande drift- och miljökostnader. En vägsträcka behöver belysas om den inte uppfyller de krav och kriterier som kan studeras i Vägverket (2004). En ljusare beläggning minskar behovet av belysning, ökar trafiksäkerheten och minskar antalet mörkerolyckor. Belysningens egenskaper värderas i ljushet eller grad av spegling beroende på om beläggningen är torr eller våt. Svenska vägbeläggningar skall klara krav på medelluminans samt likformighet av luminans, där beläggningar på motorvägar även har krav på likformigheten i längdled. Torra beläggningars ljushet kan klassas i två klasser, N1-N4 och R1-R4, och våta beläggningar i klass W1-W4. I Skandinavien och Sverige är det mest vanligt att använda sig av N-klasser vid dimensionering för torra vägbanor eftersom de värdena kommer av mätningar på skandinaviska vägbeläggningar, enligt Löfsjögård (2003).

Minskade miljökostnader kan bli fallet då trafiken leds om under vägarbetet. Den risk vägarbetaren löper för att råka ut för en olycka blir betydligt mindre, eftersom ingen trafik färdas runt underhållsområdet, Säisö et al. (2005). Dock uppkommer miljökostnader för boenden i närheten av vägen dit trafiken leds om, i form av ökat buller och ökade emissioner. För trafikanten ökas även bränsle- och restidskostnaden, Huvstig (2007).

## Miljökostnad för asfaltväg

En åtgärd för att minska buller på asfaltvägar kan vara att lägga dränerande asfalt. Asfalten har då större andel porer än normalt, lägre skrymdensitet, vilket ger en dränerande och bullerdämpande effekt på vägen. Dränerande asfalt kräver dock oftare återkommande underhåll, bland annat eftersom porerna behöver rengöring och får även kortare livslängd än övriga asfaltbeläggningar, Huvstig (2007).

I flexibla konstruktioner trycker tunga fordon ned den viskösa beläggningen, något som kräver en energiförbrukning som annars hade kunnat användas för att framföra fordonet. Bränsleförbrukningen kan vara knepigt att beräkna direkt, det är eventuellt möjligt att beräkna beläggningens rullmotstånd för att därefter beräkna bränsleförbrukningen, Löfsjögård (2003).

Till en början är asfaltbeläggningar mörka av slitlagrets bitumen. Allt eftersom åren går ljusnar beläggningen, vilket kan inverka på vägbelysningen och dess tillhörande elektricitetsförbrukning. Belysningskriterier i "Vägar och gators utformning", Vägverket (2001), representerar troligtvis asfaltbeläggningarna väl eftersom Sverige har lång erfarenhet av bitumenbundna beläggningar och för att tabellvärdena däri är uppmätta på asfaltvägar. En beläggning i klass N4 respektive W4 bör undvikas, då dessa klasser innebär liten ljushet respektive låg grad av spegling, Löfsjögård (2003).

## Miljökostnad för betongväg

Betongvägar har ett rykte om sig att bullra vid färd på beläggningen, på grund av utförandet av betongvägens fogar. Detta stämde väl på äldre versioner av betongvägar, men förbättrade fogar vid de tvärgående fogarna har minskat bullret. Den största stenstorleken i betongen spelar roll för bullernivån på vägen, en mindre stenstorlek minskar bullret. I Sverige finns krav på maximal stenstorlek i en betongväg, Löfsjögård (2003). Den maximala stenstorleken i en betongbeläggning begränsas till 16 mm, Vägverket (2005).

För att minska bullernivåer på betongvägar finns det ett antal åtgärder som vidtas. Det ena är att slipa bort cementpasta något år efter vägen lagts. Detta för att frigöra ballsten vilket medför lägre ljudnivåer men även en dränerande effekt. Det andra är att vid slipningen slipa längsgående räfflor i betongen, till skillnad från tidiga betongvägar i Sverige då endast tvärgående räfflor slipades för att få en ökad friktion på vägytan. Tvärgående räfflor medför dock högre ljudnivå än längsgående. Generellt är bullernivån på betongvägar som lägst när betongvägen är ny och styrs då främst av texturen på ytan, Löfsjögård, (2003).

Då en betongbeläggning är styv i sin konstruktion visar en kanadensisk undersökning att bränsleförbrukningen blir cirka 11 % mindre än på asfaltbeläggningar, Löfsjögård (2003). En amerikansk studie påvisar en minskad bränsleförbrukning på 20 % för en betongbeläggning, Löfsjögård (2003).

Den ljushet som betongbeläggningar har kommer sig av färg på cementpasta och stenmaterial i slitlagret. Elektricitetsförbrukningen i form av vägbelysning vid en betongväg kan minskas med 20-30 % på grund av betongbeläggningens ljusa yta, Löfsjögård (2003). En lägre energiförbrukning ger lägre miljökostnad och är därför önskvärd. Torra betongbeläggningar klassas vanligtvis i klass N2, vilket troligen beror

på att det är den vanligaste klassen för asfaltbeläggningar. Beläggningar av betong i klasserna N1 och N2 är mest kostnads- och energieffektiva. Mer utförliga tester på betongbeläggningar bör utföras för att säkerställa en rättvisande bild, då de tabellerade värdena troligtvis mätts på betongvägar från 1970-talet, Löfsjögård (2003).

## 5. Antal sommardagar i klimatzon 1 – 5

*Meteorologisk sommar: Dygnsmedeltemperatur högre än 10°C*

Klimatzon

1	15 maj
2	20 maj
3	25 maj
4	10 juni
5	20 juni

*Meteorologisk höst: Dygnsmedeltemperatur mellan 0°C - 10°C*

Klimatzon

1	10 oktober
2	20 september
3	10 september
4	5 september
5	20 augusti

**Totalt antal sommardagar per år**

Klimatzon

1	148
2	123
3	108
4	87
5	61

Källa: SMHI

[www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=9400&a=27310&l=sv](http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=9400&a=27310&l=sv) (24 september 2007)

[www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=9506&a=29293&l=se](http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=9506&a=29293&l=se) (24 september 2007)

## 6. Indata VägFEM

Rapport från VägFEM för bärighetsberäkning

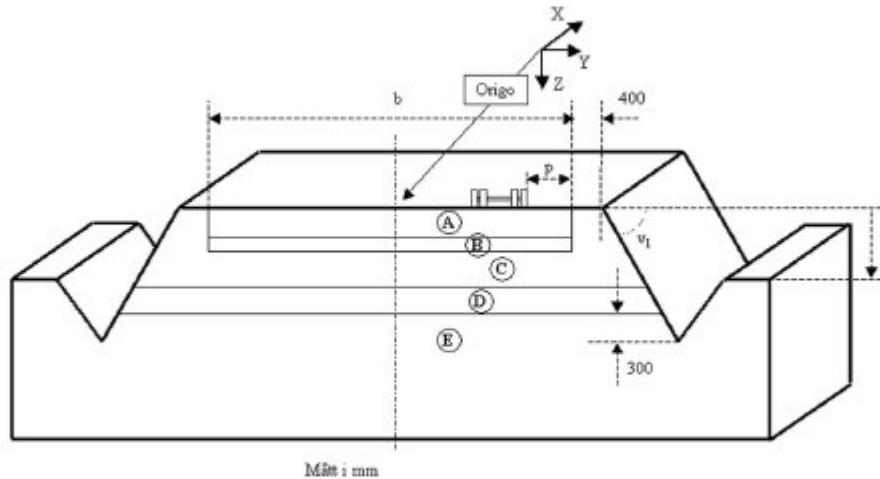
Ex-jobb

Sommar - 0,5 m från väkant

2007-06-25

Beräkningen utförd av Åsa Eliasson (Vägverket)

# 1 Beräkningsmodell och parametrering



Figur 1: Beräkningsgeometri, mått i mm.  $x$ -riktningen i längdled. OBS, lasten är ej symmetrisk.

Följande parametervärden har använts för beräkningen:

## Väggeometri:

Bredd ( $b$ )	13000 mm
Höjd över omgivande mark ( $h$ )	500 mm
Inre släntlutning ( $v_1$ )	1:3
Yttre släntlutning ( $v_2$ )	1:2

## Data för skikten:

### Skikt A

Tjocklek	40 mm
Materialtyp	Bundet
Materialmodell	Linjärt elastisk
Materialparametrar:	
Densitet ( $\rho$ )	2400 kg/m <sup>3</sup>
Poissons tal ( $\nu$ )	0.35
E-modul ( $E$ )	4000.0 MPa



Skikt B

Tjocklek	100 mm
Materialtyp	Bundet
Materialmodell	Linjärt elastisk
Materialparametrar:	
Densitet ( $\rho$ )	2400 kg/m <sup>3</sup>
Poissons tal ( $\nu$ )	0.35
E-modul ( $E$ )	2500.0 MPa

Skikt C

Tjocklek	80 mm
Materialtyp	Obundet
Materialmodell	Olinjärt elastisk enligt $a\Theta^b$
Materialparametrar:	
Densitet ( $\rho$ )	2000 kg/m <sup>3</sup>
Poissons tal ( $\nu$ )	0.35
parameter $a$	1000.0
parameter $b$	0.3

Skikt D

Tjocklek	420 mm
Materialtyp	Obundet
Materialmodell	Linjärt elastisk
Materialparametrar:	
Densitet ( $\rho$ )	2000 kg/m <sup>3</sup>
Poissons tal ( $\nu$ )	0.35
E-modul ( $E$ )	450.0 MPa

Skikt E

Tjocklek	2360 mm
Materialtyp	Obundet
Materialmodell	Linjärt elastisk
Materialparametrar:	
Densitet ( $\rho$ )	2000 kg/m <sup>3</sup>
Poissons tal ( $\nu$ )	0.35
E-modul ( $E$ )	100.0 MPa

**Lastförutsättningar:**

Axeltyp	Supersingle
Axelbredd (yttermått)	2500 mm
Axellast	10 ton
Däckstryck	1000 kPa
Placering ( $p$ )	500 mm

