



Funktionsupphandling

Sammanfattning av kunskapsläge och rekommendationer för fortsatt forskning

Jan-Eric Nilsson
Anita Ihs
Leif Sjögren
Leif G Wiman
Lars-Göran Wågberg

Utgivare:  581 95 Linköping	Publikation: VTI rapport 560		
Författare: Jan-Eric Nilsson, Anita Ihs, Leif Sjögren, Leif G Wiman, Lars-Göran Wågberg	Utgivningsår: 2006	Projektnummer: 12132	Dnr: 2005/0776-21
Titel: Funktionsupphandling. Sammanfattning av kunskapsläge och rekommendationer för fortsatt forskning			
Referat (bakgrund, syfte, metod, resultat) max 200 ord: <p>Upphandling av funktion innebär att beställare och utförare ingår avtal om byggande och underhåll av en väg baserat på att trafikanterna får tillgång till preciserade tjänster, inte att vägen uppfyller ett antal tekniska egenskaper. VTI:s ledningsgrupp beslöt under våren 2005 att avsätta anslagsmedel för en kunskapsöversikt vad gäller upphandling av funktion. Arbetet har genomförts under hösten 2005 och under 2006 och resulterat i fyra olika bidrag som ingår i denna rapport.</p> <p>En viktig slutsats av genomgången är att det i vår omvärld finns en mängd kunskap inom området. Samtidigt visar det sig att det finns mycket få svenska exempel på denna avtalsform. Sverige har därför mycket att lära av erfarenheterna från andra länder, inte minst vad gäller de avtal baserade på funktionskrav som tecknats i Finland och i Norge. De internationella erfarenheterna indikerar att intresset för avtalsformen är betydande och ger argument för en fortsatt utveckling av formerna för att upphandla funktion.</p> <p>En andra slutsats är att vi i Sverige och på VTI besitter en mängd kunskap av direkt relevans för utvecklingen av effektiva funktionskontrakt. Denna kunskap måste emellertid ofta struktureras på ett annat sätt än vad som var syftet när tidigare analyser genomfördes. En fortsatt utveckling av formerna för funktionsupphandling innebär därför att kunskapen om dessa frågor måste anpassas och vidareutvecklas för den nya kontexten.</p>			
Nyckelord: Vägutformning, avtalsutformning, livslängd			
ISSN: 0347-6030	Språk: Svenska	Antal sidor: 96 + 2 bilagor	

Publisher:  SE-581 95 Linköping Sweden	Publication: VTI rapport 560		
	Published: 2006	Project code: 12132	Dnr: 2005/0776-21
	Project:		
Author: Jan-Eric Nilsson, Anita Ihs, Leif Sjögren, Leif G Wiman, Lars-Göran Wågberg	Sponsor: VTI:s appropriation		
Title: Performance contracting Summary of knowledge and recommendations for further research			
Abstract (background, aim, method, result) max 200 words: <p>The Swedish concept "procurement of function" corresponds to performance contracting in Anglo-Saxon countries. The substance is that principal and agent signs a contract over the construction and maintenance of a specific project based on the services provided to future users, i.e. based on performance of the asset. This is in contrast with contracting base on technical qualities of the new road. VTI has reserved funds to provide an overview of current knowledge in this context. Four separate contributions, together with a short summary, are included in this report.</p> <p>One conclusion is that the experiences of this contractual form are much larger in other countries than in Sweden. We therefore have a lot to learn, not least from our closest neighbours Finland and Norway. International experiences indicate a large and growing interest in this form of contracting and provides reason for further development.</p> <p>A second conclusion is that Sweden in general and VTI in particular has important information of direct relevance for the development of efficient performance contracts. This knowledge must, however, typically be structured and organised along other lines than when the original research was undertaken. The institute should therefore seek to adapt the collection of information of relevance for performance contracts so that it fits in to this new framework. This includes issues such as the measurement of road surface quality and assessment of the additional costs for providing better surface quality on the one hand and the user benefits of improved quality on the other.</p>			
Keywords: Road design, contract design, life cycle contract			
ISSN: 0347-6030	Language: Swedish	No. of pages: 96 + 2 App.	

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7

Rapport 1

Upphandling av nyinvesteringar med funktionskrav och utformning av funktionskontrakt

1	Inledning	11
2	Allokeringseffektivitet	13
2.1	Varför långa kontrakt?	13
2.2	Hur kan samhällsintresset hanteras i ett funktionskontrakt?	15
3	Kostnadsminimering	18
3.1	Dagens sätt att upphandla vägprojekt	18
3.2	Kostnader och risk	20
3.3	Funktionsentreprenad, fastpriskontrakt och dess alternativ	23
3.4	Ofullständiga kontrakt	25
4	Slutsatser	28
	Referenser	30

Rapport 2

Tema Funktion

Funktionella egenskaper hos vägytor, effekter, mått och mätmetoder

Sammanfattning	33	
1	Bakgrund	35
2	Tekniskt och funktionellt tillstånd, egenskaper och effekter för väghållare, trafikant och samhälle	36
2.1	Inledning	36
2.2	Nuvarande mått och mätmetoder	38
2.3	Generella krav på mått och mätmetoder	38
2.4	Mätaktörer	39
2.5	Beskrivning av mått och mätmetoder	40
3	Funktionellt tillstånd- effekter	45
3.1	Fordonskostnader	47
3.2	Restid	51
3.3	Trafiksäkerhet	52
3.4	Komfort	54
3.5	Miljö	56
4	Modeller och effektsamband	57
4.1	Fordonskostnader	57
4.2	Restid	59
4.3	Trafiksäkerhet	60
4.4	Komfort	62
4.5	Miljö	68

5	Slutsatser.....	70
	Referenser.....	72
	Utdrag ur ATB VÄG 2005 Kapitel A Gemensamma förutsättningar, s.14–19	

Rapport 3

Genomgång av kunskapsläget beträffande sambandet mellan teknisk nybyggnadsstandard och framtida underhållskostnader

1	Inledning	81
2	Syfte	81
3	Nedbrytningsmodeller.....	82
4	Samband mellan teknisk nybyggnadsstandard och framtida underhållskostnader.	83

Rapport 4

Svenska erfarenheter av upphandling med funktionskrav

1	Svenska erfarenheter av upphandling med funktionskrav	91
1.1	Omfattningen av funktionsupphandling.....	91
1.2	Olika typer av funktionsupphandling	91
1.3	Viktigt att tänka på vid funktionsupphandling	92
1.4	Funktionstidens längd.....	92
1.5	Krav på funktionsegenskaper	93
1.6	System för bonus och avdrag vid funktionsupphandling	93
1.7	Beställarens erfarenheter av funktionsupphandling	93
1.8	Utförarens erfarenheter av funktionsupphandling	93
1.9	Samspel mellan beställare och utförare.....	94
1.10	Viktigt att tänka på vid funktionsupphandling	94
1.11	Synpunkter på svenska funktionsupphandlingar.....	95

Kvalitetsgranskning

Ett granskningsseminarium genomfördes den 13 mars 2006 där Magnus Hjalmdahl, VTI, var lektor och med deltagande av Lage Niemann och Urban Hansson, Länsförsäkringar, Johnny Svedlund, Vägverket, samt Lars Hultkrantz, professor vid Örebro universitet. Justeringar av slutligt rapportmanus har genomförts under våren 2006 av Sara Arvidsson och Omar Bagdadi och godkänts för publicering av Jan-Eric Nilsson. Under våren har också rapportens tredje del, ”Smarta försäkringar ger färre olyckor” granskats av redaktörerna för Ekonomisk Debatt.

Quality review

Review seminar was held on March 13, 2006 with Magnus Hjalmdahl as examiner. Sara Arvidsson and Omar Bagdadi have made alterations to the final manuscript of the report. The report has been approved for publication by Jan-Eric Nilsson.

Funktionsupphandling

Sammanfattning av kunskapsläge och rekommendationer för fortsatt forskning

av Jan-Eric Nilsson, Anita Ihs, Leif Sjögren, Leif G Wiman och Lars-Göran Wågberg
VTI

581 95 Linköping

Sammanfattning

Upphandling av funktion innebär att beställare och utförare ingår avtal om byggande och underhåll av en väg baserat på att trafikanterna får tillgång till preciserade tjänster, inte att vägen uppfyller ett antal tekniska egenskaper. VTI:s ledningsgrupp beslöt under våren 2005 att avsätta anslagsmedel för en kunskapsöversikt vad gäller upphandling av funktion. Arbetet har genomförts under hösten–vintern–våren 2005/06 och har resulterat i fyra olika bidrag som ingår i denna rapport.

En viktig slutsats av genomgången är att det i vår omvärld finns en mängd kunskap inom detta område; samtidigt visar det sig att det finns mycket få svenska exempel på denna avtalsform. Sverige har därför mycket att lära av erfarenheterna från andra länder, inte minst vad gäller de avtal baserade på funktionskrav som tecknats i Finland och i Norge. De internationella erfarenheterna indikerar att intresset för avtalsformen är betydande och ger argument för en fortsatt utveckling av formerna för att upphandla funktion.

En andra slutsats är att vi i Sverige och på VTI besitter en mängd kunskap av direkt relevans för utvecklingen av effektiva funktionskontrakt. Denna kunskap måste emellertid ofta struktureras på ett annat sätt än vad som var syftet när tidigare analyser genomfördes. En fortsatt utveckling av formerna för funktionsupphandling innebär därför att kunskapen om dessa frågor måste anpassas och vidareutvecklas för den nya kontexten.

