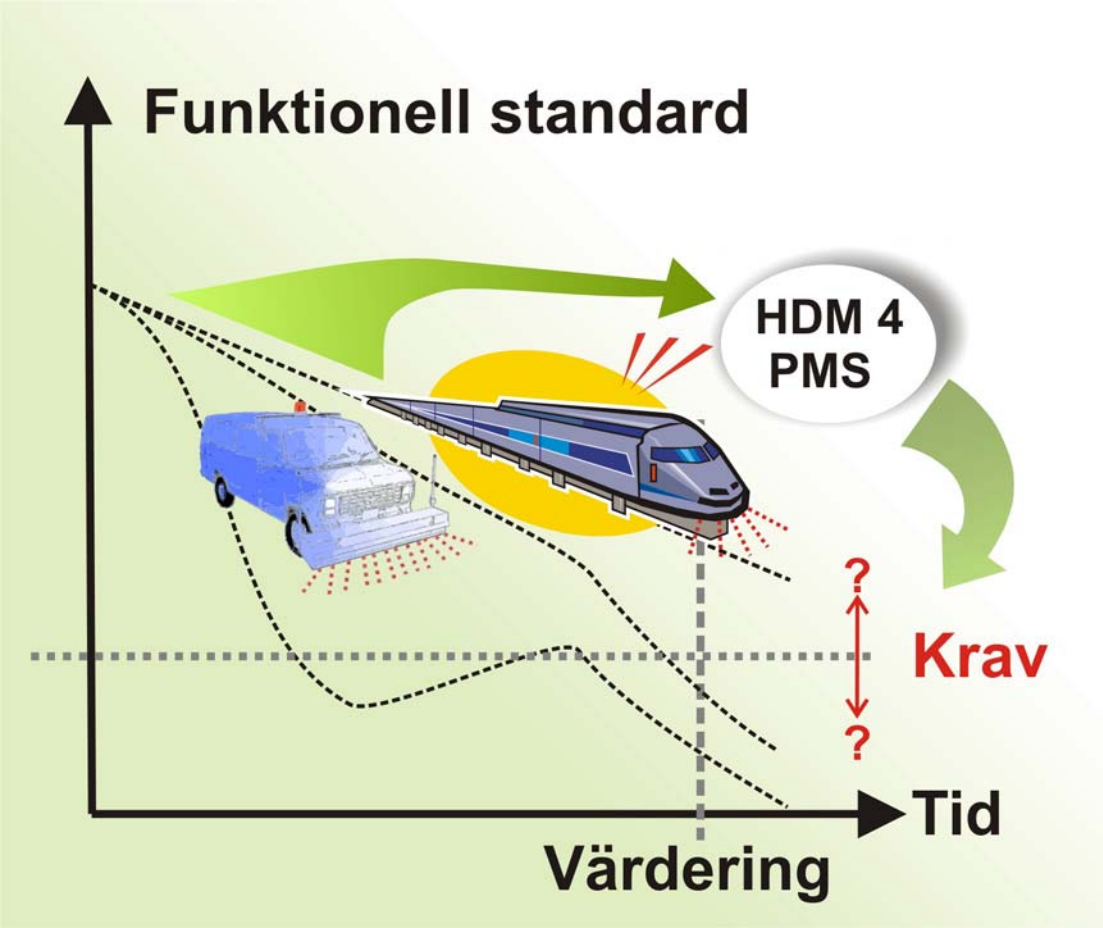
VTI meddelande 971 - 2005

Funktionsupphandling av väg- och banhållning

Problem och möjligheter

Ragnar Hedström
Anita Ihs
Leif Sjögren



Väg- och transport-
forskningsinstitutet

VTI meddelande 971 · 2005

Funktionsupphandling av väg- och banhållning

Problem och möjligheter

Ragnar Hedström
Anita Ihs
Leif Sjögren

Väg- och transport-forskningsinstitutet

Foto:: Leif Sjögren, VTI

Utgivare:

Väg- och transport-forskningsinstitutet
581 95 Linköping

Publikation:
VTI meddelande 971

Utgivningsår: 2005

Projektnummer: 80556

Projektnamn:
Upphandling av ban- och väghållning, kontrakt för incitament och innovation

Författare:
Ragnar Hedström, VTI
Anita Ihs, VTI
Leif Sjögren, VTI

Uppdragsgivare:
Banverket
Vinnova

Titel:
Funktionsupphandling av väg- och banhållning – Problem och möjligheter

Referat (bakgrund, syfte, metod, resultat) max 200 ord:

Inom ramen för temat ”Konkurrensutsättning och upphandling inom transportsektorn” har föreliggande projekt genomförts. De senaste årens stigande kostnader för drift och underhåll av vägens och järnvägens infrastruktur har medfört ett ökat intresse för att utveckla nya entreprenadformer. Avsikten med den nu pågående processen med konkurrensutsättning och funktionsupphandling är att skapa förutsättningar för en effektivare drift och underhållsverksamhet. Problemet med funktionsupphandling är att definiera relevanta funktionskrav som på ett tydligt sätt är kopplade till effekterna för slutanvändarna. Detta ställer krav på att funktionsvariablerna kan mätas och värderas dels med avseende på ansvarsförhållandet mellan beställare och entreprenör, dels utifrån resenärernas perspektiv. I projektet studeras möjligheten att använda planeringsmodeller såsom Världsbankens HDM-4 eller andra operationellt tillgängliga modeller/verktyg inom vägsektorn (bl.a. Vägverkets PMS) vid prissättning av mätbara ”slutresultat” i samband med funktionsupphandling. En slutsats som gäller generellt för HDM-4 och Vägverkets PMS är att trafikeffektmodellerna behöver kompletteras för att kunna användas fullt ut för ändamålet att prissätta mätbara ”slutresultat” i kontrakt vid funktionsupphandling. På järnvägssidan finns ingen motsvarighet till vägsidans modeller HDM-4 och PMS. De funktionsvariabler som identifierats i genomförda funktionsupphandlingar av drift och underhåll inom järnvägssidan är tågförseningar, spårläge (via Q- och K-tal), felrapporter samt besiktningsanmärkningar. Dessa funktionsvariabler kan mätas, följas upp och värderas i ekonomiska termer i relationen mellan beställare/entreprenör och till viss del även gentemot slutkunden, dvs. resenären. Det finns dock ingen tillgänglig modell som sammantaget beskriver effekterna av dessa funktionsvariabler och vad detta i sin tur får för ekonomiska konsekvenser för Banverket och/eller samhället. Även om det finns en hel del kunskap med avseende på funktionsupphandling av drift och underhåll, både inom väg- och järnvägssidan kvarstår flera frågeställningar. Det är därför angeläget att det skapas kontinuitet för fortsatt forskning inom detta område.

ISSN:	Språk:	Antal sidor:
0347-6049	Svenska	67 + bilaga

Publisher:

Swedish National Road and Transport Research Institute
SE-581 95 Linköping Sweden

Publication:
VTI meddelande 971

Published: 2005

Project code: 80556

Project:
Upphandling av ban- och väghållning, kontrakt för incitament och innovation

Author:
Ragnar Hedström
Anita Ihs
Leif Sjögren

Sponsor:
Banverket
Vinnova

Title:
Performance oriented procurement of road and rail management, problems and possibilities

Abstract

The present project has been carried out within the framework of the subject ”Competitive procurement in the transport sector”. Owing to the increase in the costs of infrastructure maintenance on roads and railways in recent years, there is greater interest in developing new forms of contract. The intention of the ongoing process concerning competitive and performance oriented procurement is to create the conditions for more effective infrastructure maintenance activity. The problem in performance oriented procurement is to define relevant performance requirements which are clearly linked to the effects for the final users. This requires the performance variables to be measured and evaluated with respect to both the division of responsibility between contractor and client and also the perspective of the travelling public. In the project, a study is made of the possibility of using planning models such as the World Bank HDM-4 or other operationally available models/tools in the road sector (e.g. the Swedish Road Administration’s PMS) in pricing measurable ”final results” in conjunction with performance oriented procurement. One conclusion which is generally valid for both HDM-4 and PMS is that the traffic effect models must be complemented before they can be fully used for the purpose of pricing measurable ”final results” in contracts based on performance oriented tendering. On the rail side, there is no counterpart to HDM-4 or PMS. The performance variables identified during performance oriented procurements for rail infrastructure maintenance are train delays, track bed condition (via Q and K indices), defect reports and inspection comments. These performance variables can be measured, monitored and evaluated in economic terms in the relationship between client/contractor and, to some extent, also in relation to the final customer, i.e. the travelling public. There is however no model available which gives an overall description of the effects of these performance variables and the economic consequences which these, in turn, have for Banverket and/or society at large. Even though a lot is known with regard to performance oriented procurement of infrastructure maintenance, several issues remain to be solved in both the road and rail sectors. It is therefore essential that continuity for further research should be created in this field.

ISSN:	Language:	No. of pages:
0347-6049	Swedish	67 + App.

Förord

Vid Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) har temat ”Konkurrensutsättning och upphandling inom transportsektorn” genomförts. Temat har finansierats av Vinnova och Banverket. Henrik Swahn har verkat som temats koordinator och projektledare.

Föreliggande rapport utgör slutredovisning av delprojektet ”Funktionsupphandling av väg- och banhållning – problem och möjligheter” där Ragnar Hedström, VTI, varit projektledare.

Rapporten inleds med en generell beskrivning av funktionsupphandling. I avsnitt 4 redovisas Världsbankens respektive Vägverkets planeringsmodeller, HDM-4 och PMS samt möjligheten att utnyttja dessa i samband med funktionsupphandling. Avsnitt 5 redovisar några exempel på funktionsupphandling inom järnvägssektorn. I avsnitt 6 redovisas en sammanfattande analys och i avsnitt 7 förslag till fortsatt arbete.

Avsnitt 4 har skrivits av Anita Ihs och Leif Sjögren medan avsnitt 5 har skrivits av Ragnar Hedström, samtliga VTI. Övriga avsnitt i rapporten ansvarar alla författarna gemensamt för.

Ett varmt tack riktas till Lars-Göran Wågberg, VTI, som varit lektör i samband med genomfört granskningsseminarium. Ett varmt tack riktas även till alla de som med material och värdefulla synpunkter medverkat till projektets genomförande liksom till Anita Carlsson, VTI, som svarat för rapportens slutredigering.

Linköping december 2004

Ragnar Hedström
Projektledare

Innehållsförteckning

Sammanfattning		**5**
Summary		**7**
1	**Bakgrund och syfte**	**11**
2	**Metod och avgränsning**	**11**
3	**Generellt om funktionsupphandling**	**12**
4	**PMS och HDM-4 modellerna**	**14**
4.1	Inledning	14
4.2	Management av vägunderhåll	14
4.3	Karakterisering av vägens funktion	16
4.3.1	Mått på vägytans tillstånd, ”output”	16
4.3.2	Lägesbestämning av mätdata	17
4.3.3	Ojämnheter i längsled, längsprofil	17
4.3.4	Ojämnheter i tvärled, medeltvärprofil inklusive tvärfall	19
4.3.5	Friktion och makrotextur	20
4.3.6	Tillståndsbeskrivning av vägkroppen	21
4.3.7	Standarder, CEN och ISO	21
4.3.8	Diskussion kring begrepp	22
4.4	Funktionella egenskaper och trafikanteffekter	23
4.5	Översikt över modellerna i HDM-4 och Vägverkets PMS	26
4.5.1	HDM-4	26
4.5.2	Nedbrytningsmodeller i HDM-4	28
4.5.3	Effektmodeller i HDM-4	30
4.5.4	Vägverkets PMS	32
4.5.5	Nedbrytningsmodeller i PMS	35
4.5.6	Trafikeffektmodeller i PMS	36
4.6	Sammanfattning och analys av kapitel 4	38
4.6.1	Kommentarer om planeringsmodellerna HDM-4 och PMS	38
4.6.2	Outputs från vägytekarakterisering	41
5	**Funktionsupphandling för banhållning**	**42**
5.1	Inledning	42
5.2	Funktionskrav – några aspekter	42
5.2.1	Olika aktörer ställer olika krav	42
5.2.2	Krav på funktionskraven	44
5.2.3	Besiktningar	45
5.3	Studerade funktionsupphandlingar	46
5.3.1	Entreprenadtid och etableringstid	46
5.3.2	Allmänna funktionskrav	47
5.3.3	Definierade funktionskrav	47
5.3.4	Funktionskrav kopplade till bonus	47
5.3.5	Funktionskrav kopplade till vite	52
5.3.6	Anbudssumma	54
5.4	Funktionsindex som incitament	55
5.5	Entreprenörs- och leverantörsmarknaden	56

5.6 Internationella erfarenheter 59
5.7 Sammanfattning och analys av kapitel 5 60
6 Avslutande diskussion 62
7 Förslag till fortsatt arbete 66
8 Referenser 68

**Upphandling av ban- och väghållning,
kontrakt för incitament och innovation**

av Ragnar Hedström, Anita Ihs och Leif Sjögren
Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)
581 95 Linköping

Sammanfattning

De senaste årens ökade kostnader för drift och underhåll av vägens och järnvägens infrastruktur har medfört ett intresse av att utveckla nya entreprenadformer för drift och underhåll av infrastrukturen. Avsikten med den nu pågående processen med konkurrensutsättning och funktionsupphandling är att skapa förutsättningar för en effektivare drift och underhållsverksamhet så att samhällets resurser kan utnyttjas effektivare. Ur beställarens perspektiv innebär funktionsupphandling att man överlåter till entreprenören att lösa uppgiften på sådant sätt att den avsedda funktionen uppfylls. Därmed skapas även ett större utrymme för innovativa lösningar.

Problemet med funktionsupphandling är att definiera relevanta funktionskrav som på ett tydligt sätt är kopplade till effekterna för slutanvändarna. Detta ställer krav på att funktionsvariablerna kan mätas och värderas dels med avseende på ansvarsförhållandet mellan beställare och entreprenör, dels utifrån resenärernas perspektiv.

I projektet studeras möjligheten att använda planeringsmodeller såsom Världsbankens HDM-4 eller andra operationellt tillgängliga modeller/verktyg inom vägsektorn (bl.a. Vägverkets PMS) vid prissättning av mätbara ”slutresultat” i samband med funktionsupphandling.

HDM-4 är ett färdigt kommersiellt tillgängligt system som har en mycket omfattande manual med en ingående beskrivning av alla ingående modeller. PMS är däremot ett system under utveckling som ständigt kompletteras/förändras och saknar, med något undantag, manualer och har bristfällig/svåråtkomlig dokumentation om systemet och de ingående modellerna. En slutsats som gäller generellt både för HDM-4 och Vägverkets PMS är att trafikeffektmodellerna behöver kompletteras för att kunna användas fullt ut för ändamålet att prissätta mätbara ”slutresultat” i kontrakt vid funktionsupphandling. Flera effektmodeller saknas idag, exempelvis miljö (buller, partiklar, etc.) och komfort. I de modeller som finns idag beaktas inte heller effekterna av samtliga mätbara funktionella egenskaper. Ett exempel är friktionen och dess inverkan på trafiksäkerheten. Detta innebär att det blir svårt, för att inte säga omöjligt, att prissätta vissa funktionella egenskaper.

På järnvägssidan finns ingen motsvarighet till vägsidans modeller HDM-4 och PMS. De funktionsvariabler som identifierats i genomförda funktionsupphandlingar av drift och underhåll inom järnvägssidan är tågförseningar, spårläge (via Q- och K-tal), felrapporter samt besiktningsanmärkningar. Dessa funktionsvariabler kan mätas, följas upp och värderas i ekonomiska termer i relationen mellan beställare/entreprenör och till viss del även gentemot slutkunden, dvs. resenären. Det finns dock ingen tillgänglig modell som sammantaget beskriver effekterna av dessa funktionsvariabler och vad detta i sin tur får för ekonomiska konsekvenser för Banverket och/eller samhället. Detta faktum återspeglar sig i den prissättning i form av fasta belopp som reglerar ersättningen av bonus/vite i

relationen beställare/entreprenör. En tydligare koppling mellan effekterna av uppnådda alternativt inte uppnådda funktioner och prissättning finns dock i den modell som Banverket Produktion har utvecklat. I denna modell påverkas kontraktssumman direkt av de förändringar som sker med avseende på de i denna modell definierade funktionsvariabler. Dessa funktionsvariabler är i sin tur kopplade till de funktionsvariabler som Banverket har definierat för respektive banklass. Avsaknaden av en modell, liknande PMS och/eller HDM-4, som beaktar effekterna av samtliga mätbara funktioner gör det svårt att i ett vidare perspektiv än relationen mellan beställare/entreprenör, prissätta vissa funktionella egenskaper. Ett sådant exempel är spårläget som dels inverkar på säkerheten, dels på komforten. Ett dåligt spårläge kan i vissa fall medföra en nedsättning av hastigheten vilket i sin tur kan påverka restiden. I dagsläget finns ingen metod för hur komforten skall värderas ekonomiskt ur ett resenärsperspektiv. Det finns heller inget klart samband mellan hur spårläget inverkar på eventuella hastighetsnedsättningar.

Även om det finns en hel del kunskap med avseende på funktionsupphandling av drift och underhåll, både inom väg- och järnvägssidan, kvarstår flera frågeställningar. Det är därför angeläget att det skapas kontinuitet för fortsatt forskning inom detta område. ***Utvärdering:*** För att ytterligare kunna utveckla processen med funktionsupphandling krävs en systematisk utvärdering av hittills framkomna resultat och vunna erfarenheter av genomförda funktionsupp-handlingar på både väg och järnvägssidan. Därigenom kan kvarvarande problemområden analyseras och i sin tur utgöra underlag för fortsatt utveckling av funktionsupphandlingens möjligheter och potential för ett effektivt resursutnyttjande. ***Modellutveckling:*** Planeringsmodellerna, PMS och HDM-4 beaktar inte alla de effektsamband som det vore önskvärt att kunna analysera. En fortsatt utveckling av dessa modeller är därför angeläget. Det är även angeläget att utveckla liknande modeller för järnvägssidan. Den modellstruktur som finns på vägsidan bör dock initialt kunna utnyttjas för utveckling av en motsvarande ”järnvägsmodell” som kan användas i samband med funktionsupphandling av drift och underhåll inom järnvägssektorn. En fördjupad studie bör även göras för att undersöka om det inom andra väg- eller järnvägsförvaltningar finns liknande modeller som skulle kunna utnyttjas i ett fortsatt utvecklingsarbetet. ***Beställarrollen:*** Det är inte bara entreprenörssidan som har möjlighet att påverka resultatet av funktionsupphandling. Även beställarsidans kompetens och organisationsstruktur har betydelse för utvecklingen av funktionsupphandling av drift och underhåll. En övergripande frågeställning är vilka styrinstrument beställarsidan har för att kunna säkerställa att drift- och underhållsverksamheten utförs på sådant sätt att förväntade effekter verkligen uppnås. Ett exempel på styrinstrument är förfrågningsunderlaget som kräver en annan utformning vid funktionsupphandling jämfört med andra entreprenadformer. ***Entreprenörs-marknaden:*** Entreprenörsmarknaden inom järnvägssektorn är mer begränsad jämfört med vad som är fallet inom vägsektorn. Drift och underhåll av järnvägens infrastruktur ställer helt andra krav på entreprenören med avseende på exempelvis kompetens, maskinella resurser och etableringstid, vilket försvårar för nya entreprenörer att etablera sig inom järnvägsområdet. Vidare kan man konstatera att det är betydligt enklare att pröva nya tekniska lösningar inom vägsidan jämfört med järnvägssidan där underhållsverksamheten är betydligt mer styrd via regler och föreskrifter. Det är därför angeläget att i den fortsatta processen studera hur en attraktiv entreprenörs- och leverantörsmarknad skall utformas.

Performance oriented procurement of road and rail management, problems and possibilities

by Ragnar Hedström, Anita Ihs and Leif Sjögren
Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

Owing to the increase in the costs of road and rail infrastructure maintenance in recent years, there is an interest in developing new forms of contract for the maintenance of infrastructure. The aim of the present process of competitive and performance oriented procurement is to create the conditions for more effective infrastructure maintenance, so that the resources of society may be utilised more effectively. From the perspective of the client, performance oriented procurement means that the contractor is responsible for carrying out his work in such a way that the intended performance is achieved. In this way, even greater scope is created for innovative solutions.

The problem in performance based procurement is to define the relevant performance requirements so that they are clearly linked to the effects for the final users. This poses the requirement that the performance variables can be measured and evaluated, both with regard to the division of responsibility between client and contractor, and also from the perspectives of the travelling public.

This project studies the possibilities of using planning models such as the World Bank HDM-4 or other operationally available models/tools in the road sector (e.g. the PMS of the Swedish Road Administration) in setting prices for measurable ”final results” in conjunction with performance oriented procurement.

HDM-4 is a complete commercially available system which has a very comprehensive manual, with a detailed description of all the models. On the other hand, PMS is a system under development which is continuously being complemented/altered; with some exceptions, it has no manuals and its documentation of the system and the models contained is incomplete/difficult to get access to. One conclusion that is generally valid for both HDM-4 and the PMS of the Swedish Road Administration is that the traffic effect models must be complemented before they can be fully used for the purpose of pricing on measurable ”final results” in contracts tendered for in performance based procurement. Today, there are no effect models available for several areas, such as environment (noise, particulates, etc) and ride comfort. Nor do the models which are available at present take into account the effects of all measurable functional properties. One example is friction and its effect on traffic safety. This means that it is difficult, if not downright impossible, to put a price on certain functional properties.

For the railways, there is no counterpart of the models HDM-4 and PMS. The performance variables identified in the performance based tenders for infrastructure maintenance in the rail sector are train delays, track bed condition (via Q and K indices), defect reports and inspection comments. These performance variables can be measured, monitored and evaluated in economic terms in the relationship between client/contractor and, to some extent, also in relation to the final customer, i.e. the travelling public. There is however no model

available which gives an overall description of the effects of these performance variables and the economic consequences which these, in turn, have for Banverket and/or society. This is reflected in the prices in the form of fixed sums which regulate bonuses/penalties in the client/contractor relationship. However, there is a more clear-cut linkage between the effects of achieved/non-achieved performance and prices in the model which Banverket Production has developed. In this model, the contract sum is directly affected by the changes which occur with respect to the performance variables defined in this model. In turn, these performance variables are linked to the performance variables which Banverket has defined for each track class. The absence of a model similar to PMS and/or HDM-4 which takes into account the effects of all measurable functions makes it difficult to put prices on certain functional properties in a perspective that is broader than the client/contractor relationship. Such an example is track bed condition which influences both safety and comfort. An inferior track bed condition can in some cases cause a reduction in speed which, in turn, can affect journey time. At the present time, there is no method for economic valuation of comfort from the perspective of the traveller. Nor is there a clear relationship between track bed condition and possible speed reductions.

Even though a lot is known concerning performance based procurement of infrastructure maintenance, several issues remain to be answered in both the road and rail sectors. It is therefore essential that continuity should be created for further research in this area. **Evaluation:** In order that the performance oriented procurement process may be developed, systematic evaluation of the results achieved and the experiences gained so far from performance based procurements for both road and rail is required. In this way, remaining problem areas can be analysed and can, in turn, form the basis for further development of the possibilities of performance oriented procurement and its potential for effective utilisation of resources. **Model development:** It is evident that the models, PMS and HDM-4, which are available for roads do not take into account all the effect relationships which it would be desirable to analyse. As regards the railways, there are no similar models available at present. The model structure which is available on the road side could initially be used in developing a similar ”rail model” which can be used in conjunction with performance based procurement of infrastructure maintenance in the rail sector. An in-depth study should also be made to find if other road or rail administrations have similar models which could be used in further development work. **Client role:** It is not only the contractor who has the opportunity to affect the results of performance based procurement. The competence and organisational structure of the client are also significant for the development of performance based procurement of infrastructure maintenance. One issue of essential importance is what control instruments the client possesses to ensure that infrastructure maintenance activity is carried out in such a way that the expected effects are really achieved. One example of a control instrument are the tender documents which, in performance based procurement, must be formulated differently from those used for other forms of contract. **Contracting market:** In the rail sector, the contracting market has a more limited scope than what is the case in the road sector. The maintenance of rail infrastructure places entirely different demands on the contractor with regard to e.g. competence, mechanical resources, settling-in time etc, which makes it difficult for new contractors to become established in the rail sector. It must also be said that it is considerably easier to test new technical solutions on roads than

on the railways where maintenance is considerably more tightly controlled via rules and regulations. It is therefore essential that in the continued process a study should be made of how an attractive contractors' and suppliers' market can be formulated.

1 Bakgrund och syfte

Den offentliga upphandlingen av varor och tjänster inom transportsektorn är av betydande omfattning och uppgår till tiotals miljarder kronor/år. Det är därför av stor potentiell betydelse för den samlade välfärden att denna upphandling sker på ett effektivt sätt. Under senare tid har man uppmärksammat att det kan finnas effektiviseringsvinster att hämta genom en utveckling av upphandlingen i riktning mot former som mer fokuserar på de önskade resultaten än på medlen för att uppnå dessa resultat. En mer mål- och resultatinriktad upphandling kallas ofta funktionsupphandling. Syftet med denna typ av upphandling är att skapa utrymme för innovativa lösningar på funktionsproblemet som ger en lösning till lägre samhällsekonomiska kostnader. Det krävs dock att väl fungerande incitament byggs in i upphandlingens kontraktsförhållanden. Samtidigt innebär upphandlingen en konkurrensutsättning som (under vissa förutsättningar) leder till en tävlan mellan olika aktörer som i sig stimulerar utvecklingen av effektiva funktionslösningar.

Det finns intressanta möjligheter men samtidigt stor osäkerhet om hur man kan använda tekniska/ingenjörsmässiga kunskaper i utformningen av upphandlingsavtal. Komplicerade upphandlingar hanteras i den privata sektorn i många fall genom uppbyggande av långvariga och fasta relationer – partnerskap (partnering). Denna lösning på upphandlingsproblemet kan också vara tillämplig i offentlig sektor.

Syftet med detta projekt är att undersöka och analysera förutsättningarna för prissättning vid funktionsbaserad upphandling av drift och underhållsverksamheten inom väg- respektive järnvägssektorn.

2 Metod och avgränsning

Inom ramen för projektet har ett flertal dokument rörande funktionsupphandling av drift och underhåll inom järnvägssektorn studerats. De dokument som avses är i första hand kontraktshandlingar och förfrågningsunderlag. För kompletterande information har även intervjuer genomförts med personer inom Banverkets organisation som har anknytning till detta verksamhetsområde.

När det gäller funktionsupphandling av drift och underhåll på vägsidan baseras underlaget i huvudsak på en genomgång och analys av HDM-4 modellen och Vägverkets PMS modell med avseende på hur dessa modeller kan användas för prissättning av mätbara ”outputs” i kontrakt med fokusering på trafikantkostnader.

3 Generellt om funktionsupphandling

Möjligheten att utnyttja beslutstödssystem för underhåll av belagda vägar, såsom det internationella systemet Highway Development and Management Tool (HDM-4), för att sätta priser och andra villkor i funktionsbaserade kontrakt har föreslagits i en tidigare studie (Bruzelius, 2001).

Ersättningen till entreprenören bör baseras på den levererande funktionen hos vägen ur ett trafikantperspektiv. En hypotes som har formulerats i (Bruzelius, 2001) är att de observerade tekniska funktionerna hos vägen (så kallade ”outputs”) kan kopplas till och utvärderas på trafikantnivån (i termer av så kallade ”outcomes”) genom utnyttjande av HDM-4 (eller annat beslutstödssystem). Kopplingen mellan den tekniska funktionen och värdet på trafikantnivån gör det också möjligt att värdera tekniskt mätbara ”outputs” och att basera ersättningen på dessa värden i ett kontrakt.

Viktiga förutsättningar för att värden ska kunna sättas på ”outputs” och ”outcomes” vilka sedan kan användas i kontrakt är att:

- alla ”outputs” är mätbara med tillräcklig/adekvat precision, tillförlitlighet, stabila och långsiktiga samt juridiskt hållbara
- inverkan av externa faktorer på variablerna som bestämmer ”outcomes” av de aktiviteter som regleras i kontraktet (t.ex. trafikflöde, vädersituation, etc.) är möjliga att hantera inom kontraktet.