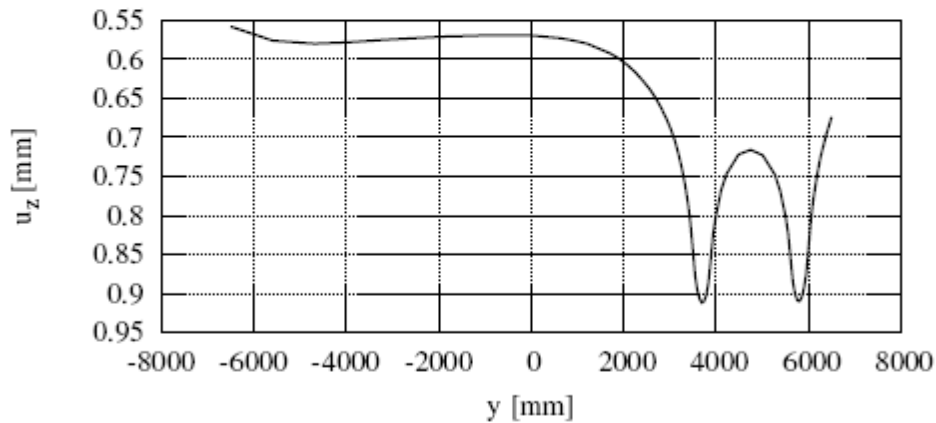
## 2 Beräkningsresultat

### 2.1 Vägytan

#### 2.1.1 Vertikal förskjutning $u_z$

Max värde: 0.912 mm

Position maxvärde:  $y= 3693.$ ;  $z= 0.$

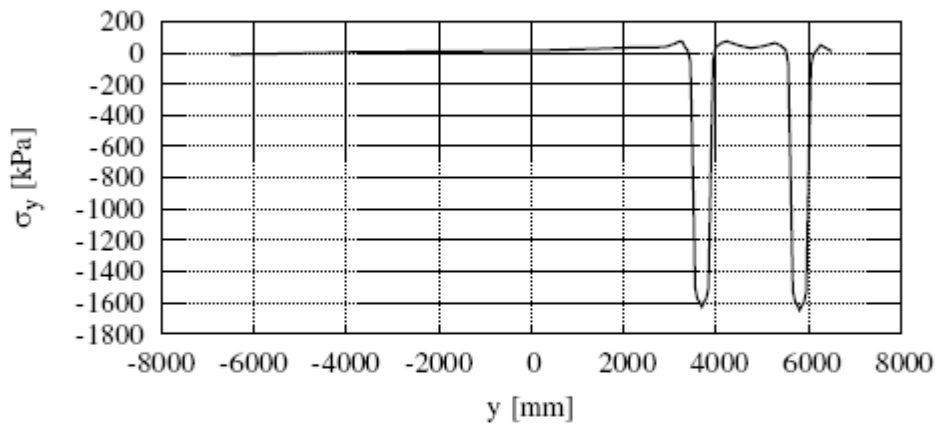


Figur 2: Vägytan, vertikal förskjutning  $u_z(y)$

#### 2.1.2 Horisontell spänning i tvärled ( $\sigma_y$ )

Max värde: 75.0 kPa      Min värde: -1650.1 kPa

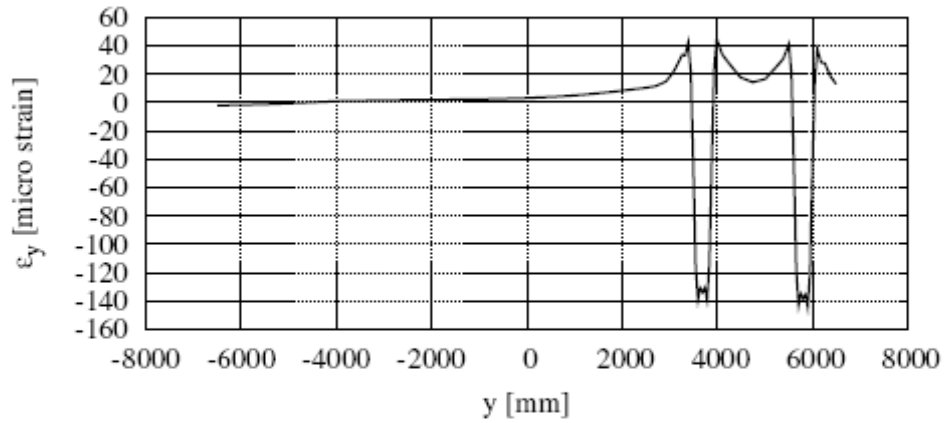
Position:  $y= 4226.$ ;  $z=0.$       Position:  $y= 5807.$ ;  $z=0.$



Figur 3: Vägytan, horisontell spänning i tvärled  $\sigma_y(y)$

### 2.1.3 Horisontell töjning i tvärled ( $\varepsilon_{ytot}$ )

Max värde: 44.7 micro strain    Min värde: -144.2 micro strain  
Position: y= 3991.; z= 0.    Position: y= 5904.; z= 0.



Figur 4: Vägytan, horisontell töjning i tvärled  $\varepsilon_{ytot}(y)$

## 2.2 Bunda skiktet – skikt A

### 2.2.1 Maximial effektivspänning enligt Tresca

Max värde: 1063.1 kPa

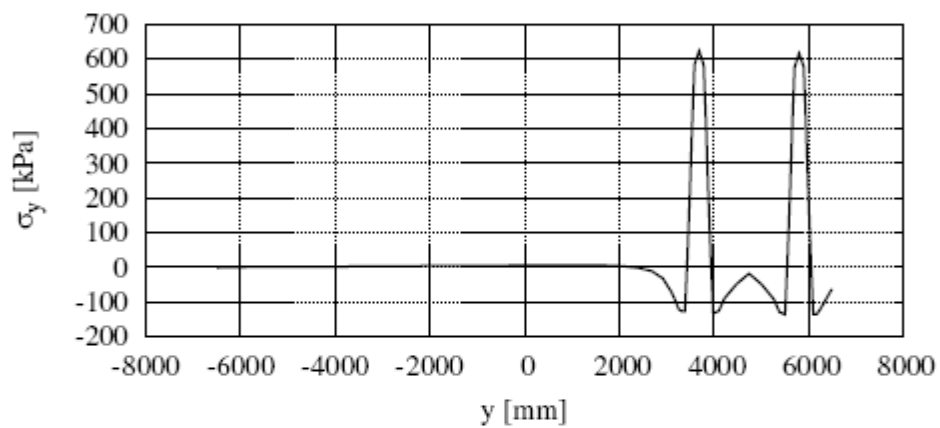
Position  $y=5807.$ ;  $z=0.$

## 2.3 Underkant av det understa bunda skiktet – skikt A eller B om det är AG

### 2.3.1 Horisontell spänning i tvärled ( $\sigma_y$ )

Max värde: 622.9 kPa                      Min värde: -137.0 kPa

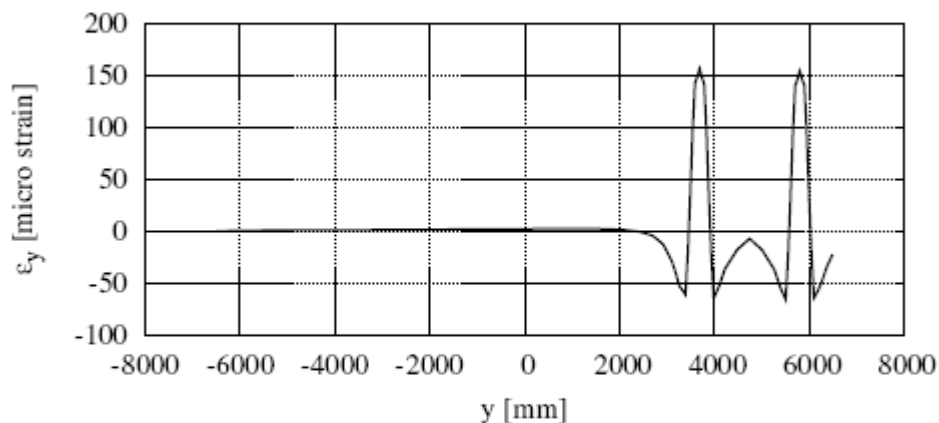
Position:  $y=3693.$ ;  $z=140.$       Position:  $y=5509.$ ;  $z=140.$



Figur 5: Underkant bundet skikt, horisontell spänning i tvärled  $\sigma_y(y)$

### 2.3.2 Horisontell töjning i tvärled ( $\varepsilon_{ytot}$ )

Max värde: 156.4 micro strain    Min värde: -65.2 micro strain  
Position: y= 3693.; z= 140.    Position: y= 5509.; z= 140.

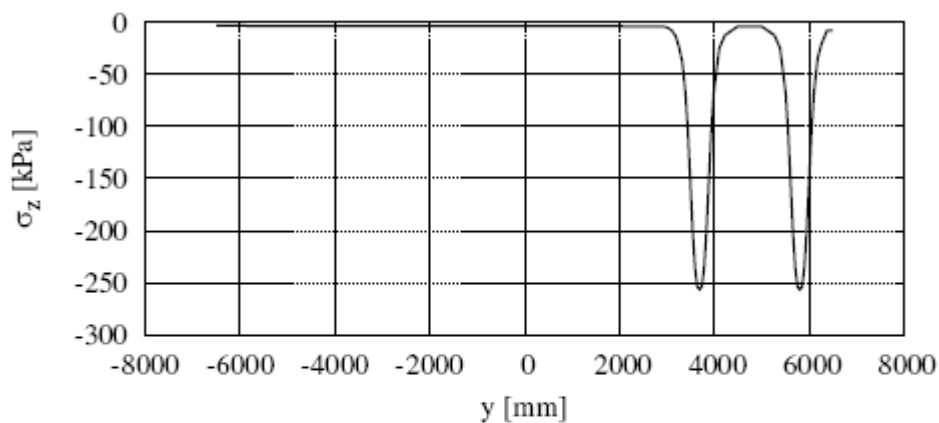


Figur 6: Underkant bundet skikt, horisontell töjning i tvärled  $\varepsilon_{ytot}(y)$

## 2.4 Överkant av det översta obunda skiktet (skikt B eller C)

### 2.4.1 Vertikal spänning i tvärled ( $\sigma_z$ )

Max värde: -2.8 kPa    Min värde: -256.8 kPa  
Position: y= -6500.; z= 140.    Position: y= 5807.; z= 140.



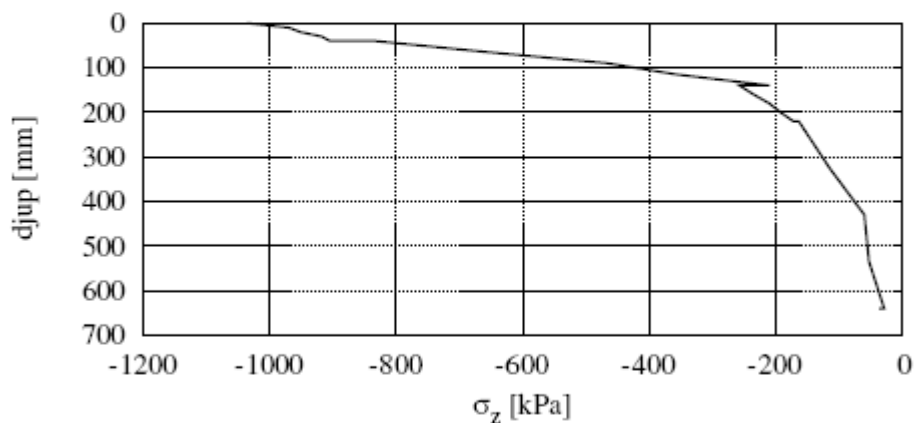
Figur 7: Överkant obundet, vertikal spänning i tvärled  $\sigma_z(y)$

## 2.5 Vertikalt under lasten

### 2.5.1 Spänningar i vertikalled ( $\sigma_z$ )

Vid hjul närmast vägmitt:

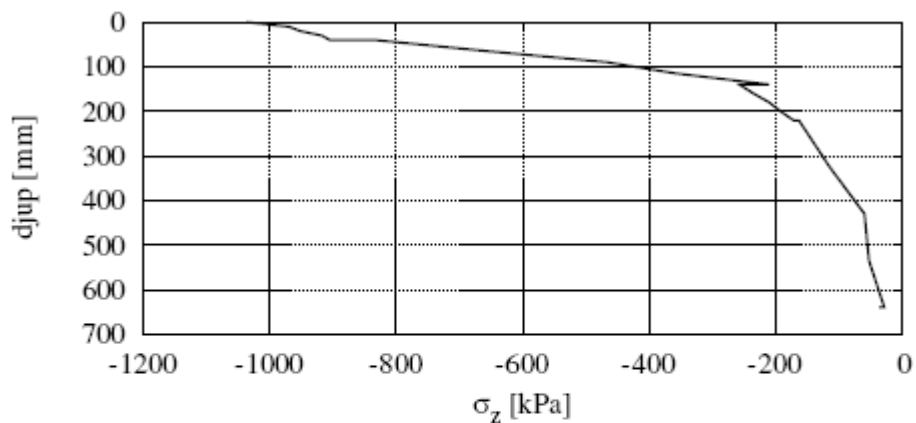
Max värde -27.7 kPa                      Min värde: -1036.1 kPa  
Position     $y=3693.$ ;  $z=640.$     Position:     $y=3693.$ ;  $z=0.$



Figur 8: Spänningar i vertikalled vid hjul närmast vägmitt  $\sigma_z(z)$

Vid hjul närmast vägkant:

Max värde: -27.6 kPa                      Min värde: -1036.2 kPa  
Position     $y=5807.$ ;  $z=640.$     Position:     $y=5807.$ ;  $z=0.$



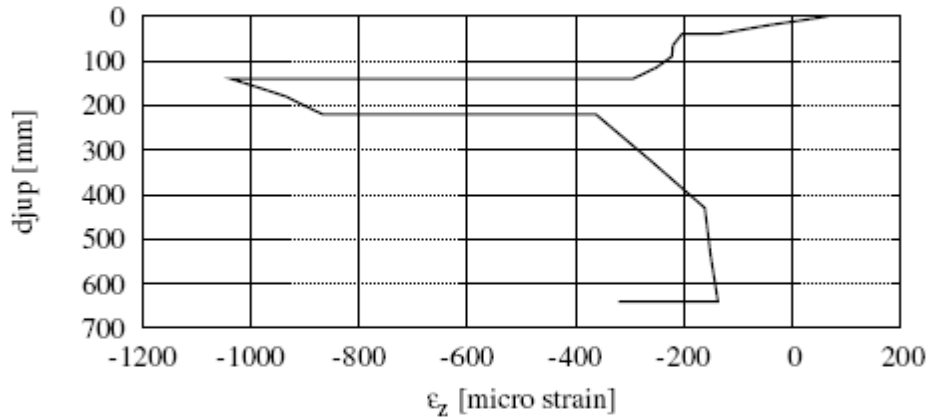
Figur 9: Spänningar i vertikalled vid hjul närmast vägkant  $\sigma_z(z)$

### 2.5.2 Töjningar i vertikalled ( $\varepsilon_{ztot}$ )

Vid hjul närmast vägmitt:

Max värde: 66.2 micro strain    Min värde: -1038.4 micro strain

Position     $y=3693.$ ;  $z=0.$     Position:     $y=3693.$ ;  $z=140.$

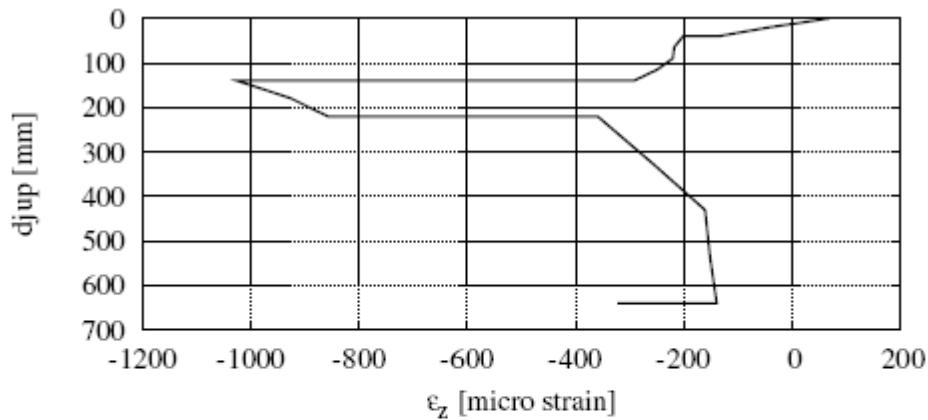


Figur 10: Töjningar i vertikalled vid hjul närmast vägmitt  $\varepsilon_{ztot}(z)$

Vid hjul närmast vägkant:

Max värde: 69.0 micro strain    Min värde: -1026.8 micro strain

Position     $y=5807.$ ;  $z=0.$     Position:     $y=5807.$ ;  $z=220.$



Figur 11: Töjningar i vertikalled vid hjul närmast vägkant  $\varepsilon_{ztot}(z)$

### 2.6 Spänningar i symmetriskiktet under lasten

Om du har valt att ta ut detta resultat så distribueras resultatet i en separat fil.



## 7. Korrigering av $a_1$

Omvandling Celcius till Fahrenheit

°C	F
7,5	45,5
12,5	54,5
17,5	63,5
22,5	72,5
27,5	81,5
32,5	90,5
37,5	99,5
42,5	108,5

	$T^{a3}$	Differens
T = 7,5°C	23	
T = 45,5F	387	16,7
T = 12,5°C	52	
T = 54,5F	513	10,0
T = 17,5°C	87	
T = 63,5F	651	7,5
T = 22,5°C	129	
T = 72,5F	800	6,2
T = 27,5°C	176	
T = 81,5F	961	5,4
T = 32,5°C	229	
T = 90,5F	1131	4,9
T = 37,5°C	286	
T = 99,5F	1312	4,6
T = 42,5°C	348	
T = 108,5F	1501	4,3

## 8. Resultat VägFEM

Beräknad permanent deformation 0,5 m från väggkant

Vid axel närmast väggkant																
Lager	N	T = 12,5°C	N	T = 17,5°C	N	T = 22,5°C	N	T = 27,5°C	N	T = 32,5°C	N	T = 37,5°C	N	T = 42,5°C	N <sub>tot</sub>	Total perm. def. [m]
A	260 417	-5,9E-08	343 750	-1,2E-07	351 042	-1,8E-07	265 625	-8,3E-08	162 500	5,9E-07	156 250	7,2E-07	91 667	6,8E-07	1 631 250	0,0000
B	260 417	4,2E-07	343 750	1,0E-06	351 042	1,7E-06	265 625	2,7E-06	162 500	5,3E-06	156 250	7,1E-06	91 667	1,7E-04	1 631 250	0,0002
C	260 417	2,0E-03	343 750	2,0E-03	351 042	2,0E-03	265 625	1,9E-03	162 500	1,8E-03	156 250	1,8E-03	91 667	1,8E-03	1 631 250	0,0114
D	260 417	2,5E-03	343 750	2,8E-03	351 042	2,6E-03	265 625	2,1E-03	162 500	2,0E-03	156 250	2,0E-03	91 667	2,0E-03	1 631 250	0,0138
E	260 417	5,2E-05	343 750	4,7E-05	351 042	4,6E-05	265 625	5,1E-05	162 500	6,1E-05	156 250	6,2E-05	91 667	7,5E-05	1 631 250	0,0003
																25,7 mm

Vid axel närmast vägmitt																
Lager	N	T = 12,5°C	N	T = 17,5°C	N	T = 22,5°C	N	T = 27,5°C	N	T = 32,5°C	N	T = 37,5°C	N	T = 42,5°C	N <sub>tot</sub>	Total perm. def. [m]
A	260 417	-5,2E-08	343 750	-1,1E-07	351 042	-1,6E-07	265 625	-5,0E-08	162 500	6,3E-07	156 250	7,7E-07	91 667	7,3E-07	1 631 250	0,0000
B	260 417	4,2E-07	343 750	1,0E-06	351 042	1,7E-06	265 625	2,7E-06	162 500	5,3E-06	156 250	7,2E-06	91 667	1,8E-04	1 631 250	0,0002
C	260 417	2,0E-03	343 750	2,0E-03	351 042	2,0E-03	265 625	1,8E-03	162 500	1,8E-03	156 250	1,8E-03	91 667	1,8E-03	1 631 250	0,0131
D	260 417	2,7E-03	343 750	2,7E-03	351 042	2,7E-03	265 625	2,3E-03	162 500	2,1E-03	156 250	2,1E-03	91 667	2,1E-03	1 631 250	0,0165
E	260 417	5,7E-05	343 750	5,1E-05	351 042	5,1E-05	265 625	5,6E-05	162 500	6,6E-05	156 250	6,7E-05	91 667	8,2E-05	1 631 250	0,0004
																30,2 mm

## Beräknad permanent deformation 1,0 m från väggkant

**Vid axel närmast väggkant**

Lager	N	T = 12,5°C	N	T = 17,5°C	N	T = 22,5°C	N	T = 27,5°C	N	T = 32,5°C	N	T = 37,5°C	N	T = 42,5°C	N <sub>tot</sub>	Total perm. def. [m]
A	260 417	-5,6E-08	343 750	-1,2E-07	351 042	-1,8E-07	265 625	-7,5E-08	162 500	6,0E-07	156 250	6,8E-07	91 667	7,6E-07	1 631 250	0,0000
B	260 417	4,1E-07	343 750	1,0E-06	351 042	1,9E-06	265 625	2,9E-06	162 500	5,5E-06	156 250	7,8E-06	91 667	7,1E-06	1 631 250	0,0000
C	260 417	1,9E-03	343 750	1,9E-03	351 042	1,9E-03	265 625	1,8E-03	162 500	1,7E-03	156 250	1,7E-03	91 667	1,7E-03	1 631 250	0,0127
D	260 417	2,4E-03	343 750	2,5E-03	351 042	2,5E-03	265 625	2,1E-03	162 500	1,9E-03	156 250	1,9E-03	91 667	1,9E-03	1 631 250	0,0152
E	260 417	5,3E-05	343 750	4,8E-05	351 042	4,8E-05	265 625	5,3E-05	162 500	6,2E-05	156 250	6,3E-05	91 667	7,7E-05	1 631 250	0,0004
																0,0283