De frågeställningar där ytterligare arbete kommer att krävas kan sammanfattas på följande sätt:

- Ett funktionskontrakt måste med stor detaljeringsgrad precisera *vilka* funktionsparametrar som ska reglera utförarens uppdrag. Där diskuteras också med *vilken styrka* parametrarna ska påverka ersättningen. Slutligen måste verksamheten kunna *följas upp*, vilket förutsätter en utveckling av mätmetoder. Rapporten behandlar samtliga dessa frågor och identifierar en strategi för den ytterligare utveckling som behövs.
- Dagens förfarande innebär att beställaren tar ansvar för tekniska krav på byggande av ny infrastruktur och för hur, mera precist, arbetet med att underhålla vägen ska bedrivas. I rapporten visas med några enkla räkneexempel hur denna kunskap behöver vidareutvecklas. Det fortsatta utvecklingsarbetet på detta område måste bedrivas i nära samarbete med privata entreprenadföretag som kommer att få ikläda sig det ansvar som Vägverket tidigare haft på detta område.
- Båda dessa aspekter har också koppling till vägens tekniska livslängd och till den lämpliga varaktigheten för de avtal som ingås; de finska exemplen pekar på att avtal ingås för 21 år från och med det att en ny väg öppnas för trafik. Det saknas däremot kunskap om vilka parametrar som bör styra kontraktstidens längd.

- När ett funktionsavtal avslutas övergår vägen till att bli en del av det allmänna vägnätet. I litteraturen har det varit svårt att identifiera rekommendationer avseende vilka parametrar som ska styra kvalitetskontrollen vid överlämnandetidpunkten för att undvika att en defekt väg med omedelbara reinvesteringsbehov överlämnas.
- Formerna för den ersättning som utgår för entreprenörens uppdrag har visat sig ha mycket stor betydelse för vilka incitament till kostnadseffektivitet som byggs in i avtalet. Särskilt är det två förhållanden som kräver ytterligare överväganden:
 - Vilken risk ska bäras av beställare respektive utförare? Det finns en stor litteratur på detta område samtidigt som de empiriska observationer som görs i genomgången pekar på att dessa rekommendationer inte följs. Det finns emellertid skäl att klargöra om den faktiska hanteringen i själva verket innebär att de teoretiska rekommendationerna följs, men på ett relativt oväntat sätt.
 - De avtal som tecknas är ofullständiga, dvs. det finns en mängd förhållanden som inte regleras i kontrakt mellan beställare och utförare. Detta medför i sin tur risker för att utförarna försöker omförhandla avtalet på ett sätt som kan ge upphov till effektivitetsförluster. Det finns också uppslag på hur sådana risker skulle kunna hanteras, inte minst från de finska kontrakten, och den fortsatta forskningen bör analysera denna fråga.
- Inte bara Sverige utan också många andra länder använder idag kontrakt-konstruktioner av den art som här går under benämningen utförandeentreprenad. Genomgången har visat att sådana avtal är förenade med betydande problem, bl.a. i form av en otillräcklig produktivitetsutveckling. Det finns skäl att närmare analysera varför utförandeentreprenaden är så vanlig, inte minst för att kunna hantera sådana motiv i samband med argumentationen för en ny upphandlingsform.

Ett utkast till denna rapport har diskuterats i samband med ett granskningsseminarium i maj 2006, med ett betydande deltagande från Vägverket. Avsikten är att också redovisa erfarenheter i samband med Transportforum® 2007.

Performance contracting

Review of core components and recommendations for further research

by Jan-Eric Nilsson, Anita Ihs, Leif Sjögren, Leif G Wiman and Lars-Göran Wågberg
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

Performance contracting means that a principal (a representative for the public sector) and an agent (a commercial enterprise) sign a contract on the construction and maintenance of a road. The contract terms are based on that future users are given access to some specified services, not on the contractor fulfilling technical specifications; it is the performance of the asset over the contracting period that matters.

Based on funding from VTI's annual appropriation, the present report summarises the core features of performance contracts and makes recommendations for further research.

A first conclusion from the review is that a lot of knowledge has been accumulated around the world about this way of contracting. At the same time, domestic experiences are few. Sweden therefore has much to learn from experiences from other countries, not least from recent contracts signed in Finland and Norway. The international know-how indicates that the interest in this type of contract is extensive and provides complementary argument for developing the approach further.

A second conclusion is that Sweden in general and VTI in particular control a lot of know-how of relevance for performance contracting. This knowledge must, however, be further refined in order to make it relevant for use when a performance contract is to be designed. The subsequent research may therefore have to adjust the basic research issues to make answers relevant for this particular purpose.

Some of the issues that require further analysis can be summarised in the following way:

- A performance contract must be very precise with respect to which parameters that are to be included in the contract and with which strength the respective performance parameters shall be remunerating or punishing the contractor. There must furthermore be a development of ways and means to monitor performance, including the development of appropriate methods for measuring the assets' standard. The report reviews what, more precisely, should be measured and which further development that is required.
- Today's contracting means that the public sector principal takes responsibility for the technical specification of the asset to be built. Some simple numerical examples illustrate how this knowledge should be further developed. In particular, this work should be done in close cooperation with the entrepreneurs that will have to assume the responsibility for these technical features in the future.
- Further analyses are required to understand the way in which roads and structures deteriorate over time and the consequent appropriate length of the contract to be signed.

- An additional technical feature concerns the asset's standard at the point of time when it is to be handed over to the principal. Whenever in the future this will happen, it is imperative that the asset will not require major rehabilitation due to substandard maintenance over the last years of the contract. The task is therefore to develop an understanding at the point of time when the contract is signed about how such requirements can be formulated.
- The format of the remuneration to an entrepreneur signing a performance contract is of major importance for which incentives, more specifically, that are built into the contract. In particular two issues require further scrutiny:
 - Which risk should be born by principal and agent, respectively?
 - Which are the implications of that any actual contract is incomplete, i.e. does not account for all possible contingencies during the contracting period? Incomplete contracts provide an opening for renegotiating the (long) contract. What can be done to reduce the risk for ill-faith bidding and renegotiation, i.e. that the contractor tries to set up a situation which transfers the costs of inappropriate design features to the tax payers?

Rapport 1

Upphandling av nyinvesteringar med funktionskrav och utformning av funktionskontrakt¹

¹ Jag är tacksam för synpunkter på tidigare utkast från Bengt Jäderholm, Marianne Grauers och Nils Bruzelius. En betydande intellektuell tacksamhet bör också riktas mot det arbete som Nils Bruzelius genomfört genom åren kring funktionsupphandlingar. Frågan behandlas bland annat i Bruzelius (2004), i avsnitt 4 i Bruzelius (2006) samt i Nilsson et al. (2005) där avsnitt 8.2 baseras på Bruzelius bidrag. Torsten Grennberg är annars en av de personer som sedan länge argumenterat till förmån för en utveckling i riktning mot funktionsupphandling.

1 Inledning

Det finns idag ett betydande intresse för att kunna teckna avtal mellan beställare och utförare av infrastrukturprojekt baserat på funktionskrav. Övergången från traditionell utförandeentreprenad till funktionsbaserad upphandling omfattar närmare bestämt två centrala beståndsdelar.

1. Relationen mellan beställare och utförare förlängs och avslutas inte i och med att ett byggprojekt slutförts; vid färdigställandetidpunkten övergår relationen till att avse anläggningens skötsel under en längre tidsperiod. På så sätt ökar entreprenörens intresse för att överväga om det finns skäl att omprioritera kostnader mellan projektets investerings- och underhållsfaser.
2. I stället för att i detalj ange vilka åtgärder som ska utföras beskrivs i förfrågningsunderlag och det följande kontraktet vilka tjänster som den färdiga vägen ska tillhandahålla, dvs. dess funktion. Detta ger budgivarna och den blivande kontraktssinnehavaren motiv för att anpassa både utformningen av en ny anläggning och dess underhåll till trafikanternas och det omliggande samhällets behov.

Som kommer att framgå av den fortsatta framställningen finns det närmare bestämt tre syften med övergången till funktionsupphandling. Det första är att minska kostnaderna för en given verksamhet, dvs. vad som brukar kallas en förbättrad statisk effektivitet. Det andra är att öka innovationsbenägenheten i verksamheten och därmed att stärka den dynamiska effektiviteten. Ett tredje motiv är att skapa en ökad transparens i upphandlingarna, bland annat för att minska risken för att anläggningskostnaderna underskattas i ett tidigt skede av planeringsprocessen.

Genom att stärka utförarens incitament att leverera tjänster och produkter som tillgodoser beställarens önskemål om ett gott slutresultat, förskjuts fokus i beställningen av nya projekt; i stället för detaljbeskrivningar av *vad* som ska göras och *hur* detta ska ske, utformas förfrågningsunderlaget med fokus på *konsekvenserna* av ett uppdrag och den färdiga anläggningens *funktion*. Dessa förändringar hänger nära samman eftersom många funktioner kan avläsas först efter en viss tid och därför att somliga funktionskrav kan uppnås antingen med investering eller med underhåll eller med både och.

En konsekvens av övergången från traditionell upphandling till funktionsupphandling är att beställarens intresse för vägens tekniska egenskaper, såväl när den är ny som efter det att åren har gått, minskar radikalt. De tekniska och ekonomiska avvägningar som måste göras, exempelvis mellan stora investeringskostnader och små underhållskostnader eller vice versa, överläts åt utföraren. Beställarens ansvar avser i stället trafikanternas och det kringliggande samhällets värdering av vägens tjänster. Funktionsavtalet innebär därför en radikal omläggning av relationen mellan beställare och utförare. Den rollfördelning som etablerats under många års verksamhet kommer att förändras.