Tillämpningen av funktionsupphandling med avseende på underhåll av vägar och järnvägar ställer upphandlingsprocessen inför speciella krav. Detta beror bland annat på att järnvägssystemet är uppbyggt utifrån starkt reglerade specifikationer på grund av det mycket starka systeminterna sambandet mellan de olika anläggningsdelarna. Kravet på teknisk normering kan därför minska utrymmet för stimulans till partiella innovativa lösningar. Det faktum att åtgärder inom järnvägssektorn riktar sig till speciellt stora kunder gör att särskilda överväganden måste göras för den process som ligger bakom uppställande av funktionskrav i dessa fall.

Det finns ett ökat medvetande om att de traditionella formerna för drift och underhåll av infrastrukturen under senare år har medfört ökade kostnader. Det finns därför ett ökat intresse för nya entreprenadformer för drift och underhåll av infrastrukturen. Den nu pågående processen med avseende på konkurrens-utsättning och funktionsupphandling inom drift och underhållsområdet syftar till att effektivisera och utveckla förvaltningen av infrastrukturen.

Förändringsprocessens utveckling är dock inte enhetlig även om det finns vissa gemensamma nämnare som exempelvis utökad roll för den privata sektorn, speciellt vad gäller den operativa verksamheten och risktagande. Ett genomgående drag i förändringsprocessen är ökad specialisering via entreprenörer som upphandlas i konkurrens.

I den traditionella ***utförandeentreprenaden*** är det tydligt definierat hur anläggningen skall underhållas, dvs. vilka aktiviteter som krävs för att genomföra arbetet och de priser som uppdragsgivaren betalar för dessa aktiviteter. Uppdragsgivaren är ansvarig för tekniken, materialet, funktionen och att mängdberäkningarna är korrekta vilket i sin tur innebär ett begränsat ansvars- och risktagande för entreprenören. Denna entreprenadform medför således inte konkurrens i någon större omfattning annat än i fråga om pris.

I ett försök att komma till rätta med dessa problem har ***funktions-entreprenaden*** utvecklats. Denna entreprenadform är ett mellanting mellan traditionell entreprenad och upphandling i koncessionsform. Utgångspunkten för funktionsentreprenaden är att anläggningen skall uppfylla ett antal kvaliteter-/egenskaper som värdesätts av trafikanter samt väg- och banhållare. Förfrågningsunderlaget för funktionsbaserade upphandlingar kan vara av mindre omfattning jämfört med vad som är fallet vid en upphandling för en utförandeentreprenad. Vad som avgör är nivåerna på funktionen, dvs. funktionskraven, hur dessa skall mätas och vad som händer vid ett över- eller underskridande av nivåerna. Vid en funktionsentreprenad definieras funktionskraven, förfarande och mätmetoder som skall tillämpas för att verifiera att dessa uppfylls i kontraktet. Kontrakten bör vara långsiktiga, med uppföljning av det strukturella tillståndet, för att göra det möjligt för entreprenören att göra avvägningar mellan olika typer av insatser och i syfte att dels stimulera till teknikutveckling, dels göra det möjligt att minimera totalkostnaden för underhållet över en längre period. Kontrollapparaten är betydligt mindre än för en utförandeentreprenad, mycket större vikt läggs vid det interna kontrollsystem som entreprenören måste använda sig av. Uppdragsgivarens uppgift är i först hand att kontrollera att funktionskraven verkligen uppfylls.

Jämfört med utförandeentreprenaden medger funktionsentreprenaden konkurrens med avseende på riskhanteringen i samband med projektets genomförande. Det är till och med så att funktionsentreprenad är en förutsättning för att det skall vara möjligt att kunna konkurrera om riskhanteringen.

Funktionsentreprenadens svaga sida anses vara att det är svårt att på ett tillfredsställande sätt ange och mäta funktionskraven och även prissätta de fördelar och/eller nackdelar som uppkommer i samband med att funktionskraven överskrids eller underskrids under entreprenadtiden. Det är mer komplicerat att mäta det som entreprenören faktiskt ”presterar” i en funktionsentreprenad jämfört med en utförandeentreprenad. Det betyder också att det är lättare att lösa eventuella konflikter i en utförandeentreprenad jämfört med en funktions-entreprenad. Detta torde också vara ett av skälen till att uppdragsgivare ogärna överger den traditionella entreprenadformen.

4 PMS och HDM-4 modellerna

4.1 Inledning

Huvudsyftet med denna del av projektet är att bidra med kunskap och förståelse för möjligheten att utnyttja planeringsmodeller såsom Världsbankens HDM-4 (Highway Development and Management Tool), och andra operationellt tillgängliga modeller/verktyg inom väg- och järnvägssektorn, vid prissättning av mätbara ”outputs” i kontrakt vid funktionsupphandling.

En översikt över trafikanteffektmodellerna i HDM-4 samt i Vägverkets motsvarighet PMS (Pavement Management System) ges i följande avsnitt. Det diskuteras vilka effektmodeller som är tillgängliga, vilka som är föremål för uppdatering och vilka som fortfarande saknas. Det diskuteras också kring mått och mätmetoder för karaktärisering av vägytan och dess funktion.

Huvuddelen av informationen om HDM-4 har hämtats ur Volymerna 1 och 4 av manualen (HDM-4 Manual). Informationen om Vägverkets PMS har primärt erhållits från Johan Lang, Vägverket.

4.2 Management av vägunderhåll

Ett effektivt vägtransportsystem anses av de flesta länder vara en viktig förutsättning för en generell ekonomisk utveckling, och avsevärda resurser avsätts för vägbyggnad och -förbättringar.

Det resulterande vägnätet representerar ett avsevärt kapital och det är därför viktigt att dessa tillgångar sköts på ett affärsmässigt sätt.

Management av vägar syftar till att underhålla och förbättra det existerande vägnätet och möjliggöra trafikens användning av detta på ett säkert och effektivt sätt. Även frågor rörande effektivitet och miljöhänsyn måste tas med i beräkningen. Management av vägar kan ses som en process där man försöker optimera den totala funktionen hos vägnätet över tiden.

Det är lämpligt att beakta processen i termer av de följande primära funktionerna (Robinson et al., 1998):

- *Planering*
  Detta steg omfattar analyser av vägsystemet som en helhet, vilket typiskt kräver utarbetandet av långsiktiga eller strategiska planer med uppskattningar av utgifterna för utveckling och bevarande av vägar under olika budget- och ekonomiska scenarier.
- *Programutveckling*
  Detta steg omfattar utvecklingen, under budgetrestriktioner, av fleråriga verksamhets- och utgiftsprogram i vilka de sektioner av vägnätet som troligen behöver åtgärder samt möjligheter till nybyggnation identifieras och väljs.
- *Förberedelser*
  I detta steg ”paketeras” vägplaner och -projekt för implementering/ genomförande. Typiska förberedande aktiviteter är den detaljerade designen av ett nybeläggningsprojekt så väl som upprättandet/ utarbetandet av upphandlingsdokument och kontrakt.

- *Utförande*
  Dessa aktiviteter omfattar alla de pågående aktiviteterna inom en organisations verksamhet. Beslut om den operativa verksamheten sker typiskt dagligen eller veckovis, inkluderande schemaläggning av arbete som ska utföras, övervakning av arbetskraft, utrustning och material, registrering och utvärdering av slutfört arbete samt användningen av denna information för övervakning och kontroll.

Traditionellt har många väghållare lagt budgetar och program för verksamheten baserat på historiken, dvs. varje års budget har i princip baserats på föregående år med en justering för inflationen. Med ett sådant system blir det svårt att avgöra om anslagsnivåerna eller den detaljerade fördelningen är tillräcklig eller ens rimlig. Uppenbart finns det ett behov av ett objektivt behovsbaserat tillvägagångssätt där kunskaperna om det strukturella tillståndet och vägytetillståndet används. Med det strukturella tillståndet menas tillståndet för den del av vägen som befinner sig under vägytan, t.ex. de olika förstärknings- och bärlagren. De ovan beskrivna primära funktionerna planering, programutveckling, förberedelse och utförande tillhandahåller en lämplig ram inom vilken ett behovsbaserat tillvägagångssätt kan fungera (Robinson et al., 1998).

Med de växande kraven på ett mer effektivt utnyttjande av de begränsade resurser som finns tillgängliga för vägunderhåll har väghållare i allt större omfattning börjat använda mer sofistikerade planeringssystem. Under de senaste decennierna har datorbaserade system utvecklats för att underlätta bearbetningen av data på vilka beslut om vägunderhåll och -investeringar baseras samt för att stödja de primära managementfunktionerna som beskrivits ovan.

Dessa så kallade ”pavement management systems” (PMS) bör normalt omfatta tre delar:

1. Insamling och analys av data som beskriver det strukturella och funktionella tillståndet hos beläggningen.
2. Identifiering och prioritering av nuvarande och framtida åtgärdsbehov.
3. Beslut om underhållsprogram för en specificerad tidsperiod.

För närvarande saknas det i Sverige ett tillräckligt bra och stabilt mått för det strukturella tillståndet.

Det strukturella och det funktionella tillståndet försämras hos vägnätet på grund av inverkan från trafiken, klimatet, etc. Denna förändring är också beroende av kvaliteten på vägkonstruktionen samt drift- och underhållsåtgärderna. Brister i det strukturella tillståndet hos vägen reducerar vägens bärighet och kan kvantifieras exempelvis genom deflektionsmätningar. Brister i det funktionella tillståndet presenteras vanligen som detaljerade beskrivningar av vägytans tillstånd med hänsyn till förekomst av sprickor, slaghål, spårbildning, ojämnhet, låg friktion, etc.

Trots utvecklingen av automatiska mättekniker och -metoder som möjliggör mätning i trafikfart utgör visuella inspektioner fortfarande ett viktigt moment i bedömningen av vägytans tillstånd. Visuella inspektioner utgör oftast en onödig risk för utföraren och trafiken men framförallt är tillförlitligheten begränsad.

En viktig del av ett PMS är uppenbarligen en databas som innehåller all nödvändig information om det strukturella och funktionella tillståndet hos vägen.

4.3 Karakterisering av vägens funktion

Genom att säkerställa vägens funktion, definierad som tillräckligt komfortabel, säker, med rimliga fordonskostnader och med god framkomlighet ska målstandarden upprätthållas. Målstandarden baseras på en samhällsekonomisk kalkyl och beskrivs i termer av tillåtna ojämnheter i vägens tvär- och längsled, tillåten förekomst av kantdeformationer, hål, sprickor och krackeleringar samt dräneringssystemets tillstånd (Vägverket, 2004). Standarden baseras alltså i huvudsak på mätning av vägytans tillstånd. För detta finns tillförlitliga och säkerställda mått som beskrivs nedan. Vad som saknas är mått som på ett bra och övergripande sätt beskriver funktionen hos vägen för den del som finns under ytan, det strukturella tillståndet. Det är inte troligt att vägytans tillstånd ger en tillräckligt bra beskrivning av detta. Till exempel skulle en gammal väg väl kunna uppfylla kraven för framkomlighet, komfortabelt och säkert resande under entreprenadtiden med hjälp av lämpliga drift- och underhållsåtgärder men ”rasa” direkt efter entreprenadens slut. Det behövs metoder för att bedöma vägens totala standard inklusive det strukturella tillståndet efter entreprenadens slut och för att styra entreprenörens åtgärder så att målstandarden bibehålls också efter funktionstiden slut

4.3.1 Mått på vägytans tillstånd, ”output”

Vägytan och dess funktion är komplex och mycket svår att mäta och beskriva. För att överhuvudtaget kunna hantera detta på ett begripligt sätt måste vägytans tillstånd översättas i ett antal parametrar (mått) som tillfredsställer den information som användarna vill ha. Enligt tidigare nomenklatur kan dessa mått likställas med termen ”output” som beskrivning på vägens funktion. Måtten skall vara mätbara och beständiga med tiden. En funktionsupphandling kan pågå mer än 7–8 år ibland upp till 15 år och ska under denna tid kunna regleras (bonus/vite) med en säkerställd mätmetod Förändring av måtten, måste ske i ”ordnade former” så att en skattad reproducerbarhet är bibehållen. De skall också klara en kritisk granskning vid eventuella tvister, dvs. ha en juridisk säkerställd styrka.

Traditionellt har beskrivning av vägytans tillstånd förenklats genom att betrakta valda profiler längs och tvärs vägen och beräkna ojämnheter hos dessa. Man ska observera att detta är en förenkling av verkligheten då vägen egentligen består av ojämnheter i alla riktningar.

Genom att ställa krav på ojämnheter anser man att man kan bevaka vägens funktion vad gäller åkkomfort men måttet används också för att bestämma vägnedbrytningen. För kontroll av säkerhetsrisker används tvärfallet som ska tillgodose en god avrinning och att man säkert ska kunna passera en kurva. Friktion anses vara den av de vägyteegenskaper som har störst betydelse för trafiksäkerheten. Till skillnad från i många andra länder så betraktas friktionen normalt inte som ett bekymmer vid barmarkförhållanden i Sverige. Metoder och tekniker för mätning och uppföljning av friktion är därför relativt begränsade i Sverige.

Idag använder Vägverket främst måtten, IRI (International Roughness Index) för att beskriva ojämnheter i höger hjulspår och maximalt spårdjup och i viss mån tvärfall för ojämnheter tvärs vägen. Dessa mått beskriver på ett ganska bra sätt vägytans kondition (tillstånd) så att Vägverket på ett ändamålsenligt sätt kan nyttja informationen i den löpande verksamheten. Man bör dock vara medveten

om att dessa tre mått inte ger fullständig information. Nya forskningsrön och förändrade förutsättningar (beläggningstyper, trafikmängd, andel tung trafik m.m.) ger ett behov av kompletterande mått till de redan etablerade t.ex. för att få ett mått på det strukturella tillståndet.. Detta sammantaget gör att det kontinuerligt ställs högre krav på kvalitet av vedertagna mått samt att definiera och utveckla mätprinciper för nya mått som tillsammans med de kända på ett bättre sätt beskriver vägytan. Vägverket har tekniska beskrivningar (metodbeskrivningar) som beskriver hur måtten ska beräknas och hur en mätning ska gå till (Vägverket, MB 115, 2004). Vidare utför Vägverket regelbundet (var 4:e år) kvalificeringstester av mätbolag. Kvalificeringen gäller dels uppdraget att tillståndsmäta ”hela” vägnätet dels s.k. objektsmätning (Vägverket, 2002). Mätning av vägavsnitts funktion kan sägas ingå i objektsmätning. Testerna innebär att man säkerställer mätbolagens och deras utrustnings noggrannhet relativt en given referens. På så vis kan man med känd noggrannhet jämföra data över tiden.

Nedan följer en kort beskrivning av viktiga mått och vad de innebär. Beskrivna mått uttrycks normalt som ett medelvärde för en 20-meters sträcka, men kan i förekommande fall definieras för kortare eller längre enhetslängder t.ex. 400 meter, per länk e.d. Valet av enhetslängd beror på mätresultatens användning.

4.3.2 Lägesbestämning av mätdata

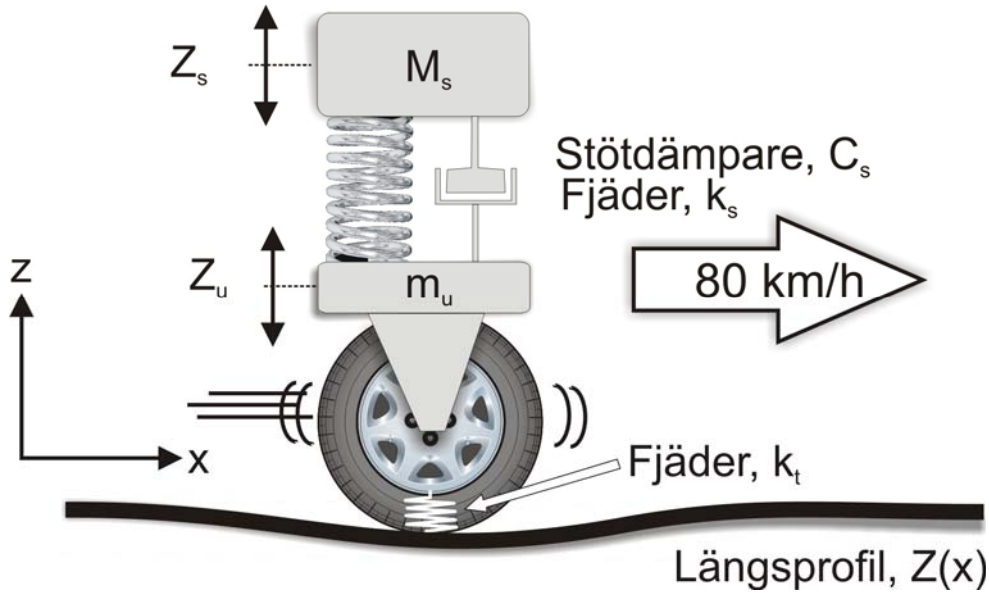
Grundläggande för all mätning på vägar är lägesbestämningen eller positionering av mätdata, både lokalt och övergripande geografiskt. En förändring av principen för lägesbestämning längs vägen pågår i samband med utvecklingen av den nationella vägdatabasen, NVDB (NVF, 2002). Rullad längd är inte alltid tillräcklig för att positionera data. Ett nytt system för att lokalisera knutpunkterna har införts som komplement till användandet av rullad längd. I framtiden blir det nödvändigt att använda satellitpositionering (t.ex. GPS-Global Positioning System) som stöd.

4.3.3 Ojämnheter i längsled, längsprofil

Längsprofilen utgör grunden för de mått som beskriver ojämnheterna i längsled. Längsprofilen mäts i det närmaste kontinuerligt längs vägen och presenteras som vägens höjdskillnad för var 100 mm. Längsprofilen utgör inte den ”sanna” och fullständiga geometriska vägprofilen utan endast den vägprofil som innehåller ojämnheter som anses påverka åkkomforten, dvs. 0,5–100 m. Profilen är grunden för beräkning av ojämnhetsmåttet IRI.

IRI-International Roughness Index

IRI är ett standardiserat mått för beskrivning av ojämnheter i längsled, se figur 4.1. IRI kan beskrivas som en sammanvägning av de viktigaste ojämnheterna som påverkar trafikanten vid körning på väg (Vägverket, MB115, 2004). Sammanvägningen sker med hjälp av väldefinierade fjäder- och dämpningskonstanter i en så kallad fjärdedels bil. Sammanvägning kan beskrivas som en effektmodell, d.v.s. har vi lågt IRI-värde så är effekterna på trafikanten låga och vice versa. Förutom att verka som en ”effektmodell” så används måttet för att kvantifiera vägens status och nedbrytning utifrån ett väghållarperspektiv. IRI-måttet bestäms från den i mätfordonets högra hjulspår insamlade profil, därav benämningen IRI höger.



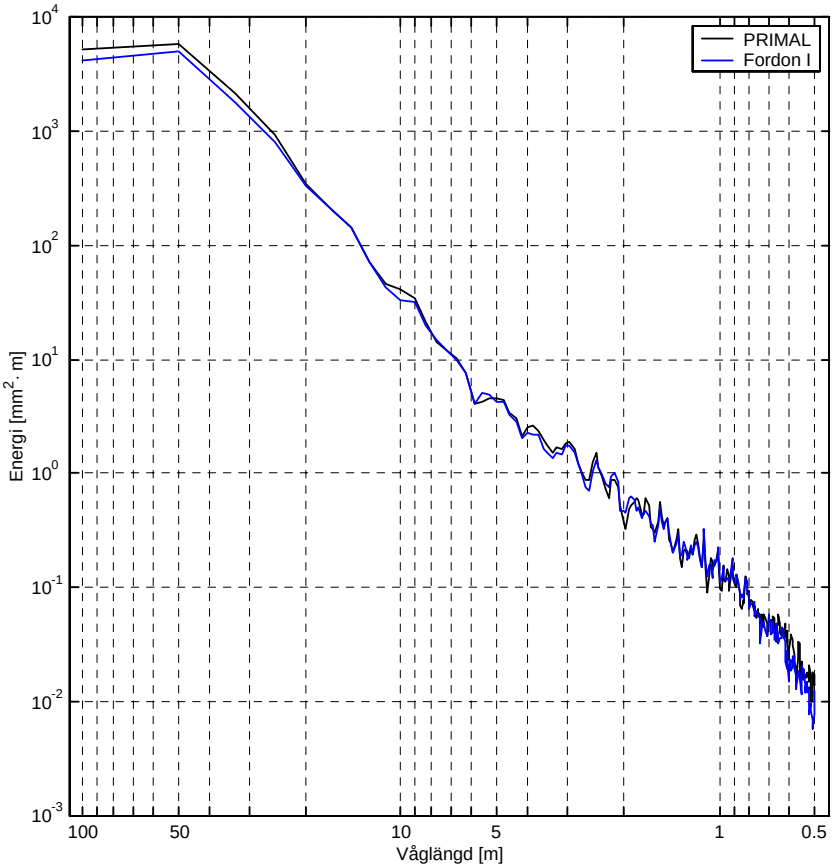
Figur 4.1 *Principskiss av IRI-modellen.*

Andra mått för längsgående ojämnheter

En i Sverige inte så ofta använd metod att beskriva ojämnheter är via ett PSD-diagram (Power Spectrum Density) se figur 4.2. Metoden är regelbundet använd i t.ex. Tyskland. Principen bygger på att man kan beskriva en längsprofil som uppbyggd av en kombination sinuskurvor av olika våglängd. Enkelt uttryckt kan man säga att ju oftare en specifik våglängd förekommer ju högre hamnar kurvan (y-axeln) i diagrammet för den specifika våglängden (x-axeln). Vidare gäller för långa våglängder att amplituden oftast är stor och i och med att y-axeln beskriver energin hamnar långa våglängder högt. Skulle en våglängd förekomma särskilt ofta skapas en urskiljbar topp i diagrammet t.ex. för regelbundet återkommande skarvar i vägbeläggningen. Bristen med PSD är att toppar (som beror på vägegenskaper) också skapar ”övertoner” i diagrammet som inte kan särskiljas från verkliga händelser på vägytan.

Ett behov finns att mäta enskilda lokala ojämnheter som t.ex. potthål. Detta kan göras på ett antal sätt bl.a. genom att utnyttja IRI beräknat för korta presentationslängder t.ex. varje 10 cm (istället för 20 meter). Vid presentation av IRI för 20 meter försvinner en lokal ojämnhet i medelvärdet. Ett alternativ är att låta en simulerad rätskena löpa längs profilen och registrera storleken på avvikelser från denna. Längden på rätskenan är förslagsvis 50 cm. Måttet i detta fall skulle kunna vara hur många avvikelser över ett bestämt värde som förekommer per körd sträcka. På motsvarande vis skulle långa sättningssvackor beskrivas. I detta fallet skulle man utnyttja en simulerad rätskena av längre format kanske 40–50 meter lång? En kort variant av rätskenan skulle kunna användas både på ovan och undersida på längsprofilen och på så vis ge besked om ojämnheten är en uppfrysning (tjälskott) eller ett potthål.

IRI beskriver den vertikala ojämnheten, oftast i höger hjulspår. Det betyder att krängningen som sker vid vägar med varierad ojämnhet i de två hjulspåren inte registreras. Genom att utöka IRI-modellen (kvarts bilmodell) till en fyrhjulig modell skulle dessa krängningar också registreras. Detta är troligen särskilt viktigt för trafikanter i höga fordon (lastbilar m.m.).



Figur 4.2 *Exempel på utvärdering av längsprofil med frekvensanalys (PSD).*

4.3.4 Ojämnheter i tvärled, medeltvärprofil inklusive tvärfall

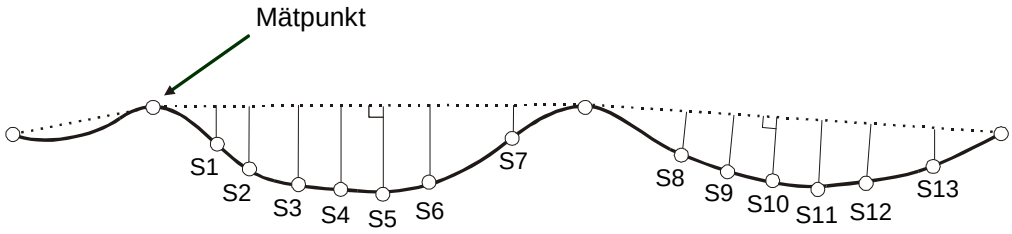
Medeltvärprofilen utgör grunden för många av de mått som beskriver ojämnheterna i tvärled. Tvärprofilen definieras med de yttersta mätpunkterna ”nollade”. Det vill säga tvärfallet ingår inte vid beskrivningen av medeltvärprofilen. En nollad medeltvärprofil beräknas för varje decimeter och medelvärdesbildas till 20 m. Det främsta användningsområdet för medeltvärprofilen är naturligtvis beräkning av olika former av spårdjup, men kan i kombination med ytlinjetvärfallet användas till en rad olika mått som bl.a.:

- Detektering av kantdeformationer
- Upptäcka områden med ”dålig” vattenavrinning
- Underlag för vägprojektering.

En ny studie har visat hur tvärprofilen tillsammans med längslutningen (längsprofilerna) kan användas för att detektera pölar på vägen som har en sådan utbredning (bredd, längd och djup) att de är stor risk för vattenplaning (Sjögren et.al ,2002).

Spårdjup

Spårdjup max är medelvärdet över 20 m för det maximala spårdjupet från var och en av 200 stycken tvärprofiler, där varje tvärprofil är mätt i 17 punkter, se *Figur 4.3* ***Spårdjup beräknat enligt trådprincipen (S5=spårdjup max).*** Måttet är en kvantifiering av vägens hjulspår som uppstått genom trafikarbetet och medfört slitage eller deformation på vägen. Måttet används främst utifrån ett väghållarperspektiv som en indikation på, om eller när vägen är i behov av åtgärd. Spårdjupet definieras och beräknas enligt den s.k. trådprincipen. Trådprincipen innebär att en tänkt tråd spänns över tvärprofilen och den största vinkelräta avvikelsen utgör spårdjup max, se figur 4.3.



Figur 4.3 *Spårdjup beräknat enligt trådprincipen (S5=spårdjup max).*

Tvärfall

Tvärfallet på en väg utnyttjas dels för att få en lämplig avrinning av vatten samt för att skapa ett mothåll kopplat till hastigheten så att man säkert i fart kan färdas genom en kurva. Vägens tvärfall (lutning tvärs färdriktningen) beskrivs enligt två definitioner, ytlinjemetoden och regressionslinjemetoden. Ytlinjemetoden definieras som lutningen genom de två ytterpunkterna i medeltvärprofilen vid 3,2 m mätbredd. Tvärfall enligt regressionslinjemetoden definieras som lutningen för en enligt minsta kvadratmetoden anpassad regressionslinje genom de 17 punkterna i medeltvärprofilen. Dessa mått kan nyttjas för att bedöma om vägen behöver åtgärdas utifrån ett väghållare- eller trafikantperspektiv. Ett felaktigt tvärfall ökar olycksrisken och sänker framkomligheten för trafikanten.

4.3.5 Friktion och makrotextur

Enligt Vägverkets föreskrifter skall friktion mätas med SAAB Friction Tester eller BV11. Dessa två system bygger på samma princip. I SAAB FT är friktionsmätning inbyggd i en SAAB personbil, medan BV11 består av en vagn som dras efter en bil. Man mäter de krafter som uppstår hos ett delvis bromsat mäthjul när detta ”dras” med en viss hastighet längs vägen. Hjulet är bromsat med 17 % slip. Den kraft man uppmäter används som beskrivning på aktuell friktion.

Makrotextur beskriver ytans skrovlighet i storleksordningen av stenmaterialet som ingår i beläggningen. Makrotextur kan användas för att beskriva olika funktioner men används främst för att komplettera friktionsdata. MPD, Mean Profile Depth, är ett mått som är framtaget för att komplettera friktionsdata. MPD är standardiserat av ISO och CEN. Makrotextur kan användas för att beskriva andra funktioner på vägytan som stensläpp (vägnedbrytning), buller och bränsleförbrukning. Inga vedertagna mått finns dock framtagna för detta.

4.3.6 Tillståndsbeskrivning av vägkroppen

Traditionellt används så kallad fallviktsmätning för att mäta och sedan bedöma vägens bärighet och återstående livslängd. Metoden innebär dock att man måste stänga av trafiken då mätning görs. Önskvärt vore att ha en metod som i trafikfart klarade uppgiften.