28,3 mm

**Vid axel närmast vägmitt**

Lager	N	T = 12,5°C	N	T = 17,5°C	N	T = 22,5°C	N	T = 27,5°C	N	T = 32,5°C	N	T = 37,5°C	N	T = 42,5°C	N <sub>tot</sub>	Total perm. def. [m]
A	260 417	-5,1E-08	343 750	-1,1E-07	351 042	-1,6E-07	265 625	-5,2E-08	162 500	6,3E-07	156 250	7,1E-07	91 667	7,9E-07	1 631 250	0,0000
B	260 417	4,2E-07	343 750	1,0E-06	351 042	1,9E-06	265 625	2,9E-06	162 500	5,5E-06	156 250	7,8E-06	91 667	7,1E-06	1 631 250	0,0000
C	260 417	1,9E-03	343 750	1,9E-03	351 042	1,9E-03	265 625	1,8E-03	162 500	1,7E-03	156 250	1,7E-03	91 667	1,7E-03	1 631 250	0,0127
D	260 417	2,6E-03	343 750	2,6E-03	351 042	2,6E-03	265 625	2,2E-03	162 500	2,0E-03	156 250	2,0E-03	91 667	2,0E-03	1 631 250	0,0161
E	260 417	5,7E-05	343 750	5,2E-05	351 042	5,1E-05	265 625	5,6E-05	162 500	6,7E-05	156 250	6,8E-05	91 667	8,2E-05	1 631 250	0,0004
																0,0293

29,3 mm

## Beräknad permanent deformation 3,0 m från väggkant

**Vid axel närmast väggkant**

Lager	N	T = 12,5°C	N	T = 17,5°C	N	T = 22,5°C	N	T = 27,5°C	N	T = 32,5°C	N	T = 37,5°C	N	T = 42,5°C	N <sub>tot</sub>	Total perm. def. [m]
A	260 417	-5,0E-08	343 750	-1,1E-07	351 042	-1,6E-07	265 625	-5,0E-08	162 500	6,3E-07	156 250	7,1E-07	91 667	7,9E-07	1 631 250	0,0000
B	260 417	4,2E-07	343 750	1,0E-06	351 042	1,9E-06	265 625	2,9E-06	162 500	5,5E-06	156 250	7,8E-06	91 667	7,1E-06	1 631 250	0,0000
C	260 417	1,9E-03	343 750	1,9E-03	351 042	1,9E-03	265 625	1,8E-03	162 500	1,7E-03	156 250	1,7E-03	91 667	1,7E-03	1 631 250	0,0127
D	260 417	2,6E-03	343 750	2,6E-03	351 042	2,6E-03	265 625	2,2E-03	162 500	2,0E-03	156 250	2,0E-03	91 667	2,0E-03	1 631 250	0,0161
E	260 417	5,8E-05	343 750	5,2E-05	351 042	5,2E-05	265 625	5,7E-05	162 500	6,7E-05	156 250	6,8E-05	91 667	8,3E-05	1 631 250	0,0004
																0,0293

29,3 mm

**Vid axel närmast vägmitt**

Lager	N	T = 12,5°C	N	T = 17,5°C	N	T = 22,5°C	N	T = 27,5°C	N	T = 32,5°C	N	T = 37,5°C	N	T = 42,5°C	N <sub>tot</sub>	Total perm. def. [m]
A	260 417	-5,0E-08	343 750	-1,1E-07	351 042	-1,6E-07	265 625	-4,8E-08	162 500	6,3E-07	156 250	7,2E-07	91 667	7,9E-07	1 631 250	0,0000
B	260 417	4,2E-07	343 750	1,0E-06	351 042	1,9E-06	265 625	2,9E-06	162 500	5,5E-06	156 250	7,8E-06	91 667	7,2E-06	1 631 250	0,0000
C	260 417	1,9E-03	343 750	1,9E-03	351 042	1,9E-03	265 625	1,8E-03	162 500	1,7E-03	156 250	1,7E-03	91 667	1,7E-03	1 631 250	0,0127
D	260 417	2,6E-03	343 750	2,7E-03	351 042	2,7E-03	265 625	2,2E-03	162 500	2,0E-03	156 250	2,0E-03	91 667	2,0E-03	1 631 250	0,0163
E	260 417	5,8E-05	343 750	5,3E-05	351 042	5,2E-05	265 625	5,7E-05	162 500	6,8E-05	156 250	6,9E-05	91 667	8,3E-05	1 631 250	0,0004
																0,0295

29,5 mm

# 9. Beräkningsexempel 2Ö

## Beräkningshjälpmedel 2Ö

**Info: Beräkningsexempel**  
 Objekt: Motoväg  
 Anmärkning:  
 Datum: 2007-11-28

### INDATA

Färgkoder på detta blad  
 Uppgifter som ej används i beräkningarna  
 Beräkningsceller  
 Indataceller (obligatoriskt)

Vägdata	Trafikdata	Trafikkostnader	Bränslekostnader
<b>Vägen vid användning</b> Vägslängd 3,00 [km] Vägtyp (mV, 13 m, 9 m etc) Motoväg Slitlagerbredd 23 [m] Skyttad hastighet 110 [km/h] Skyttad hastighet vid vägarb 70 [km/h]	<b>Trafik vid öppningsstidpunkt</b> ÅDT <sub>tot</sub> 15 000 [fordom/dygn] Andel vintertrafik 20 [%] Andel dubbdäck 20 [%] Andel Personbil 86 [%] Andel Tung trafik 14 [%]	<b>Restidskostnad</b> Personbil 120 [kr/fh] Lastbil 251 [kr/fh] Vägarbetslängd 1,50 [km]	<b>Bränsle</b> Bränslepris 5,41 [kr/l] Bränsleförbrukning 0,08 [l/km] Bränsleminskning 0,25 [%]
<b>Ingångsparametrar</b> Livslängd 40 [år] Ränta 4 [%] Prisnivå [år] 2007 [år] Öppningsår 2009 [år] Klimatzon 2 Trafikfärdighetsklass 3 Materialtyp i terrass 4	<b>Trafikutveckling</b> 1 - 10 år 1,5 [%] 11 - 20 år 1,3 [%] 21 - 40 år 1,0 [%]	<b>Olyckskostnad</b> Olyckskvot vid vägarb 0,56 [ol/Mfkm] Kostnad för olycka 30 000 [kr/ol]	<b>Koldioxid</b> Värdering koldioxid 1,5 [kr/kg] Koldioxidgenerering 2,7 [kg/l]
	<b>Fördelning i körfält</b> K1 80 [%] K2 20 [%]	<b>Beräkningar</b> Annuitetsfaktor 19,79 Vågryta Pb 0,94 [kr/fordon] Vågryta Lb 1,96 [kr/fordon] Passage av vägarb 0,01 [h]	<b>Beräkningar</b> Dagar då T > 10°C 123 [antal] Bränsleminskning 0,0002 [%]
	<b>Trafikklassberäkning</b> ATB VÄG 2005 C3.1 A 14 [%] ATB VÄG 2005 C3.1 B 1,3 [%]		Bränsleminskning 0,0198 [l/km]
	<b>Konstruktionstyp</b> Beläggning Överbyggnad Konstruktion 1 Asfalt GBÖ [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc Konstruktion 2 Betong BÖ m CÖ [Text] Ex: GBÖ, BBÖ, BÖ, CBÖ, GÖ etc		

## Investeringskostnad för GBÖ

Resultatfält, cellerna låsta  
 Indatafält, cellerna öppna  
 Beräkningsfält, cellerna låsta

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motoväg  
 Anmärkning: 0  
 Datum: 2007-11-28

Lagerupbyggnad	Tjocklek [mm]	Kostnad [kr/m <sup>3</sup> ]	Mängd [m <sup>3</sup> ]	Kostnad [kr]	Kostnad [kr/m <sup>2</sup> ]
<b>K1 och K2</b>					
Slitlager	40	1 600	2 760	4 416 000	64
Bindlager	40	1 300	2 760	3 588 000	52
Bundet bärlager	90	1 100	6 210	6 831 000	99
Obundet bärlager	80	400	5 520	2 208 000	32
Förstärkningslager	420	250	28 960	7 245 000	105
					0
					0
					0
					0
<b>Summa</b>	670			24 288 000	352

### Kommentar 1

För asfalt- och betongbeläggning definieras lagerupbyggnaden lika i K1 och K2.

För kombinerad beläggning måste lagerupbyggnaden definieras för K1 och K2 var för sig.

### Kommentar 2

I "Övrigt" kan exempelvis kostnader för foglistor, armering, vägmärkeningar beräknas.

Övrigt	Kostnad [kr/enhet]	Mängd [m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> ]	Kostnad [kr]	Kostnad [kr/m <sup>2</sup> ]
			0	0
			0	0
			0	0
			0	0
			0	0
		<b>Summa</b>	0	0

### Totalt GBÖ

Investeringskostnad	24 288 000	[kr]
	352	[kr/m <sup>2</sup> ]
Årskostnad över livslängden	1 227 115	[kr/år]
	17,78	[kr/år, m <sup>2</sup> ]

## Investeringskostnad för BÖ m CG

Resultatfält, cellerna låsta  
 Indatafält, cellerna öppna  
 Beräkningsfält, cellerna låsta

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motorväg  
 Anmärkning: 0  
 Datum: 2007-11-28

Lageruppbyggnad	Tjocklek [mm]	Kostnad [kr/m <sup>3</sup> ]	Mängd [m <sup>3</sup> ]	Kostnad [kr]	Kostnad [kr/m <sup>2</sup> ]
<b>K1 och K2</b>					
Cementbetong	200	975	13 800	13 455 000	195
Cementbundet bärlager	150	800	10 350	8 280 000	120
Obundet bärlager	80	400	5 520	2 208 000	32
Förstärkningslager	220	250	15 180	3 795 000	55
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
<b>Summa</b>	<b>650</b>			<b>27 738 000</b>	<b>402</b>

### Kommentar 1

För asfalt- och betongbeläggning definieras lageruppbyggnaden lika i K1 och K2.

För kombinerad beläggning måste lageruppbyggnaden definieras för K1 och K2 var för sig.

### Kommentar 2

I "Övrigt" kan exempelvis kostnader för foglistor, armering, vägmärkningar beräknas.