För att övergången ska vara möjlig att genomföra måste det finnas möjlighet att mäta anläggningens funktion och variationer i trafikanternas nytta när funktionen förändras över tiden, dvs. till följd av en åldrande tillgång. Man måste också skriva avtal på så lång tid att entreprenören verkligen får bära de ekonomiska konsekvenserna för framtida underhåll av besparingar i byggskedet, eller vice versa. Detta är enda sättet att säkerställa att den tjänst som efterfrågas av samhället verkligen levereras. De klausuler i avtalet som reglerar hur kontraktssinnehavaren ska ersättas för sina tjänster ska också

utformas på ett sätt som säkerställer att den produkt eller den funktion som beställaren efterfrågar verkligen levereras.

Avtalsutformningen är därför av central betydelse för att etablera fungerande upphandlingar av funktionsentreprenader. Syftet med detta PM är att närmare beskriva ett antal frågor som måste hanteras i utformningen av sådana kontrakt. Diskussionen hanterar två handlingsparametrar för beställaren: Dels valet av entreprenadform (utförandeentreprenad, totalentreprenad eller funktionsentreprenad), dels valet av ersättningsform (å-pris kontrakt, kontrakt med fast pris eller på löpande räkning). Avsikten är bland annat att klargöra i vilken utsträckning det finns färdiga principer för hur avtalen ska utformas respektive vilken ytterligare forskning som kan komma att krävas.

Inledningsvis behandlas frågan om hur det avtal som tecknas mellan beställare och utförare ska resultera i en effektiv allokering av samhällets resurser (avsnitt 2); hur ska, med andra ord, avtalet utformas för att utföraren ska fås att leverera de tjänster som maximerar samhällets nytta av den nya investeringen. Därefter diskuteras frågor som har att göra med kostnadseffektivitet (avsnitt 3), dvs. strävan efter att projektet byggs och underhålls till lägsta tänkbara samhällsekonomiska kostnad. Bland annat behandlas utformningen av utförarens ersättning för att balansera krav på kostnadseffektivitet mot det risktagande som ofta hänger samman med dessa incitament. Också kontraktens ofullständiga natur och vad som krävs för att motverka risken för framtida kostsamma omförhandlingar diskuteras.

Avsnitt 4 innehåller ett försök att sammanfatta vissa slutsatser av diskussionen. I bilaga A finns en redogörelse för ett finskt projekt där avtalet omfattar 20 år och där ersättningen villkorats på funktionella kriterier av den art som här är aktuella. Bilaga B innehåller en sammanfattning av rekommendationer från forskningslitteraturen med avseende på hur risker ska fördelas mellan parterna.

2 Allokerings effektivitet

Vi tänker oss en situation där en och samma utförare, efter en sedvanlig upphandlingsprocess, ges i uppdrag att ta hand om såväl nybyggnation som drift och underhåll av en ny väg under ett antal år. I avsnitt 2.1 diskuteras motiven bakom att på detta sätt utvidga entreprenadföretagets ansvar jämfört med den mera vanliga situationen med separata kontrakt för nybyggnation och drift och underhåll. Det avtal som skrivs mellan beställare och utförare måste formulera uppdraget på ett sätt som säkerställer att utföraren tar hänsyn till samhällets bredare intresse av de tjänster som ska levereras. Det är på detta sätt som man säkerställer att samhällets resurser används på rätt sätt, dvs. man skapar allokerings effektivitet. I avsnitt 2.2 utvecklas innebörden av detta uppdrag.²

2.1 Varför långa kontrakt?

Beslut som gäller *hur* en väg ska byggas och underhållas innehåller många komplexa överväganden. En sådan fråga handlar om vägens utformning med hänsyn till balansgången mellan investerings- och underhållskostnader. Man kan mycket förenklat tänka sig att byggherren har två grundläggande strategier att välja mellan: Endera bygger man en ”bra” ny väg. Detta blir dyrt, men leder å andra sidan till att de framtida underhållskostnaderna blir lägre. Alternativt bygger man en ”mindre bra” väg som blir billigare men där i stället de framtida underhållskostnaderna är högre.

Det finns givetvis en mängd lägen mellan ”bra” och ”mindre bra” eller mellan ”hög” och ”låg” standard, och man kan mycket förenklat beskriva beslutsfattarens problem med hjälp av uttryck (1). Uppgiften består alltså i att välja en vägutformning som minimerar de sammanlagda kostnaderna under projektets hela livslängd (C), från det att spadens först sätts i jorden (år 0) till dess att vägen ”tas ur bruk” (år n). Dessa kostnader består dels av de resurser som krävs under byggperioden (k_i), dels av kostnaderna för att ta hand om vägen efter det att den färdigställts, inklusive eventuella framtida rehabiliteringsåtgärder (c_i). I uttrycket är både bygg- och underhållskostnader beroende på vilken utformning eller design (d) man väljer, och man kan också tänka sig att såväl vägens utformning som de framtida driftkostnaderna beror på trafikmängden (t_i). r är diskonteringsräntan.

$$\text{Min } C = \sum_{i=0}^n \frac{k_i(d;t_i) + c_i(d;t_i)}{(1+r)^i} \quad (1)$$

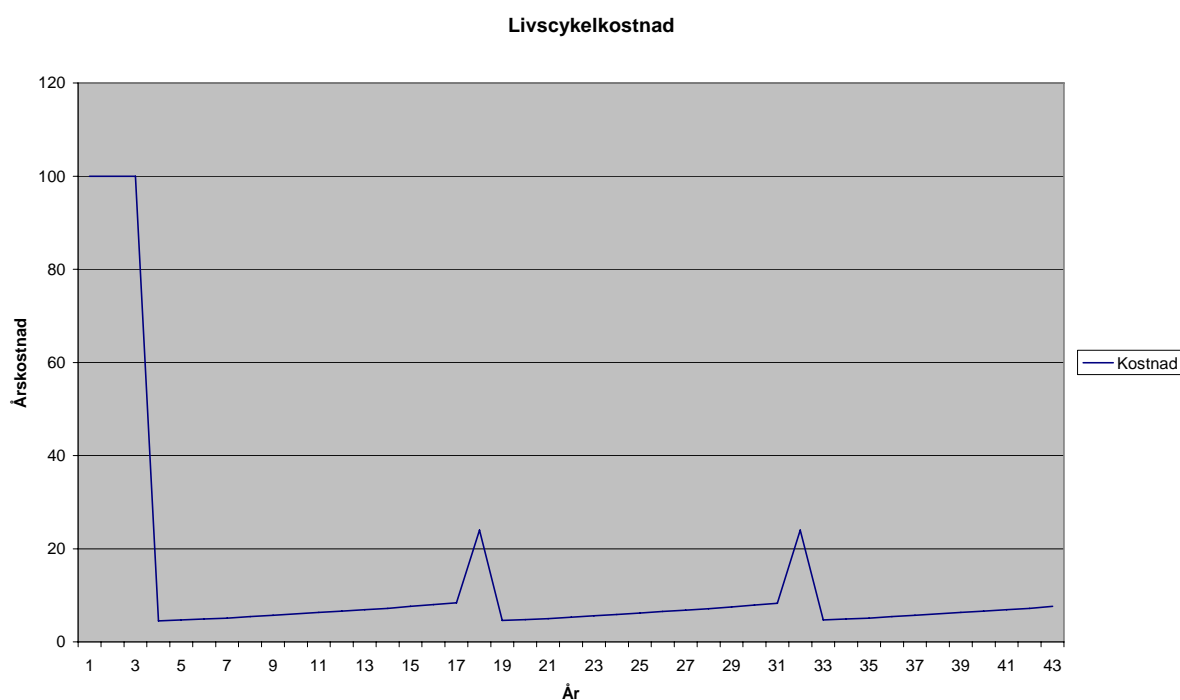
Figur 1 illustrerar hur kostnadsprofilen över livscykeln kan se ut. Figuren baseras på följande antaganden om parametervärden: Det tar tre år att bygga en ny väg och kostnaden är 100 per år, dvs. (nominellt) 300 totalt. När vägen öppnas för trafik år fyra är underhållskostnaden 1,5 % av investeringskostnaden; denna kostnadspost ökar med 5 % per år. År 17 antas underhållskostnaden ha ökat så mycket att en reinvestering (8 % av investeringskostnaden) genomförs. Ytterligare en reinvestering genomförs år 32. Vägen antas ”ta slut” efter 40 år, dvs. år 43.

² Man kan tänka sig att kontraktet också ger utföraren rätt att ta ut avgifter för att utnyttja den färdiga anläggningen, exempelvis på det sätt som sker på Öresundsbron. Denna situation kan i princip också analyseras inom ramen för det resonemang som förs i detta PM. Se vidare Nilsson (2006).

Det finns många exempel på hur, mera precist, balansgången mellan bygg- och driftkostnader kan hanteras. En tjockare beläggning eller en mera hållfast typ av sten i beläggningen är dyrare än den mindre tjocka beläggningen och den mindre hållfasta stenen. I gengäld torde den dyrare beläggningen hålla längre och kräva mindre löpande underhåll. På motsvarande sätt finns också en avvägning mellan mer eller mindre tjocka bärlager.

Motivet bakom att göra en och samma beslutsfattare ansvarig för dessa beslut är den interdependens som finns mellan bygg- och underhållskostnaderna. Ett syfte med funktionsupphandlingen är att byggherren, den som måste skaffa sig detaljkunskap om den plats där den nya anläggningen ska byggas, är bäst skickad att göra denna avvägning och som därför ska ta detta ansvar.