Mätning av vägytans nedböjning vid rullande last

Genom att mäta vägytans nedböjning, deflektion vid en känd rullande last kan man få ett underlag för aktuell bärighet på vägen. Några prototypmetoder finns utvecklade, den svenska Laser RDT (Road Deflection Tester) och den Danska HSD (High Speed Deflectograph). Båda systemen är prototyper men bygger på olika principer för mätning av deflektionen hos vägytan. RDT mäter samtidigt två tvärprofiler på vägen under fart. Den ena profilen är belastad av en känd vikt applicerad till vägen via mätfordonets bakhjul. Skillnaden mellan den belastade och obelastade profilen anses som ett mått på vägens deflektion. HSD mäter istället med hjälp av s.k. dopplerteknik vägytans vertikala hastighet då den utsatts för en känd belastning. Fördelen med Laser RDT är att den kan mäta de flesta av tidigare uppräknade tillståndsmått samtidigt som deflektionsmätning sker.

Mätning av sprickor.

Automatiska mätmetoder för att detektera och beskriva sprickor på vägytan finns framtagna. Måtten som ska användas är ännu inte fastställda. Möjligheten att idag kunna mäta sprickor med en objektiv metod är ett stort framsteg vid kontrollen av funktionsentreprenader. Ett index för sprucken yta kan användas som komplement för det strukturella tillståndet.

4.3.7 Standarder, CEN och ISO

En förutsättning för en lyckad funktionsupphandling är väl specificerade mått och mätmetoder som är stabila i tiden. Om en entreprenör ska våga pröva och experimentera med olika recept för att åstadkomma optimala beläggningar är det nödvändigt med objektiva och fastställda mått och mätmetoder som reglerar dessas funktion. Det är önskvärt att de i Sverige använda parametrarna är kompatibla så långt som möjligt med internationella för att

- göra det möjligt med internationellt utbyte av erfarenheter och forskningsresultat
- utöka den tillgängliga marknaden för funktionsupphandling och mätaktörer
- möjliggöra att använda mätparametrar kan användas som verktyg att reglera långsiktiga upphandlingar.

Det finns två standardorgan som täcker Europa, CEN (Comité Européen de Normalisation) och ISO (International Standards Organisation). Harmoniserings-arbetet inom EU har lett till att standardisering av mätning och rapportering av vägyteegenskaper har påbörjats inom CEN. Idag finns endast ett fåtal parametrar standardiserade fullt ut. Kanske den största fördelen med standardiserade mått är att den tillgängliga marknaden kan bli större och antalet aktörer (utvecklare och mätoperatörer) som verkar i mätbranschen kan bli fler och därmed vågar man satsa på den kostsamma utveckling av mätmetoder som krävs. De mätsystem som behövs för att uppfylla både säkerhetskrav och tillförlitlighet samt precision

kräver stora investeringskostnader. Vidare är det nödvändigt med stabila och långsiktigt hållbara mått och mätmetoder om de ska fungera för att fastställa uppnådda krav och därmed reglera funktionsupphandlingar som kan vara upp till 10–20 år.

Nedan finns en uppräkning av pågående och befintliga standarder som rör vägytans funktion.

För mätning av ojämnhet både tvärs och längs vägen har traditionellt en s.k. rätskiva använts. Rätskenan består av en balk eller skena, som läggs på ytan som ska mätas, antingen längs med körriktningen eller tvärs, sedan söker man den punkt under skenan som vertikalt ligger längst ifrån och anger denna som mått på ojämnheten. Metoden kan utformas på alternativa sätt. Numera finns denna metod standardiserad av CEN, prEN 13306-7. Tyvärr stämmer denna standard inte med den nationella standard som finns i Sverige. Vi rekommenderar att inte använda rätskivan vid mätning av vägytans funktion. Den beskriver inte vägytans funktion tillräckligt väl och är vidare inte lämplig att användas på grund av säkerhetsrisker för operatören och störning på trafiken vid mätning. Det för närvarande bästa alternativet för att beskriva vägytans funktion ur ett ojämnhetsperspektiv är IRI. IRI (International Roughness Index) är på gång att bli formellt standardiserat i Europa och ingår i prEN 13036-5. För övriga egenskaper som buller, friktion m.m. finns eller pågår utveckling av följande standarder:

Makrotextur-Mean profile depth (MPD)	ISO 13473-1
Makrotextur mha volymetrisk metod (”sandfläcksmetoden”)	prEN 13036-1
Friktion med pendel test	prEN 13306-4
Horisontal avrinning	prEN 13306-3
Trafik buller (Statistical Pass-By method, SPB)	ISO 11819-1
Trafikbuller (Close ProXimity method, CPX)	ISO 11819-2
Rätskena	prEN 13306-7

För nedanstående pågår aktiviteter att skapa CEN-standard:	
Mätning av friktion på vägyta (CE-märkning av vägmaterial)	prEN 13036-2
Längsprofilmått	prEN 13036-5
Profilometermätning av längsprofil	prEN 13306-6
Tvärprofilmått	prEN 13306-8

4.3.8 Diskussion kring begrepp

I HDM-4:s vägnedbrytningsmodell (RD=Road Deterioration) ingår flera vägyte-egenskaper som parametrar. Beroende på om ytan består av asfalt eller betong ingår olika parametrar. För asfaltsytor ingår till exempel andel sprucken väg (cracking), skadad makrotextur, fläckvis avsaknad av bindemedel vilket medför stensläpp (ravelling), potthål eller alternativ benämning slaghål vilket definieras som ett hål i vägytan med diameter mer än 150 mm och minst 25 mm djup (potholing), kantskador (edge-repairs, -breaks), spårdjup (rutting), ytans textur (surface textur), friktion (skid resistance) samt ojämnheter (amerikansk engelska; roughness). De flesta av dessa mäts inte med standardiserade mätmetoder designade för trafikfart och är därmed inte lämpliga att använda vid funktionsupphandling.

Uttrycket roughness definieras i HDM-4 som avvikelser hos en yta med dimensioner som påverkar fordonsdynamik, åkkvalité, dynamiskt lasttillskott

samt avvattning. Dessa områden täcks av våglängder från 0,1 till 100 meter och har oftast en amplitud av 1 till 100 mm.

En viss förväxling av begreppen kan ske då den brittiska engelskan istället använder ordet unevenness för att uttrycka samma sak. I brittisk engelska menas ofta med roughness endast de ojämnheter som täcks av makrotexturen, dvs. våglängder upp till 100 mm. I HDM-4 kan man bestämma och räkna fram en IRI-förändring genom att betrakta olika egenskapers tillstånd såsom konstruktionens strukturella egenskaper, sprickor, spår, potthål och miljö. För att veta ett IRI vid en viss tidpunkt måste man också veta ett initialt IRI (dvs. ett uppmätt IRI). I HDM-4 används vidare begreppet spårdjup och då avses det spårdjup som erhålles vid mätning med en 2 meter lång rätskiva. Vid mätning med rätskiva i Sverige föreskriver Vägverket en 3 meter lång rätskena. I CEN sammanhang är ytterligare en annan variant med 3 meter lång rätskiva standardiserad. Vidare sker vägnätstäckande spårdjupsmätningar med en 3,2 meter bred täckning. Resultaten från dessa olika metoder kan med stor sannolikhet inte jämföras eller ens kalibreras (Sjögren, L. & Lundberg, T., 2004).

4.4 Funktionella egenskaper och trafikanteffekter

I det här kapitlet redovisas översiktligt vägytans olika funktionella egenskaper och deras inverkan på trafik och trafikanter. Syftet är att ha detta som ett underlag för bedömning av om trafikeffektmodellerna i HDM-4 och Vägverkets PMS är möjliga att använda för prissättning vid funktionsupphandling. En första förutsättning är att veta vilka funktionella egenskaper som har betydelse för olika trafikeffekter. Därefter följer att dessa går att mäta direkt eller kan beräknas utifrån mätdata och slutligen att effektsambanden är kända.

Bedömningen av effekter och kostnader för trafikanter, miljö och samhället i övrigt utgör också ett viktigt steg i processen för planering av underhåll och förbättring av vägnätet, exempelvis när man jämför olika strategier.

Kapitlet baseras i huvudsak på VTI notat 71-2000. I notatet görs ett försök att i två steg, via vägens så kallade funktionella egenskaper, bedöma inverkan av olika materiella och strukturella egenskaper på trafikanter och omgivning.

I det första steget bedöms betydelsen av olika materialegenskaper och strukturella egenskaper för primära och sekundära funktionella egenskaper hos vägytan (se tabell 4.1 nedan).

I tabell 4.1 har texturen hos vägytan indelats i mikro-, makro- och megatextur. Mikrotexturen beror av ytegenskaperna hos själva stenmaterialet och påverkas också av exempelvis blödning. Makrotexturen beror av beläggningstyp och stenstorlek samt även blödning. Megatexturen påverkas av t.ex. förekomsten av sprickor, slaghål och stensläpp.

Med ojämnheter hos vägytan avses sådana som orsakas av sättningar, tjälskott, upptinande block etc.

Den sekundära funktionella egenskapen kallad vattendjup orsakas av pölbildning. Is och snö på vägen är ett resultat av problem för vinterväghållningen orsakade av vägytans tillstånd.

Tabell 4.1 *Bedömning av olika material- och konstruktionsegenskapers betydelse för en vägytas funktionella egenskaper (+ viss betydelse, ++ stor betydelse). (Källa: VTI notat 71-2000).*

Material- och konstruktionsegenskaper	Primära funktionella egenskaper								Sekundära funktionella egenskaper		
	Friktion	Rullmotstånd	Däckslitage	Buller och ljud-information	Vibrationer	Krängningar	Ytavvattning	Synbarhet, ljusreflektion	Vattendjup	Is på vägen	Snö på vägen
Mikro-textur	++	+	++								
Makro-textur	++	++	++	++			++	++		+	
Mega-textur	+	++	+	++	++	+	+		++		
Ojämn-het		+	+	+	++	++	+		+	+	+
Tvärfall						++	++		++		
Kant-häng						+					
Linje-föring						+			+		
Spår-djup			+			+	++		++	++	++
Spår-form			+			+					+
Genom-släpplig-het							++	++	++	+	
Styvhet		+									

Trafikeffekterna som är inkluderade i matrisen nedan, tabell 4.2, är fordonskostnader uppdelat på däckslitage och reparationskostnader, restid omfattande fordonshastighet och framkomlighet/tillgänglighet, trafiksäkerhet, komfort och slutligen miljöeffekter. Ett + indikerar att det finns ett samband, men något försök att vikta betydelsen har inte gjorts.

Tabell 4.2 *Bedömning av vilka funktionella egenskaper hos en vägyta som har betydelse för olika trafikeffekter.(Källa: VTI notat 71-2000).*

	Bränsle-förbrukning	Däckslitage	Reparationer	Restid	Trafik-säkerhet	Komfort	Miljö (avgaser, buller, salt)
Friktion				+	+	+	
Rullmotstånd	+						+
Däckslitageeg.		+					+
Buller och ljudinform.				+		+	+
Vibrationer			+	+	+	+	+
Krängningar			+	+	+	+	
Ytavvattning	+			+			
Synbarhet, ljusreflektion				+	+	+	
Vattendjup	+			+	+	+	
Is på vägen				+	+	+	+
Snö på vägen	+			+	+	+	+

Det framgår av tabellen ovan att restid, trafiksäkerhet och komfort har ett samband med flertalet av de uppräknade funktionella egenskaperna hos vägytan. Någon mer ingående genomgång av de funktionella egenskaperna och deras betydelse för de olika trafikeffekterna görs inte här. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till VTI notat 71-2000.

För att ta trafiksäkerhet som ett exempel så är friktionen av avgörande betydelse. I Sverige är det framförallt friktionen vintertid som betraktas som ett problem. Vid barmarksförhållanden anses friktionen normalt vara tillfredsställande och någon rutinmässig uppföljning av friktionen på de svenska vägarna görs inte. Denna uppfattning har man dock inte i ett flertal övriga länder i Europa och här genomförs också regelbundna friktionsmätningar.

Ojämnheter som ger upphov till vibrationer och krängningar påverkar förarens möjlighet att säkert hantera fordonet och därmed också trafiksäkerheten.

Synbarheten och ljusreflektionen har betydelse för trafiksäkerheten i synnerhet vid mörker och regn. Ojämnheter/defekter hos vägytan som innebär att vatten blir stående på vägen innebär en ökad risk för vattenplaning. Vintertid kan möjligheten att ploga rent på vägbanan försämras av ojämnheter och spår vilket innebär att snö och is blir kvar på vägen och ökar risken för halkolyckor.

4.5 Översikt över modellerna i HDM-4 och Vägverkets PMS

4.5.1 HDM-4

Det management system kallat ”Highway Design and Maintenance Standard Model” (HDM-III) som utvecklades av Världsbanken har använts i två decennier för att kombinera tekniska och ekonomiska värderingar av vägprojekt, för planering av investeringsprogram och för analys av vägnätsstrategier. Systemet utvecklades ursprungligen för att åstadkomma effektivare infrastruktur-investeringar i utvecklingsländer. Under senare år har dock flera industriländer börjat använda modellen. Detta har lett till ett behov av att utvidga systemet med exempelvis modeller för trafikstockningar, effekter av kallt klimat, trafiksäkerhet och miljöeffekter.

Den så kallade ”International Study of Highway Development and Management” (ISOHDM) har därför genomförts för att utvidga omfattningen av HDM-III modellen och detta har resulterat i nuvarande ”Highway Development and management Tool” (HDM-4).

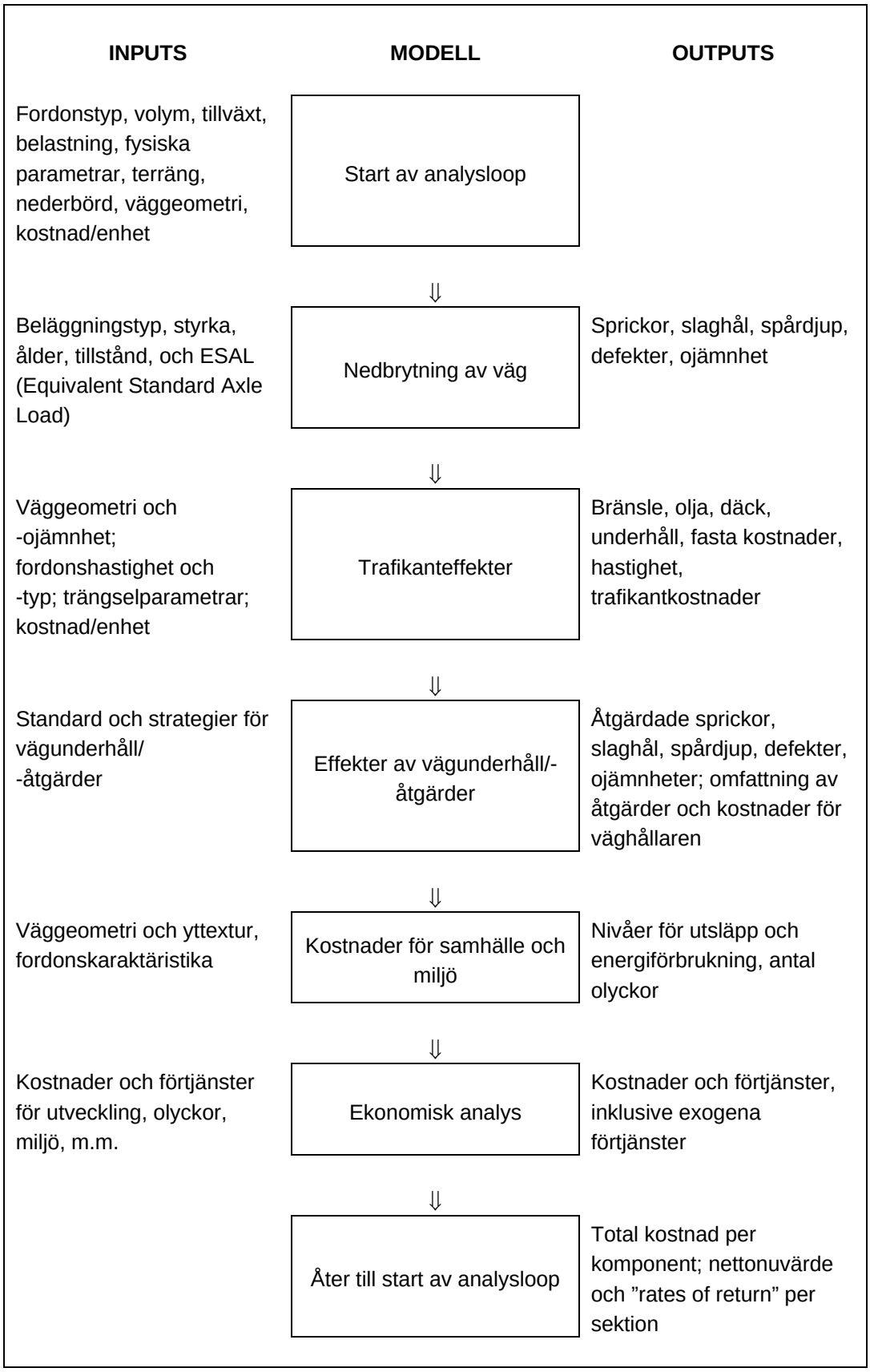
HDM-4 har tillämpningar för de första tre av de fyra tidigare uppräknade managementfunktionerna:

Strategianalys: Strategisk planering av medel till långsiktiga utgifter för vägnätet. Behandlar hela eller delar av vägnät som sköts av en väghållare. Tillämpar ett koncept med en vägnätsmatris bestående av kategorier av vägnät definierade enligt nyckelattribut som har störst inverkan på beläggningens funktion och trafikantkostnaderna. Kategorierna kan typiskt vara trafikvolym eller -belastning, beläggningstyp, beläggningens tillstånd, miljö- eller klimatzon samt funktionell klassificering.

Programanalys: Denna tillämpning behandlar främst prioriteringen av en lång lista av vägprojektkandidater in i ett- eller fleråriga verksamhetsprogram under givna budget-restriktioner. Urvalskriterierna beror normalt på de underhålls-, förbättrings- och utvecklingsstandarder som väghållaren har definierat (exempelvis som resultat från tillämpning av strategianalys).

Projektanalys: Utvärdering av ett eller flera vägprojekts- eller investeringsalternativ görs här. Tillämpningen analyserar en väglänk eller -sektion med valda åtgärder, och med tillhörande kostnader och förtjänster/vinster, beräknade för varje år under analysperioden. Ekonomiska indikatorer bestäms för de olika investeringsalternativen.

HDM-4: s analytiska ramverk baseras på konceptet med livscykelanalys för vägen såsom illustrerat nedan.



Källa: HDM-4 Manualen Volym 2.

4.5.2 Nedbrytningsmodeller i HDM-4

Vägens nedbrytning kan i stort sägas vara en funktion av den ursprungliga designen, använda material, vägens ålder, väggeometrin, konstruktionens kvalitet, trafikvolymen och axellasterna, omgivningen samt vilken underhållspolicy som antas.

En mycket kortfattad översikt av nedbrytningsmodellerna i HDM-4 ges nedan. Modellerna används för att prediktera hur vägens tillstånd förändras för varje år och resultaten används som indata till trafikanteffektmodellerna.

För att korrekt kunna modellera vägens nedbrytning krävs homogena vägsektioner avseende tillståndet och alla de ovan uppräknade parametrarna.

Vägens nedbrytning predikteras genom sex separata så kallade ”distress modes”. Dessa kan i sin tur fördelas på tre kategorier enligt följande:

Ytliga skador
- Sprickor
- Stensläpp (”Ravelling”)
- Slaghål
- Kantdeformation.

Deformationsskador
- Spår
- Ojämnheter.

Yttextur
- Texturdjup
- Friktion.

Deformationsskadorna är delvis beroende av de ytliga skadorna och beräknas därför efter det att de ytliga skadornas förändring under ett analysår har beräknats.

Ojämnhet

Modellen för att beräkna ojämnheten består av flera ojämnhetskomponenter: sprickor, vittring, deformation och underhåll. Den totala förändringen av ojämnheten är summan av dessa komponenter såsom visas i ekvationen nedan. Ytskadevärdena som används för att prediktera ojämnheten justeras så att den totala skadade och oskadade ytan tillsammans utgör 100 % av den totala vägytan.

$$\Delta RI = K_{gp}\left[\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t\right] + \Delta RI_e$$

där

ΔRI = totala förändringen i ojämnhet under analysåret (IRI m/km).

K_{gp} = kalibreringsfaktor för ojämnhetsutvecklingen.

ΔRI_s = förändringen av ojämnhet på grund av den *strukturella nedbrytningen*, vilken är en funktion av vägens ålder, antalet ekvivalenta standardaxlar

och vägen strukturella tal på grund av sprickor. Det strukturella talet är ett mått på vägens styrka.

ΔRI_c = förändringen i ojämnheten på grund av *sprickor*, vilken är proportionell mot förändringen av arean av sprickor under analysåret (i % av vägbanans totala area).

ΔRI_r = förändringen av ojämnheten på grund av *spårbildning*, vilken är proportionell mot förändringen i standardavvikelsen för spårdjupet under analysåret. Spårdjupet är summan av fyra komponenter: Initial packning, strukturell deformation (*Morosiuk, 1998*), plastisk deformation and slitage av dubbade däck (*Djärf, 1995*). I HDM-4 har spårdjupet standardiserats för en 2 m lång rätskiva.

ΔRI_t = Förändringen av ojämnheten på grund av att *slaghål* har uppstått. Uppkomsten av slaghål beror av antalet fordon som träffar slaghålen, vilket i sin tur beror av trafikvolymen och tillgängligt manöver-utrymme.

ΔRI_e = Förändringen av ojämnheten på grund av *omgivande faktorer*. Denna komponent beror av faktorer såsom fluktuationer i temperatur och fuktighet samt även rörelser i undergrunden (t.ex. sättningar).

Texturdjup

En vägyta uppvisar enligt HDM-4 manualen två typer av textur klassificerade som makro- och mikrotextur. Generellt kan mikrotexturen sägas ha betydelse för den maximala friktionen hos en torr vägyta, medan makrotexturen har betydelse för dräneringsförmågan och därmed för hur effektiv mikrotexturen kommer att vara då beläggningen är våt.

Modellerna i HDM-4 avser makrotextur uppmätt enligt sand patch metoden och anges i millimeter.

Kalibrering av nedbrytningsmodellerna

Nedbrytningsmodellerna i HDM-4 måste kalibreras bland annat med avseende på klimat samt tekniska och ekonomiska förhållande innan verktyget kan användas på ett specifikt vägnät.

En studie genomfördes för några år sedan för att bestämma kalibreringsfaktorerna i de nedbrytningsmodeller som används för att beräkna spårdjup, sprickor och ojämnhet och för att förbättra korrelationen med svenska förhållanden (Dahlström et al., 2001). En databas som lagts upp av VTI inom det så kallade ”Long Term Pavement Performance (LTPP)” programmet användes för kalibreringen.

En mindre testkörning i HDM-4 redovisas i bilaga 1, där den beräknade utvecklingen av spårdjup och IRI har jämförts med den uppmätta på en så kallad LTPP-(Long Term Pavement Performance)sträcka.

4.5.3 Effektmodeller i HDM-4

I HDM-4 har effektmodellerna delats in i tre kategorier: Effekter av vägarbete (Road Works Effekts), Trafikanteffekter (Road User Effects) samt samhälls- och miljöeffekter (Social and Environmental Effects). Den första kategorin kommer inte att redogöras för här. Tyngdpunkten i den följande beskrivningen ligger på trafikanteffekterna.

Inverkan av vägens tillstånd såväl som vägstandarden på trafikanterna mäts i termer av trafikantkostnader och övriga effekter för samhälle och miljö. De trafikantkostnader som behandlas i HDM-4 omfattar:

- Fordonskostnader
- Restidskostnader passagerare samt godstransporttid
- Olyckskostnader, såsom kostnader för dödsfall och personskador, fordonsskador och skador på andra objekt längs vägen.

Hastigheten hos, och driftskostnaden för, motorfordon bestäms som en funktion av karakteristika för varje fordonstyp, väggeometrin (främst kurvatur, lutning och vägbredd), typ av slitlager och vägens rådande tillstånd (främst ojämnhet och textur) både vid fritt flöde av trafiken och vid trängsel. Driftskostnaderna erhålls genom att multiplicera de olika resurskvantiteterna med enhetskostnaderna eller priserna, vilka specificeras av användaren i finansiella eller ekonomiska termer.

Fordonshastighet

Medelhastigheten för varje fordon behövs för att beräkna fordonskostnaderna, restiden, energiåtgången och utsläppen.

Hastigheterna hos motorfordon beror av ett antal faktorer, såsom fordonskarakteristika, väggeometri, vägens tillstånd, trafikvolymen, etc. HDM-4 inkluderar bland annat modeller för att beräkna den fria (fritt flöde) hastigheten för varje fordon som åker på breda vägar utan trängsel i den omgivning som undersöks.

De olika komponenterna (begränsande hastigheter) i den fria hastigheten framgår av uttrycket nedan, vilket används för att beräkna den fria hastigheten för varje fordonstyp *k*. Analysen för en vägsektion utförs för båda riktningarna på vägen, benämnda ”upphill” (*u*) respektive ”downhill” (*d*) avsnitten, och resultatet medelvärdesbildas sedan för en tur och retur resa.

$$VS_{ku/d} = \frac{\exp\left[\frac{\sigma^2}{2}\right]}{\left[\left(\frac{1}{VDRIVE_{u/d}}\right)^{\frac{1}{\beta}} + \left(\frac{1}{VBRAKE_{u/d}}\right)^{\frac{1}{\beta}} + \left(\frac{1}{VCURVE}\right)^{\frac{1}{\beta}} + \left(\frac{1}{VROUGH}\right)^{\frac{1}{\beta}} + \left(\frac{1}{VDESIR}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right]^{\beta}}$$

$VS_{ku/i}$	är den predikterade ”steady-state” hastigheten för ”uphill/downhill” avsnittet.
VDRIVE	är hastigheten som begränsas av lutningen och den använda drivkraften (m/s).
VBRAKE	är hastigheten som begränsas av lutningen och den använda bromskraften (m/s).

VCURVE	är hastigheten som begränsas av kurvaturen (m/s).
VROUGH	är hastigheten som begränsas av ojämnheten (m/s).
VDESIR	är den eftersträvade hastigheten under ideala förhållanden (m/s).

Den fria hastigheten behövs för att bestämma driftskostnaden för varje fordonstyp på en given vägsektion under olika trafikflöden.

De begränsande hastigheter där vägytans tillstånd kommer in är VDRIVE samt VROUGH och då i form av TD_{av} (average sand patch texture depth, mm) och RI_{av} (average roughness of the road, IRI mm/m). Se beskrivning av RI i kapitel 4.5.2.

Fordonskostnader/-resurser

Minskade fordonskostnader sägs i manualen vara en av de huvudsakliga vinsterna tillföljd av vägförbättringar. Trafikanterna märker dessa vinster genom minskade utgifter.

Följande komponenter är inkluderade i HDM-4:s fordonskostnadsmodell:

- Bränsleförbrukning
  Modellen baseras på den mekanistiska modellen ARFCOM (Biggs, 1988). Bränsleförbrukningen är proportionell mot motorns totala effektförbrukning, vilken består av tre komponenter: dragkraften (”tractive power”) för att övervinna de krafter som motverkar rörelsen, kraften som krävs för att övervinna den interna motorkraften (”engine drag”, friktion) och ”accessory power” som krävs för att driva olika biltillbehör såsom kylfläkt, etc.
- Förbrukning av smörjolja
- Däckslitage
- Reservdelsförbrukning
- Arbetstid för underhåll
- Värdeminskning
- Ränta
- Personaltid
- Omkostnader (overheads).

Även när det gäller fordonskostnaderna så är det vägytans tillstånd i form av TD och eller IR som ingår i modellerna.

Som en undre gräns för när fordonsslitage uppstår, dvs. då man får kostnader för reservdelar, har man satt IRI=3 mm/m. Vilket är i överensstämmelse med vad man funnit i tidigare svenska studier.

Restid

Restid omfattar passagerartimmar under arbets- och fritidsresor samt godstransporttid.

Antalet passagerartimmar beräknas som funktion av fordonshastigheten under varje trafikflödesperiod och också separat för resor i arbetet respektive på fritiden.

I restiden inkluderas också kostnaden på grund av exempelvis att en allvarligt skadad obelagd väg är oframkomlig.

Trafiksäkerhet

I HDM-4 finns det ingen egentlig olyckskostnadsmodell. Istället används användardefinierade uppslagstabeller med olyckskvoter för analyser av trafiksäkerhetseffekter. Dessa är egentligen breda makrobeskrivningar av förväntade olyckskvoter definierade enligt en särskild uppsättning av väg- och trafikattribut, såsom vägtyp (eller typ av korsning), trafikmängd och trafikflödesmönster, geometriska karaktäristika, etc.