Övrigt	Kostnad [kr/enhet]	Mängd [m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> ]	Kostnad [kr]	Kostnad [kr/m <sup>2</sup> ]
Tvärfog	50	27 600	1 380 000	20
Längsfog	50	6 000	300 000	4
			0	0
			0	0
		<b>Summa</b>	<b>1 680 000</b>	<b>24</b>

### Totalt BÖ m CG

Investeringskostnad	29 418 000	[kr]
Årskostnad över livslängden	1 486 300	[kr/år]
	426	[kr/m <sup>2</sup> ]
	21,54	[kr/år, m <sup>2</sup> ]

## Underhåll av GBÖ Exklusive samhällskostnader

- Resultatfält, cellerna låsta
- Indatafält, cellerna öppna
- Beräkningfält, cellerna låsta
- Spjeglingsfält, cellerna låsta

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motorväg  
Anmärkning:  
Datum: 2007-11-28

Åtgärd	Kostnad [kr/enhet]	Kapacitet [enh/skift]	Mängd [m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> ]	Tillsätg. [skift]	År	Utan samhällskostnader					
						Direkta kostnader [kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärde [kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	Årskostnad över livslängd [kr/år]	[kr/år, m <sup>2</sup> ]
Slitlager K1	84	9 000	34 500	4	14	2 898 000	84	1 673 523	48,51	84 552	2,45
Slitlager K1	84	9 000	34 500	4	27	2 898 000	84	1 005 074	29,13	50 780	1,47
Slitlager K1	64	9 000	34 500	4	40	2 208 000	64	459 902	13,33	23 236	0,67
Slitlager K2	84	9 000	34 500	4	20	2 898 000	84	1 322 609	38,34	66 823	1,94
Slitlager K2	64	4 500	34 500	8	40	2 208 000	64	459 902	13,33	23 236	0,67
Asfaltgrus K1	84	4 500	34 500	8	27	2 898 000	84	1 005 074	29,13	50 780	1,47
<b>RESTVÄRDE</b>											
					<b>Summa</b>	16 008 000	464	5 926 086	171,77	299 407	8,68



## Underhåll av GBÖ Inklusive samhällskostnader

### Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motorväg  
Anmärkning:  
Datum: 2007-11-28

Åtgärd	Kostnad [kr/enhet]	Kapacitet [enh/skift]	Mängd [enhet]	Tillsätg. [skift]	År	Direkta kostnader			Inklusive samhällskostnader		
						[kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	[kr]	Nuvärde [kr/m <sup>2</sup> ]	Årskostnad över livslängden [kr/år]	[kr/år, m <sup>2</sup> ]
Slitlager K1	84	9 000	34 500	4	14	2 977 927	85,16	1 719 679	49,18	86 884	2,48
Slitlager K1	84	9 000	34 500	4	27	2 991 022	85,35	1 037 336	29,60	52 410	1,50
Slitlager K1	64	9 000	34 500	4	40	2 313 343	65,53	481 844	13,65	24 344	0,69
Slitlager K2	84	9 000	34 500	4	20	2 984 511	85,25	1 362 092	38,91	68 818	1,97
Slitlager K2	64	4 500	34 500	8	40	2 418 667	67,05	503 766	13,97	25 453	0,71
Asfaltgrus K1	84	4 500	34 500	8	27	3 084 043	86,70	1 069 597	30,07	54 040	1,52
<b>RESTVÄRDE</b>											
					<b>Summa</b>	16 769 532	475,04	6 174 333	175,37	311 949	8,86



## Underhåll av BÖ m CG Exklusive samhällskostnader

### Info: Beräkningsexempel

Resultatfält, cellerna låsta  
 Indatafält, cellerna öppna  
 Beräkningfält, cellerna låsta  
 Spjeringfält, cellerna låsta

Objekt: Motornväg  
 Anmärkning:  
 Datum: 2007-11-28

Åtgärd	Kostnad [kr/enhet]	Kapacitet [enh/skift]	Mängd [m,m <sup>2</sup> ,m <sup>3</sup> ]	Tidsåtg. [skift]	År	Utan samhällskostnader					
						Direkta kostnader [kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärde [kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	Årskostnad över livslängd [kr/år]	[kr/år,m <sup>2</sup> ]
Slipning K1	60	4 000	34 500	9	40	2 070 000	60	431 158	12,50	21 784	0,63
Slipning K2	60	4 000	34 500	9	40	2 070 000	60	431 158	12,50	21 784	0,63
Omfogning tvärfog	30	2 400	13 800	6	20	414 000	30	188 944	13,69	9 546	0,69
Omfogning långsfog	30	2 400	6 000	3	20	180 000	30	82 150	13,69	4 150	0,69
Omfogning tvärfog	30	2 400	13 800	6	40	414 000	30	86 232	6,25	4 357	0,32
Omfogning långsfog	30	2 400	6 000	3	40	180 000	30	37 492	6,25	1 894	0,32
<b>RESTVÄRDE</b>											
<b>Summa</b>					<b>Summa</b>	5 328 000	240	1 257 134	64,88	63 515	3,28

## Underhåll av BÖ m CG Inklusive samhällskostnader

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motorväg  
 Anmärkning:  
 Datum: 2007-11-28

Åtgärd	Kostnad [kr/enhet]	Kapacitet [enh/skift]	Mängd [enhet]	Tidsåtg. [skift]	År	Inklusive samhällskostnader						
						Direkta kostnader [kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärde [kr]	[kr/m <sup>2</sup> ]	Årskostnad över livslängden [kr/år]	[kr/år, m <sup>2</sup> ]	
Slipning K1	60	4 000	34 500	9	40	2 307 022	63,44	480 527	13,21	24 278	0,67	
Slipning K2	60	4 000	34 500	9	40	2 307 022	63,44	480 527	13,21	24 278	0,67	
Omfogning tvärfog	30	2 400	13 800	6	20	543 766	31,88	248 168	14,55	12 538	0,74	
Omfogning längsfog	30	2 400	6 000	3	20	236 420	30,82	107 899	14,06	5 451	0,71	
Omfogning tvärfog	30	2 400	13 800	6	40	572 015	32,29	119 144	6,73	6 020	0,34	
Omfogning längsfog	30	2 400	6 000	3	40	248 702	31,00	51 802	6,46	2 617	0,33	
<b>RESTVÄRDE</b>												
						6 214 948	252,85	1 488 068	68,22	75 182	3,45	
					<b>Summa</b>							



## Total bränslebesparing

Resultatfält, cellerna lästa  
Beräkningfält, cellerna lästa

För fullständiga beräkningar, se övriga sidor i denna fil

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motoväg  
Anmärkning: 0  
Datum: 2007-11-28

Resultat									
GBÖ			BÖ m CG			Årsbesparing över livslängden			
	Direkt besparing [kt]	Nuvärdesbesparing [kr/m <sup>2</sup> ]	Årsbesparing över livslängden [kr/år]	Direkt besparing [kt]	Nuvärdesbesparing [kr/m <sup>2</sup> ]	Årsbesparing över livslängden [kr/år]	Direkt besparing [kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärdesbesparing [kr/m <sup>2</sup> ]	Årsbesparing över livslängden [kr/år]
Bränsle	0	0,00	0	4 627 688	67,07	111 640	32,02	111 640	1,62
Koldioxid	0	0,00	0	3 676 351	53,28	88 685	25,44	88 685	1,29
<b>Totalt</b>	0	0,00	0	8 304 039	120,35	200 325	57,46	200 325	2,90

OBSERVERA att bränslebesparing endast sker på betongbeläggning

## Bränslebesparing K1 - Personbilar

Resultatfält, cellerna lästa  
Beräkningsfält, cellerna lästa

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motorväg  
Anmärkning: 0  
Datum: 2007-11-28

År	Antal fordon	Fordons- kilometer [fkm]	Bränsle- besparing [l]	Koldioxid- besparing [kg]	K1 - Personbilar					
					Kostnadsbesparing, bränsle		Kostnadsbesparing, koldioxid			
					Direkta [kr]	Nuvärde [kr]	Över hela livslängden [kr/år, m <sup>2</sup> ]	Direkta [kr]	Nuvärde [kr]	Över hela livslängden [kr/år, m <sup>2</sup> ]
0	634 680	3 808 080	762	2 056	4 120	4 120	0,06	3 085	3 085	0,04
1	644 200	3 865 201	773	2 087	4 182	4 021	0,06	3 131	3 010	0,04
2	653 863	3 923 179	785	2 119	4 245	3 925	0,06	3 178	2 938	0,04
3	663 671	3 982 027	796	2 150	4 309	3 830	0,06	3 225	2 867	0,04
4	673 626	4 041 757	808	2 183	4 373	3 738	0,06	3 274	2 796	0,04
5	683 731	4 102 384	820	2 215	4 439	3 648	0,05	3 323	2 731	0,04
6	693 987	4 163 919	833	2 249	4 505	3 561	0,05	3 373	2 666	0,04
7	704 396	4 226 378	845	2 282	4 573	3 475	0,05	3 423	2 601	0,04
8	714 962	4 289 774	858	2 316	4 642	3 392	0,05	3 475	2 539	0,04
9	725 687	4 354 120	871	2 351	4 711	3 310	0,05	3 527	2 478	0,04
10	736 572	4 419 432	884	2 386	4 782	3 230	0,05	3 580	2 418	0,04
11	746 147	4 475 885	895	2 418	4 844	3 147	0,05	3 626	2 356	0,03
12	755 847	4 535 084	907	2 449	4 907	3 065	0,04	3 673	2 294	0,03
13	765 673	4 594 041	919	2 481	4 971	2 985	0,04	3 721	2 235	0,03
14	775 627	4 653 763	931	2 513	5 035	2 908	0,04	3 770	2 177	0,03
15	785 710	4 714 262	943	2 546	5 101	2 832	0,04	3 819	2 120	0,03
16	795 925	4 775 547	955	2 579	5 167	2 759	0,04	3 868	2 065	0,03
17	806 272	4 837 629	968	2 612	5 234	2 687	0,04	3 918	2 012	0,03
18	816 753	4 900 519	980	2 646	5 302	2 617	0,04	3 969	1 959	0,03
19	827 371	4 964 225	993	2 681	5 371	2 549	0,04	4 021	1 909	0,03
20	838 127	5 028 760	1 006	2 716	5 441	2 483	0,04	4 073	1 859	0,03
21	846 508	5 079 048	1 016	2 743	5 495	2 412	0,03	4 114	1 805	0,03
22	854 973	5 129 836	1 026	2 770	5 550	2 342	0,03	4 155	1 753	0,03
23	863 523	5 181 137	1 036	2 798	5 606	2 274	0,03	4 197	1 703	0,02
24	872 158	5 232 948	1 047	2 826	5 662	2 209	0,03	4 239	1 654	0,02
25	880 880	5 285 278	1 057	2 854	5 719	2 145	0,03	4 281	1 606	0,02
26	889 688	5 338 130	1 068	2 883	5 776	2 083	0,03	4 324	1 560	0,02
27	898 595	5 391 512	1 078	2 911	5 834	2 023	0,03	4 367	1 515	0,02
28	907 571	5 445 427	1 089	2 941	5 892	1 965	0,03	4 411	1 471	0,02
29	916 647	5 499 881	1 100	2 970	5 951	1 908	0,03	4 455	1 428	0,02
30	925 813	5 554 880	1 111	3 000	6 010	1 853	0,03	4 499	1 387	0,02
31	935 071	5 610 429	1 122	3 030	6 070	1 800	0,03	4 544	1 347	0,02
32	944 422	5 666 533	1 133	3 060	6 131	1 748	0,03	4 590	1 308	0,02
33	953 866	5 723 196	1 145	3 091	6 193	1 697	0,02	4 636	1 271	0,02
34	963 405	5 780 430	1 156	3 121	6 254	1 648	0,02	4 682	1 234	0,02
35	973 039	5 838 235	1 168	3 153	6 317	1 601	0,02	4 729	1 198	0,02
36	982 769	5 896 617	1 179	3 184	6 380	1 555	0,02	4 776	1 164	0,02
37	992 597	5 955 583	1 191	3 216	6 444	1 510	0,02	4 824	1 130	0,02
38	1 002 523	6 015 139	1 203	3 248	6 508	1 466	0,02	4 872	1 098	0,02
39	1 012 548	6 075 290	1 215	3 281	6 573	1 424	0,02	4 921	1 066	0,02
40				<b>Summa</b>	214 622	103 947	1,51	160 669	77 816	1,13
					3,11	5 252	0,08	2,33	3 932	0,06