Avvägningarna kan leda fram till olika slutsatser vid olika tillfällen. När man har bestämt att en väg ska ha en viss standard (9 m bred, motorväg etc.) är det arbete som ska göras med att gräva bort ursprungligt material, bygga upp underliggande lager och lägga på bär- och slitlager relativt standardiserat. Däremot kan kostnaden för att göra jobbet variera mellan olika byggplatser, t.ex. därför att erforderligt byggmaterial finns olika långt från den plats där anläggningen ska byggas. Också detta är uppenbarligen en fråga som utföraren måste skaffa sig djupa kunskaper om. Utföraren kan därför välja att bygga vägen med olika standard beroende på var den är belägen.



Figur 1 Schematisk bild av vägens livscykelkostnad.

Detta betyder bland annat att de omfattande normer som idag existerar vad gäller en anläggnings utformning i princip bör tas bort. I stället får entreprenören göra de överväganden som krävs vid byggtidpunkten och vederbörande måste också ta konsekvenserna av sina beslut. En projektutformning som avviker från gällande praxis kan visa sig vara kostnadsbesparande, och innebär därför en betydande vinst för

utföraren som denne då får behålla.³ Också om den lösning som valts leder till högre kostnader än beräknat måste entreprenören stå för fiolerna, dvs. får hantera underskottet på det sätt som normalt sker på marknader.

Med ett kontrakt som täcker en längre tidsperiod säger man att externaliteten mellan bygg- och driftkostnad har internaliserats. Detta utgör huvudmotivet för den långa kontraktslängden.

En återstående fråga är hur, mera precist, balansgången mellan bygg- och underhållskostnader ser ut. Detta har varit föremål för särskilda kunskapsöversikter som redovisas som delar av denna rapport. En annan betydelsefull fråga handlar om livslängden på anläggningarna och i synnerhet om hur långa avtal som ska skrivas med tanke på de långa användningsperioder som väganläggningar har. Frågan om vägars (ekonomiska) livslängd hanteras i ett separat projekt medan vi i avsnitt 4 i korthet noterar behovet av en fördjupad diskussion om kontraktstidens längd.

2.2 Hur kan samhällsintresset hanteras i ett funktionskontrakt?

Ett avtal med entreprenören som ger denne rätt att minimera kostnaderna på det sätt som beskrivs av uttryck (1) skulle inte ge rätt incitament från ett samhällsperspektiv. Skälet är att entreprenörens strävan efter att hålla tillbaka sina kostnader kan få oönskade konsekvenser för dem som använder vägen och för samhället i allmänhet; allt för låga underhållskostnader kan medföra en otillräcklig kvalitet.

Man måste därför utforma ett avtal som får utföraren att minimera de sammanlagda kostnaderna för verksamheten som dessa sammanfattas i uttryck (2). N representerar här trafikmängden (antal fordon per årsmedeldygn etc.) medan q representerar vägens kvalitet, än så länge inte närmare definierad. c_u representerar kostnader för användarna (*users*). Ju högre standard som vägen har, desto mer behaglig är en resa och desto lägre är användarkostnaderna; $c_u^q < 0$ i uttryck (3) där superscript representerar partialderivatan med avseende på parametern.

c_3 syftar på motsvarande sätt på kostnaderna för "tredje man". Exempelvis kan kringboende störas av buller och dubbdäck kan slita loss partiklar från beläggningen som påverkar hälsan för de kringboende. Vi tänker oss att det är möjligt att bygga och underhålla vägen på ett sätt som begränsar dessa kostnader. Vissa beläggningar är hårdare än andra och släpper därför från sig färre partiklar; somliga beläggningar kan vara mindre bullrande än andra. Genom att spendera mer pengar på kvalitet i dessa avseenden kan man hålla nere kostnaderna för tredje person, dvs. $c_3^q < 0$ i uttryck (3).

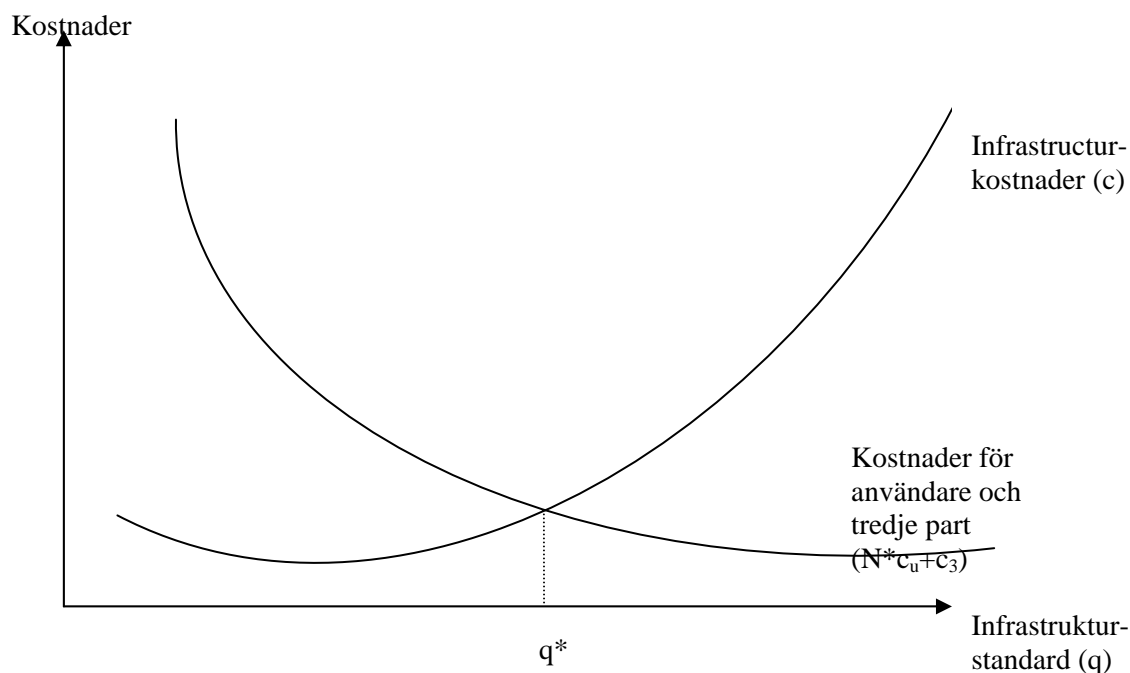
$$\text{Min}_q C = N * c_u(\hat{N}, q) + c_3(\hat{N}, q) + C_{cap}(\hat{N}, q) \quad (2)$$

$$\hat{N} * c_u^q + c_3^q + C^q = 0 \quad (3)$$

Kapacitetskostnaden (C_{cap}) syftar på de samlade kostnaderna för att bygga och underhålla anläggningen som dessa beskrevs i uttryck (1), dvs. $C_{cap}=k(q)+c(q)$. Byggekostnaderna ökar när man ger vägen en högre kvalitet eftersom en rakare och bredare väg kostar mer än en väg som följer terrängen och är smal. Och som vi varit inne på så är det dyrbart med en högre kvalitet hos beläggningen på samma sätt som bättre vintervägstandard höjer driftkostnaderna, osv; $k^q > 0$ och $c^q > 0$.

³ Med tillräcklig konkurrens vid upphandlingen kan beställaren dra nytta av dessa besparingar.

Målfunktionen i uttryck (2), och optimivillkoret i uttryck (3), identifierar därför den avvägning som måste göras för att säkerställa bästa tänkbara användning av samhällets resurser. En effektiv resursallokering, representerat av den optimala kvaliteten q^* i figur 2, förutsätter att användarnas och entreprenörens intressen balanseras mot varandra.



Figur 2 Balansgången mellan utförarens underhållskostnader och kostnaderna för användare och samhället i övrigt.

I en särskild rapport (Ihs & Sjögren, 2006) görs en genomgång av kunskapsläget vad gäller sambandet mellan vägstandard och effekter för trafikanter och samhället i övrigt. På basis av denna genomgång kan man identifiera vilka parametrar som bör ingå i avtalet, kunskapsläget vad gäller styrkan på sambandet mellan kvalitet och sådana kostnader respektive vilken information som behöver samlas in för att följa upp entreprenörens prestationer i dessa avseenden. Av genomgången framgår bland annat att huvuddelen av den information som krävs för att hantera sådana avtalsklausuler redan idag samlas in av Vägverket. Däremot kan det finnas anledning att bearbeta informationen på ett något annorlunda sätt än vad som sker idag.

Det avtal som skrivs mellan parterna ska alltså formulera villkor som ska vara uppfyllda för att entreprenören ska få (full) betalning för sina tjänster. Som framgår av ovanstående rapport, och som också visas i bilaga A vad gäller ett finskt projekt där avtalet skrivits på basis av en funktionsupphandling, måste dessa villkor bland annat omfatta följande punkter:

- **Tillgänglighet:** Syftet med en väg är att möjliggöra transporter. Beställarens ersättning till utföraren för en ny väg ska därför börja betalas först när en delsträcka eller en körbana öppnas för trafik. Dålig tillgänglighet beroende på underhållsåtgärder (underhållsbeläggning) eller otillräckligt vintervägsunderhåll ska också minska ersättningens storlek. Detta kan bland annat skapa incitament

för att utföra underhållet under lågtrafikperioder, dvs. under natten eller under delar av året med låga trafikflöden.