För varje vägtyp måste användaren specificera olyckskvoten för varje svårighetsgrad, dvs. dödade, skadade samt egendomsskada, i termer av olyckor per 100 miljoner fordonskilometer.

Då en väg förbättras, t.ex. genom att bredda vägrenen, kan en ny uppsättning olyckskvoter specificeras baserat på data för vägar med motsvarande trafikflöden och geometriska karaktäristika.

Det är tveksamt om det i HDM-4 går att hantera olyckskostnad kopplat till vägytetillstånd.

Samhälls- och miljökostnader

Dessa modeller används för analys av den så kallade energibalansen samt fordonsemissioner. Energibalansen omfattar bland annat livscykelanalyser av den totala energiförbrukningen både på projekt och vägnätsnivå. För en utförligare beskrivning hänvisas till Volym 4 del F av HDM-4 manualen.

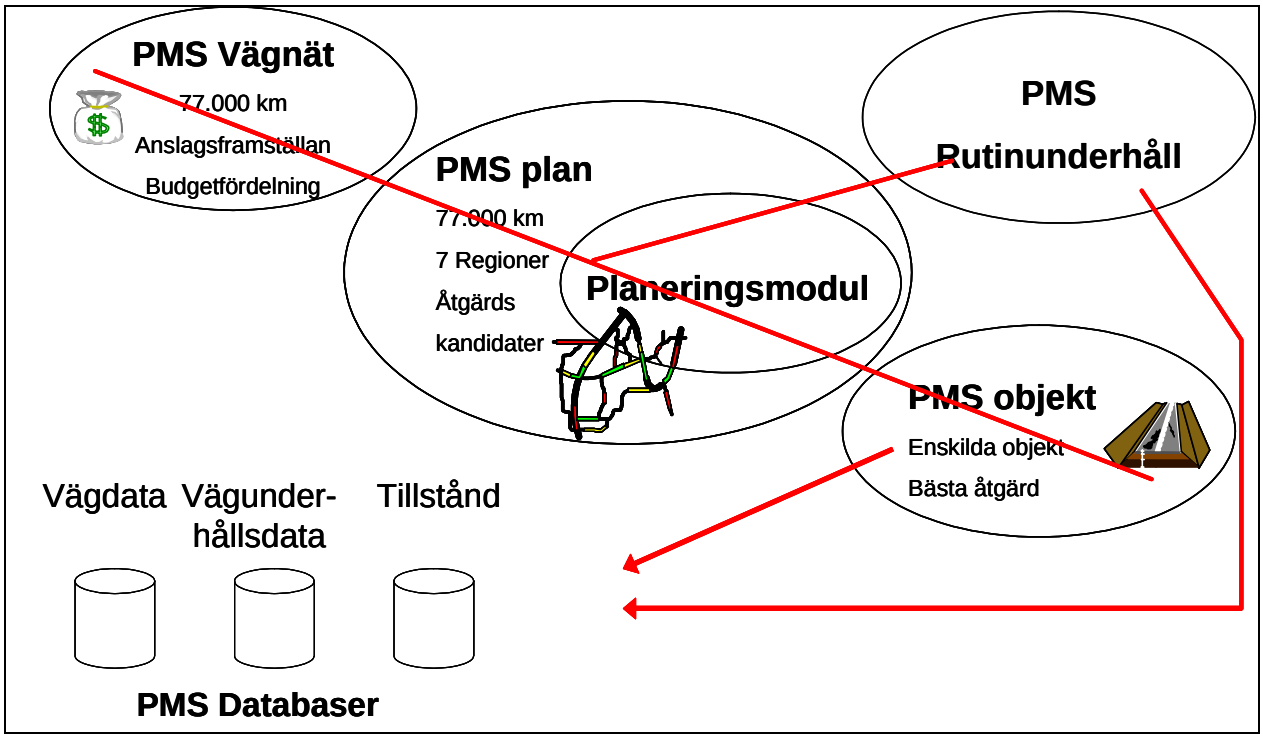
Fordonsemissionsmodellen predicerar de olika komponenterna i fordonens avgasemissioner som en funktion av bränsleförbrukningen. Bränsleförbrukningen är en funktion av fordonshastigheten, vilken i sin tur beror på vägkarakteristika samt även fordonets egna karakteristika. Det är därför möjligt att analysera förändringar i emissionerna till följd av olika vägunderhålls och förbättrings-åtgärder eller förändringar av fordonsflottan. De olika emissionskomponenterna som analyseras är kolväten, kolmonoxid, kväveoxid, svaveldioxid koldioxid, partiklar och bly. Effekterna är dock ännu inte prissatta i denna version av HDM-4 (version 1.3). I framtiden är avsikten att även inkludera modeller för att beskriva inverkan på luftkvalitet, hälsa, skadekostnader och global uppvärmning.

4.5.4 Vägverkets PMS

Utvecklingen av det svenska ”Pavement Management Systemet” (PMS) kan sägas ha påbörjats i mitten på 1980-talet med utvecklingen av systemet för beläggningsinformation kallat ”PUB”. ”PUB” användes mellan 1988 och 1997 och var främst avsett som ett verktyg för att förse lokala beläggningsingenjörer med objektiv information om vägarnas tillstånd. Det baserades på data från mätningar med Laser-RST (spårdjup, ojämnhet IRI, tvärfall, backighet, etc.) samt information från Vägdatabanken. Systematisk mätning av tillståndet på det statliga belagda vägnätet med Laser-RST infördes 1987 för att förse informations-systemet med beläggningsdata.

År 1995 utvecklades och driftsattes det första PMS, innehållande verktyg för planering och uppföljning av vägunderhåll. Sedan dess har systemet utvecklats, modifierats och implementerats i olika steg och systemet består idag av flera undersystem såsom illustreras i figur 4.4 nedan. System används för att ta fram objektiv information som beslutsstöd på tre nivåer (i viss mån desamma som i HDM-4):

- **PMS Vägnät** Strategisk (Nationell) nivå: anslagsäskande, fördelning av budget på regioner, övervakning av vägnätets tillstånd
- **PMS Plan** Program (Regional) nivå: Argumentera för budget, identifiera objektkandidater, övervaka förändringar i projektens tillstånd
- **PMS Objekt** Projektnivå: design av aktiviteter för återställande och underhåll



Figur 4.4 *Översiktlig bild över de olika delarna i PMS (källa: Johan Lang, Vägverket).*

PMS databasen innehåller all data som används av systemet. Dessa data överförs från andra databaser som finns inom Vägverket såsom:

- Vägdatabasen: vägnummer, vägkategori, bredd, ÅDT, ÅDT(tunga fordon), etc.
- Beläggningsdatabasen (vägunderhållsdata): utförda åtgärder, åtgärdsdatum, kostnader, entreprenör, etc.
- Tillståndsdatabasen: all tillståndsdata från mätningar sedan 1987 såsom spårdjup (höger, vänster, max), ojämnhet (IRI, RMS för olika våglängds-områden, tvärprofil, vertikal linjeföring, horisontell linjeföring och textur. De parametrar som främst används är dock spårdjup (max) och ojämnhet (IRI höger).

Syftet med **PMS vägnät (Strategisk nivå)** är att producera objektiv information som beslutsstöd vid budgetering, vid fördelning av tillgänglig budget på regionerna och för att observera tillståndsförändringarna hos vägnätet.

Sedan 1996 har Vägverket använt det finska systemet HIPS (Highway Investment Planning System) för årlig analys av vägnätet. Indata på den strategiska nivån är:

- Tillståndsdata (ojämnhet och spårdjup)
- Nedbrytningsmodeller (Markov modeller) vilka baseras på historiska data
- Svenska trafikantkostnadsmodeller
- Fem olika strategier (rutinunderhåll, spårlagning och lappning, tunnskiktsbeläggning, tjock beläggning samt rekonstruktion)
- Strategikostnader baserade på information från Vägverkets regioner.

Ett av syftena med **PMS Plan (Programnivå)** är att fungera som ett verktyg för att identifiera projektkandidater. Systemet har följande moduler:

- Databas med historiska tillståndsdata (fr.o.m. 1987)
- Datahanteringsmodul
- Prognosmodeller för tillstånd
- Trafikkostnadsmodeller (uppdaterade 2001)
- Strategivalsmodell
- Prioriteringsmodell
- Planeringsmodul (implementerad 2001)
- Cost-benefit modell (implementering 2001)
- Utdatamodul (diagram, tabeller, kartor).

Trafikantkostnadsmodulen hanterar fordonskostnader, restidskostnader, komfort-kostnader och olyckskostnader. Under senare år har forskningsprojekt genomförts för att ge underlag till förbättring av trafikeffektmodellerna. Exempelvis har en olycksstudie genomförts vid VTI för ett par år sedan. Vissa av modellerna har också reviderats baserat på motsvarande modeller i HDM-4 (se vidare kap. 4.5.6).

Nyligen utvecklades **PMS Planeringsmodul**, vilken används som ett verktyg för att planera underhållet av belagda vägar. Det norska systemet PMS2000 ansågs som en lämplig bas. Systemet har modifierats för svenska förhållanden och vissa funktioner har lagts till. Modulen består av tre delar kallade förmodulen, PMS2000S respektive lönsamhetsmodulen.

PMS Objekt (Projektnivå) kallas för PMS Objekt 2000 och är ett dimensioneringsverktyg (dataprogram) som kan användas för designen av en ny vägkonstruktion, men också som ett verktyg för att bestämma nödvändiga underhållsåtgärder på en befintlig väg. Programmet utnyttjar/följer regler och rekommendationer i ATB (Allmän Teknisk Beskrivning) Väg 2000 och innehåller följande tre huvudmoduler:

- Trafiklastmodul: beräknar den ackumulerade trafiken i ESAL (Equivalent Standard Axles) enligt två metoder.
- Bärighet för flexibla vägar: utnyttjar en linjärelastisk approach för att lösa problemet med att beräkna dragspänningen i bitumenbundna lager (horisontellt) samt på ytan av undergrunden (vertikalt).
- Maximalt tjällyft: beräknar det maximala tjällyftet baserat på rådande vägytetemperaturer hämtade från VViS (Väg Väderinformations Systemet).

Validering av modellerna har nyligen genomförts (Göransson, 2004).

4.5.5 Nedbrytningsmodeller i PMS

Strategisk nivå

PMS Strategisk nivå baseras som nämnts tidigare på det finska systemet HIPS, vilket i sin tur baseras på en probabilistisk approach baserad på Markovmodeller.

Programnivå

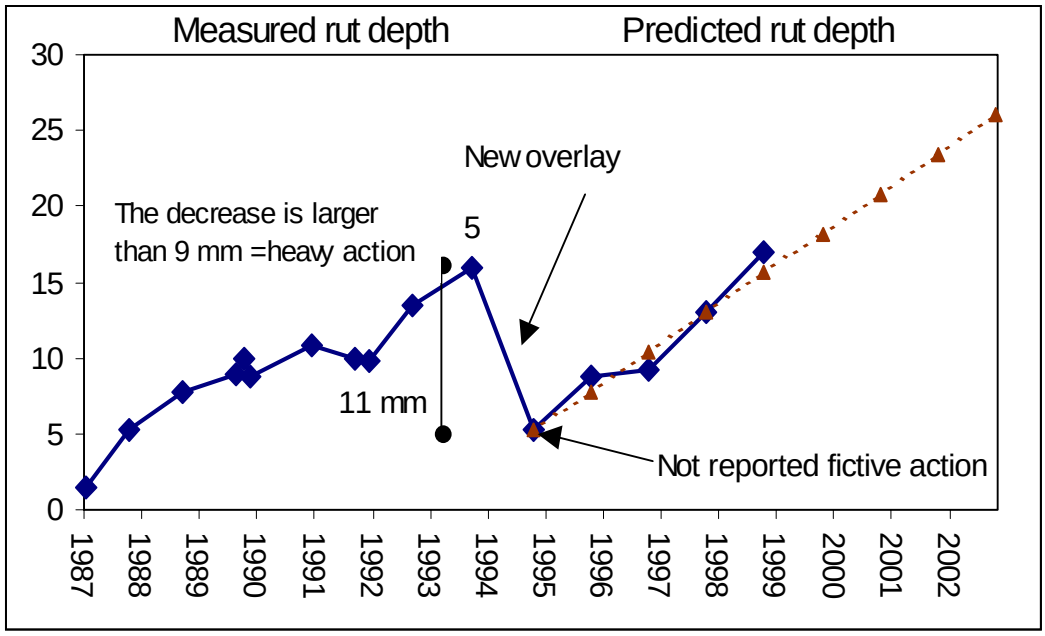
En ny prognosmodell för spårdjup och ojämnhet (IRI) implementerades i PMS Plan under år 2000 (Lang, J: Prediction model in the Swedish PMS, 2001). Modellen används för att predicera vägens tillstånd och därmed kunna identifiera kandidater för underhållsprojekt.

Sedan 1987, har vägytetillståndet på det statliga belagda vägnätet, uppmätts med vägytemätbilar av typ Laser-RST (Road Surface Tester). I prognos-modellerna används medelvärden av spårdjup och IRI för homogena sektioner. För varje homogen sektion skapas en tidsserie av tillståndsdata. Modellen hanterar varje homogen sektion som unik och kräver inte all information som annars är nödvändig för att bestämma orsaken till nedbrytningen.

Den generella modellen är en enkel rät linje: Predicerat tillstånd = initialt tillstånd + årlig förändring*ålder.

Olika metoder används beroende på antalet mätvärden i olika tidsserier. Om inga mätvärden finns tillgängliga så används den generella modellen och default-värden. Defaultvärdena har tagits fram genom att analysera all tillgänglig data under 1987–1999 för hela landet. Data har delats in i fyra klimatzoner och åtta trafikklasser och statistik har beräknats för dessa. Om fler än två värden finns tillgängliga så tas en rät linje enligt prognosmodellen fram genom linjär regressionsanalys. Senare mätningar har givits större betydelse än tidigare genom viktning.

Ett exempel på tidsserier för uppmätt och predicerat spårdjup visas i figur 4.5.



Figur 4.5 *Tidsserie för spårdjupsutvecklingen på riksväg 60 i Örebro län – Trafikmängd 5 590 ÅDT (Lang, 2001).*

4.5.6 Trafikeffektmodeller i PMS

Trafikkostnaderna som beaktas i PMS idag är främst restidskostnader och fordonskostnader. Tidigare har en olyckskostnadsmodell funnits, men det är tveksamt hur olyckskostnaden hanteras idag. Även en modell för att beräkna åkkomfortkostnaden har funnits tidigare.

Restid

Restidskostnaderna beräknas med hjälp av en förenklad modell baserad på hastighetsmodellen i HDM-4 (Effektsamband 2000). Restidskostnaden är en funktion av ojämnheten, skyltad hastighet och en faktor som beskriver hur väl förarna håller skyltad hastighet.

Den förenklade hastighetsmodellen för personbilar respektive lastbilar ser ut enligt nedan:

Personbilar

$$v_{pc} = \frac{3.6}{\left[\left(\frac{3.6}{HG * LF}\right)^{\frac{1}{0.151}} + \left(\frac{1{,}5 * IRI}{203}\right)^{\frac{1}{0.151}}\right]^{0.151}}$$

Lastbilar

$$v_{l} = \frac{3.6}{\left[\left(\frac{3.6}{HG * LF}\right)^{\frac{1}{0.11}} + \left(\frac{1{,}5 * IRI}{180}\right)^{\frac{1}{0.11}}\right]^{0.11}}$$

där HG är den skyltade hastigheten och LF är den så kallade "law enforcement factor" som anger det genomsnittliga överskridandet av den skyltade hastigheten.

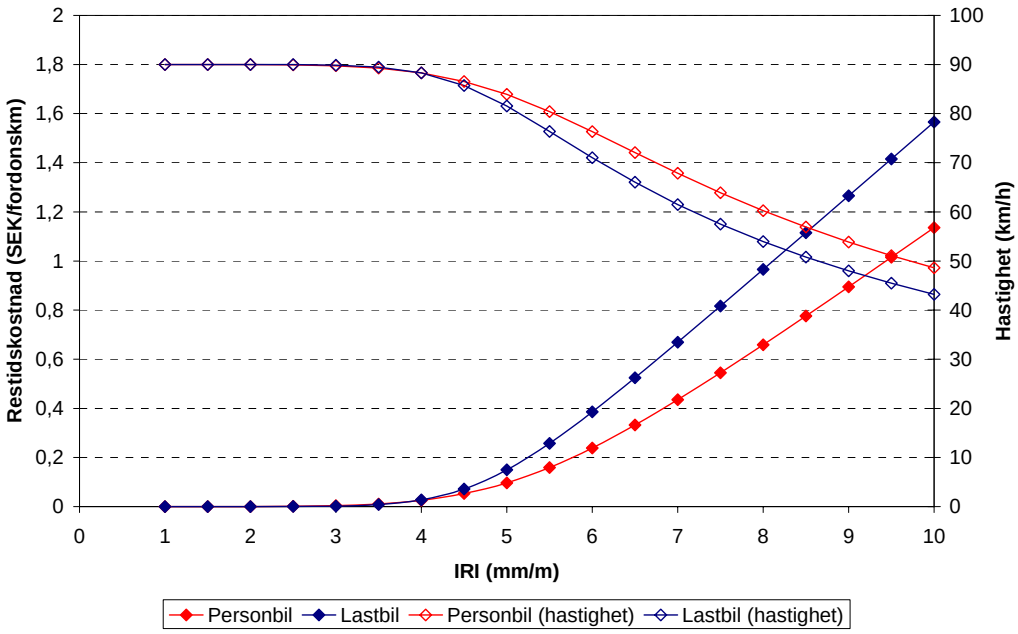
Tidsförlusten beräknas sedan enligt följande:

$$t_{loss} = \frac{1}{v_i} - \frac{1}{HG * LF}$$; i = pc eller l

Slutligen beräknas restidskostnaden med hjälp av följande tidsvärden:

Personbil	120 kr/h	
Lastbil	130 kr/h av vilka 10 kr/h är gods	} 150 kr/h
Lastbil med släp	170 kr/h av vilka 50 kr/h är gods	

Ett exempel på hastigheter respektive restidskostnader beräknade för personbil respektive lastbil vid skyltad hastighet 90 km/h och LF=1 visas i figur 4.6.



Figur 4.6 *Hastighet och restidskostnad för personbil respektive lastbil vid skyltad hastighet 90 km/h och LF=1.*

Fordonskostnader

Även fordonskostnaderna beräknas med hjälp förenklad modeller baserade på HDM-4 (Effektsamband 2000).

De faktorer som anses inverka på fordonskostnaderna i HDM-4 är fordonstyp, trafikmängd, väggeometri, vägytetillstånd och förarbeteende.

Fordonskostnaderna kan delas upp i följande komponenter:

- Bränsleförbrukning*
- Oljeförbrukning
- Däckslitage/-förbrukning*
- Fordonets användning och livslängd*
- Reservdelsförbrukning*
- Arbetskraftskostnad
- Kapitalkostnad (värdeminskning).*

Endast de komponenter som är direkt relaterade till vägytetillståndet beaktas (markerade med *).

Olyckskostnad

Det har tidigare funnits en olyckskostnadsmodell i PMS. I den ursprungliga modellen ingick spårdjupet som enda vägyteparameter och endast spårdjup över 10 mm antogs ha betydelse för trafiksäkerheten. Sambandet var linjärt och olyckskostnaden ökade med ökande spårdjup. Spårdjupsgränsen justerades senare upp till 18 mm.

I en senare studie genomförd vid VTI har det dock visat sig att ojämnheter (uttryckt i IRI) tycks ha en stor inverkan på olycksrisken medan däremot spår har

en liten inverkan (Ihs et al., 2002). I vissa fall fanns även en tendens till att spår förbättrar trafiksäkerheten.

En anpassning av resultaten för att kunna läggas in i PMS gjordes men eftersom det fortfarande finns en hel del frågetecken angående resultaten, bland annat vad gäller det oväntat starka sambandet med IRI, har modellen aldrig lagts in.

4.6 Sammanfattning och analys av kapitel 4

4.6.1 Kommentarer om planeringsmodellerna HDM-4 och PMS

Den svenska planeringsmodellen PMS och den internationella HDM-4 kan i stort sägas vara ämnade att användas för samma ändamål, dvs. för att producera objektiv information som sedan kan användas för beslut om underhåll av väginfrastrukturen både på strategisk, planerings- och projektnivå.

HDM-4 är ett enda system medan PMS består av flera delsystem eller moduler med viss koppling, bland annat en gemensam vägdatabas. Det är dock osäkert om modellerna som beskriver trafikkostnaderna respektive tillståndsutvecklingen (nedbrytningen) är desamma i de olika delsystemen i PMS.

HDM-4 är ett färdigt och kommersiellt tillgängligt system som har en mycket omfattande manual med en ingående beskrivning av alla ingående modeller. PMS är ett system under utveckling som ständigt kompletteras/förändras och saknar, med något undantag, manualer och har bristfällig/svåråtkomlig dokumentation om systemen och de ingående modellerna. Det är därför också osäkert om den beskrivning som har getts här stämmer helt till alla delar. Ett undantag är dock PMS-objekt (version 3.1) som finns tillgängligt för nedladdning på Vägverkets hemsida. Den manual som också finns för nedladdning beskriver dock inte de i systemet ingående modellerna, utan bara tillvägagångssättet vid inmatning av data och genomförandet av en ”körning” med systemet.

HDM-4 är å andra sidan ett mycket omfattande system som kräver en mycket stor mängd indata vilka kanske inte alltid finns tillgängliga.

Nedbrytningsmodellerna

I nedbrytningsmodellerna i HDM-4 ingår ett antal olika kalibreringskoefficienter som måste bestämmas för att modellerna ska kunna appliceras på det svenska vägnätet.

IRI beräknas såsom tidigare beskrivits genom en sammanvägning av flera olika defekter och till var och en av dessa är en kalibreringsfaktor kopplad. Eftersom det idag inte görs någon regelbunden uppföljning av utvecklingen av dessa defekter, med undantag av spår, finns ingen möjlighet att bestämma flera av dessa kalibreringsfaktorer. I vissa fall finns ännu inga mätmetoder eller mått utvecklade för uppföljning av defekterna.

Man kan möjligen också fråga sig om det IRI som beräknas i HDM-4 verkligen är jämförbart med uppmätt IRI, även då kalibrering gjorts.

Mot bakgrund av detta tycks den metod med extrapolering som används i PMS mer tillförlitlig för det svenska vägnätet.

Trafikeffektmodellerna

HDM-4 har mycket detaljerade modeller för beräkning av trafikeffekter. I viss utsträckning är också trafikeffektmodellerna i svenska PMS baserade på

modellerna i HDM-4. Detta gäller restid och fordonskostnader. Varken HDM-4 eller PMS har dock modeller för samtliga trafikeffekter.

En skillnad mellan system föreligger vad gäller hanteringen av trafiksäkerhet (olyckskvoter). HDM-4 låter användarna definiera en serie ”uppslagstabeller” med olyckskvoter. Detta tillvägagångssätt med tabeller för att implementera trafiksäkerhetsanalyser i HDM-4 rekommenderades (i en ej publicerad rapport av ISOHDM, 1995) baserat på en detaljerad genomgång av olika trafiksäkerhets-studier, modeller och analysmetoder.

Det antal studier avseende vägytans inverkan på trafiksäkerheten som genomförts under åren är ganska begränsat. De flesta studierna är av typen före/efterstudier, dvs. undersökningar av hur olycksrisken förändras efter olika åtgärder (exempelvis ombeläggning).

Dessutom är effekterna av vägytans tillstånd på olyckskvoten troligen relativt små – åtminstone jämfört med inverkan av väggeometriska faktorer, hastighetsgränser, etc. på trafiksäkerheten. För att kunna fastställa några effekter i olycksanalyser krävs mycket stora datamaterial, också för att kunna eliminera effekten av andra faktorer som samvarierar med beläggningsstandarden (till exempel vägbredd och trafikmängd).

Sedan 1987 har Vägverket utfört rutinmätningar avseende vägytans tillstånd på hela det statliga belagda vägnätet med vägytemätbilar av typen Laser RST (Road Surface Tester). Baserat på dessa mätningar och polisrapporterade olyckor har ett antal studier genomförts. I den senaste studien användes regressionsanalys som det huvudsakliga analysverktyget. Beroende Y-variabel var olyckskvoten (antal polisrapporterade olyckor/100 miljoner axelparkm) och beroende X-variabler var spårdjup (mm) och/eller IRI (mm/m). I korthet kan man säga att resultaten från studien gav att spår tycks ha liten inverkan medan olycksrisken ökar med ökande IRI. Det är dock viktigt att notera att de erhållna resultaten gäller för de bra förhållanden som trots allt råder på stora delar av det svenska vägnätet. Av materialet i studien, viktat med trafikarbetet, hade 95 % ett spårdjup på mindre än 15,4 mm och IRI-värde mindre än 5,1 mm/m.

En olycksmodell har, som tidigare nämnts, tagits fram baserat på resultaten från denna studie.

Huvudprincipen är att beräkna olyckskvoten som en linjär funktion av ojämnhet (IRI) och spårdjup i olika trafikflödesklasser och för sommar- respektive vintersäsongen.

Den generella ekvationen ser ut enligt nedan:

Olyckskvoten = a + b*IRI + c*spårdjup (Antal olyckor per 100 miljoner axelparkilometer)

De skattade värdena på koefficienterna a, b respektive c ges i tabell 4.3.

Tabell 4.3 *Funktionskoefficienter för beräkning av olyckskvot (a = konstant, b=koeff. för IRI och c=koeff. för spårdjup).*

Sommarsäsong			**Trafikflöde (ÅDT)**				
IRI (mm/m)	**Spårdjup (mm)**		**0–499**	**500–1 999**	**2 000–7 999**	**>8 000**	**Motorway**
IRI< 1,3	spårdjup < 18	**a**	21,6	20,0	14,0	14,0	6,1
		b					
		c					
1,3<IRI<4,3	spårdjup < 18	**a**	20,2	18,1	9,1	9,1	6,0
		b	1,1	1,5	3,8	3,8	0,1
		c					
IRI > 4,3	spårdjup < 18	**a**	22,7	21,2	9,9	9,9	6,0
		b	0,5	0,8	3,6	3,6	0,1
		c					
1,3<IRI<4,3	spårdjup > 18	**a**	20,9	15,5	-0,3	-0,3	-53,2
		b	0,1	0,1	0,4	0,4	0,8
		c	0,5	1,7	4,3	4,3	10,5
IRI > 4,3	spårdjup > 18	**a**	17,0	14,5	6,2	6,2	-34,3
		b	0,2	0,2	0,4	0,4	0,8
		c	1,0	1,5	2,8	2,8	6,1
Vintersäsong							
IRI (mm/m)	**Spårdjup (mm)**						
IRI< 1,3	spårdjup < 18	**a**	31,6	29,5	21,6	21,6	23,9
		b					
		c					
1,3<IRI<4,3	spårdjup < 18	**a**	29,6	26,5	13,8	13,8	23,3
		b	1,5	2,3	6,0	6,0	0,5
		c					
IRI > 4,3	spårdjup < 18	**a**	33,5	33,0	25,6	25,6	24,6
		b	0,6	0,8	3,2	3,2	0,2
		c					
1,3<IRI<4,3	spårdjup > 18	**a**	25,7	22,0	0,6	0,6	-38,0
		b	0,1	0,3	0,7	0,7	0,9
		c	2,0	2,1	6,1	6,1	11,0
IRI > 4,3	spårdjup > 18	**a**	26,0	24,5	10,0	10,0	-16,9
		b	0,2	0,3	0,7	0,7	0,9
		c	1,5	1,5	3,9	3,9	6,1

Många frågeställningar återstår dock att besvara vad gäller vägytans inverkan på trafiksäkerheten innan en tillförlitlig modell kan tas fram och läggas in i Vägverkets PMS.

En viktig fråga är inte minst om spår och IRI är de mest adekvata och relevanta parametrarna för att beskriva inverkan av vägytans tillstånd på trafiksäkerheten. Samma fråga gäller även övriga trafikeffekter. I tabellerna 4.1 och 4.2 bedöms flera material- och konstruktionsegenskaper ha lika stor eller större betydelse än spårdjup och ojämnheter.

Friktionen anses vara av störst betydelse för trafiksäkerheten. Att detta gäller vintertid ifrågasätter nog ingen, men bland annat danska och norska studier har visat att friktionen har betydelse även vid barmarksförhållanden (Hemdorff et al., 1989 samt Vaa, 2005). Någon modell som beskriver samband mellan friktion och trafiksäkerhet finns inte i Vägverkets PMS. Friktion mäts inte heller rutinmässigt idag i Sverige.