## Bränslebesparing K1 - Lastbilar

**Info: Beräkningsexempel**  
 Objekt: Motorväg  
 Anmätnings: 0  
 Datum: 2007-11-28

År	Antal fordon	Fordons- kilometer (fkm)	Bränsle- besparing (l)	Koldioxid- besparing (kg)	K1 - Lastbilar						
					Kostnadsbesparing, bränsle		Kostnadsbesparing, koldioxid				
					Direkta [kr]	Nuvarde [kr/m <sup>2</sup> ]	Över hela livslängden [kr/år, m <sup>2</sup> ]	Direkta [kr]	Nuvarde [kr/m <sup>2</sup> ]	Över hela livslängden [kr/år, m <sup>2</sup> ]	
0	103 320	619 920	12 243	33 057	62 197	0,90	3 142	49 586	0,72	2 505	
1	105 366	632 318	12 488	33 718	63 441	0,92	3 082	50 578	0,73	2 457	
2	107 494	644 965	12 738	34 393	64 709	0,94	3 023	51 589	0,75	2 410	
3	109 644	657 864	12 993	35 081	66 004	0,96	2 965	52 621	0,76	2 363	
4	111 837	671 021	13 253	35 782	67 324	0,98	2 908	53 673	0,78	2 318	
5	114 074	684 442	13 518	36 498	68 670	1,00	2 852	54 747	0,79	2 273	
6	116 355	698 131	13 788	37 228	70 043	1,02	2 797	55 842	0,81	2 230	
7	118 682	712 093	14 064	37 972	71 444	1,04	2 743	56 959	0,83	2 187	
8	121 056	726 335	14 345	38 732	72 873	1,06	2 690	58 098	0,84	2 145	
9	123 477	740 862	14 632	39 506	74 331	1,08	2 639	59 260	0,86	2 104	
10	125 947	755 679	14 925	40 297	75 817	1,10	2 588	60 445	0,88	2 063	
11	127 836	767 014	15 149	40 901	76 965	1,12	2 526	61 352	0,89	2 014	
12	129 753	778 519	15 376	41 515	78 109	1,13	2 465	62 272	0,90	1 965	
13	131 700	790 197	15 606	42 137	79 280	1,15	2 406	63 206	0,92	1 918	
14	133 675	802 050	15 840	42 769	80 470	1,17	2 348	64 154	0,93	1 872	
15	135 680	814 081	16 078	43 411	81 677	1,18	2 291	65 116	0,94	1 827	
16	137 715	826 292	16 319	44 062	82 902	1,20	2 236	66 093	0,96	1 783	
17	139 791	838 687	16 564	44 723	84 145	1,22	2 183	67 084	0,97	1 740	
18	141 878	851 267	16 813	45 394	85 408	1,24	2 130	68 091	0,99	1 698	
19	144 006	864 036	17 065	46 075	86 689	1,26	2 079	69 112	1,00	1 657	
20	146 166	876 986	17 321	46 766	87 989	1,28	2 029	70 149	1,02	1 618	
21	148 066	888 397	17 546	47 374	89 133	1,29	1 976	71 061	1,03	1 576	
22	149 991	899 946	17 774	47 990	90 292	1,31	1 925	71 984	1,04	1 535	
23	151 941	911 646	18 005	48 614	91 465	1,33	1 875	72 920	1,06	1 495	
24	153 916	923 497	18 239	49 245	92 654	1,34	1 826	73 868	1,07	1 456	
25	155 917	935 503	18 476	49 886	93 859	1,36	1 779	74 829	1,08	1 418	
26	157 944	947 664	18 716	50 534	95 079	1,38	1 733	75 801	1,10	1 381	
27	159 997	959 984	18 960	51 191	96 315	1,40	1 688	76 787	1,11	1 345	
28	162 077	972 464	19 206	51 857	97 567	1,41	1 644	77 786	1,13	1 311	
29	164 184	985 106	19 456	52 531	98 836	1,43	1 601	78 796	1,14	1 277	
30	166 319	997 912	19 709	53 214	100 121	1,45	1 560	79 820	1,16	1 243	
31	168 481	1 010 886	19 965	53 905	101 422	1,47	1 519	80 868	1,17	1 211	
32	170 671	1 024 026	20 225	54 606	102 741	1,49	1 480	81 909	1,19	1 180	
33	172 890	1 037 339	20 487	55 316	104 076	1,51	1 441	82 974	1,20	1 149	
34	175 137	1 050 824	20 754	56 035	105 429	1,53	1 404	84 063	1,22	1 119	
35	177 414	1 064 486	21 024	56 764	106 800	1,55	1 367	85 145	1,23	1 090	
36	179 721	1 078 323	21 297	57 502	108 188	1,57	1 332	86 252	1,25	1 062	
37	182 057	1 092 341	21 574	58 249	109 595	1,59	1 297	87 374	1,27	1 034	
38	184 424	1 106 542	21 854	59 006	111 019	1,61	1 264	88 510	1,28	1 007	
39	186 821	1 120 927	22 138	59 773	112 463	1,63	1 231	89 660	1,30	981	
				<b>Summa</b>	<b>3 487 529</b>	<b>50,54</b>	<b>1 663 781</b>	<b>2 780 412</b>	<b>40,30</b>	<b>1 326 440</b>	<b>67 016</b>
							<b>84 060</b>			<b>19 222</b>	<b>67 016</b>



## Bränslebesparing K2 - Personbilar

Resultatfält, cellerna lästa  
Beräkningsfält, cellerna lästa

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motoväg  
Anmärföring: 0  
Datum: 2007-11-28

År	Antal fordon	Fordonskilometer (fkm)	Bränslebesparing (l)	Koldioxidbesparing (kg)	K2 - Personbilar									
					Kostnadsbesparing, bränsle		Kostnadsbesparing, koldioxid							
					Direkta [kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärde [kr]	Över hela livslängden [kr/år]	Direkta [kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärde [kr]	Över hela livslängden [kr/år]				
0	168 670	962 020	190	514	1 030	0,01	1 030	0,01	771	0,01	771	0,01	39	0,00
1	161 050	966 300	193	522	1 046	0,02	1 005	0,01	783	0,01	753	0,01	38	0,00
2	163 466	980 795	196	530	1 061	0,02	981	0,01	806	0,01	735	0,01	37	0,00
3	165 918	995 507	199	538	1 077	0,02	968	0,01	806	0,01	717	0,01	36	0,00
4	168 407	1 010 439	202	546	1 093	0,02	936	0,01	818	0,01	700	0,01	35	0,00
5	170 933	1 025 596	205	554	1 110	0,02	912	0,01	831	0,01	683	0,01	34	0,00
6	173 497	1 040 980	208	562	1 126	0,02	890	0,01	843	0,01	666	0,01	34	0,00
7	176 099	1 056 595	211	571	1 143	0,02	869	0,01	856	0,01	650	0,01	33	0,00
8	178 741	1 072 443	214	579	1 160	0,02	848	0,01	869	0,01	635	0,01	32	0,00
9	181 422	1 088 530	218	588	1 178	0,02	827	0,01	882	0,01	619	0,01	31	0,00
10	184 143	1 104 858	221	597	1 195	0,02	808	0,01	895	0,01	605	0,01	31	0,00
11	186 537	1 119 221	224	604	1 211	0,02	787	0,01	907	0,01	589	0,01	30	0,00
12	188 962	1 133 771	227	612	1 227	0,02	766	0,01	918	0,01	574	0,01	29	0,00
13	191 418	1 148 510	230	620	1 243	0,02	746	0,01	930	0,01	559	0,01	28	0,00
14	193 907	1 163 441	233	628	1 259	0,02	727	0,01	942	0,01	544	0,01	27	0,00
15	196 428	1 178 565	236	636	1 275	0,02	708	0,01	955	0,01	530	0,01	27	0,00
16	198 981	1 193 887	239	645	1 292	0,02	690	0,01	967	0,01	516	0,01	26	0,00
17	201 568	1 209 407	242	653	1 309	0,02	672	0,01	980	0,01	503	0,01	25	0,00
18	204 188	1 225 130	245	662	1 326	0,02	654	0,01	992	0,01	490	0,01	25	0,00
19	206 843	1 241 056	248	670	1 343	0,02	637	0,01	1 005	0,01	477	0,01	24	0,00
20	209 532	1 257 190	251	679	1 360	0,02	621	0,01	1 018	0,01	465	0,01	23	0,00
21	211 627	1 269 762	254	686	1 374	0,02	603	0,01	1 029	0,01	451	0,01	23	0,00
22	213 743	1 282 460	256	693	1 388	0,02	586	0,01	1 039	0,02	438	0,01	22	0,00
23	215 881	1 295 284	259	699	1 401	0,02	569	0,01	1 049	0,02	426	0,01	22	0,00
24	218 040	1 308 237	262	706	1 416	0,02	552	0,01	1 060	0,02	413	0,01	21	0,00
25	220 220	1 321 319	264	714	1 430	0,02	536	0,01	1 070	0,02	401	0,01	20	0,00
26	222 422	1 334 533	267	721	1 444	0,02	521	0,01	1 081	0,02	390	0,01	20	0,00
27	224 646	1 347 878	270	728	1 458	0,02	506	0,01	1 092	0,02	379	0,01	19	0,00
28	226 893	1 361 357	272	735	1 473	0,02	491	0,01	1 103	0,02	368	0,01	19	0,00
29	229 162	1 374 970	275	742	1 488	0,02	477	0,01	1 114	0,02	357	0,01	18	0,00
30	231 453	1 388 720	278	750	1 503	0,02	463	0,01	1 125	0,02	347	0,01	18	0,00
31	233 768	1 402 607	281	757	1 518	0,02	450	0,01	1 136	0,02	337	0,01	17	0,00
32	236 106	1 416 633	283	765	1 533	0,02	437	0,01	1 147	0,02	327	0,01	17	0,00
33	238 467	1 430 800	286	773	1 548	0,02	424	0,01	1 159	0,02	318	0,01	16	0,00
34	240 851	1 445 108	289	780	1 564	0,02	412	0,01	1 171	0,02	308	0,01	16	0,00
35	243 260	1 459 559	292	788	1 579	0,02	400	0,01	1 182	0,02	300	0,01	15	0,00
36	245 692	1 474 154	295	796	1 595	0,02	389	0,01	1 194	0,02	291	0,01	15	0,00
37	248 149	1 488 896	298	804	1 611	0,02	377	0,01	1 206	0,02	283	0,01	14	0,00
38	250 631	1 503 785	301	812	1 627	0,02	367	0,01	1 218	0,02	274	0,01	14	0,00
39	253 137	1 518 823	304	820	1 643	0,02	356	0,01	1 230	0,02	266	0,01	13	0,00
40														
				<b>Summa</b>	53 655	0,78	25 987	0,38	40 167	0,58	19 454	0,28	983	0,01