- **Vägytestandard:** Bekvämligheten hos en resa minskar ju mera ojämn en väg blir. Detta omfattar såväl tidsåtgången för en resa, åkkomforten och eventuellt också trafiksäkerheten.
- **Säkerhet:** Det finns andra vägegenskaper än ytstandarden som kan påverka trafiksäkerheten. Exempelvis kommer omfattningen av vinterunderhåll, byte av trasig belysning, målning av vägmarkeringar liksom underhåll av sidräcken och upprätthållande av siktsträcka på sidoområden att påverka olycksrisken.
- **Miljöhänsyn:** Som tidigare redovisats påverkas miljön av valet av beläggning, både med avseende på partikelsläpp och med avseende på buller.

Det finns anledning att betona att det inte räcker med att dessa parametrar hanteras i avtalet mellan beställare och utförare. Man måste dessutom utforma ersättningen med hänsyn till *styrkan* på sambandet mellan kvalitén (i vid bemärkelse) och trafikanteffekterna. Om storleken på den ersättning som utgår utformas på ett olämpligt sätt, är risken stor att den kostnadsminimerande operatören tillhandahåller vägtjänster av en annan – bättre eller sämre – standard än vad som är samhällsekonomiskt önskvärt. Man måste därför på ett träffsäkert sätt kunna premiera en entreprenör som tillgodoser högt ställda kvalitetskrav, respektive ge den som inte lyckas mindre betalt. Forskningsbehovet omfattar därför också en vidareutveckling av kunskapen om styrkan på dessa samband.⁴

⁴ Det är viktigt att observera att detta är i princip samma samband som ligger till grund för de samhällsekonomiska lönsamhetsbedömningar som görs innan beslut fattas om att ett projekt ska genomföras eller inte. Vägverket har – delvis baserat på forskning utförd av VTI – omfattande kunskaper inom detta område. Världsbankens Highway Development Manual (HDM IV) är en annan källa för sådan kunskap.

3 Kostnadsminimering

I det här avsnittet tänker vi oss en vanlig upphandlingssituation där ett antal företag lämnar anbud för att utföra det arbete som specificerats av beställaren enligt de resonemang som förts i avsnitt 2. Uppdraget kommer att gå till den anbudsgivare som erbjuder sig göra arbetet till lägst kostnad. Syftet är att diskutera hur ersättningen för detta uppdrag ska betalas ut, och hur man i det kontrakt som skrivs måste formulera ersättningsvillkor.

Vi börjar med att i avsnitt 3.1 ge en kort beskrivning av hur avtal i anläggningsbranschen traditionellt har utformats. Avsnitt 3.2 behandlar riskbegreppet i samband med byggande av nya vägar medan vi i avsnitt 3.3 diskuterar fastpriskontrakt och kontrakt på löpande räkning liksom vissa andra sätt att utforma ersättningen. Slutligen behandlas i avsnitt 3.4 det faktum att de kontrakt som skrivs är ofullständiga och vilka konsekvenser detta kan få i ett långt tidsperspektiv.

3.1 Dagens sätt att upphandla vägprojekt

För närvarande är utförande- eller generalentreprenaden⁵ det vanligaste sättet att skriva avtal mellan beställare och utförare av projekt i anläggningsbranschen. En upphandling som leder fram till en utförandeentreprenad innebär att man går genom följande steg:

1. Beställaren beskriver *vad* som ska göras och *hur* detta ska gå till. Med hjälp av *hur*-beskrivningen görs också en bedömning av vilka *volymer* som kommer att krävas, dvs. massförflyttningar, arbetstimmar etc.
2. Utförarna lämnar sina anbud i form av *á-priser* som kan räknas om till totalkostnader med stöd av de beräknade volymerna
3. Beställaren ger uppdraget till den utförare som lämnat bäst bud, vanligtvis lägst pris
4. Beställaren följer upp utförda volymer arbete för att kunna betala för faktiskt utförda prestationer upp till det avtalade takbeloppet.

Man köper med andra ord *input* för att få en verksamhet utförd. Ett vanligt sätt i den ekonomiska litteraturen för att beskriva denna upphandlingsform är att karaktärisera anbuden i termer av priset för kapital (p_k) respektive priset på arbetskraft (p_l). Genom att multiplicera dessa anbud med den av beställaren fastställda mängden input – kapital (K) och arbetskraft (L) – kan man räkna fram vilken budgivare som lämnat bud på den lägsta totalkostnaden (TC).

$$p_k * K + p_l * L = TC$$

Denna entreprenadform kan ha fördelar i riskhänseende. Eftersom beställaren beskriver precis vilka arbetsmoment som ska utföras och i vilken omfattning är det också beställaren som får ta konsekvenserna av felaktigheter i arbetsbeskrivningen, exempelvis av att volymerna blir större än beräknat. Detta kan vara positivt i synnerhet vad

⁵ Den exakta definitionen av innebörden av dessa båda begrepp tycks variera något, beroende på källa. För det ändamål som här är aktuellt används begreppen som synonyma.

gäller projektrisker som inte kan påverkas av utföraren. Ett exempel är geotekniska förhållanden eftersom ingen – vare sig beställare eller någon av de tänkbara utförarna – i förväg vet mer än någon annan om hur berggrunden egentligen är. Även om en mera grundlig geoteknisk undersökning kan minska osäkerheten går det inte att eliminera den med mindre än att hela den aktuella sträckan undersöks i detalj.

När Vägverket eller Banverket är beställare så är man normalt mycket större än också stora entreprenadföretag. Därmed har man också en stor verksamhetsportfölj där det finns många olika projekt med olika stora risker. Detta talar för att det är samhälls-ekonomiskt motiverat att låta (den store) beställaren bära sådan risk. Argumentet är egentligen av samma art som när försäkringsbolag hanterar den risk som många olika försäkringstagare löper att råka ut för olyckliga omständigheter, men där kostnaden för detta kan delas på hela försäkringskollektivet.

En annan tänkbar fördel med utförandeentreprenaden är att beställaren, tack vare möjligheten att på eget bevåg dela uppdraget i mindre delar, kan välja vad man ska upphandla respektive vad man ska göra själv. På så sätt kan beställaren tillhandahålla viktiga insatsprodukter, exempelvis bitumen eller sten för beläggningar etc. Detta kan i vissa situationer ge kostnadsbesparingar, exempelvis om den store köparen får volymrabatter.

Här tar de tänkbara fördelarna med utförandeentreprenaden stopp. Som vi återkommer till i nästa avsnitt finns det sällan skäl att lägga *all* risk på beställaren. I synnerhet finns det skäl att överväga om utföraren inte bör ta ansvar för den risk som är möjligt att påverka under genomförandefasen. Det handlar framför allt om oväntade problem som skulle kunna hanteras genom att anpassa verksamheten, att hitta konstruktiva lösningar på svårigheter som uppstår. Utförandeentreprenaden blockerar denna möjlighet genom att man redan i upphandlingsunderlaget har bestämt hur ett arbete ska utföras.

Av samma skäl har utföraren också svaga incitament att vidareutveckla tillvägagångssättet för uppdraget. Man ska då ha i minnet att utförarens vinst ligger i volymen: Om man får 900 kr per maskintimme för en verksamhet så gäller det att få maskinen att jobba så många timmar som möjligt, upp till det i kontraktet fastställda takbeloppet. Effektiviseringar som leder till att man inte kan fakturera takbeloppet är inte önskvärda. I själva verket har utföraren all anledning att i stället identifiera arbetsuppgifter *utöver* vad man från början har reglerat i arbetsbeskrivningen. Högre volymer ger högre vinst. Strävan efter att få tilläggsbeställningar – där man inte sällan kan bygga in en större vinstmarginal – kan i själva verket innebära att det tänkta takbeloppet blir ett golv! Ett för utföraren riktigt lönsamt projekt kan bero på att kompetent personal redan under anbudsskedet inser att det finns svagheter i förfrågningsunderlaget och har möjligheter att utnyttja en sådan insikt i det anbud som lämnas.

Detta innebär också att incitamenten till teknisk utveckling i branschen blir svaga om man allt för mycket förlitar sig på utförandeentreprenader. Sannolikt är detta problem relativt begränsat när det gäller utvecklingen av produktions*medel*. Ett vägbyggnadsprojekt i Sverige är likt motsvarande projekt någon annan stans i Europa, eller för den delen var som helst i världen. I den utsträckning som nya lastbilar eller specialutrustning utvecklas för en marknad så kommer entreprenörer också på de andra marknaderna att kunna dra nytta av detta.

Däremot finns det större anledning till oro för såväl produktions*metoder* som produktutveckling, två begrepp som när det gäller vägbyggnad inte är alldeles lätta att hålla isär. Eftersom beställaren i detalj avgör hur ett arbete ska utföras har utföraren mycket begränsade möjligheter att använda sin kreativitet. Spontanitet och uppfinnings-

rikedom får stå tillbaka till förmån för förmågan att läsa kontrakt och hålla reda på sina rättigheter och skyldigheter. Det blir svårt att vidareutveckla logistiken, att löpande anpassa verksamheten till de specifika förhållanden som gäller vid varje arbetsplats, att söka nya former för industriell produktion av konstbyggnader, osv.

Dessa problem kan ytterligare accentueras av de gränsdragningsproblem som uppstår om beställaren själv tar hand om delar av projekten, om stora projekt delas upp i flera mindre delar eller om beställaren förser utföraren med stora volymer insatsprodukter. Vems är felet om den färdiga vägen inte uppfyller beställarens krav; är det den som tillhandahöll materiel, den som konstruerade otydliga gränser mellan delprojekt eller den som gjorde jobbet? Det kan lätt bli advokaternas schlaraffenland att i efterhand reda ut vem som är ansvarig för vad i det avslutande projektet.