En hypotes som också framförts är att det framförallt är i tid och rum lokalt uppträdande ojämnheter som har betydelse för trafiksäkerheten. Dessa fångas inte upp med IRI.

I Vägverkets PMS har det tidigare funnits en modell för att beräkna komfort-kostnaden som funktion av IRI, dvs. bilisternas betalningsvilja för en jämnare väg och därmed bättre körkomfort/färdkvalitet. Det är inte dokumenterat hur modellen tagits fram, men åtminstone delvis baserades den på en finsk studie från 1985 (Mäkelä & Lampinen, 1985). En ny komfortstudie har nyligen genomförts av VTI (Ihs, Grudemo & Wiklund, 2004). Det primära syftet med studien var att i en

fältstudie undersöka sambandet mellan vägytans ojämnhet (uttryckt i måttet IRI) och bilisternas upplevda körkomfort samt betalningsvilja för förbättrad körkomfort. I samband med fältstudien genomfördes också intervjuer. Bland annat ställdes frågor om vilka faktorer som har störst betydelse för körkomforten. Störst betydelse ansågs asfaltbeläggningens skick ha, följt av bilen och andra trafikanters beteende. När det gäller olika vägytedefekters betydelse för körkomforten så ansågs det viktigast att det inte fanns några hål/gropar i beläggningen. Därefter kom spår, ojämnheter som ger upphov till vibrationer samt gupp och sättningar.

Studien visar i korthet på ett starkt samband mellan IRI och den upplevda körkomforten. Däremot gav olika metoder för att bestämma betalningsviljan för förbättrad körkomfort mycket olika resultat och därmed kunde inte någon komfortkostnadsmodell fastställas.

När det gäller miljöeffekter, såsom exempelvis buller, avgaser och partiklar, så finns det idag inte några modeller som beskriver dessa i Vägverkets PMS. För några år sedan presenterades ett förslag till kvantifiering av bulleregenskaper hos vägbeläggningar för användning i Vägverkets PMS (Sandberg, 2000). En detaljerad tabell över bullerkorrektionsvärden utgående från en vald referensbeläggning redovisas i rapporten. Även förslag till mått som kan beskriva vägnätets kvalitet vad avser trafikbullerpåverkan, utifrån den föreslagna bullerkorrektionstabellen och tillämpad i PMS-databasen, föreslås.

Sammanfattningsvis så krävs ytterligare revideringar och kompletteringar av trafikeffektmodellerna i Vägverkets PMS innan dessa kan användas fullt ut för ändamålet att prissätta mätbara ”outputs” i kontrakt vid funktionsupphandling.

4.6.2 Outputs från vägytekarakterisering

En begreppsförvirring finns för benämning av de olika måtten som beskriver vägytan. Det IRI som nämns i HDM-4 motsvarar inte det IRI som används vid inventering av det svenska vägnätet. Spårdjup är ofta mätt med olika metoder som inte är utbytbara och där trendanalyser troligen ger helt olika utveckling. Ett problem med mått för vägytekarakterisering är bristen på internationella standarder som kan ligga till grund för långsiktiga och hållbara beslutsunderlag.

5 Funktionsupphandling för banhållning

5.1 Inledning

Sedan ett par år tillbaka pågår inom Banverket en process vars syfte är att utsätta vissa delar av järnvägssektorns verksamhet för konkurrensutsättning. De verksamheter som i första hand varit föremål för konkurrensutsättning är Banverket Produktion, Industridivisionen och Banverket Projektering. Avsikten med detta är att i ett långsiktigt perspektiv sänka produktionskostnaderna och få en effektivare förvaltning av järnvägens anläggningsmassa.

Erfarenheter från forskningen tyder på att konkurrensutsättning kan öka produktiviteten samt bidra till en effektivare förvaltning, verksamhetsutveckling och marknadsanpassning av järnvägens infrastruktur. Detta skulle i sin tur ge Banverket bättre förutsättningar att bidra till uppfyllandet av de transportpolitiska målen (Karlsson & Redtzer, 2000).

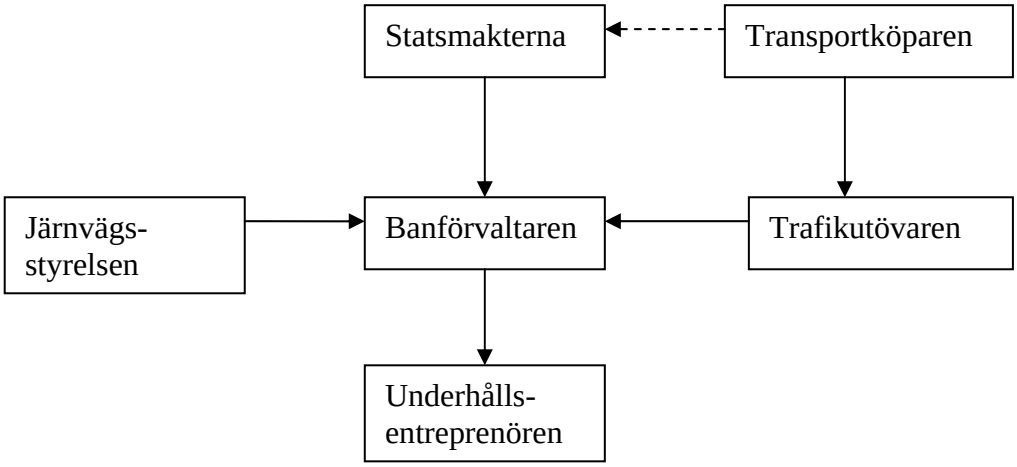
Funktionsupphandling är betydligt vanligare inom vägsektorn jämfört med järnvägsektorn. Erfarenheten med att definiera relevanta funktionskrav är därmed större inom vägsektorn. Det finns därför anledning att undersöka vilka erfarenheter, när det gäller funktionsupphandling inom vägsektorn som är relevanta och intressanta för järnvägssektorn. Det är även av betydelse att gå igenom och analysera specifika erfarenheter från funktionsupphandling inom järnvägssektorn och, utifrån en förståelse av sektorns specifika förhållanden, formulera teoretiskt/praktiskt grundade principer för den fortsatta utvecklingen. Av intresse är också att analysera möjligheten att konstruera priser och andra kontraktsvillkor som knyter leverantörens ersättning till järnvägens funktionella prestanda ur ett trafikantperspektiv. En hypotes i detta projekt är att observerbara funktioner/prestanda på järnvägen (”outputs”) kan definieras och sedan värderas av trafikant/slutanvändarledet (”outcomes”). Detta samband mellan teknisk funktion och värdet i slutanvändarledet bör också göra det möjligt att värdera tekniskt mätbara ”outputs” och att kontraktsmässigt knyta ersättningar till dessa värden.

5.2 Funktionskrav – några aspekter

5.2.1 Olika aktörer ställer olika krav

Enligt Banverkets Framtidsplan framgår att efterfrågan på järnvägstransporter kommer från många olika håll och det gäller att identifiera vad olika aktörer efterfrågar. Resenärer och godskunder ställer vissa krav på de transporttjänster man efterfrågar, alldeles oavsett hur sektorn är organiserad. En strategi för järnvägssektorn måste således vara att ta sikte på att utveckla sektorn i en sådan riktning, att järnvägens aktörer förmår leverera de tjänster som slutkunderna efterfrågar. För att kunna leverera dessa tjänster krävs bl.a. en väl fungerande underhållsverksamhet och därför är de krav som fortsättningsvis diskusteras relaterade till drift och underhåll av järnvägens infrastruktur.

De krav som olika aktörer kan ställa utifrån ett drift- och underhållsperspektiv kan diskuteras utifrån figur 5.1.



Figur 5.1 *Aktörer som kan ställa krav på drift och underhållsverksamheten.*

Statsmakterna

Det övergripande kravet på järnvägens infrastruktur som statsmakterna har kan relateras till de transportpolitiska målen. I Framtidsplanen redovisas nedanstående sex delmål som anger ambitionsnivån på lång sikt och hur järnvägen kan bidra till dessa mål:

- ett tillgängligt transportsystem
- en hög transportkvalitet
- en säker trafik
- en god miljö
- en positiv regional utveckling
- ett jämställt transportsystem.

Transportköparen

Transportköparen är i detta sammanhang tågresenären och/eller godskunden där båda är kunder till trafikutövaren. Båda dessa kundkategorier har vissa gemensamma krav gentemot trafikutövaren som exempelvis säkerhet, punklighet, komfort och kapacitet. Prioriteringen av kraven skiljer sig åt mellan tågresenären och godskunden vilket beror på att de har olika syften med transporten. Detta innebär i sin tur att ovan nämnda krav får olika innebörd för tågresenären respektive godskunden.

Trafikutövaren

Trafikutövaren är kund till banförvaltaren, dvs. Banverket, och kan därmed ställa krav på denne. De krav som trafikutövaren ställer på banförvaltaren är starkt kopplade till de krav som transportören ställer på trafikutövaren.

Banförvaltaren

Enligt Framtidsplan för järnvägen (del 1 sid. 11) har Banverket ett sektorsansvar för hela järnvägssektorn vilket även inkluderar tunnelbana och spårväg.

Sektorsansvaret innebär bl.a. att Banverket skall vara samlande, stödjande och pådrivande gentemot övriga parter. En del i sektorsansvaret handlar om att använda resurserna på ett effektivt sätt. Gentemot regering och riksdag har Banverket ett ansvar för hur järnvägssektorn som helhet utvecklas, bl.a. med avseende på punklighet. Banverket har ett övergripande ansvar för punktligheten oavsett vad den bristande punktligheten beror på och vilken av aktörerna som har det direkta ansvaret.

Järnvägsinspektionen

Trafiksäkerheten inom järnvägen berör de flesta aktörer inom sektorn men framförallt trafikutövare, banhållare och alla som utför arbete på och i anslutning till banan liksom tredje man som berörs av tågtrafiken (Framtidsplanen). Järnväginspektionen, som är en tillsynsmyndighet, har det övergripande ansvaret med avseende på säkerhetsfrågor inom järnvägssektorn. De krav i form av regler och föreskrifter som Järnvägsinspektionen ställer med avseende på säkerheten vid järnväg, tunnelbana och spårväg finns samlade i Järnvägsinspektionens handbok (Järnvägsinspektionen, 2003).

Underhållsentreprenör/leverantör

Kravet ur entreprenörens/leverantörens perspektiv är att det finns ett väl genomarbetat förfrågningsunderlag som kan användas för att kalkylera kostnaderna för det planerade arbetet. Om förfrågningsunderlaget är undermåligt kan entreprenören välja att inte lämna något anbud eller att lägga sig på en hög prisnivå och därmed reducera sitt risktagande. Information om den aktuella anläggningens tillstånd är ett viktigt krav som entreprenören kan ställa gentemot beställaren liksom möjligheten att få ta del av Banverkets föreskrifter/handböcker som är nödvändiga för att kunna genomföra arbetet.

5.2.2 Krav på funktionskraven

Ett övergripande krav oavsett vilka funktionskrav som definieras är att säkerheten inte får åsidosättas. Säkerhetsaspekten är dock beaktad via de regler och föreskrifter som finns upprättade för hur drift och underhållsverksamheten skall utformas för att säkerställa säkerheten i tågtrafiken. En central förutsättning för en funktionsupphandling av drift och underhåll är att funktionskraven, utöver säkerhetskraven:

- kan definieras på en sådan nivå att det inte blir en utförandeentreprenad
- är mätbara och uppföljningsbara med tanke på eventuella tvister
- kan prissättas med avseende på bonus/viten i relationen mellan beställare och utförare
- är kalkylerbara för entreprenören
- kan värderas av nyttjarna i slutanvändarledet.

Det funktionskrav som är av störst intresse för nyttjarna är punklighet och komfort. Punktligheten kan relateras till tågförseningar och för resenärens del kommer detta att påverka restiden som i sin tur kan prissättas. Beroende på om det är frågan om en affärsresa eller annan typ av resa kommer prissättningen av förseningen och därmed ökad restid att vara olika. För godskundens del är punktligheten av betydelse, dvs. att godset kan levereras till kunden inom utsatt

tid. Däremot är det inte självklart att själva restiden för godset har så stor betydelse vilket innebär att punkligheten är det funktionskrav som i detta fall värderas högst. Eftersom punkligheten beror på tågförseningar kan detta funktionskrav även användas och värderas ekonomiskt i relationen mellan beställaren och entreprenören.

Komforten diskuteras i detta sammanhang enbart utifrån de oönskade rörelser i tåget som resenären eller godset utsätts för på grund av att spårets geometri avviker från den ideala geometrin, dvs. dåligt spårläge. Dålig komfort kan medföra att resenären väljer ett annat färdmedel vilket kommer att generera förlorade intäkter för trafikoperatören vilket i sin tur innebär att komfortkravet kan prissättas i relationen transportköpare och trafikutövare. Ett liknande resonemang kan föras med avseende godstransporter. I det senare fallet kan prissättningen ske med avseende uppkomna skador på godset. Komforten återspeglar sig i de Q- respektive K-tal som definieras för respektive bandel.

Q-talet är ett mått på uppmätta felavvikelser i spåret i förhållande till komfortgränsvärden för höjdläge, rälsförhöjning, sidoläge och samverkan mellan dessa fel. Samma spårlägesfel ger olika Q-värden beroende på vilken kvalitetsklass spåret tillhör. Det finns sex klasser, K5 till K0, och denna klassindelning är beroende av spårets största tillåtna hastighet (Sth), med större krav på spårets standard ju högre hastighet som gäller. K-talet anger hur stor del, i procent (%), av en sträcka som spårkvaliteten uppfyller komfortgränsvärdena. Q-talet används som underlag för planeringen av spårunderhållet medan K-talet i första hand används för uppföljning av spårläget för hela bandelar eller stråk.

Hur såväl punktlighet som komfort skall värderas och prissättas i relationen mellan beställare (banförvaltare) och entreprenör beror på vilka eventuella avtal som finns mellan förvaltaren och trafikutövaren.

Bristande punktlighet har koppling till störningar i tågtrafiken vilket i sin tur är kopplat till felaktigheter i infrastrukturen. Orsaken till infrastrukturrelaterade fel kan vara bristande underhåll vilket återspeglar sig i förekommande besiktnings-anmärkningar av olika kategorier, men även via inkommande felrapporteringar mellan besiktningstillfällena. Hur väl underhållet fungerar indikeras genom antalet besiktningsanmärkningar och felrapporter och därmed kan underhållsnivån prissättas med avseende på bonus och/eller vite i relationen mellan banförvaltaren och entreprenören.

Sammanfattningsvis kan konstateras att punklighet och komfort kan relateras till antal besiktningsanmärkningar, antal felrapporter, tågförseningar samt Q- och K-tal vilka i sin tur är mätbara och uppföljningsbara. Dessa parametrar kan värderas och prissättas och är även kalkylerbara för entreprenören. Vidare bör påpekas att nivån på funktionskraven är beroende på bl.a. typ av bana (stomjärnväg eller länsjärnväg) liksom trafiksammansättning och trafikintensitet.

5.2.3 Besiktningar

Som tidigare nämnts måste definierade funktioner vara mätbara och uppföljningsbara. Detta betyder att nivån på funktionerna måste vara tydligt definierade innan den drift- och underhållsverksamhet som skall genomföras i samband med den aktuella funktionsentreprenaden startar. För att kontrollera anläggningens tillstånd genomförs olika besiktningar. Övertagandebesiktning genomförs i samband med att entreprenaden startar och avlämnandebesiktning genomförs i samband med entreprenadens avslutande. Under entreprenadtiden

genomförs såväl regelrätta underhållsbesiktningar som säkerhetsbesiktningar. Antalet underhålls- och säkerhetsbesiktningar som skall genomföras per år finns reglerat i Banverkets föreskrifter. Omfattningen av dessa besiktningar är relaterade till vilken banklass den aktuella bandelen tillhör. Banklasserna är i sin tur definierade utifrån antalet tåg per dygn och spår samt antalet bruttoton per år och spår.

Ett problem med underhålls- och säkerhetsbesiktningarna är att det inte finns någon tydlig koppling mellan upptäckt anmärkning och vilken bedömning som skall göras. Om anmärkningen är av sådan art att den medför omedelbar risk för olycka eller tågstörning är det frågan ett akutfel (dvs. A-fel) och skall åtgärdas omedelbart. Sprickbildning i rälen, befästning saknas, dålig isolerskarv är några exempel A-fel. Anmärkning klassad som V-fel är anmärkningar av sådan art att den bör åtgärdas inom en till två veckor efter besiktningsdatum. Exempel på V-fel är slirsår på rälen, utvalsning av rälen, fel på lampa. M-fel respektive Å-fel är anmärkning av sådan art att den bör åtgärdas inom en till tre månader efter besiktningsdatum respektive inom ett år efter besiktningsdatum.

5.3 Studerade funktionsupphandlingar

Materialet till detta avsnitt bygger på de upphandlingar som genomförts inom de banområden och för de bandelar som redovisas i tabell 5.1.

Tabell 5.1 *Studerade upphandlingar inom respektive banområde och bandelar.*

Upphandling	Bandel	Datum på funktions-beskrivningen
A	843, 841, 845	2003-03-31
B	656, 661	2002-05-17
C	711, 715, 731, 732	2002-06-06
D	941, 942, 943, 951, 952, 953	2002-06-06
E	351, 522, 524, 527, 591	2003-04-14

Information har även inhämtats från de funktionsupphandlingar som genomförts på Hamnbanan i Göteborg och Öresundsförbindelsen och som finns redovisat i rapporten ”*Utvärdering av underhållspiloter, delrapport 1*” (Banverket, 2002). Inledningsvis kan konstateras att förfrågningsunderlagen från de olika upphandlingarna är omfattande och består av ett flertal olika dokument som exempelvis: upphandlingsföreskrifter, mät- och ersättningsregler, allmänna bestämmelser (ABT 94), administrativa föreskrifter, mängdförteckning (MF), entreprenadbeskrivning, tekniskt tillstånd, entreprenadkontrakt, etc. Därutöver förekommer hänvisning till regionala föreskrifter och/eller handböcker och som gäller för regionen eller banområdet inom det aktuella upphandlingsområdet.

5.3.1 Entreprenadtid och etableringstid

Entreprenadtiden har i ett fall varit 2 år med option på ytterligare 3 år. I övriga upphandlingar har entreprenadtiden varit 3 år med option på ytterligare 2 år. Enligt vad som framkommit i genomförda intervjuer anses 3 år vara en lämplig kontraktstid. Banverkets avsikt är dock att skapa förutsättningar för en kontraktstid på 5 år med option på 1+1 år. Ambitionen från Banverkets sida är även att i kommande funktionsupphandlingar knyta samman större geografiska

områden. Därigenom underlättas för mindre entreprenörer att som underentreprenörer etablera sig på marknaden.

Vidare har det framkommit att etableringstiden, dvs. tidsperioden mellan det att entreprenören antagits och till dessa att entreprenaden startar, i många fall är för kort. Är etableringstiden kort kan det innebära svårigheter för entreprenören att hinna etablera de personella och maskinella resurser som krävs för projektets genomförande. Banverket försöker därför förlänga etableringstiden.

5.3.2 Allmänna funktionskrav

I förfrågningsunderlagen finns ett antal funktionskrav av allmän karaktär som varken kan mätas eller värderas i ekonomiska termer. I många fall sker en hänvisning till de krav som gäller enligt Banverkets föreskrifter och/eller handböcker. Många av de allmänna krav som åberopas i upphandlings-dokumenten är sådana som i första hand reglerar förhållandet mellan beställaren och entreprenören. Många av dessa allmänt formulerade krav är inte utan vidare möjliga att mäta och därmed är det svårt att värdera effekterna av dessa krav gentemot tredje part, dvs. nyttjarna i slutanvändarledet.

5.3.3 Definierade funktionskrav

Det finns några tydligt definierade funktionskrav i de funktionsupphandlingar som har studerats. En del av dessa funktioner är direkt kopplade till sådana krav som transportköparen och/eller trafikutövaren ställer på anläggningen. Därutöver finns funktionskrav som mer är kopplade till relationen beställare och entreprenör men som även indirekt kan kopplas till de krav som transportköpare och/eller trafikutövare ställer på anläggningen.

En del av de funktionskrav som definierats i upphandlingarna är kopplade till någon form av bonus och/eller vite som i vissa fall är direkt kopplade till kontraktssumman. När det gäller vite har beloppen för dessa fastställts via den gemensamma mall för förfrågningsunderlag som tagits fram av Banverket och som används vid upphandling av drift och underhållsentreprenörer. Belopp och utformning av bonus är upp till respektive banregion att bestämma.

5.3.4 Funktionskrav kopplade till bonus

Bonus är ett sätt att premiera de underhållsinsatser som entreprenören gör för att upprätthålla spåranläggningens funktion enligt beställarens krav. Bonusen ställs i relation till de förändringar i funktionskraven som entreprenören kan åstadkomma. Förändringarna efter ett år jämförs med de ingångsvärden som definierats via mätningar eller besiktningar då entreprenaden startar. I tabell 5.2 redovisas den bonus som utgår vid förändringar av de funktionskrav som definierats i upphandling A.

Tabell 5.2 *Bonus som utgår vid förändringar av olika funktionskrav. Avser upphandling A*

Bonus vid:	**Bonus utgår vid avstämningsperiodens slut med:**
Minskning av infrarelaterade tågförseningstimmar	75 000 kr vid en reduktion om minst 10 % under år 1; alternativt 150 000 kr vid en reduktion om minst 20 % under år 1.
Minskat antal akuta spårlägesfel	100 000 kr vid en reduktion om minst 10 % under år 1; alternativt 250 000 kr vid en reduktion om minst 20 % under år 1.
Förbättrat K-tal	50 000 kr vid en ökning om minst 10 % under år 1; alternativt 100 000 kr vid en ökning om minst 20 % under år 1.

Som framgår av tabell 5.2 gäller att om bonus skall betalas ut krävs att den procentuella förändringen överstiger en på förhand given nivå. Det är alltså frågan om en ”trappstegsnivå” vilket innebär att någon bonus inte kommer att utbetalas om förändringen inte uppgår till den angivna procentnivån. Detta ”glapp” i förändringsnivåerna innebär inte speciellt attraktiva incitament ur entreprenörens perspektiv. Om inte entreprenören vet att det kommer att bli en förändring som överstiger miniminivåerna finns det egentligen ingen anledning att genomföra några underhållsinsatser som bara innebär en liten förändring. Det skulle kunna vara taktiskt att skjuta på underhållsåtgärder till kommande år för att därigenom få ett bättre utgångsläge för att verkligen kunna uppnå de förändringar som krävs för att bonus skall utbetalas. Vidare finns det inga incitament för att överskrida den högsta förändringen, dvs. 20 % om det inte genererar mer bonus.

För upphandling E gäller att bonus utbetalas endast för infrarelaterade tågförseningstimmar vilket sker enligt samma mönster som i upphandling A. I upphandling B förekommer inget bonussystem.

En något annan variant av bonussystem förekommer i upphandlingarna C och D. I dessa entreprenader förekommer bonus/avdrag för förbättringar/försämringar med avseende på tågförseningar, spårläge, fel i 0felia (som är ett system för att registrera fel och störningar på Banverkets infrastrukturanläggningar, BVH 808.11) samt besiktningsanmärkningar. Systemet uppdelat i tre delar. En del är utdelningen för varje års resultat, en del delas ut efter resultatet på trenden (trendbonus resp. trendavdrag) samt en del på slutstatusen.

Maximal bonus/avdrag per år som fördelas är 5 % av den årliga kontraktssumman enligt tabell 5.3. Dessutom tillkommer två olika bonus- respektive avdragsdelar för sista året som utgör 5 % av den totala kontraktssumman som i detta fall avser 3 år.

Årsbonus resp. årsavdrag:

Tabell 5.3 *Årsbonus respektive årsavdrag i entreprenad C och D.*

5 % av årlig kontraktssumma fördelas enligt följande	Bonus/avdrag	$B_{åmax}$ / $A_{åmax}$
Tågförseningar	45 %	=T
Spårläge	30 %	=S
Fel i 0felia	10 %	=F
Besiktningsanmärkningar	15 %	=B

Vid beräkning av årsbonus tillämpas följande formel:

$B_{åx} = B_{åmax}*(U_x-Z_f)/(F_{max} – Z_f)$.

$B_{åx}$ = Årsbonus

$B_{åmax}$ = Maximal årsbonus enligt tabell 3.7

$$U_{xspår} = \left[\frac{Vu - Vb}{Vb}\right]*100$$

$$U_{xövriga} = \left[\frac{Vb - Vu}{Vb}\right]*100$$

V_u = Årsutfall.

V_b = Värde Basår.

Z_f = Fastställt gränsvärde i % där bonus ej utbetalas.

F_{max} = Förbättringsvärde i % då maxbonus uppnås.

Vid beräkning av årsavdrag tillämpas följande formel:

$A_{åx} = A_{åmax}*(U_x-Z_f)/(F_{max} – Z_f)$.

$A_{åx}$ = Årsavdrag

$A_{åmax}$ = Maximal årsavdrag enligt tabell I

$$U_{xspår} = \left[\frac{Vb - Vu}{Vb}\right]*100$$

$$U_{xövriga} = \left[\frac{Vu - Vb}{Vb}\right]*100$$

V_u = Årsutfall.

V_b = Värde Basår.

Z_f = Intervall där bonus ej utbetalas i %.

F_{max} = Försämringsvärde i % då maxavdrag uppnås.

Ekonomisk reglering av årsbonus respektive årsavdrag sker varje år vid den årliga funktionsbesiktningen av entreprenaden.

Trendbonus respektive trendavdrag
Trendbonus resp. trendavdrag utgör 2 % av totala kontraktssumman för tre år och beräknas efter år tre.

Maximal trendbonus eller trendavdrag delas ut när sista årets utfall avviker med 5 % från medelvärdet av de tre årens utfall. Bonusen/avdraget utfaller med en linjär ökning/minskning från 0–5 %. För att trendbonus/trendavdrag skall utfalla måste följande uppfyllas, medelvärdet skall ligga bättre/sämre än basvärdet och sista årets utfall skall ligga bättre än medelvärdet.

Tabell 5.4 *Trend i utförandet av entreprenad C och D.*

5 % av totala kontraktssumma fördelas enligt följande	Bonus/avdrag trend 2 %	B_{tmax} /A_{tmax}
Tågförseningar	45 %	=T3
Spårläge	30 %	=S3
Fel i 0felia	10 %	=F3
Besiktningsanmärkningar	15 %	=B3

Vid beräkning av trendbonus respektive trendavdrag tillämpas följande formel:

$B_{tx} / A_{tx} = B_{tmax} / A_{tmax} *(2/5)* U_{xavvikelse}$

B_{tx} / A_{tx}= Trendbonus / avdrag.

B_{tmax} / A_{tmax} = Maximal trendbonus / avdrag enligt tabell 3.8.

$$U_{xmedel} = \left[\frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \right]$$

$$U_{xavvikelse} = \left[\frac{U_{xmedel} - U_3}{U_{xmedel}} \right] * 100$$

U_x = Utfall för resp. år.

Ekonomisk reglering av ovanstående sker vid den slutliga avlämnande-besiktningen av entreprenaden.

Slutstatusbonus respektive slutstatusavdrag
Slutstatus utgör 3 % av den totala kontraktssumman för tre år och beräknas efter år tre.

Tabell 5.5 *Slutstatus.*

5 % av totala kontraktssumma fördelas enligt följande	Bonus slutstatus 3 %	F_{bmax}/F_{smax}
Tågförseningar	45 %	=T3
Spårläge	30 %	=S3
Fel i 0felia	10 %	=F3
Besiktningsanmärkningar	15 %	=B3

Vid beräkning av slutstatusbonus respektive slutstatusavdrag tillämpas följande formel:

Maximal bonus/avdrag för slutstatus delas ut när medelvärdet över tre års utfall är 30 % bättre/sämre än basvärdet.

Utfallet av bonus/avdrag för slutstatus utfaller enligt följande:

Tabell 5.6 *Procentuella gränsvärden med avseende på utfallet*

Förbättring/försämring från basvärde	Bonus/avdrag
0 – <5 %	0 %
5 – <10 %	30 %
10 – <15 %	60 %
15 – <20 %	70 %
20 – <25 %	80 %
25 – <30 %	90 %
30 % -	100 %

Förbättring(F_b) / försämring(F_s) beräknas enligt följande:

$$F_b = \left[\frac{Uxmedel}{Basvärde} \right] * 100$$

$$Fs = \left[\frac{Basvärde}{Uxmedel} \right] * 100$$

$$U_{xmedel} = \left[\frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \right]$$

Slutstatusbonus/avdrag = (3/5)*F_{bmax}/F_{smax}*(bonus enligt tabell ovan)/100.
Ekonomisk reglering av ovanstående sker vid den slutliga avlämnande-besiktningen av entreprenaden.