## Bränslesparning K2 - Lastbilar

## Info: Beräkningsexempel

Objekt: Motorväg  
Anmärföring: 0  
Datum: 2007-11-28

År	Antal fordon	Fordonskilometer [fkm]	Bränslesparning [l]	Koldioxidbesparning [kg]	K2 - Lastbilar										
					Kostnadsbesparning, bränsle		Kostnadsbesparning, koldioxid								
					Direkta [kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärde [kr]	Över hela livslängden [kr/år]	Direkta [kr/m <sup>2</sup> ]	Nuvärde [kr]	Över hela livslängden [kr/år]					
0	25 830	154 980	3 061	8 264	0,23	15 549	0,23	786	0,01	12 396	0,18	12 396	0,18	626	0,01
1	26 347	158 080	3 122	8 430	0,23	15 860	0,22	770	0,01	12 644	0,18	12 158	0,18	614	0,01
2	26 874	161 241	3 185	8 598	0,23	16 177	0,22	756	0,01	12 897	0,19	11 924	0,17	602	0,01
3	27 411	164 466	3 248	8 770	0,24	16 501	0,21	741	0,01	13 155	0,19	11 695	0,17	591	0,01
4	27 959	167 755	3 313	8 946	0,24	16 831	0,21	727	0,01	13 418	0,19	11 470	0,17	580	0,01
5	28 518	171 110	3 379	9 124	0,25	17 168	0,20	713	0,01	13 687	0,20	11 249	0,16	568	0,01
6	29 089	174 533	3 447	9 307	0,25	17 511	0,20	699	0,01	13 960	0,20	11 033	0,16	557	0,01
7	29 671	178 023	3 516	9 493	0,26	17 861	0,20	686	0,01	14 240	0,21	10 821	0,16	547	0,01
8	30 264	181 584	3 586	9 683	0,26	18 218	0,19	673	0,01	14 524	0,21	10 613	0,15	536	0,01
9	30 869	185 215	3 656	9 877	0,27	18 583	0,19	660	0,01	14 815	0,21	10 409	0,15	526	0,01
10	31 487	188 920	3 731	10 074	0,27	18 964	0,19	647	0,01	15 111	0,22	10 209	0,15	516	0,01
11	32 118	192 700	3 804	10 279	0,28	19 359	0,18	631	0,01	15 418	0,22	10 014	0,14	503	0,01
12	32 761	196 555	3 884	10 491	0,28	19 767	0,18	616	0,01	15 733	0,23	9 824	0,14	491	0,01
13	33 417	200 487	3 960	10 709	0,29	20 187	0,17	601	0,01	16 058	0,23	9 640	0,14	479	0,01
14	34 085	204 497	4 033	10 933	0,29	20 620	0,17	587	0,01	16 394	0,23	9 462	0,13	468	0,01
15	34 764	208 585	4 102	11 163	0,30	21 067	0,16	573	0,01	16 741	0,24	9 293	0,13	457	0,01
16	35 454	212 750	4 171	11 400	0,30	21 528	0,16	559	0,01	17 098	0,24	9 132	0,13	446	0,01
17	36 165	216 991	4 240	11 643	0,31	22 003	0,16	546	0,01	17 465	0,25	8 979	0,12	435	0,01
18	36 887	221 308	4 309	11 891	0,31	22 492	0,15	533	0,01	17 842	0,25	8 832	0,12	425	0,01
19	37 620	225 692	4 378	12 144	0,31	22 995	0,15	520	0,01	18 229	0,25	8 691	0,12	414	0,01
20	38 364	230 142	4 447	12 402	0,32	23 512	0,15	507	0,01	18 626	0,25	8 554	0,12	404	0,01
21	39 119	234 657	4 516	12 665	0,32	24 043	0,14	494	0,01	19 033	0,26	8 421	0,11	394	0,01
22	39 885	239 237	4 585	12 933	0,33	24 588	0,14	481	0,01	19 450	0,26	8 292	0,11	384	0,01
23	40 662	243 881	4 654	13 206	0,33	25 147	0,13	469	0,01	19 877	0,26	8 167	0,11	374	0,01
24	41 450	248 590	4 723	13 484	0,34	25 719	0,13	457	0,01	20 314	0,27	8 046	0,10	364	0,01
25	42 249	253 363	4 792	13 767	0,34	26 304	0,13	445	0,01	20 761	0,27	7 928	0,10	355	0,01
26	43 059	258 200	4 861	14 055	0,34	26 902	0,12	433	0,01	21 218	0,27	7 813	0,10	345	0,01
27	43 880	263 101	4 930	14 348	0,35	27 513	0,12	422	0,01	21 685	0,28	7 701	0,10	336	0,00
28	44 711	268 066	5 000	14 646	0,35	28 137	0,12	411	0,01	22 162	0,28	7 592	0,09	328	0,00
29	45 552	273 095	5 070	14 949	0,36	28 774	0,11	400	0,01	22 649	0,29	7 487	0,09	319	0,00
30	46 403	278 188	5 140	15 256	0,36	29 424	0,11	390	0,01	23 146	0,29	7 386	0,09	311	0,00
31	47 264	283 345	5 210	15 568	0,37	30 086	0,11	380	0,01	23 653	0,29	7 288	0,09	303	0,00
32	48 135	288 566	5 280	15 885	0,37	30 761	0,11	370	0,01	24 170	0,30	7 193	0,08	295	0,00
33	49 016	293 851	5 350	16 207	0,38	31 449	0,10	360	0,01	24 697	0,30	7 101	0,08	287	0,00
34	49 907	299 200	5 420	16 534	0,38	32 150	0,10	351	0,01	25 234	0,30	7 012	0,08	280	0,00
35	50 808	304 613	5 490	16 866	0,39	32 864	0,10	342	0,01	25 781	0,31	6 926	0,08	273	0,00
36	51 719	310 090	5 560	17 203	0,39	33 591	0,10	333	0,01	26 338	0,31	6 843	0,08	266	0,00
37	52 640	315 631	5 630	17 545	0,40	34 331	0,09	324	0,01	26 905	0,32	6 762	0,07	259	0,00
38	53 571	321 236	5 700	17 892	0,40	35 084	0,09	316	0,01	27 482	0,32	6 683	0,07	252	0,00
39	54 512	326 905	5 770	18 244	0,41	35 850	0,09	308	0,01	28 069	0,32	6 606	0,07	245	0,00
40	55 463	332 638	5 840	18 601	0,41	36 629	0,09	300	0,01	28 666	0,32	6 531	0,07	238	0,00
<b>Summa</b>					12,64	415 945	6,03	21 015	0,30	695 103	10,07	331 610	4,81	16 754	0,24

## Jämförelse mellan GBÖ och BÖ m CG

Se fliken "Diagramjämförelse" för jämförelse i diagramform

## Info: Beräkningsexempel

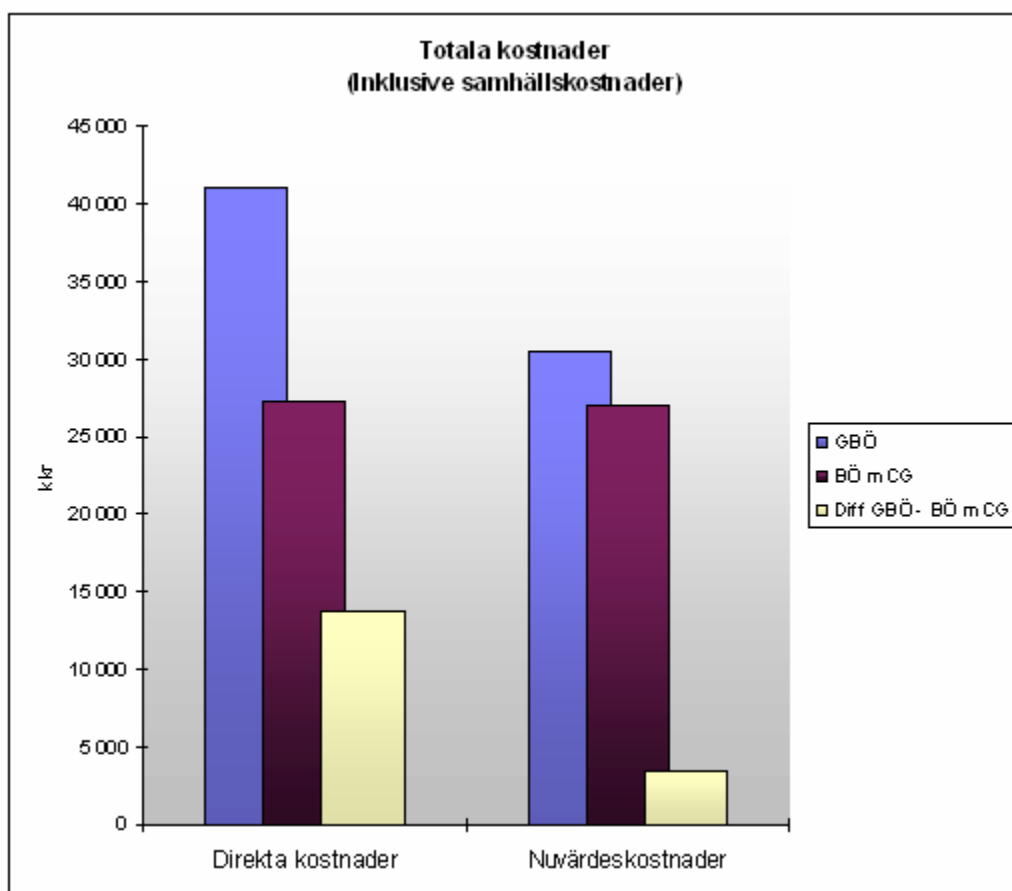
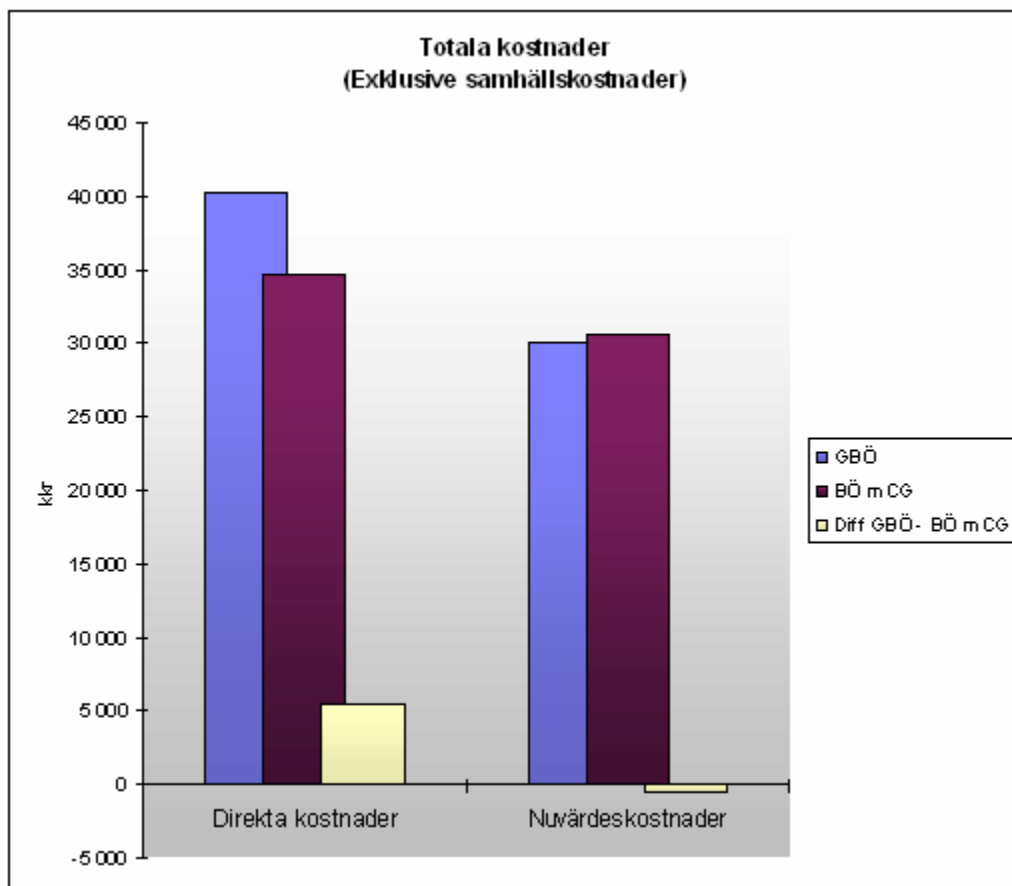
Objekt: Motorväg