En annan administrativ kostnad uppstår därför att utförandeentreprenaden förutsätter att beställaren följer upp de volymer arbete som utförs. Eftersom entreprenören har intresse av att redovisa stora volymer och utföraren av att hålla tillbaka volymerna så måste man säkerställa en uppföljning som båda parter kan leva med. Detta är långt ifrån gratis.

Det kan avslutningsvis finnas skäl att notera att inte bara Sverige utan också många andra länder använder kontraktkonstruktioner av den art som här går under benämningen utförandeentreprenad. Trots de problem som konstruktionen medför har man valt att genomföra kontrakt enligt denna mall, och det kan finnas skäl att genomföra en djupare analys av motiven för detta.

3.2 Kostnader och risk

Med risk avses varje osäker men kvantifierbar konsekvens av ett projekt, oavsett om man syftar på projektkostnaden eller dess nytta. Avsikten är att i detta avsnitt skapa en fördjupad förståelse av risker i samband med vägbyggnation; i avsnitt 3.3 återkommer vi till slutsatser gällande hur risken kan fördelas mellan beställaren och utföraren.

Den givna definitionen innebär att risk kan kvantifieras. Det är i förväg, innan ett projekt påbörjas, möjligt att bedöma hur stor kostnaden beräknas bli under olika omständigheter liksom hur troligt varje sådant utfall är. *Osäkerhet* är ett bredare begrepp som också inkluderar kostnader som inte kan beräknas eller där man saknar möjlighet att avgöra hur stor sannolikheten är för olika utfall.

Omvandlingen av en vag osäkerhet till en precis risk är i själva verket en förutsättning för att privata företag ska kunna ingå ett avtal med en offentlig beställare. En osäkerhet som inte går att precisera skulle i princip kunna innebära mycket stora variationer i kostnadsutfallet och därmed i företagets ekonomiska resultat, något som inte är förenligt med kommersiell verksamhet. Detta betyder inte att riskberäkningen nödvändigtvis måste vara formellt precis, och man måste inte kunna räkna fram sannolikheten för olika utfall. Däremot behöver den som ska lämna ett anbud ha någon form av erfarenhet för att conceptualisera hur stor osäkerheten är.⁶

Grennberg & Olsson (1996) pekar på innebörden av att en ny väg diskuteras och planeras under ett antal år innan dess att ett investeringsbeslut fattas. Utgångspunkten för en sådan process är ett trafikproblem i form av trängsel, lång restid, hög olycksrisk etc. I ett relativt tidigt skede tar man normalt ställning till i vilken terrängkorridor den nya vägen ska dras, dess typsektion (bredd etc.) osv. Ett principbeslut om att

⁶ Se Riess & Vällilä (2005) som utvecklar detta argument.

investeringen ska genomföras följs av en detaljprojektering där den exakta linjeföringen läggs fast och där ett förfrågningsunderlag arbetas fram som bland annat innehåller specifikation av massförflyttningar och de arbetsinsatser som krävs; detta utgör kärnan i den utförandeentreprenad som beskrevs i avsnitt 3.1. Någonstans i denna del av processen påbörjas också den inlösen av fastigheter som eventuellt krävs för att genomföra projektet. Efter slutförd upphandling påbörjas arbetet med investeringen.

De uppskattningar som görs av kostnaderna för ett vägprojekt blir successivt bättre under processens gång. En annan aspekt på denna process är att en tidig genomlysning av den lämpliga balansen mellan investerings- och framtida underhållskostnader, på det sätt som diskuterades i avsnitt 2.1, ger förutsättningar för att fastställa den lämpligaste tekniska lösningen. En tredje aspekt på processen är att ju mer resurser man lägger på förstudier, desto bättre precision finns i de kostnadsbedömningar som görs. Osäkerheten om kostnaderna för det arbete som ska utföras, dvs. risken, blir därför successivt allt mindre ju bättre förberedelsearbete som görs. Omvänt betyder detta att möjligheterna att påverka utformningen av, och kostnaderna för ett investeringsprojekt avtar under förberedelsetidens gång.

Det finns flera olika sätt att klassificera risken i vägprojekt. En sådan distinktion kan göras mellan genomförandet av ett projekt, det framtida utnyttjandet av ett färdigt projekt respektive de institutionella förutsättningarna för det avtal som tecknas mellan beställare och utförare.

Genomförandefasen omfattar byggandet av en väg med eventuella trafikplatser, en tunnel, en bro eller någon annan konstbyggnad. Varje sådan produkt är i sig relativt enkel att specificera i tekniska termer. Lika fullt kan utfallet av verksamheten variera av en mängd skäl.

I samband med tunnelbyggen kan det visa sig att berggrunden är sämre än vad man ursprungligen trott, med konsekvenser för byggtid och -kostnader; tunneln genom Hallandsås ger syn för sägen. Vädret kan påverka förutsättningarna för själva konstruktionsperioden genom att mycket regn eller en hård vinter gör det svårt att följa tidplanen och vädret kan också få konsekvenser för kvaliteten hos den färdiga anläggningen. Det kan visa sig att delar av konstruktionen är rent felaktig, exempelvis på det sätt som skedde då Ölandsbron måste renoveras på grund av felaktig kvalitet på den betong som använts.

Risker som har att göra med framtida utnyttjande är framför allt kopplade till att trafiken blir större än vad man tänkt sig. Detta kan i sin tur ge upphov till oväntat höga underhållskostnader vilket kan slå på verksamhetsresultatet. De framtida underhållskostnaderna kan också avvika från den ursprungliga beräkningen beroende på att investeringens kvalitet visar sig vara otillräcklig.

Den tredje kategorin av riskfaktorer har koppling till regelverken kring vägnas användning, eller mera allmänt till institutionella faktorer. Nya regler om dubbdäckanvändning, eller att dubbar *inte* får användas, kan påverka underhållskostnaderna och den relativa betydelsen av yt slitage i förhållande till komprimering av underbyggnaden. Också ändrade bestämmelser av miljöskäl, som den diskussion som förts kring användning av vägsalt eller av saltets kemiska struktur, kommer att kunna påverka de framtida underhållskostnaderna. Generellt kan man också konstatera att den planerade livslängden är av betydelse; ju längre tid som en anläggning byggs för, desto fler förändringar kan inträffa och desto större är osäkerheten om hur vägens fysiska standard kommer att utvecklas i framtiden.

Det är också sannolikt att samhällets syn på vägstandard kommer att förändras under de långa kontraktperioder som kan vara aktuella. Det är svårt att vid avtalstillfället bedöma vad detta kan komma att innebära för den framtida verksamheten. Däremot kan det finnas skäl att tänka igenom hur avtal utformas med tanke på de framtida förändringar som kan inträffa.

En annan distinktion som ofta görs är den mellan interna och externa risker. Om det är möjligt för en utförare att påverka sannolikheten för det ena eller det andra projektutfallet pratar man om intern projektrisk medan företeelser som är omöjliga att påverka är externa.

Men det kan vara svårt att dra några slutsatser utifrån denna distinktion. Väder och vind är uppenbarligen företeelser som ingen, vare sig beställare eller utförare, kan påverka och är därmed en extern risk. Lika fullt har entreprenören ofta möjlighet att utforma projekt på ett sätt som minskar beroendet av extrema vädersituationer. Man kanske kan bygga in en arbetsplats som annars vore utsatt för dåligt väder; man kan ordna dräneringen mer eller mindre bra och så vidare.

En annan extern risk, där en utförare normalt har små förutsättningar att gardera sig för negativa utfall, är förknippad med den framtida trafikutvecklingen. Ju snabbare trafiken ökar, desto högre blir de (framtida) underhållskostnaderna; om utföraren underskattat trafikökningen kan detta leda till oväntat höga kostnader, som denne måste ta höjd för i sitt anbud.

Utförarens möjligheter att påverka projektutfallet omfattar närmare bestämt följande typer av aktiviteter:

- Åtgärder för att eliminera källan till risk. Brandskyddsåtgärder (t.ex. att förbjuda förvaring av lättantändliga vätskor på vissa platser) eller utformningen av tunnlar med hänsyn till risken för olyckor är två exempel; skalskydd vid flygplatser för att minska risken för terrorattacker är ett tredje.
- Åtgärder för att minska risken för ett dåligt utfall. Fyrrar i farleder och väl underhållna vägmarkeringar gör att färre olyckor inträffar.
- Åtgärder för att begränsa konsekvenserna av dåliga utfall. Påkörningsskydd vid broar i tungt trafikerade farleder eller väl dimensionerade bropelare är exempel på åtgärder för att begränsa skadekonsekvenserna om olyckan är framme. En god dränering som leder bort vatten vid ogynnsamma väderomständigheter kan vara ett annat.
- Överförande av kostnadskonsekvenserna av ett dåligt utfall till en tredje part genom att teckna någon form av försäkring. Sådana försäkringar tecknas ofta i samband med fastighetsprojekt.

En utförare kan alltså på olika sätt minska risken för negativa verksamhetsutfall. Men åtgärderna leder normalt inte till att hela risken tas bort. Riskreducerande åtgärder är också kostsamma, något som illustreras av ovanstående uppräknings. En utförare kräver därför alltid kompensation för att hantera risk. Detta kan innebära att man vill ha ersättning för de kostnader som genomförs för att minska risken. Ersättningen kan också tas ut genom att i anbudet "ta höjd" för ett eventuellt negativt utfall. Man låter kanske en negativ riskrealisering utgöra utgångspunkten för beräkningen av anbudet, och gör då ett betydande överskott om utfallet blir relativt gott. Risk kan med andra ord reduceras och riskkostnaden kan fås att minska men detta innebär sällan eller aldrig att osäkerheten i sig försvinner.