5.3.5 Funktionskrav kopplade till vite

Hinder av spårtrafik är ett funktionskrav som direkt påverkar transportköparens och/eller trafikutövarens möjligheter att nyttja anläggningen på önskvärt sätt. De ersättningsbelopp som entreprenören har att betala till beställaren vid hinder av tågtrafik framgår av tabell 5.7.

Tabell 5.7 *Vite till beställaren vid hinder av spårtrafik.*

Upp-Handling	Ersättning vid hinder av spårtrafik.
A	15 000 kr för varje påbörjad 10-minutersperiod per tåg. Maximalt 7,5 % av kontraktets årliga värde.
B	Ersättning utgår med de faktiska kostnaderna.
C	15 000 kr för varje påbörjad 10-minutersperiod per tåg under de första fem timmarna. Max. belopp per tillfälle är 500 000 kr.
D	Samma som i upphandling C.
E	15 000 kr för varje påbörjad 10-minutersperiod per tåg. Inget maxbelopp.

Vid hinder av tågtrafik gäller att ersättning utgår till beställaren utan att beställaren eller trafikutövaren behöver styrka förlust. Om störningen blir så stor att trafikutövaren måste omdirigera tåg eller erbjuda resenärerna annat färdmedel eller i övrigt åsamkas extra kostnader skall entreprenören utöver i tabellen angivna kostnader ersätta de faktiska kostnaderna.

För sent återrapporterade felrapporter: När det gäller vite till beställaren vid för sent återrapporterade felrapporter till felrapporteringssystemet 0felia utgår belopp enligt tabell 5.8.

Tabell 5.8 *Vite till beställaren vid för sent återrapporterade felrapporter.*

Upp-Handling	Ersättning vid för sent återrapporterade felrapporter
A	Efter två (2) veckors försening, eller felaktigt levererat underlag för felrapporter i 0felia utgår ett vite med 1 000 kr/styck och påbörjad vecka.
B	Samma som upphandling A
C	Inget vite utgår
D	Inget vite utgår
E	Samma som upphandling A

Funktionskravet ”för sent återrapporterade felrapporter” har inte någon direkt koppling till de krav som transportköparen och/eller trafikutövaren kan ställa på anläggningen utan mer kopplat till relationen mellan beställare och entreprenör.

För sent åtgärdande av besiktningsanmärkningar: Vite till beställaren vid för sent åtgärdande av besiktningsanmärkningar regleras enligt vad som framgår av tabell 5.9. Eftersom för sent åtgärdande av besiktningsanmärkningar kan ge upphov till störningar i tågtrafiken är detta funktionskrav till viss del kopplat till kraven från transportköparen och/eller trafikutövaren.

Tabell 5.9 *Vite till beställaren vid för sent åtgärdande av besiktnings-anmärkning.*

Upp-Handling	För sent åtgärdande av besiktningsanmärkning
A	Vid för sent åtgärdad besiktningsanmärkning A (två dagar) eller V (två veckor) utgår ett vite av 1 000 kr/styck och påbörjad dag respektive vecka.
B	Vid för sent åtgärdad besiktningsanmärkning A (två dagar) eller V (två veckor) utgår ett vite av 2 000 kr/styck och påbörjad dag respektive 1 000 kr/vecka.
C	Inget vite utgår
D	Inget vite utgår
E	Samma som upphandling A

För upphandling B gäller att avvikelser som inte åtgärdats äger beställaren rätt att på entreprenörens bekostnad avhjälpa. Entreprenören skall ha beretts möjlighet att vidta rättelse innan beställaren avhjälper felet enligt vad som framgår av tabell 5.9. Med beretts möjlighet avses även det fall då beställaren sökt men inte nått entreprenören på angivet telefonnummer i beskriven organisation. Entreprenören skall utöver vite ersätta beställaren för de verkliga kostnaderna han åsamkats för utförandet av sådana tjänster.

För sent inrapporterade besiktningsanmärkningar: Hur för sent inrapporterade besiktningsanmärkningar regleras i förhållandet mellan beställare och entreprenör framgår av tabell 5.10. Att inget vite utgår i tre av de fem studerade upphandlingar kan tyda på att detta funktionskrav inte har samma dignitet som när det gäller ”för sent åtgärdande av besiktningsanmärkningar”.

Tabell 5.10 *Vite till beställaren vid för sent inrapporterad besiktningsanmärkning.*

Upp-Handling	För sent inrapporterad besiktningsanmärkning
A	Åtgärdad besiktningsanmärkning skall vara inrapporterad i BESSY inom 14 dagar efter åtgärdandet. I annat fall utgår ett vite med 2 000 kr/styck och påbörjad dag.
B	Inget vite utgår
C	Inget vite utgår
D	Inget vite utgår
E	Samma som upphandling A

Skada på stompunkt: I upphandling A och E gäller att vid av entreprenören orsakad skada på stompunkt utgår vite med 8 000 kr/tillfälle. I övriga upphandlingar utgår inget vite vid skada på stompunkt.

Försening och brister i standard eller funktionskrav: I upphandling C och D gäller att om entreprenören inte inom FB-järnväg (FB=funktionsbeskrivning) angiven tidsfrist uppfyllt ställda standard- eller funktionskrav på varje enskilt konto, utgår för varje tillfälle vite med 1 % av årsersättningen för aktuellt konto. Dock utgår vite med minst 5 000 kr/för varje tillfälle. Om tidsfrist inte föreligger skall vite utgå från den tidpunkt då standard- eller funktionskraven inte uppfylls.

Med tillfälle avses: Per dag avseende arbeten med avhjälpning av brister som klassats som akut eller veckoanmärkning samt banhållning vinter enligt FB-järnväg. Per vecka avseende övriga arbeten enligt övriga kapitel i FB-järnväg.

Övrig ersättning utan angivet bötesbelopp: I detta fall är det frågan om ersättning till beställaren då entreprenören vållat någon typ av skada på anläggningen. I huvudsak rör det sig om skada på befintliga kablar och ledningar eller skada på vegetation. Vid kabelskador som entreprenören orsakar skall entreprenören ersätta reparationskostnaden och eventuella kostnader som blir en följd av skadan. Om entreprenören eller av honom anlitad underentreprenör vållar skada på mark, vatten, skog eller hägnad inom eller utanför arbetsområdet, skall entreprenören bekosta och ansvara för återställning av skadan till skadans fulla värde.

5.3.6 Anbudssumma

Antalet anbud som inkommit i de studerade upphandlingarna framgår av tabell 5.11 liksom anbudssumman i respektive fall.

Tabell 5.11 *Anbudssumma i miljoner kronor som respektive entreprenör lämnat i de studerade upphandlingarna.*

Upphandling	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Entreprenör					
1	43,5	10,5	43	28,2	74,1
2	–	30,9	270,2	213,4	–
3	45,7	19,5	–	–	–
4	36,9	–	–	–	134,8
5	–	–	–	64,6	104,1
6	–	–	–	–	82,3

(Anm.: – innebär att anbud inte har lämnats).

Som framgår av tabell 5.11. är det stora variationer både med avseende på antalet entreprenörer som lämnat anbud liksom på anbudssummans storlek. Det är endast en entreprenör som lämnat in anbud i samtliga upphandlingar. På grund av det något begränsade materialet är det svårt att ge några entydiga förklaringar på de stora variationer som förekommer i de studerade upphandlingarna. Sannolikt finns det ett flertal faktorer som kan ligga till grund för variationerna.

En övergripande orsak kan vara att funktionsupphandling av drift- och underhållsverksamheten inom järnvägssektorn är en ny och pågående process för såväl beställare som entreprenör som, jämfört med traditionella upphandlingar, medfört förändrade krav på och kompetens av båda parter.

Skillnaderna i antalet entreprenörer som lämnat anbud kan bero på det faktum att antalet entreprenörer som har kompetens och resurser för att ta hela drift- och underhållsverksamheten är starkt begränsat. En annan förklaring kan vara att entreprenörerna är lokaliserade till vissa geografiska områden vilket kan innebära svårigheter till etablering inom för företaget längre bort belägna geografiska områden.

När det gäller variationerna i anbudssumman kan detta bero på svårigheten att göra relevanta kalkyler på den informationen som förfrågningsunderlaget bygger på. Bristfällig eller svårtolkad information i förfrågningsunderlaget kan innebära

ett ökat risktaganden för entreprenören vilket måste beaktas i kalkylen. En annan aspekt är det faktum att drift och underhåll av järnvägens infrastruktur är omgärdat av ett flertal regler/föreskrifter. I de upphandlingsdokument som studerats görs hänvisning till dessa regler/föreskrifter som entreprenören måste ha kännedom om. Om entreprenören inte har möjlighet, t.ex. på grund av tidsbrist, att skaffa sig nödvändig kännedom om innehållet i dessa regler/föreskrifter kan det innebära ett större risktagande vilket i sin tur återspeglar sig i anbudssumman.

Även om det förefaller vara stor spridning i anbudssummorna har det under projektets gång framkommit att de antagna anbuden har legat på en lägre nivå än vad beställaren från början räknade med. Beställarens uppfattning i ett inledande skede är att funktionsupphandlingarna har medfört en kostnadseffektivare drift och underhållsverksamhet. Det skall dock nämnas att någon egentlig utvärdering har ännu inte gjorts eftersom entreprenaderna fortfarande pågår.

5.4 Funktionsindex som incitament

Banverket produktion (BVP) har tagit fram ett dokument rörande ”Teknisk beskrivning med funktionskrav för drift och underhåll av järnväg”. Detta dokument motsvarar de dokument som redovisas i funktionsbeskrivningen i de studerade upphandlingarna, men är betydligt mer renodlat, jämfört med de tidigare studerade funktionsbeskrivningarna. Följande övergripande förutsättningar gäller: ”*Entreprenören skall sköta järnvägsanläggingen på sådant sätt att de övergripande funktionella kraven på kapacitet, tillgänglighet, säkerhet och komfort uppfylls. Detta mål skall anses uppfyllt om funktionskraven och övriga krav som framgår av detta dokuments koder och rubriker är verifierade enligt angivna villkor*”

Vidare har man delat upp järnvägsanläggningen i olika system som exempelvis bansystem, elsystem och signalsystem där övergripande funktionskrav anges för varje system. Under varje system görs en ytterligare uppdelning i de anläggningsdelar som ingår i respektive system. För varje anläggningsdel i ett system definieras vilket funktionskrav som skall gälla. Som exempel kan nämnas att för anläggningsdel Bansystem anges: ”*Banans funktion skall, med avseende på undergrunds, underbyggnads och överbyggnads funktion vara så att tågtrafiken med största tillåtna hastighet och axellaster fungera med avsedd säkerhet, punklighet och komfort”*.

För varje funktionskrav som definieras för respektive anläggningsdel ges även exempel på vilka åtgärder som kan vara lämpliga att genomföra för att uppnå de ställda funktionskraven. Exemplifieringen är till för att öka förståelsen för vilka åtgärder som kan behöva göras och därmed öka kalkylerbarheten. Ansvaret för att de vidtagna åtgärderna leder till att funktionskraven uppfylls åligger dock entreprenören.

BVP:s dokument är utformat enligt pyramidregeln vilket även de andra dokumenten är. Det har dock betydligt färre undernivåer än vad övriga dokument har vilket ger en betydligt mer överskådlig struktur.

Under rubriken Verifiering anges för varje kod på vilket sätt och i förekommande fall med vilken mätmetod funktionskraven verifieras. Om inget särskilt anges under aktuell kod och rubrik innebär verifieringen att kontroll görs i enlighet med föreskrifterna för Banverkets säkerhets- och underhållsbesiktning.

Verifieringsarbetet beskrivs och ersätts under kod 8.1 (i dokumentet), medan verifieringsvillkoren anges under aktuell kod och rubrik för funktionskraven.

Säkerhets och underhållsbesiktning ingår således som en del av entreprenaden och utförs enligt BV:s föreskrifter, dels för att kontrollera resultatet av utförda arbeten men även för att tjäna som en arbetsinventering för att uppfylla angivna funktionskrav.

Banverket Produktion har utvecklat en incitamentsmodell som bygger på en direkt koppling mellan utfall och mål för ett antal funktionsmål och hur detta regleras mellan beställaren och entreprenören.

Modellen har följande utseende:

$$\Sigma I = k_F \left(\frac{1}{2 + \frac{F_{utfall}}{F_{mål}}} \right) + k_A \left(\frac{1}{2 + \frac{A_{utfall}}{A_{mål}}} \right) + k_Q \left(\frac{1}{2 + \frac{Q_{mål}}{Q_{utfall}}} \right)$$

där

k_F, k_A, k_Q är konstanter för att vikta betydelsen av måluppfyllelsen.

F_{utfall}, $F_{mål}$ = utfallet respektive målet med avseende på punklighet, dvs. bygger på att hastigheten inte kan hållas.

A_{utfall}, $A_{mål}$ = utfallet respektive målet för fel (inrapporterade fel i 0felia), dvs. avvikelse från önskat tillstånd hos anläggningen eller komponenten.

$Q_{mål}$, Q_{utfall} = målet respektive utfallet med avseende på komforten, dvs. Q-talet.

De uppsatta målen är i sin tur kopplade till de bör-värden beträffande tekniskt tillstånd som gäller för respektive banklass. Dessa mål definieras av beställaren.

Utfallet för de definierade funktionsmålen, funktionsstörningar tågförseningsminuter och Q-tal, är den faktor som entreprenören genom sitt underhållsarbete har möjlighet att påverka. När utfallet av entreprenörens arbete sammanfaller med de uppsatta målen kommer ersättningen att utgå med den i kontraktet fastställa kontraktssumman. Om utfallet är bättre än målet kommer ersättning att utbetalas i förhållande till den förbättring som verkligen uppnåtts. På samma sätt gäller att om utfallet är lägre än de uppsatta målen kommer kontraktssumman att regleras i förhållande till detta.

Till skillnad från ersättningsformerna i tidigare redovisade upphandlingar har ovan nämnda modell ett linjärt samband mellan utfallet och ersättningen storlek.

BVP har även fört in ett inslag av partnering genom att utöver byggmöten införa förvaltningsmöten där tolkningsfrågor och meningsskiljaktigheter som ej kan lösas av den operativa ledningen för entreprenaden hänskjuts. Där fastställs även incitamentsutfallet.

5.5 Entreprenörs- och leverantörsmarknaden

I rapporten ”Utvecklingsstrategi för Banverkets produktionsverksamhet”, (Karlsson & Redtzer, 2000) diskuteras förutsättningar och strategier för

konkurrensutsättning av Banverkets produktionsverksamhet. I rapporten diskuteras bl.a. entreprenörs- och leverantörsmarknaden utifrån ett konkurrensutsättningsperspektiv. Den senaste tidens utveckling och hittills vunna erfarenheter innebär att rapportens beskrivning av den nämnda marknaden kanske inte helt stämmer överens med dagens situation. Trots detta finns det anledning att i nedanstående avsnitt återge valda delar av rapportens innehåll eftersom den ur olika aspekter belyser konkurrensutsättningen, både inledningsvis och kvarvarande.

”Efterfrågan på järnvägstekniska entreprenad- och konsulttjänster i Sverige och övriga Norden bedöms vara relativt konstanta under den kommande femårsperioden. En förskjutning sker dock från nybyggnad mot ombyggnad och underhåll. Inom det icke järnvägsspecifika området (markarbeten, broar och tunnlar) finns en fungerande konsult- och entreprenadmarknad.
Produktionsverksamheten inom järnvägssektorn skiljer sig i viss mån från verksamheten inom den övriga anläggningsbranschen. Utöver mark-, bro- och tunnelarbeten ingår att bygga och underhålla ett tekniskt komplext system som i många fall kräver en unik kompetens och anpassad maskinell utrustning. Ett sätt att dela upp produktionsverksamheten som rör förvaltning av järnväg är efter karaktären på produkter och tjänster:

- *Projektering, konstruktion*
- *Ny- och ombyggnad*
- *Förebyggande underhåll*
- *Drift och avhjälpande underhåll*

Järnvägsspecifik produktion är sådan verksamhet som bara förekommer inom järnvägen eller som av annan anledning kräver ingående kunskap om järnvägens drift- och säkerhetsmiljö. Exempel på järnvägsspecifik produktion är arbeten med ballast, spår och växlar, kontaktledning, signalsystem, ställverk och vissa teleanläggningar. Säkerhetsarbetet vid alla arbeten på och nära banan är också järnvägsspecifikt. Vid arbeten med ballast, spår och växlar och kontaktledning krävs normalt speciell utrustning såsom spårgående maskiner och vagnar. För den järnvägsspecifika ny- och ombyggnadsproduktionen (banöverbyggnaden) är leverantörsmarknaden idag begränsad. Utöver Banverket produktion och Industridivisionen, som dominerar vid nyanläggning av banöverbyggnad, finns ett 10-tal järnvägstekniskt inriktade entreprenörer på den nordiska marknaden. Även de större anläggningsentreprenörerna (Skanska, PEAB, NCC samt Vägverket Produktion) kan ta sig an järnvägsspecifika entreprenader. Hittills har detta emellertid endast skett under förutsättning att banunderbyggnadsdelen ingår i det totala åtagandet. Banverkets producerande enheter uppträder då inte sällan som underentreprenörer. Mindre entreprenörer, specialiserade inom något eller några tekniskslag kan även förekomma som underentreprenörer.

Inom produktområdet drift och underhåll av järnväg finns idag ett antal mindre och medelstora företag. Dessa är ojämnt spridda över landet och täcker sällan in hela produktområdet. Drift och avhjälpande underhåll upphandlas normalt som ett serviceåtagande och kräver mer eller mindre ständig geografisk närvaro av entreprenören. Därutöver krävs, inte minst för felavhjälpning, kompetens inom samtliga järnvägstekniska områden.
En effektiv konkurrensutsättning innebär att den externa andelen av järnvägsspecifik konsult- och entreprenadproduktion måste öka. Detta kräver ett ökat intresse från externa entreprenad- och konsultföretag för denna verksamhet.

Idag finns i stort sett inte någon annan etablerad aktör än Banverket Produktion när det gäller drift och avhjälpande underhåll. Sammanlagt utförs idag drygt hälften av Banverkets totala behov av produktion av externa entreprenörer och konsulter antingen som huvudentreprenörer/-konsulter eller som underentreprenörer/-konsulter. Dessutom upphandlas materiel motsvarande drygt 10 procent av banhållningskostnaderna.

Hos förvaltaren finns etablerade rutiner för att handla upp konsulttjänster, även om de behöver utvecklas när det gäller järnvägsspecifika uppdrag. Den stora effektiviseringspotentialen för beställaren vid konkurrensutsättning utgörs av möjligheten att vid varje upphandling välja det totalekonomiskt mest fördelaktiga alternativet. Erfarenheter från konkurrensutsättning inom andra områden visar att egenregiverksamheten oftast fått en ställning som dominerande aktör på marknaden. Denna särställning är inte bara ett resultat av storlek och ekonomisk styrka utan också av de etablerade relationerna till beställarna samt gjorda investeringar i kunskap och anläggningstillgångar. Detta försvårar eller förhindrar att nya aktörer får fotfäste på marknaden. En viktig förutsättning för att konkurrensutsättning skall fungera som ett verktyg för effektivisering är att det råder konkurrensneutralitet mellan de egna, konkurrensutsatta enheterna och deras konkurrenter. Balansen mellan kraven på konkurrensneutralitet och Banverkets behov av en tryggad banhållning, en fungerande leverantörsmarknad samt sunda affärsförutsättningar för egenregienheterna är av avgörande betydelse.

Enligt en upprättad prioriteringslista börjar det ***förebyggande underhållet*** *upphandlas i konkurrens från 1 juli 2001, produktvis eller i lämpliga produktkombinationer. Ett skäl för successiv konkurrensutsättning är beställarorganisationens ovana vid att handla upp dessa tjänster. Det tar tid att utveckla tekniska beskrivningar som underlag för en ökad andel upphandling till fasta priser. Vidare krävs utvecklade former för samverkan mellan Banverkets regioner för att tillvarata de betydande möjligheterna till stordriftsfördelar, som är förknippade med upphandling i konkurrens av förebyggande underhåll över större geografiska områden och länge avtalstider. Ibland krävs en samlad upphandling av förebyggande underhåll, avhjälpande underhåll och drift för att skapa kommersiellt intressant volymer inom ett geografiskt område. Förebyggande underhåll är en planerbar verksamhet, såväl tids- som omfattningsmässigt som geografiskt. På detta liknar det förebyggande underhållet ny- och ombyggnad. Idag utförs endast 6 procent av denna verksamhet av externa entreprenörer. Tillgången på entreprenörer behöver öka.*

Driften och det avhjälpande underhållet *börjar upphandlas i konkurrens, bandelsvis i en provverksamhet med start senast den 1 januari 2002. Provverksamheten skall omfatta minst ett antal sammanhängande bandelar per region. Den successiva konkurrensutsättningen motiveras huvudsakligen av förvaltarorganisationens ovan och bristande förutsättningar att effektivt och säkert handla upp drift och avhjälpande underhåll. Det krävs ett omfattande utvecklingsarbete med ett stort antal bandelsvisa och marknadsanpassade fältprov för att vinna kunskap om hur effektiv resursanvändning och säker funktion skall kunna garanteras vid upphandling. Vid en snabb konkurrensutsättning av drift och avhjälpande underhåll finns risk för funktionsstörningar i trafiken, säkerhetsrisker och kostsamma tilläggsuppdrag till följd av dåliga förfrågningsunderlag.*

Leverantörsmarknaden består idag av många, kompetensmässigt ”smala” underentreprenörer. En väl fungerande drift- och underhållsverksamhet kräver en bred kompetens, lokal närvaro samt en fungerande beredskapsorganisation med lokala lager. Det finns idag endast ett fåtal kompletta leverantörer. För att vara ekonomiskt motiverade och realistiskt genomförbara bör upphandlingen av drift och avhjälpande underhåll gälla entreprenader på 3–5 år. För lågtrafikerade linjer kan det vara nödvändigt att skapa en mix av förebyggande underhåll samt drift och avhjälpande underhåll för att åstadkomma ekonomisk bärkraft. Andelen externt anlitade entreprenörer svarar idag för en tiondel av Banverkets drift och avhjälpande underhåll. Banverket är den helt dominerande kunden i Sverige.

Potentialen för ökad effektivitet avseende drift och avhjälpande underhåll till följd av upphandling i konkurrens bedöms vara betydande, under förutsättning att former för en effektiv och säker upphandling kan utvecklas. Det bör finnas utrymme för sänkta produktionskostnader och möjligheter till omprövning och utveckling av metoder och servicenivåer. Vidare bedöms en övergång från dagens omfattande detaljstyrning till en mer funktionsorienterad styrning ge en positiv effekt.”

5.6 Internationella erfarenheter

Inom järnvägssektorn är konkurrensutsättning av drift- och underhållsverksamheten en relativt ny företeelse. Den konkurrensutsättning som skett inom sektorn har till största delen fokuserat på att konkurrensutsätta själva tågtrafiken. Erfarenheten av hur konkurrensutsättningen har påverkat drift- och underhållsverksamheten är därför relativt begränsad. I rapporten ”Ramverk för en drift- och underhållsstrategi ur ett regelstyrt infrastrukturperspektiv”, (Espling, 2004), redovisas några erfarenheter som återges nedan.

I ***Nederländerna*** är trafikutövare och banförvaltning skilda organisationer. Förvaltarsidan har ingen egen underhållsorganisation utan köper nödvändiga underhållstjänster via funktionsentreprenader som upphandlas i full konkurrens. För att styra upp verksamheten använder man sig av underhålls- och ledningsverktyget RAMS (Reliability, Avaliability, Maintainability and Safety) som fokuserar på specifikation av tillförlitlighet, funktionssannolikhet, driftsäkerhet, tillgänglighet, underhållsmässighet och säkerhet. RAMS har både kvalitativa och kvantitativa indikatorer och baseras på ett livscykelperspektiv. Regeringen och riksdagen i Nederländerna har separata kontrakt med spårförvaltarna och trafikföretagen. Banavgifterna regleras via kontrakt mellan spårförvaltaren och trafikföretagen

Även om det finns vissa brister beträffande den kontraktsmässiga delen av verksamheten anser spårförvaltaren att verksamheten fungerar bra.

I början av 1990-talet provade British Rail i ***Storbritannien*** att lägga ut spårbyte på externa entreprenörer. Motståndet från den lokala ledningen var stort och det visade sig även att entreprenörsmarknaden inte var mogen för en sådan åtgärd. Trots denna inledande erfarenhet togs 1992 ett politiskt beslut om att järnvägen skulle privatiseras. Beställarsidan som representerades av Railtrack blev ansvarig för verksamheten och utarbetade indikatorer (KPI, Key Perfomance Indicators) för bl.a. tågförseningar, tillfälliga hastighetsnedsättningar, rälsbrott och underhållskostnader. Trots detta fungerade inte verksamheten tillfredsställande, bl.a. på grund av att Railtrack inte visste vad man köpte i form av underhållsinsatser, och 2003 var konkursen för Railtrack ett faktum. Hösten

2003 togs verksamheten över av Network Rail som arbetade med att förbättra funktionssäkerheten och införde ett nytt underhållsprogram. Rätten för entreprenören att själv bestämma vilka åtgärder som skall utföras återtogs av Network Rail som vid ett senare beslut även tog tillbaka alla externa kontrakt. Anledningen var bl.a. att man ville bygga upp en egen kompetens inom underhållsområdet.

I ***Österrike*** sköts underhållet av interna enheter inom järnvägsförvaltningen. Stor möda har ägnats åt effektivisering bl.a. genom att identifiera kostnadsdrivande faktorer vilket resulterat i att kostnaderna för underhållet har minskat med 28 % sedan 1996.

Tågförseningar och trafikrestriktioner i form av hastighetsnedsättningar är några problem som den ***finska järnvägen*** brottas med. Det finns planer på att under 2005 påbörja en process för att konkurrensutsätta delar av underhållsverksamheten på vissa delar av järnvägsnätet. Målet är att störningarna för tågtrafiken skall reduceras.

5.7 Sammanfattning och analys av kapitel 5

De funktionsvariabler som har definierats i genomgångna funktionsupphandlingarna och som på olika sätt är kopplade till ett vite/bonussystem är:

- tågförseningar relaterade till infrastrukturen
- spårläge
- felrapporter
- besiktningsanmärkningar.

Generellt gäller för dessa parametrar att de kan mätas och följas upp och är därmed möjliga att prissätta i relationen mellan beställare och entreprenör. Den enda parameter som har en direkt koppling till slutanvändarledet, dvs. resenären är tågförseningar. Övriga parametrar har en indirekt påverkan på slutanvändaren eftersom felaktigheter i dessa parametrar i slutänden kan förorsaka tågförseningar. Ingen av ovan angivna parametrar kan med nuvarande metoder och/eller modeller prissättas i relationen beställare/entreprenör och slutanvändare. Möjligheten att prissätta tågförseningar i relationen mellan beställare och tågoperatör beror på vilka eventuella avtal som ingåtts mellan dessa båda parter.

När det gäller bonus/vite förekommer några olika varianter. Vanligt förekommande är ett fast pris för vite med i vissa fall begränsad procentsats i förhållande till kontraktssumman. Även bonus har i några fall ett fast pris kopplat till en procentuell förändring av de definierade funktionsparametrarna. Det framgår dock inte av kontrakten hur förhållandena regleras om den procentuella målnivån inte uppnås fullt ut. För entreprenören kan detta innebära att det inte är ”lönsamt” att genomföra åtgärder som inte resulterar i att förändringen verkligen når upp till den avsedda procentnivån eftersom det inte kommer att resultera i någon bonus.

Den modell som Banverket produktion har utvecklat är på ett tydligare sätt kopplad till utbetalning av bonus eller vite oavsett hur stor förändringen är. Modellen ger incitament för att åstadkomma även små förändringar eftersom det finns en direkt koppling till kontraktssummans storlek.

Det finns en stor spännvidd mellan anbuden i de studerade upphandlingarna vilket indikerar att formerna för funktionsupphandling behöver utvecklas ytterligare med avseende på bl.a. förfrågningsunderlagens utformning, möjlighet för nya entreprenörer att etablera sig på marknaden, regelverket för trafik och banhållning, system och rutiner för kontroll och uppföljning av anläggningens status.