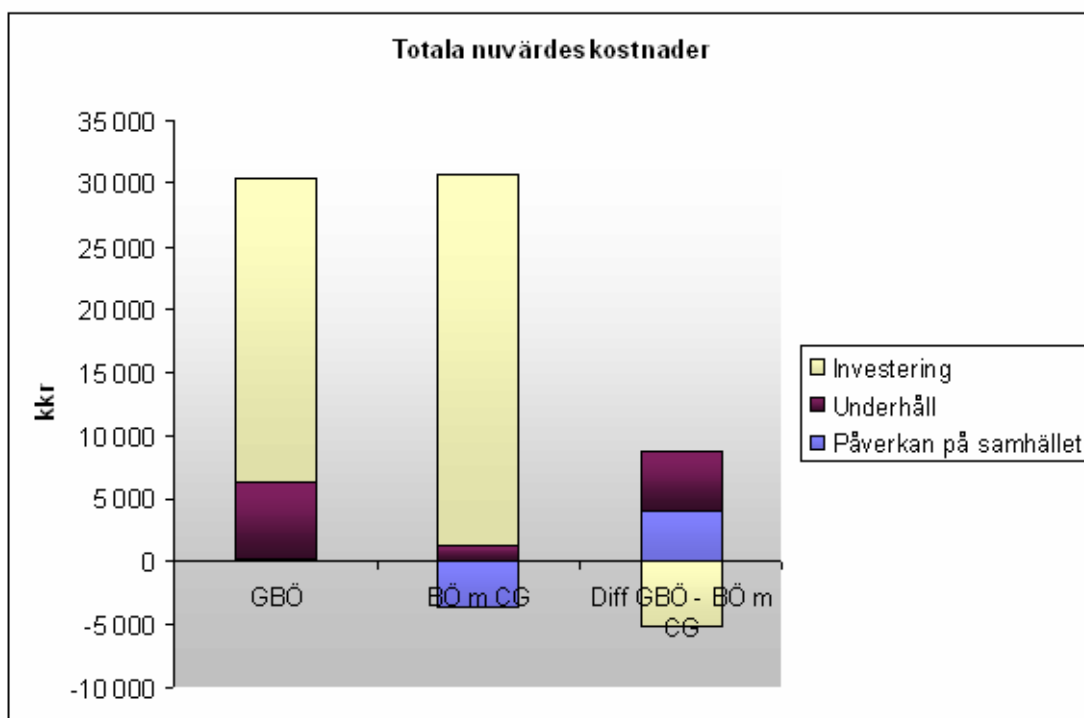
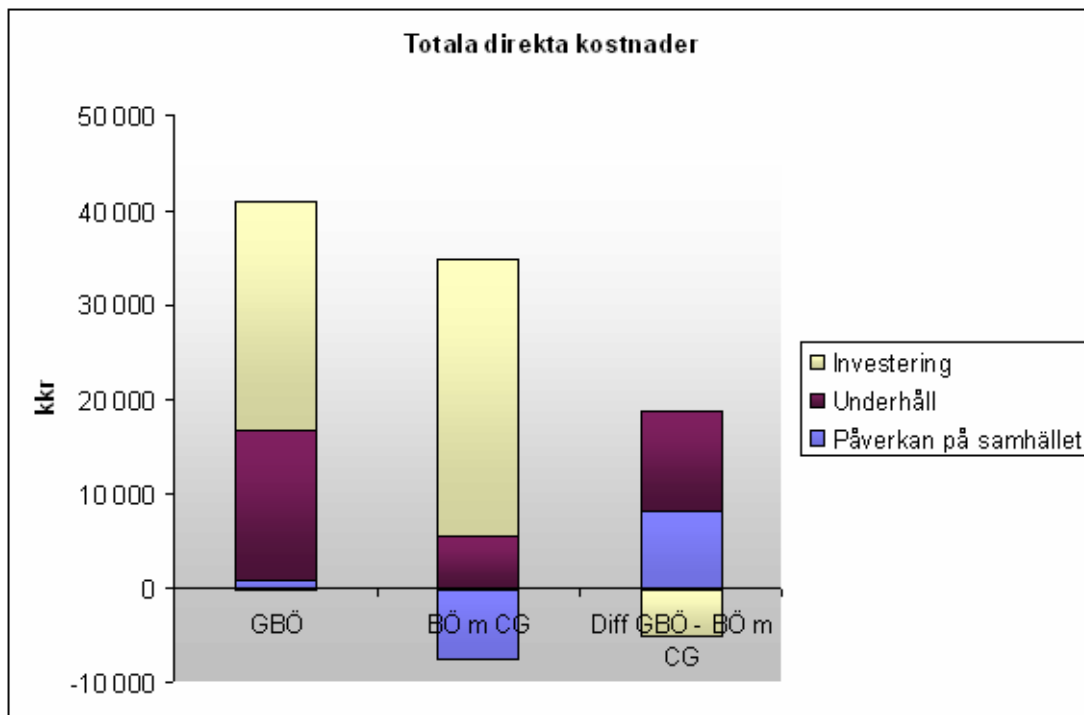
Anmärkning:

Datum: 2007-11-28

	Totala kostnader					
	Exklusive samhällskostnader		Inklusive samhällskostnader			
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG
<b>Direkta kostnader</b>						
[kkf]	40 296	34 746	5 550	41 058	27 329	13 729
[kr/m <sup>2</sup> ]	816,00	666,35	149,65	827,04	558,85	268,18
<b>Nuvärde</b>						
[kkf]	30 214	30 675	-461	30 462	26 941	3 521
[kr/m <sup>2</sup> ]	523,77	491,22	32,55	527,37	437,11	90,26
<b>Årskostnad över livslängden</b>						
[kkf/år]	1 527	1 550	-23	1 539	1 361	178
[kr/år,m <sup>2</sup> ]	26,46	24,82	1,64	26,64	22,08	4,56

	Delkostnader					
	Direkta kostnader [kkf]		Nuvärdeskostnader [kkf]			
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG
<b>Investering</b>						
	24 288	29 418	-5 130	24 288	29 418	-5 130
<b>Underhåll</b>						
	16 008	5 328	10 680	5 926	1 257	4 669
<b>Påverkan på samhället</b>						
varav	762	-7 417	8 179	248	-3 734	3 982
<b>Ökad restid</b>						
	728	847	-120	237	221	17
<b>Ökad olyckskvot</b>						
	34	40	-6	11	10	1
<b>Bränslebesparing</b>						
	0	-4 628	4 628	0	-2 210	2 210
<b>Koldioxidbesparing</b>						
	0	-3 676	3 676	0	-1 755	1 755





# 10. Känslighetsanalys 2Ö – felbedömd underhållsstrategi

## Resultat felbedömning underhållsstrategi för asfaltbeläggning

	Totala kostnader					
	Exklusive samhällskostnader		Inklusive samhällskostnader			
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG
Direkta kostnader						
	46 092	34 746	11 346	47 032	27 329	19 703
	984,00	666,35	317,65	997,63	558,85	438,77
Nuvärde						
	32 458	30 675	1 783	32 782	26 941	5 841
	588,81	491,22	97,58	593,50	437,11	156,40
Arskostnad över livslängden						
	1 640	1 550	90	1 656	1 361	295
	29,75	24,82	4,93	29,99	22,08	7,90
Delkostnader						
	Direkta kostnader [kkr]			Nuvärdeskostnader [kkr]		
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG
Investering	24 288	29 418	-5 130	24 288	29 418	-5 130
Underhåll	21 804	5 328	16 476	8 170	1 257	6 913
Påverkan på samhället	940	-7 417	8 357	324	-3 734	4 058
varav						
Ökad restid	898	847	51	310	221	89
Ökad olyckskvot	42	40	2	14	10	4
Bränslebesparing	0	-4 628	4 628	0	-2 210	2 210
Koldioxidbesparing	0	-3 676	3 676	0	-1 755	1 755

## Resultat felbedömning underhållsstrategi betongbeläggning

	Totala kostnader					
	Exklusive samhällskostnader			Inklusive samhällskostnader		
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG
Direkta kostnader						
	40 296	38 886	1 410	40 952	31 858	9 094
	[kkr]					
	816,00	786,35	29,65	825,51	684,50	141,01
	[kr/m <sup>2</sup> ]					
Nuvärde						
	30 214	32 565	-2 350	30 440	29 008	1 432
	[kkr]					
	523,77	545,99	-22,22	527,05	494,45	32,60
	[kr/m <sup>2</sup> ]					
Arskostnad över livslängden						
	1 527	1 645	-119	1 538	1 466	72
	[kkr/år]					
	26,46	27,59	-1,12	26,63	24,38	1,65
	[kr/år.m <sup>2</sup> ]					
Delkostnader						
	Direkta kostnader [kkr]			Nuvärdeskostnader [kkr]		
	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG	GBÖ	BÖ m CG	Diff GBÖ - BÖ m CG
Investering	24 288	29 418	-5 130	24 288	29 418	-5 130
Underhåll	16 008	9 468	6 540	5 926	3 147	2 780
Påverkan på samhället	656	-7 028	7 684	226	-3 556	3 783
	627	1 219	-592	216	390	-174
Ökad restid						
Ökad olyckskvot	29	57	-28	10	18	-8
Bränslebesparing	0	-4 628	4 628	0	-2 210	2 210
Koldioxidbesparing	0	-3 676	3 676	0	-1 755	1 755