3.3 Funktionsentreprenad, fastpriskontrakt och dess alternativ

En funktionsupphandling utgår från ett av beställaren preciserat antal önskvärda egenskaper hos den färdiga anläggningen, på det sätt som beskrevs i avsnitt 2.2. Syftet är att i detta avsnitt diskutera hur ersättningen för ett kontrakt definierat i funktions-termer ska betalas ut. I synnerhet är avsikten att klargöra hur ersättningens utformning har betydelse för vilken av parterna som kommer att bära kostnaden för den risk som är förenad med projektet.

Det är viktigt att komma ihåg att dessa risker *inte* har att göra med (positiva eller negativa) avvikelser från de funktionskrav som preciserades i avsnitt 2.2. I stället fokuseras den kostnad som är förenad med avvikelser från verksamhetens totalkostnad: Är det beställaren eller utföraren som ska bära kostnadsöverskridanden? I vilken utsträckning ska avtalet parterna emellan omfatta samtliga delar av ett projekt eller bara vissa delar av det?

Vi tänker oss närmare bestämt att olika anbudsgivare gör en bedömning av sina kostnader för att bygga och underhålla en väg under den tidsperiod kontraktet avser. I uttryck (4) är B det bud som lämnas (av det företag som vinner en upphandling), baserat på företagets kostnadsbedömning (TC) som definierades i uttryck (1).

$$B = f(TC) \tag{4}$$

Den vanligaste ersättningsformen är att utföraren får en fast betalning baserad på det anbud som lämnas. Om anbudet är ett nuvärde som avser en lång avtalsperiod finns en detaljerad specifikation av utbetalningarna över åren i det avtal som skrivs. Ett sådant fastprisavtal har två viktiga egenskaper:

- Entreprenören ges maximal anledning att anstränga sig för att minimera sina kostnader, givet de villkor som formuleras i avtalet. Skälet är att varje inbesparad nettokrona förbättrar resultatet för den som fått kontraktet; man säger att entreprenören är *residual claimant*.
- Entreprenören får bära all risk. Varje kostnadsökning som beror på oförutsedda händelser jämfört med vad den tänkta situation som låg till grund för det lämnade anbudet måste bäras av den som gör jobbet; ersättningen är given, en gång för alla.

Ett alternativ till fastpriskontrakt är att skriva ett avtal som betalar ut ersättning på löpande räkning. Entreprenören bär då ingen risk men har inte heller anledning att anstränga sig mer än vad som är absolut nödvändigt. Kontrakt med fast pris respektive löpande räkning är därför två extremtyper av ersättningsformer.

En mellanform är det som i litteraturen går under beteckningen incitamentskontrakt.⁷ Man utgår då från det anbud som lämnas (B i uttryck 4 ovan) och kostnadsavvikelser från detta belopp delas mellan parterna. Kostnadsdelningen kan anta alla värden mellan noll (=ersättning på löpande räkning) och ett (=fastpriskontrakt). Om parametervärdet

⁷ Begreppet incitamentskontrakt används ofta för att karaktärisera samtliga former av avtal som inbegriper någon form av villkor för ersättningen. Här är vi enbart intresserade av den definition som används i den ekonomiska litteraturen och som utgör kärnan för en stor del av de teoretiska analyser som finns av dessa frågor.

skulle vara 0,5 delar beställare och utförare lika på över- och underskridanden. Anta till exempel att $B=100$ men att det faktiska utfallet är 80 eller 120. I det första fallet får utföraren en ersättning om 90 medan ersättningen i det andra fallet är 110. Incitamenten finns kvar men är svagare än med ett fastprisavtal, samtidigt som också risktagandet är mindre.⁸

Det finns en omfattande litteratur som analyserar det lämpliga värdet på kostnadsdelningsparametern, dvs. för att avgöra hur mycket osäkerhet som ska ligga på beställare respektive utförare. Appendix B sammanfattar presentationen av dessa resultat i Milgrom & Roberts (1992); en annan sammanfattning finns i Bolton & Dewatripont (2005); särskilt avsnitt 4.7. Följande rekommendationer lämnas:

- Ju mer värdefull ”produkt”, desto mera betydelsefullt är det att få utföraren att anstränga sig, allt annat lika. Det är, med andra ord, särskilt viktigt att få utföraren att anstränga sig ju större och kostsammare åtgärder som regleras i ett avtal medan det inte är meningsfullt att åstadkomma hög grad av kostnadseffektivitet om resultatet är av begränsad betydelse
- Om företaget har små problem att bära risk bör man välja en utformning som ligger nära fastprisavtal. Detta kan tala för att göra en åtskillnad mellan stora och små företag genom att lägga en större del av risken om man skriver avtal med stora företag
- Ju svårare det är att i förväg bedöma osäkerheten i de kostnadsskattningar som görs, desto svagare incitament till kostnadseffektivitet ska ges. Det är med andra ord överflödigt att förmå entreprenören att anstränga sig mycket om det är svårt att skilja mellan bra och dåliga prestationer
- Incitamenten ska vara starka när entreprenören har möjligt att svara på incitamenten, vilket betyder att ju mer kontroll vederbörande har över uppdragets utformning, desto skarpare incitament kan användas. Detta kan i sig motivera att ge funktionsavtal ett större inslag av fastprisersättning än de utförandeentreprenader som diskuterades i avsnitt 3.1.

Det finns mycket få praktiska exempel på incitamentsavtal med denna konstruktion. En slutsats är att det finns skäl att närmare studera förutsättningarna för sådana avtal i anläggningsbranschen.

Men en annan slutsats, eller kanske snarare en hypotes, är att de teoretiska rekommendationerna i praktiken tar sig en annan form än genom att materialiseras i en viss kostnadsdelningsparameter. Man kan således notera att det finns många exempel på att vissa delar av kostnadsmassan särbehandlas i avtalet och att ersättningen för dessa tar sig speciella former. Exempelvis utgår huvuddelen av ersättningen i det finska avtal som beskrivs i bilaga A som en fast betalning per dag eller år som vägen hålls öppen.⁹ Därutöver finns en klausul som garanterar utföraren en *extra* ersättning om det i framtiden skulle visa sig att trafiken växer snabbare än beräknat. På detta sätt befrias utföraren från den risk som hänger samman med en oväntat hög trafiktillväxt, en faktor som är svår för denne att påverka och som det också kan vara svårt att i planeringen av en ny anläggning gardera sig mot.

⁸ Laffont & Tirole (1993) är den klassiska referensen till dessa resonemang.

⁹ Man kan också få bonus på, eller avdrag från denna ersättning beroende på tjänstens kvalitet (vägytans jämnhet, trafiksäkerheten etc.), men detta är av mindre betydelse för vårt nuvarande resonemang.

Ett annat exempel, som är vanligt i flertalet kontrakt, är att man reglerar ersättningens storlek mot något kostnadsindex. Detta är ett sätt att flytta över osäkerheten om den generella prisnivåutvecklingen från utföraren till beställaren, och att därmed eliminera den risk som skulle ligga i ett fastprisanbud som avser flera år.

Med denna tolkning finns det mycket som talar för att man för projekt upphandlade med funktionskrav betalar ut en i avtalet angiven ersättning som ett fast belopp. I den utsträckning som det finns delar av kostnadsmassan som det i förväg är särskilt svårt att beräkna eller att gardera sig mot kan detta hanteras genom olika typer av klausuler som isolerar utföraren från sådan risk. Särskilt vanligt är att detta avser kostnader kopplade till trafikutvecklingen.¹⁰

3.4 Ofullständiga kontrakt

Ett fullständigt kontrakt reglerar på ett heltäckande sätt de kontraktslutande parternas åtaganden under alla tänkbara framtida situationer. Så snart som någon av parterna bryter sitt åtagande är det också möjligt för den andre att gå till domstol för att utkräva sin rätt. Det finns därför inga förutsättningar för något annat än att båda lever upp till de föranstalningar som görs i kontraktet; konflikter behöver aldrig uppstå.

Det är emellertid omöjligt eller åtminstone extremt dyrt att ingå kontrakt som är heltäckande i denna bemärkelse. De kontrakt som tecknas är därför *ofullständiga*. När saker inträffar som inte förutsetts i avtalet, normalt i form av omständigheter som gör det dyrare än planerat att genomföra verksamheten, måste parterna hantera detta efter hand som de uppstår. Man måste med utgångspunkt från kontraktets andemening försöka förhålla sig till de nya omständigheterna och fördela kostnaderna mellan sig.

De många ärenden från anläggningsbranschen som avgörs i domstol eller i skiljedomsförfarande indikerar att det kan vara svårt att komma överens. Man talar om att ofullständiga kontrakt öppnar dörren för *opportunistiskt beteende*, dvs. att när en oplanerad situation uppstår så kan var och en försöka tolka allt till sin egen fördel. Det kan till och med vara möjligt för någon av parterna att helt hoppa av överenskommelsen, med hänvisning till förhållanden som inte reglerats i det ursprungliga avtalet. Särskilt bekymmersamma är dessa förhållanden i samband med att betydande summor har låsts i investeringar med begränsad andrahandsmarknad.