För att funktionsupphandling skall bli attraktivt krävs att alla aktörer inom järnvägssektorn får verka i ett innovativt klimat vilket är en utmaning inför framtiden. Detta ställer krav på att i alla led skapa beställar-/utförarrelationer på en väl fungerande marknad med kravställandet baserat på funktionskrav. Myndigheter som upphandlar stora belopp kräver en väl utformad beställarstrategi såväl som en väl utvecklad beställarkompetens.

6 Avslutande diskussion

Avsikten med funktionsupphandling är att skapa förutsättningar för en effektivare drift- och underhållsverksamhet inom väg- respektive järnvägssektorn och därigenom kan samhällets ekonomiska resurser utnyttjas effektivare. Ur beställarens perspektiv innebär funktionsupphandlingen att man överlåter till entreprenören att lösa uppgiften på sådant sätt att den avsedda funktionen uppfylls. Detta innebär att förfrågningsunderlaget kan utformas övergripande och inte på detaljnivå. Beställarens resurser kan då utnyttjas för mer analytiska uppgifter som exempelvis uppföljning av entreprenaderna, kostnadsanalyser, utarbeta prognoser för kommande underhållsbehov. Entreprenören får större frihet (incitament) att genom effektiva tekniska lösningar och utveckling av arbetsmetoder genomföra sitt åtagande. Genom ett bra bonussystem får entreprenören större motivation för att sin verksamhet. Slutanvändarens, dvs. resenärens nytta av funktionsupphandling är tillgången till en produkt som innebär bra framkomlighet och tillgänglighet.

Problemet med funktionsupphandling är att definiera relevanta funktionskrav som på ett tydligt sätt är kopplade till effekterna för slutanvändarna. Detta ställer krav på att funktionsvariablerna måsta kunna mätas och värderas dels med avseende på ansvarförhållandet mellan beställare och entreprenör, dels utifrån resenärernas perspektiv. Detta ställer i sin tur krav på en fungerande datainsamling eftersom det utgör underlag för att bedöma i vilken omfattning den avsedda funktionen uppnåtts.

Vägsidan

Ett av syftena med detta projekt var att undersöka möjligheten att använda planeringsmodeller såsom Världsbankens HDM-4 eller andra operationellt tillgängliga modeller/verktyg inom vägsektorn vid prissättning av mätbara ”outputs” i samband med funktionsupphandlingen. En genomgång av modellerna i HDM-4 samt i Vägverkets PMS har gjorts.

HDM-4 är ett färdigt och kommersiellt tillgängligt system som har en mycket omfattande manual med en ingående beskrivning av alla ingående modeller. PMS är däremot ett system under utveckling som ständigt kompletteras/förändras och saknar, med något undantag, manualer och har bristfällig/svåråtkomlig dokumentation om systemen och de ingående modellerna.

HDM-4 är å andra sidan ett mycket omfattande system som kräver en mycket stor mängd indata, vilka kanske inte alltid finns tillgängliga. I nedbrytnings-modellerna ingår dessutom ett antal kalibreringskoefficienter som måste bestämmas för att modellerna ska kunna appliceras på det svenska vägnätet.

Det finns också en viss begreppsförvirring vad gäller benämningen av de olika måtten som beskriver vägytan. Den ojämnhet som används i HDM-4, och som uttrycks i IRI, är en sammanvägning av flera komponenter: ojämnhet pga. strukturell nedbrytning, sprickor, spårbildning, slaghål samt omgivandefaktorer (t.ex. temperatur och fuktighet). Varje komponent är försedd med en kalibreringskoefficient. Det är tveksamt om det IRI som används i HDM-4 verkligen är jämförbart med det IRI som används vid inventering av det svenska vägnätet, även om en kalibrering görs. Ett annat exempel är spårdjupsmåttet, som har olika definitioner i HDM-4 och Vägverkets PMS. Detta innebär sannolikt att trendanalyser med de två modellerna ger helt olika utveckling.

En slutsats som gäller generellt för både HDM-4 och Vägverkets PMS är att trafikeffektmodellerna behöver kompletteras för att kunna användas fullt ut för ändamålet att prissätta mätbara ”outputs” i kontrakt vid funktionsupphandling. Flera effektmodeller saknas idag, exempelvis miljö (buller, partiklar, etc.) och komfort. I de modeller som finns idag beaktas inte heller effekterna av samtliga mätbara funktionella egenskaper. Ett exempel är friktionen och dess inverkan på trafiksäkerheten. Detta innebär alltså att det blir svårt, för att inte säga omöjligt, att prissätta vissa funktionella egenskaper.

Järnvägssidan

På järnvägssidan finns ingen motsvarighet till vägsidans modeller PMS och HDM-4. De funktionsvariabler som identifierats i genomförda funktions-upphandlingar av drift och underhåll inom järnvägssidan är tågförseningar, spårläge (K- och Q-tal), felrapporter samt besiktningsanmärkningar. Dessa funktionsvariabler kan mätas, följas upp och värderas i ekonomiska termer i relationen mellan beställare/entreprenör och till viss del även gentemot slutkunden, dvs. resenären.

Det finns ingen tillgänglig modell som sammantaget beskriver effekterna av dessa funktionsvariabler och vad detta i sin tur får för ekonomiska konsekvenser för Banverket och/eller samhället. Detta faktum återspeglar sig i den prissättning i form av fasta belopp som reglerar ersättningen av bonus/vite i relationen beställare/entreprenör. En tydligare koppling mellan effekterna av uppnådda alternativt inte uppnådda funktioner och prissättning finns dock i den modell som Banverket Produktion har utvecklat. I denna modell påverkas kontraktssumman direkt av de förändringar som sker med avseende på de i denna modell definierade funktionsvariabler. Dessa funktionsvariabler är i sin tur kopplade till de funktionsvariabler som Banverket har definierat för respektive banklass.

Avsaknaden av en modell, liknande PMS och/eller HDM-4, som beaktar effekterna av samtliga mätbara funktioner gör det svårt att i ett vidare perspektiv än relationen mellan beställare/entreprenör, prissätta vissa funktionella egenskaper. Ett sådant exempel är spårläget som dels inverkar på säkerheten dels på komforten. Ett dåligt spårläge kan i vissa fall medföra en nedsättning av hastigheten vilket i sin tur kan påverka restiden. I dagsläget finns ingen metod för hur komforten skall värderas ekonomiskt ur ett resenärsperspektiv. Det finns heller inget klart samband mellan hur spårläget inverkar på eventuella hastighetsnedsättningar.

Funktionsupphandling

Tanken med funktionsupphandling av drift och underhåll inom både väg- och järnvägssidan är att det skall ge större utrymme för entreprenören att lösa den avsedda uppgiften. Effekterna förväntas bli en effektivare underhållsproduktion till lägre kostnader genom en ökad konkurrens. Hur drift- och underhållsåtgärder inom järnvägssidan skall och kan genomföras är till skillnad från vägsidan starkt reglerad genom ett omfattande regelverk som tydligt definierar hur och i vilken omfattning underhållet skall utföras. Detta innebär att tekniska innovationer i samband med funktionsupphandling är lättare att genomföra inom vägsektorn än inom järnvägssektorn. Man kan även konstatera att på järnvägssidan finns ett fåtal entreprenörer som har kompetens att i en funktionsentreprenad utföra drift- och underhållsåtgärder inom alla anläggningsdelar. Däremot finns ett flertal entreprenörer som har kompetens att utföra drift och underhållsåtgärder på

enskilda anläggningsdelar. På vägsidan finns det betydligt fler entreprenörer som har kompetens att utföra hela drift- och underhållsverksamheten i en funktionsupphandling.

Vägsidans och järnvägssidans olika strukturer med avseende på entreprenörsmarknaden och regler/föreskrifter för underhållsverksamhetens utförande innebär att det är betydligt enklare att, via funktionsupphandling, pröva nya tekniska lösningar för drift och underhåll på vägsidan jämfört med järnvägssidan.

På järnvägssidan är inte tillfälliga trafikavstängningar lika lätt att ordna som på vägsidan eftersom tågtrafiken har små möjligheter att välja alternativa vägar. Underhållsverksamheten bedrivs därför i huvudsak på tider mellan passerande tåg vilket i sin tur innebär störningar i underhållsarbetet. Detta problem finns inte på motsvarande sätt på vägsidan.

På vägsidan diskuteras hur eventuella förändringar i trafikmängden skall beaktas och hur detta i sin tur kan påverka nödvändiga underhållsåtgärder. Trafikförändringar på vägsidan är betydligt svårare att förutse jämfört med järnvägssidan eftersom tågtrafiken är mer reglerad enligt fastlagda tidtabeller.

Det är angeläget med en fortsatt utveckling av effektmodeller anpassade för att användas vid funktionsupphandling av drift- och underhållsverksamhet. Fungerande modeller ökar förutsättningarna för att bedöma vilka effekter som olika underhållsåtgärder leder till. Därmed är det möjligt att även analysera var och hur olika underhållsresurser skall genomföras för att ge så stor effekt som möjligt för slutanvändarna som i detta sammanhang kan diskuteras utifrån ett resenärs- och samhällsperspektiv.

Ett exempel som illustrerar vikten av att ha tillförlitliga trafikeffektmodeller är användningen av dessa vid utvärdering av trafikantnyttan av en funktionsentreprenad avseende drift- och underhåll av väg. Nedanstående exempel är hämtat från den största funktionsupphandlingen hittills i Sverige, vilken genomfördes år 2001.

Funktionsentreprenaden omfattar 30 mil av E4 genom Jönköpings och Östergötlands län och löper över 8 år till ett värde av 220 mkr. Fem större entreprenörer lämnade in anbud och entreprenaden gick till Vägverket Produktion som fr.o.m. 1 september 2001 har skött allt beläggningsunderhåll inklusive väglinjemålning.

I förfrågningsunderlaget beskrevs vägen genom data från årliga vägytemätningar, beläggningsregistret, georadarmätningar, borrkärnor av befintliga beläggningar etc.

Beställarens funktionskrav omfattar förutom gränsvärden för spår och ojämnhet också krav på nötningsresistens, deformationsresistens, flexibilitet, styvhet, utmattningsresistens samt vattenkänslighet för de beläggningsåtgärder som utförs.

Under de första åren har entreprenören satsat mer pengar än planerat på underhållet för att få bonus (max 2 400 kkr/år) och undvika avdrag (max 16 400 kkr/år). Detta har inneburit att nästan full bonus har utgått för åren 2003 och 2004 men också att trafikanterna snabbare har fått tillgång till en bättre väg.

Man har räknat på trafikantnyttan under de första tre åren, 2001–2004, av entreprenaden och kommit fram till att denna uppgår till totalt 110 miljoner kronor (tidsvinst 50 miljoner, reparationskostnader 50 miljoner samt minskad bränsleförbrukning 10 miljoner).

Man kan alltså konstatera att funktionsentreprenaden hittills tycks ha inneburit en stor vinst för trafikanterna. Det är dock en stor osäkerhet i den framräknade trafikant-/samhällsnyttan. Dels saknas modeller för att uppskatta olyckskostnaderna och dels är det en relativt stor osäkerhet i de trafikkostnadsmodeller som använts, såsom tidigare beskrivits i kapitel 4.

7 Förslag till fortsatt arbete

Funktionsupphandling av drift och underhåll av vägar och järnvägar är som tidigare nämnts en relativt ny företeelse. Även om det finns en hel del kunskap med avseende på funktionsupphandling av drift och underhåll, både inom väg- och järnvägssidan kvarstår flera frågeställningar. Det är därför angeläget att det skapas kontinuitet för fortsatt forskning inom detta område. I följande avsnitt redovisas utformningen av den forskning som kan behöva genomföras om syftet är att via funktionsupphandling öka konkurrensen och förbättra effektiviteten av drift och underhållsverksamheten. De förslag som redovisas nedan kan fokusera på enbart vägsidan eller på järnvägssidan men med tanke på att det finns vissa kopplingar mellan väg- och järnvägssidan finns det sannolikt en potential att i respektive projekt studera både väg- och järnvägssidan.

Utvärdering

För att ytterligare kunna utveckla processen med funktionsupphandlig krävs en systematisk utvärdering av hittills framkomna resultat och vunna erfarenheter av genomförda funktionsupphandlingar på både väg och järnvägssidan. Därigenom kan kvarvarande problemområden analyseras och i sin tur kan utgöra underlag för fortsatt utveckling av funktionsupphandlingens möjligheter och potential för ett effektivt resursutnyttjande. Denna utvärdering bör göras både för genomförda och för påbörjade funktionsupphandlingar. För att utvärderingen skall bli så täckande som möjligt måste både beställare och entreprenörer involveras i utvärderings-processen.

Mått för väg

Vägverkets krav och definition av hur målstandarden ska upprätthållas medför att utveckling bör ske av åtminstone följande områden.

- *Kompletterande mått för beskrivning av vägytans tillstånd*

IRI och spårdjup, tvärfall beskriver på ett ganska bra sätt vägytans kondition (tillstånd). Man bör dock vara medveten om att dessa tre mått inte ger fullständig information. IRI beskriver endast den vertikala ojämnheten vid färd och behöver kompletteras med mått för krängningar både i längs och tvärriktning. Få mått finns utvecklade som direkt kan kopplas till säkerhet. Spårdjup används för att indikera risk för vattenplaning vilket inte alltid är riktigt. Bättre vore att utveckla ett mått som utnyttjar en tredimensionell beskrivning av vägytan och därifrån detektera farliga avsnitt med risk för vattenplaning. Ett förslag är att utnyttja redan insamlade data och skapa ett kombinationsmått av dessa.

- *Nya mått för beskrivning av vägkroppens tillstånd*

Nya forskningsrön och förändrade förutsättningar (beläggningstyper, trafikmängd, andel tung trafik och krav från trafikanter m.m.) ger ett behov av nya eller kompletterande mått. Till exempel behövs en objektiv beskrivning av vägens strukturella tillstånd. Det saknas en etablerad mätmetod som på ett trafiksäkert sätt kan mäta detta.

- *Kvalitetskrav på mätmetoder och mått*

Den kommersiella kopplingen med bonus och vite vid funktionsentreprenader ställer krav på mått och mätmetoder. Detta gör att det kontinuerligt ställs högre krav på kvalitet av vedertagna mått. Vägverkets upphandling av vägytemättjänsten är exempel på ett bra sätt att säkerställa kvaliteten. För att vidmakthålla styrkan i en sådan upphandling behövs utveckling av referensmetoder och etablering av provsträckor.

Modellutveckling

Man kan konstatera att de modeller, PMS och HDM-4, som finns på vägsidan inte beaktar alla de effektsamband som vore önskvärt att analysera. När det gäller järnvägssidan finns i dagsläget inga liknande modeller. Den modellstruktur som finns på vägsidan bör dock initialt kunna utnyttjas för att utveckla en motsvarande ”järnvägsmodell” som kan användas i samband med funktionsupphandling av drift och underhåll inom järnvägssektorn. I detta projekt bör även undersökas om det inom andra väg- eller järnvägsförvaltningar finns liknande modeller som skulle kunna utnyttjas i det föreslagna utvecklingsarbetet.

Utveckling av beställarrollen

Det är inte bara entreprenörssidan som har möjlighet att påverka resultatet av funktionsupphandling. Även beställarsidans kompetens och organisationsstruktur har betydelse för utvecklingen av funktionsupphandling av drift och underhåll. En övergripande frågeställning är vilka styrinstrument beställarsidan har för att kunna säkerställa att drift- och underhållsverksamheten utförs på sådant sätt att förväntade effekter verkligen uppnås. Ett exempel på styrinstrument är förfrågningsunderlaget som kräver en annan utformning vid funktionsupphandling jämfört med andra entreprenadformer.

Utveckling av entreprenörsmarknaden

Entreprenörsmarknaden inom järnvägssektorn är mer begränsad jämfört med vad som är fallet inom vägsektorn. Drift och underhåll av järnvägens infrastruktur ställer helt andra krav på entreprenören med avseende på exempelvis kompetens, maskinella resurser, etableringstid vilket försvårar för nya entreprenörer att etablera sig inom järnvägsområdet. Vidare kan man konstatera att det är betydligt enklare att pröva nya tekniska lösningar inom vägsidan jämfört med järnvägssidan där underhållsverksamheten är betydligt mer styrd via regler och föreskrifter.

8 Referenser

Banverket. (2004). **Framtidsplan för järnvägen 2004-2015.** Banverket, Borlänge

Biggs, D.C. (1988). **ARFCOM – Models for estimating light to heavy vehicle fuel consumption.** Research Report ARR 152, Australian Road Research Board, Nunawading, Australia.

Bruzelius, N. (2001). **The Prizing of Outputs and Traffic in Performance-based Contracts.**

BVH 808.11 (2000). **Anläggningsstruktur 0FELIA 1:7 Allmänt.** Banverket, Borlänge.

Dahlström, J. & György, T. (2001). **HDM-4 – kalibrering av nedbrytnings-modeller till svenska förhållanden**. Thesis 32, Avdelning Vägbyggnad, Lunds Tekniska Högskola.

Espling, U. (2004). **Ramverk för en drift- och underhållsstrategi ur ett regelstyrt infrastrukturperspektiv.** Licentiatuppsats. Luleå Tekniska Universitet.

Göransson, N-G. (2004). **Validering av PMS object: delmoment för nybyggnation.** VTI notat 2-2004. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

HDM-4 Manual. Volume 1 Overview of HDM-4 ISBN 2-84060-059-5, Volume 4 Analytical Framework and Model Descriptions ISBN 2-84060-062-5

Hemdorff, S., Leden, L., Sakshaug, K., Salusjärvi M. & Schandersson, R. (1989). **Trafiksäkerhet och vägytans egenskaper (TOVE). Slutrapport**. Tiedotteita 1075. VTT. Finland.

Ihs, A. & Magnusson, G. (2000). **Betydelsen av olika karakteristika hos beläggningsytan för trafik och omgivning**. VTI notat 71-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Ihs, A., Velin, H. & Wiklund, M. (2002). **Vägytans inverkan på trafiksäkerheten**. VTI meddelande 909. Statens väg- och transportforsknings-institutet. Linköping.

Ihs, A., Grudemo, S. & Wiklund, M. (2004). **Vägytans inverkan på körkomforten. Bilisters monetära värdering av komfort.** VTI meddelande 957. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Järnvägsinspektionen. (2003). **Handbok 2003 – med regler för järnväg, tunnelbana och spårväg.** Järnvägsinspektionen, Borlänge.

Karlsson, P. & Redtzer, L. (2000). **Utvecklingsstrategi för Banverkets produktionsverksamhet.** Förutsättningar och strategier för konkurrens-utsättning av banverkets produktionsverksamhet. Rapport GD00-2827/01. 2000-09-25. Banverket. Borlänge.

Lang, J. (2001). **Prediction Model in the Swedish PMS**, 5th International Conference on Managing Pavements, August 2001.

Larsson, L. (2002). **Utvärdering av underhållspiloter. Delrapport 1.** Preliminär utgåva 2002-06-11. Banverket Projektering.

Mäkelä, K. & Lampinen, A. (1985). **Monetär värdering av åkkomfort**. Meddelande 476. Statens tekniska forskningscentral (VTT). Espoo. Finland.

Nordiska Vägtekniska Förbundet, utskott 11 (2003) Nasjonale vegdatabaser i Norden.

Nygårdhs, S. (2003). **Aquaplaning- development of a risk pond model from road surface Measurements.** Examensarbete vid Linköpings tekniska högskola, LiTH-ISY-EX-3409-2003, Linköping. 2003.

Road and airfield characteristics: Test methods-Part 7: Irregularity measurement of pavement courses: The straight edge test, prEN 13036-7, CEN standard.

Sandberg, U. (2000). **Vägytans inverkan på trafikbulleremissionen korrektionstabell för effektsambandsmodeller**. VTI notat 30-2000. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping

Sjögren, L. & Lundberg, T. & Andrén, P. (2002). **Nya mått; ett underlag för en utvecklingsstrategi inom området vägytemätningar.** VTI Notat 23-2002. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Sjögren, L. & Lundberg, T. (2004). **Designing an up to date rut depth monitoring profilometer, requirements and limitations.** Conference paper, 2nd European pavement and asset management conference, March 2004, Berlin, Germany

Vaa, T (2005). Resultat från norsk vinterforskning presenterade vid Transportforum 2005. Session 45 Vintertrafik – vinterväghållning. Linköping.

Vägverket. (1990). **Regler för Underhåll och Drift**. VV Publ. 1990:51, Vägverket, Borlänge.

Vägverket. (2001). **Effektsamband 2000**. Drift och underhåll. Handledning. Publikation 2001:79, Vägverket, Borlänge, 2001.

Vägverket. (2002). **Upphandling av vägytemätningar för perioden 2001–2004.** Vägverket publikation Nr 2002: 65. Borlänge.

Vägverkets Metodbeskrivning 115:2004. **Väytemätning med mätbil; vägnäts-mätning.** Vägverket publikation Nr 2004: 64.

Vägverkets Metodbeskrivning 116:2004. **Väytemätning med mätbil; objekt-mätning.** Vägverket publikation Nr 2004: 65.

Vägverket. (2004). **Den goda resan, Nationell plan för vägtransportsystemet 2004-2015.** Vägverket publikation Nr 2004:93

Testkörning i HDM-4

VTI har sedan 1985 följt upp ett stort antal observationsträckor runt om i landet avseende tillståndsutvecklingen inom projektet ”Long Term Pavement Performance” (LTPP). Informationen om sträckorna, såsom aktuellt tillstånd från mätningar med RST-bil samt skadekarteringar, bärighet, trafikbelastning och väderdata, finns lagrad i en omfattande databas. En av dess sträckor har valts ut för en testkörning i HDM-4.

Den sträckan som valts är en 100 m lång observationssträcka på RV53 vid Kvicksund. Den nuvarande vägen byggdes 1988 och uppföljning av sträckan har pågått sedan 1991.

Vägen är byggd enligt BYA:

- Bärlager 150 mm
- Förstärkningslager 450 mm
- Överbyggnadstyp GBÖ70.

Sträckan ligger inom Klimatzon 2.

Tabell 1 Åtgärder på LTPP-sträcka U-RV53

Åtgärd	Bel. typ	Datum	Tjockl. (mm)	Anledning
1	150AG25	1988-07-01	70	NYBYGGNAD
2	80MABT12	1989-07-01	35	NYBYGGNAD
3	MaJu70HABT+90HABS16	2000-06-01	64	Underhåll

Tabell 2 Trafikmätningar som har genomförts på sträckan

År-mån dagar	Tunga axlar	Tunga fordon	Axelpar	Fordon
1993-11 tis–tor	2 596	636	5 185	4 490
1996-10 tis–tor	3 524	850	6 662	5 690

Två testkörningar har gjorts, dels en utan kalibrering av nedbrytningsmodellerna i HDM-4 och dels en med kalibrering enligt en studie genomförd vid Lunds Tekniska Högskola (*Dahlström och György, 2001*).

I studien vid LTH var målet att få kalibreringskoefficienterna i nedbrytningsmodellerna för spår, sprickor och IRI att stämma väl överens med svenska förhållanden. Arbetet baserades på data ur VTI:s databas med LTPP-sträckor. Vid framtagandet av kalibreringsfaktorerna har vägarna indelats i tre vägtyper: låg-, mellan- och högtrafikerade vägar. Studien har också begränsats till vägar i klimatzon 2, eftersom vägobjekten i databasen är mindre väl representerade i vissa klimatzoner. Avgränsningar har även gjorts i kalibreringen av nedbrytningssambanden för sprickor då verkliga sprickfördelningar inte kunnat simuleras med HDM-4. Kalibreringen omfattar därför i princip endast ”All Structural Cracking” eftersom vida sprickor betraktats som alltför svåra att inkludera.

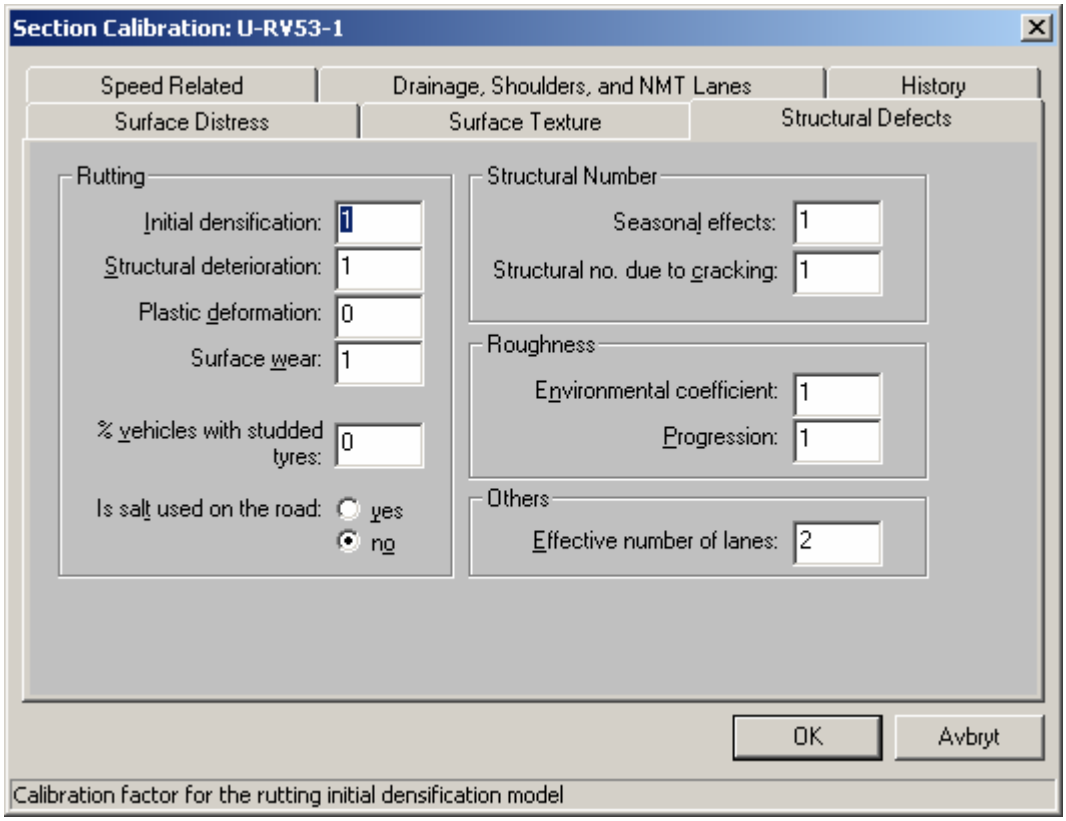
I tabellen nedan redovisas de kalibreringsfaktorer för medeltrafikerade vägar som beräknats i studien vid LTH.

Kalibreringsfaktorer		Medelvärde	Standardavvikelse
Spår			
Initial densification	K_{rid}	0,10	
Structural densification	K_{rst}	1,55	1,77
Plastic deformation	K_{rpd}	0,04	0,05
Surface wear*	K_{rsw}	*0,75**	*0,19**
Ojämnhet			
Environmental koefficient	K_{gm}	0,50	
Progression	K_{gp}	0,36	0,53
All Structural Cracking			
Initiation	K_{cia}	0,97	0,63
Progression	K_{cpa}	0,91	0,42

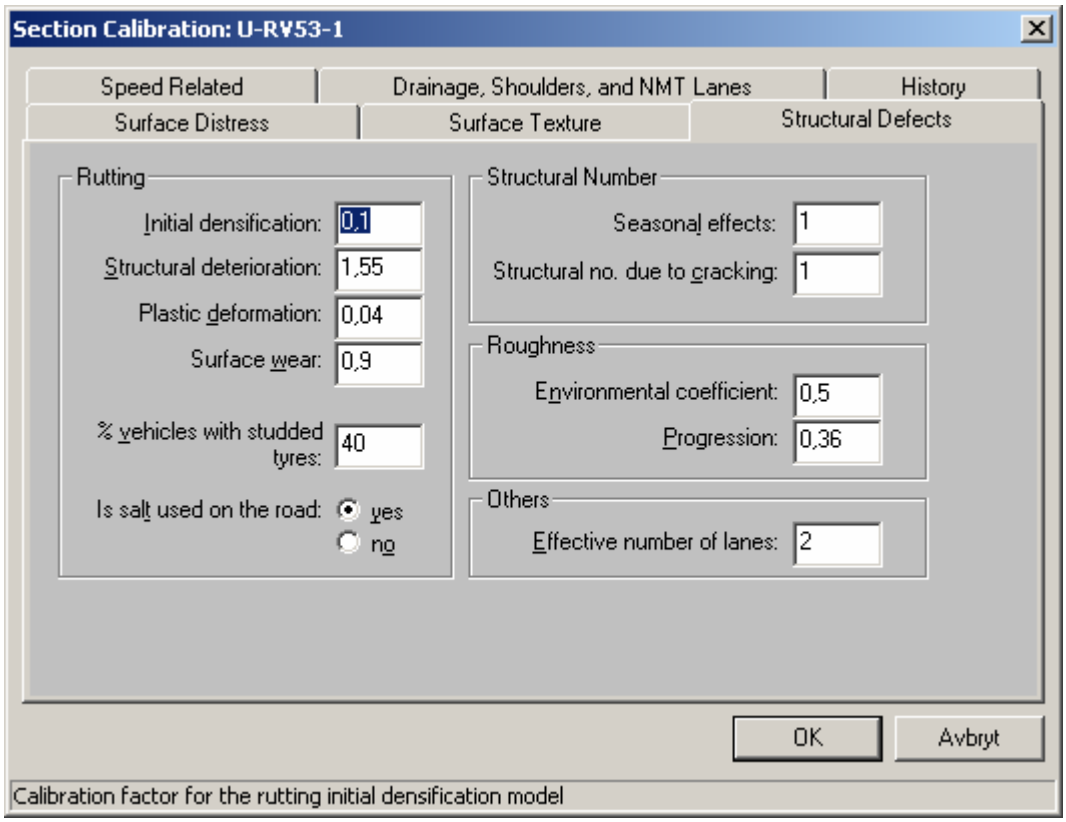
* Endast jämförelsevärden. Se ekvation för beräkning av kalibreringsfaktor.

För att beräkna kalibreringsfaktorn för ytslitage (surface wear) används följande ekvation:

$K_{rsw} = 1{,}9123e^{-A}$ där $A = 549*10^{-6}*$Antalet dubbade fordon

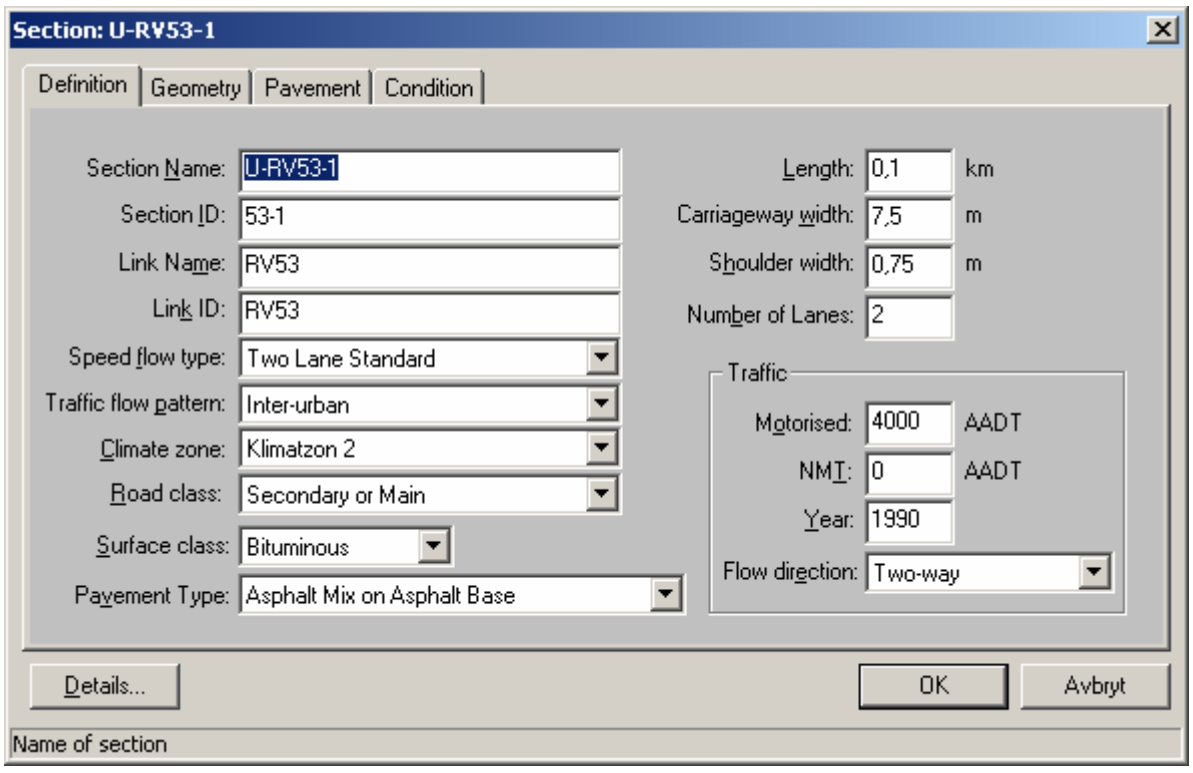


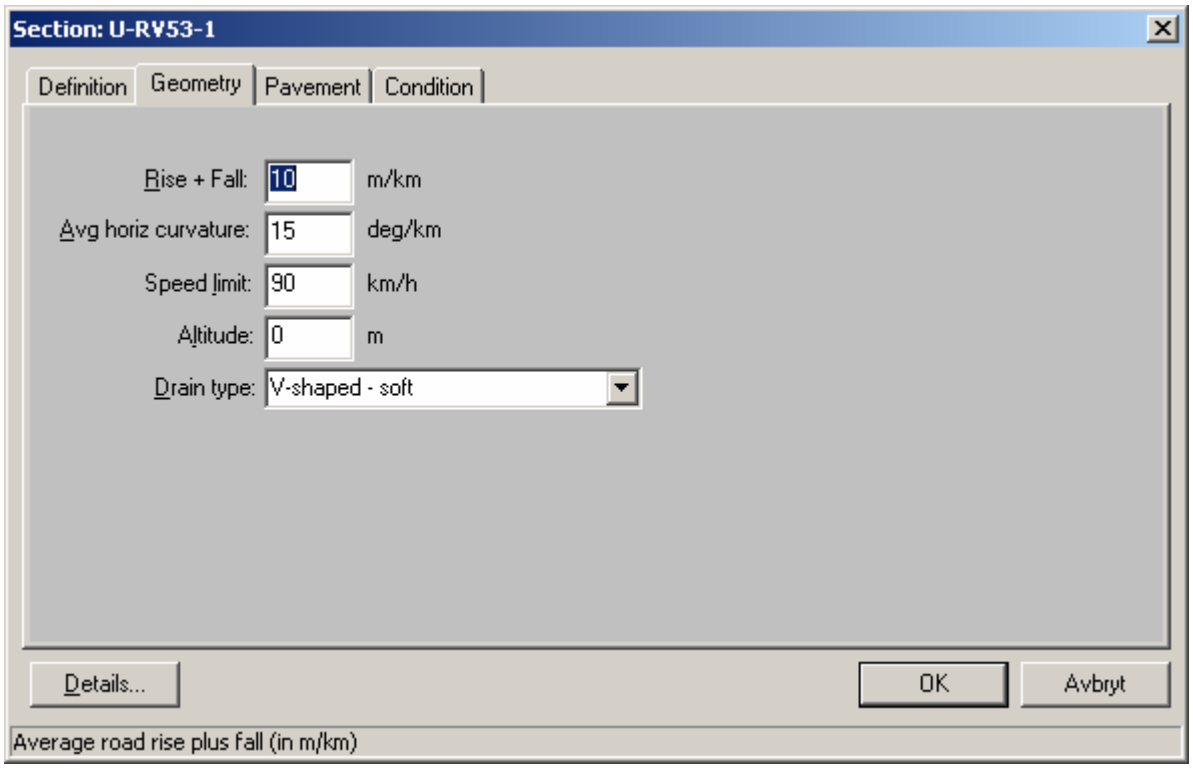
Figur 1 *Kalibreringsfaktorernas default-värden då ingen kalibrering gjorts.*

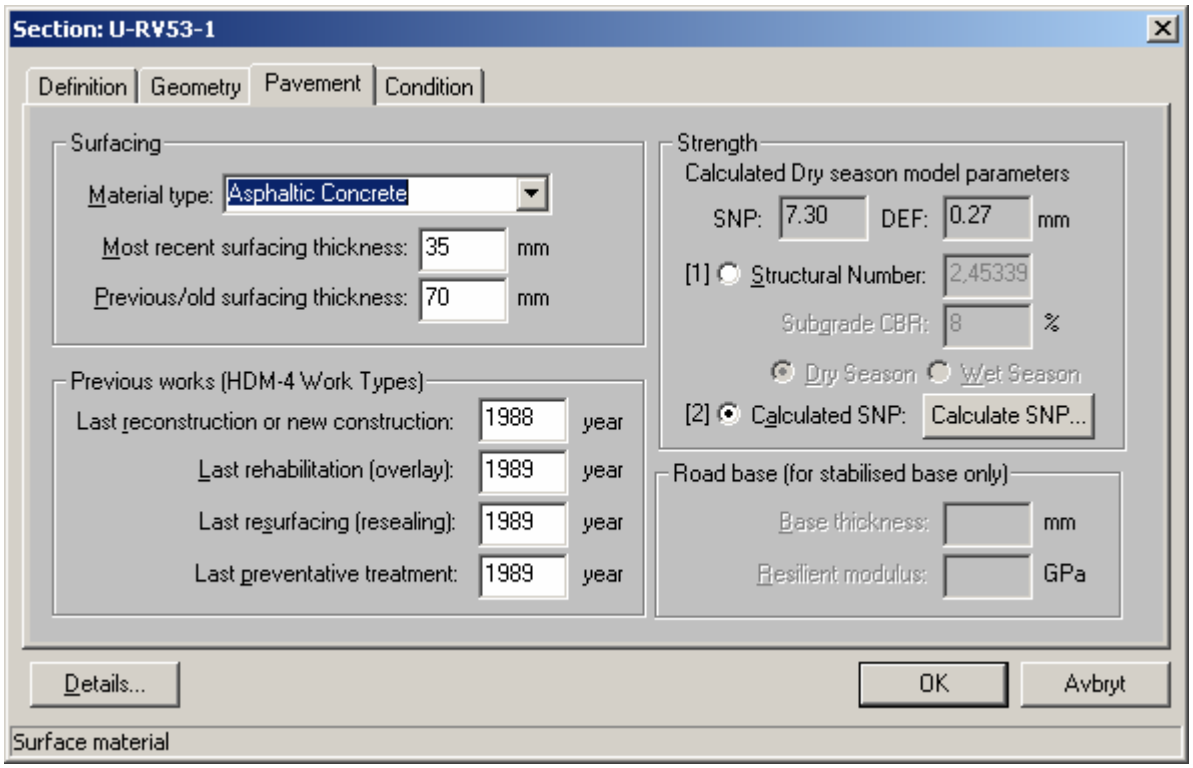


Figur 2 *Kalibreringsfaktorernas värden enligt (Dahlström och György, 2001).*

Beskrivning av indata till HDM-4







SNP, Structural Number of Pavement, är ett mått på överbyggnadens strukturella styrka. Det finns tre metoder i HDM-4 för att beräkna SNP. Två av metoderna baseras på mätvärden från FWD (Falling Weight Deflection) respektive Benkelman Beam medan den tredje metoden bygger på lagertjocklekar och moduler.

I det här fallet finns data från fallviktsmätningar tillgängliga, och dessa har därför använts för att beräkna SNP i HDM-4:s beräkningsmodul. En förutsättning för att kunna använda beräkningsmodulen är att den genererade kraften per ytenhet är 700 kPa. VTI:s

fallviktsmätningar bygger på en belastningsplatta med en diameter på 30 cm och fallhöjden är vald så att kraften hamnar omkring 50 kN, vilket innebär att detta villkor är uppfyllt:

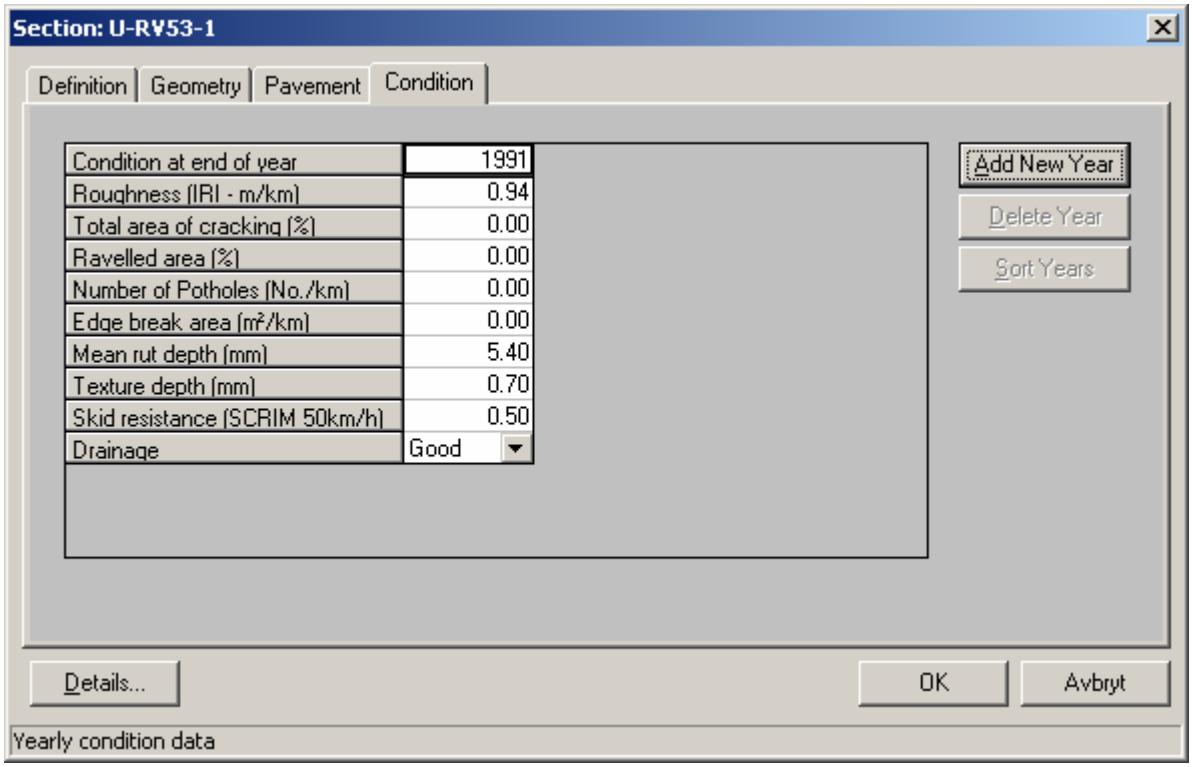
$$\frac{50}{\pi * 0{,}15^2} \approx 700kPa$$

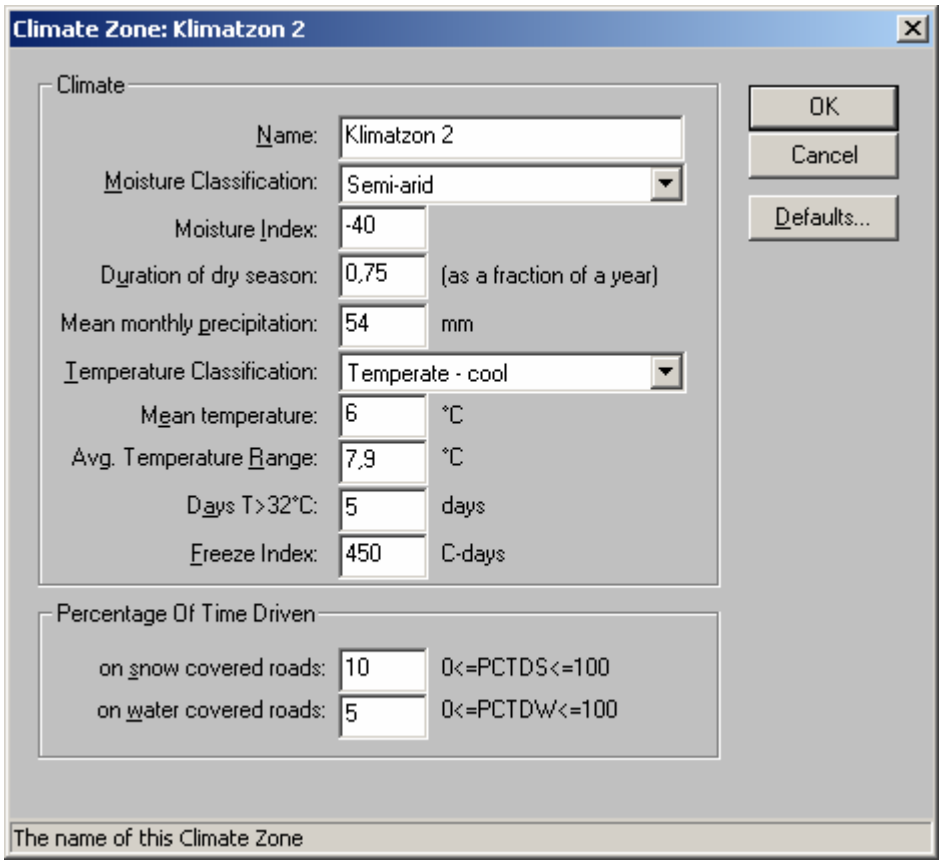
Följande ekvation används i HDM-4 för att beräkna SNP:

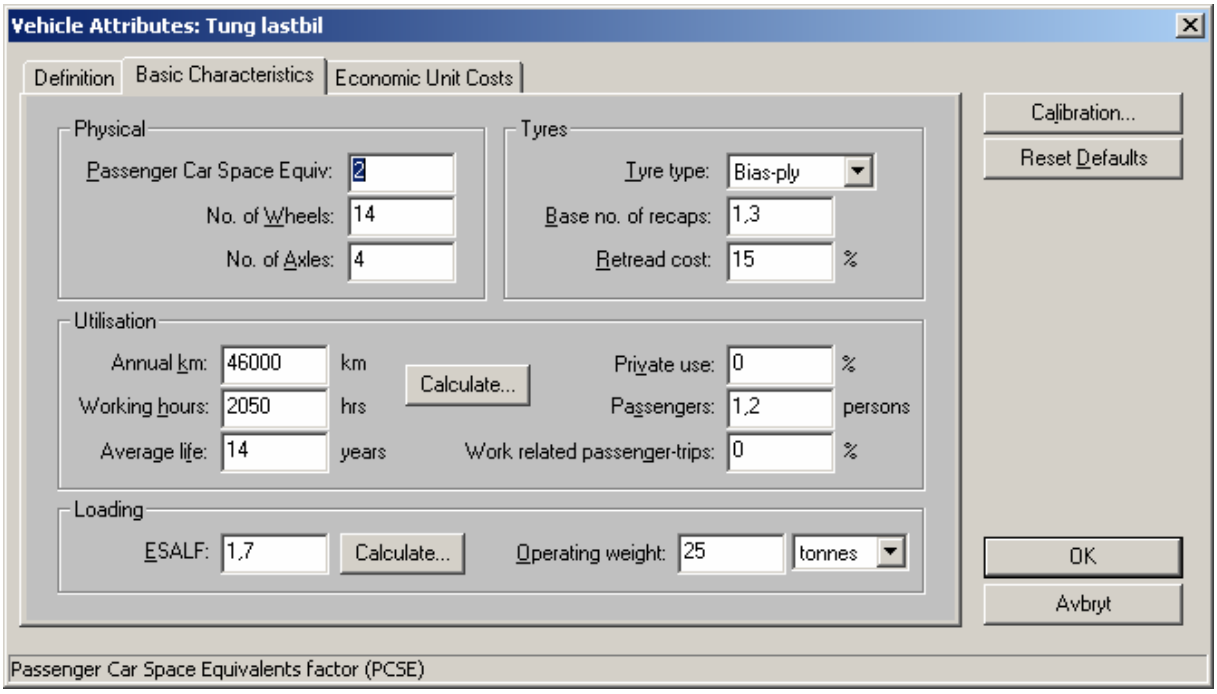
$SNP = 3.2*DEF^{-0.63}$

där DEF = nedsjunkningen i den centrala deflektionspunkten (mm)

De första RST-mätningarna på sträckan genomfördes 1991. IRI- och spårdjupsvärden från detta år har därför lagts in som initialvärden (se nedan). Startåret för beräkningarna i HDM-4 fick av denna anledning bli 1992. Texturdjup och friktion är defaultvärden.







ESALF (Equivalent Standard Axle Load Factor) definieras som det ekvivalenta antalet 8-tons singelaxlar med parmonterade hjul som skulle orsaka samma skada på vägen som fordonets verkliga axellast.

För beräkning av $ESALF_k$ för varje fordonstyp k, krävs information om antal axlar, axlarnas utformning (par- eller enkel monterade) samt viktfördelningen per axel. Vid beräkningen används den så kallade fjärdepotensregeln. Standardaxellasten är olika beroende på axelns utformning. För parmonterade hjul sätts den till 8,16 ton och för enkelmonterade till 6,6 ton.

VTI:a LTPP-data saknar dock information om den tunga trafikens uppdelning i fordonstyper, och därmed också detaljerad information om axlarna. Däremot finns uppgifter om antalet 10-tons standardaxlar med parmonterade hjul. Med hjälp av fjärdepotensregeln räknades dessa om till antalet 8-tons standardaxlar. ESALF erhölls sedan genom att dividera antalet 8-tons axlar med antalet tunga fordon enligt nedan.

$$N(8) = \left(\frac{10}{8}\right)^4 * N(10) = 2{,}44 * 401$$

$$ESALF = \frac{2{,}44 * 401}{590} = 1{,}7$$

Åtgärder

Åtgärder kan läggas in i HDM-4 antingen som schemalagda eller så att de aktiveras då vissa givna kriterier är uppfyllda (normalt gränsvärden som överskrids)

Åtgärd, i detta fall påförande av ett nytt slitlager av tät asfaltbetong, har lagts in i HDM-4 så att denna utförs då spårdjupet överskrider 12 mm.

Resultat

Tre olika körningar i HDM-4 har gjorts:

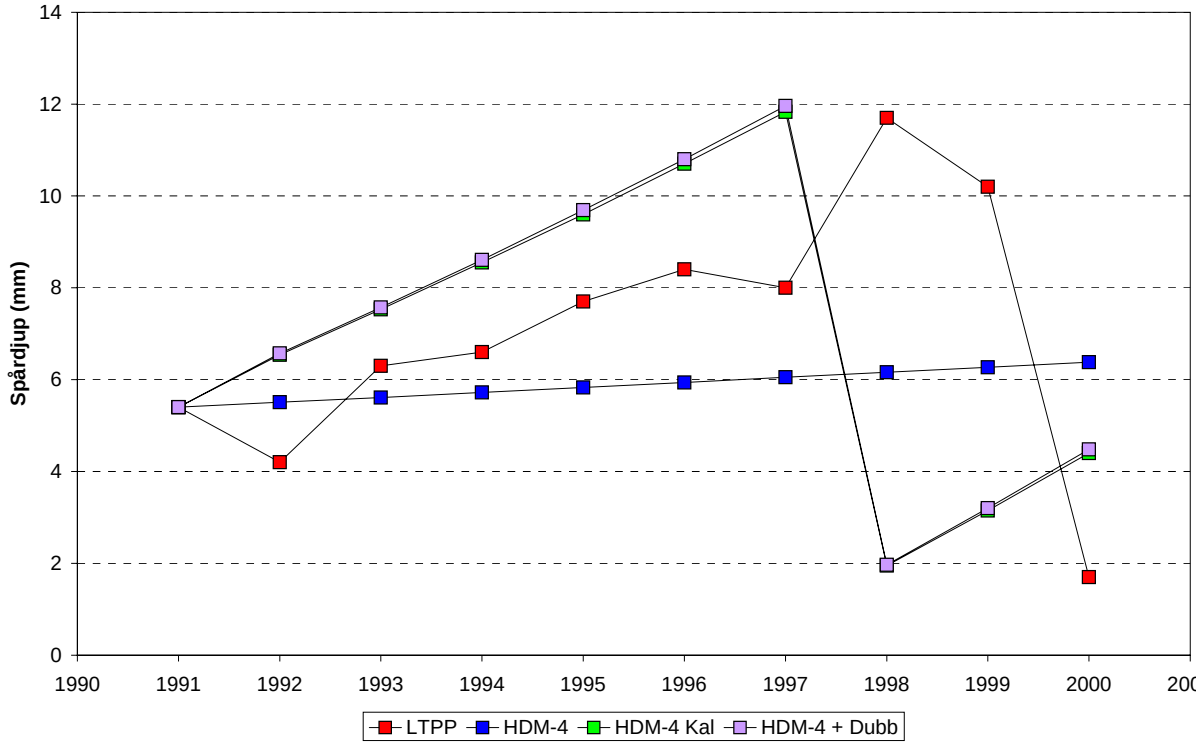
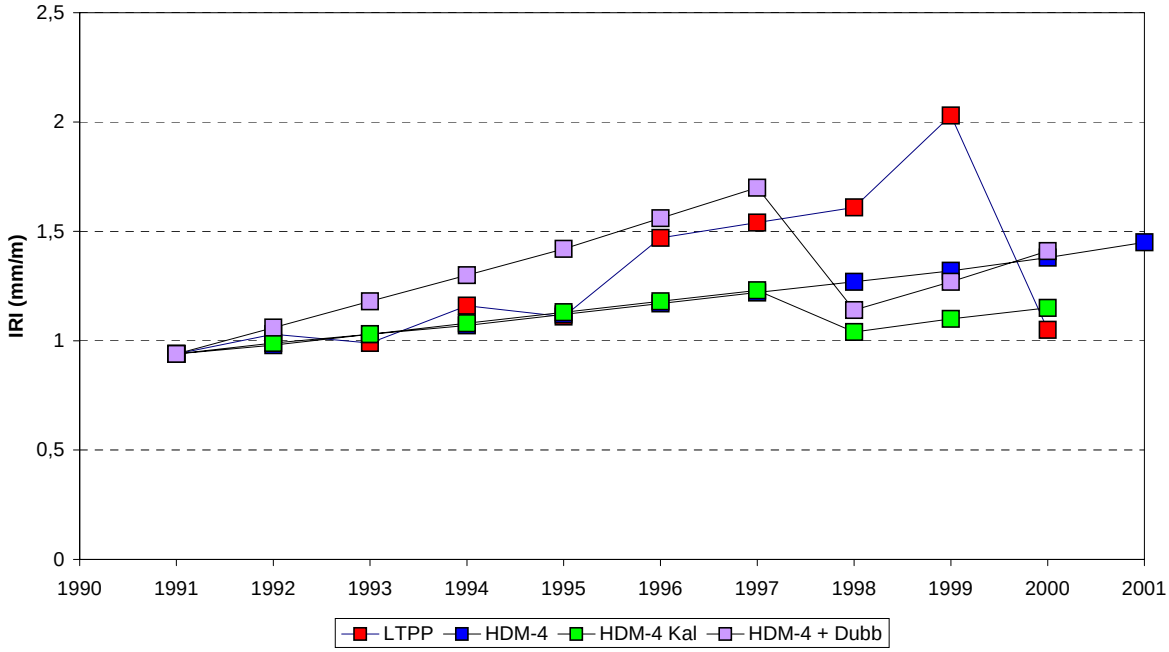
- Utan kalibrering och med dubbdäcksandel 0 % (default)
- Utan kalibrering, men med dubbdäcksandel 40 %
- Med kalibrering och med dubbdäcksandel 40 %.

I diagrammet nedan redovisas resultatet vad gäller spårdjupsutvecklingen på sträckan. De röda fyrkanterna visar uppmätta spårdjupsvärden. År 2000 genomförs en beläggningsåtgärd, vilket gör att spårdjupet har minskat kraftigt vid mätningen detta år. Vid mätningen som gjordes för åtgärd (redovisas ej) var spårdjupet 12,40 mm.

Det blå fyrkanterna är resultatet som erhålls med HDM-4 då ingen kalibrering av nedbrytningsmodellerna görs. Den långsamma spårdjupsutvecklingen beror främst på att dubbdäcksandelen är satt till 0 %, vilket är default-värdet.

Då dubbdäcksandelen sätts till 40 % blir spårdjupsutvecklingen betydligt snabbare. Samma resultat erhålls i stort oavsett om kalibrering gjorts eller ej. Den beräknade takten på spårdjupsutveckling blir högre än den uppmätta, vilket gör att beläggningsåtgärden kommer två år tidigare (1998 istället för 2000).

U-RV53-1



U-RV53_1