Den ekonomiska litteraturen kring ofullständiga kontrakt handlar i begränsad utsträckning om hur ersättning ska utgå beroende på vad som händer, eller om valet mellan kontrakt med fast pris eller löpande räkning. Uppmärksamheten riktas i stället mot frågor som har att göra med fördelningen av kontroll mellan parterna, exempelvis för att i det ofullständiga kontraktet slå fast vem som har tolkningsföreträde i olika situationer. Litteraturen kommer på så sätt också att handla om vem som *äger* den aktuella tillgången och som på så sätt har rätten att utöva den slutliga kontrollen över hur man förfogar över tillgången i kraft av sin äganderätt (Bolton & Dewatripont, 2005, avsnitt 1.6).

¹⁰ Det finns nu en diskussion om att de engelska PPP-projekt som under 1990-talet utformades som skuggtullar i framtiden kommer att hanteras med fastpriskontrakt. Man kan tolka detta i termer av de resonemang som här förts: Eftersom entreprenören har svårt att påverka trafikens omfattning är det olämpligt att göra dennes intäkter beroende av faktisk trafikutveckling. I stället flyttar man över (eller tillbaka) kostnaden för en osäker trafikutveckling på beställaren, dvs. vägmyndigheten, som kommer att få betala samma årliga ersättning oavsett antal fordon.

Litteraturen på området är svår att överblicka och dess relevans för dessa upphandlingsfrågor är inte uppenbar. Det finns emellertid en uppenbar koppling som mycket väl illustreras av det finska funktionskontrakt som beskrivs i appendix A.

Betalningen av ersättning från beställare till utförare uppgår där till €9 000 per dag. Beloppets storlek villkoras på om vägen är tillgänglig eller inte, och det kan bli större eller mindre om entreprenören levererar en produkt som är bättre eller sämre än vad som fastställs som norm. Det väsentliga från vårt nuvarande perspektiv är emellertid att samma ersättning utgår varje dag under samtliga år som kontraktet omfattar, från det att den första körbanan öppnas för trafik till dess att avtalet avslutas 21 år efter färdigställandetidpunkten.

Innebörden av denna avtalskonstruktion är bland annat att entreprenören lånar upp pengar som återbetalas under hela kontraktperioden i stället för då vägen färdigställs. Kontraktsinnehavaren fungerar som en bank för väghållaren. Detta är givetvis inte gratis, utan entreprenören måste få ersättning för denna prestation. Sannolikt är den ränta som en privat låntagare måste betala högre än vad staten i form av vägmyndigheten hade behövt betala, eftersom statens kreditvärdighet är större än företagets. Samtidigt sitter företaget med ett säkert kontrakt, vilket innebär att risken för långivarna inte behöver vara särskilt stor. Den extra riskpremien i räntan kanske därför är relativt begränsad.

Med utgångspunkt från diskussionen kring ofullständiga kontrakt kan man notera att avtalssituationen kan tolkas som att entreprenören är ägare till vägen till dess att kontraktperioden upphör. Under årens lopp kommer den ursprungliga skulden att kunna betalas med den kontrakterade ersättningen från vägmyndigheten. I denna ersättning ligger också företagets vinst från såväl den inledande byggperioden – där ofta upp till 80 procent av livslängdskostnaden ligger – som från de kommande årens driftverksamhet. Vinsten realiserar därför successivt under den långa kontraktperioden.

Detta kan ha betydelse för entreprenörens agerande. Anta till exempel att underhållskostnaden relativt snart blir högre än vad som beräknades när anbudet lämnades, och anta också – tvärt emot vad som nu beskrivits – att ersättningen för själva vägbygget betalas ut omedelbart efter det att vägen byggts färdigt. Den allt för höga underhållskostnaden innebär då att verksamheten kan gå med underskott, och entreprenören kan försöka få avtalet omförhandlat för att öka sin ersättning. Alternativet kan vara att gå i konkurs.

Vi kan nu jämföra de två scenarierna. I ena fallet kommer ersättningen (och därmed vinsten) att betalas ut under hela kontraktperioden. Entreprenörens intresse för att avbryta kontraktet är då mindre än om en betydande del av ersättningen har betalats ut i samband med att vägen byggts färdig.

Denna jämförelse gör det också uppenbart att budgivarna har större anledning att vara noggranna med sina kostnadsberäkningar i de fall man också fungerar som projektfinansiärer. Till yttermera visso får man starka skäl att inte lämna ”strategiska underbud”. I standardscenariot kan man således tänka sig en budgivare som vinner på ett anbud med hårt pressade byggkostnader. Företaget i fråga kan, i extremfallet, vara medvetet om att konsekvensen blir höga framtida underhållskostnader. Man låter emellertid bli att ta höjd för detta i anbudet *i förhoppning om att man kan omförhandla det framtida avtalet*. Detta blir svårare att klara av med finansieringsscenariot.

Exemplet illustrerar hur variationer i ägande kan användas för att skärpa incitamenten till kostnadshållning i ett långt anläggningskontrakt. Man kan sannolikt generalisera

detta till att omfatta också andra aspekter av äganderätter etc. i detta sammanhang. Ett exempel är att en stor entreprenör inte sällan skapar ett speciellt företag som äger det kontrakt som ingås för denna typ av stora projekt. Särskilt betydelsefullt är detta när flera parter ingår i ett konsortium. Detta är ett sätt att begränsa ägarnas risktagande, dvs. man riskerar endast det aktiekapital som binds i den företagskonstruktion som i slutänden skriver avtal med beställaren.

På motsvarande sätt kan det finnas resonemang kring om en byggherre några år efter det att ett byggprojekt slutförts säljer detsamma vidare till någon annan part som kommer att bedriva verksamheten, exempelvis på det sätt som skett för Arlandabanan. På så sätt får man olika specialister som har hand om verksamheten under bygg- respektive driftfasen. För ett lyckat utfall måste man emellertid ha tillgång till driftexpertis redan i anbudsskedet för att inte ”räkna bort sig” när driften sedermera påbörjas.

4 Slutsatser

Genomgången har fokuserat det kontrakt som reglerar mellanhavandet mellan beställare och utförare. Med utgångspunkt från en principiell struktur på detta avtal har ett antal frågor som kräver ytterligare analys identifierats. Syftet är att avslutningsvis lyfta fram dessa kvarstående frågeställningar.

I en separat uppsats (Ihs & Sjögren) hanteras frågan om vilka parametrar ska ingå i avtalet mellan beställare och utförare för att säkerställa att vederbörlig hänsyn tas till produktkvaliteten för väganvändarna. Där diskuteras också med vilken styrka parametrarna ska påverka ersättningen. Detta är en central frågeställning i själva utformningen av det funktionsuppdrag som ges till en entreprenör.

I en annan uppsats (Wiman) behandlas sambandet mellan den ursprungliga investeringskostnaden och de framtida kostnaderna för drift och underhåll. Detta är i princip en fråga som man kan överlåta till den entreprenör som får ett kontrakt att hantera. Det är likväl en grundläggande balansgång i projektutformningen som därmed etableras. Sambandet har också betydelse för hur långa tidsperioder funktionskontrakten ska omfatta och utgör en central beslutsparameter för de anbud som entreprenören lämnar.

En betydande kraft har i detta PM riktats mot att diskutera risk i samband med vägbyggande och -underhåll. Ett uppföljande arbete bör närmare granska dessa risker; kartlägga vilka riskerna är, mera precist; identifiera om och i så fall hur de kan påverkas; och också diskutera hur stor osäkerheten för respektive riskkomponent är i förhållande till kontraktstorleken.

Med utgångspunkt från en sådan fördjupad kunskap finns det också anledning att åter studera litteraturen på området för att identifiera lämpliga sätt att i avtalet fördela riskerna mellan beställare och utförare. Detta torde vara särskilt betydelsefullt med tanke på att dagens avtalsform – utförandentreprenaden – mer eller mindre med automatik innebär att beställaren bär mycket av risken. Ju större del av risken som man överväger att flytta över på beställaren, desto större eftertanke krävs för att utforma de nya avtalen.

Frågor kring kontraktens ofullständighet bör också studeras närmare. Syftet bör därvid vara att undersöka vilka oförutsedda händelser som kan inträffa under en ”lång” avtalsperiod och vad dessa händelser kan innebära för avtalets utformning. Det finns också skäl att analysera den refererade finska modellen för ersättning under projektets hela livslängd.

En annan kvarstående fråga handlar om projektens funktion och i synnerhet strukturella egenskaper vid kontraktperiodens slut. Uppgiften torde här delvis vara av teknisk natur; går det att utveckla mätmetoder som mäter vägens standar i detta avseende och är tillvägagångssättet tillräckligt robust för att hålla i en rättslig prövning långt fram i tiden? Utan ett säkert svar på dessa frågor kan det bli svårt att säkerställa en acceptabel underhållsstandard mot slutet av en kontraktperiod.

Frågeställningen är i sin tur nära kopplad till anläggningarnas livslängd och till valet av hur många år ett avtal ska omfatta. ”Långa” kontrakt är att föredra för att få entreprenören att internalisera konsekvenserna av sina byggbeslut, men finns det argument mot att göra avtalet ”för långa”. Det kan finnas anledning att hantera denna fråga genom ett försöksförfarande där man låter olika kontrakt omfatta olika långa avtalsperioder för att på så sätt undersöka konsekvenserna av denna beslutsparameter.

Det kan avslutningsvis finnas skäl att notera att inte bara Sverige utan också många andra länder använder kontraktskonstruktioner av den art som här går under benämningen utförandeentreprenad. Trots de problem som konstruktionen medför har man valt att genomföra kontrakt enligt denna mall, och det kan finnas skäl att genomföra en djupare analys av motiven för detta.

Referenser

- Bolton, P. & M. Dewatripont (2005). *Contract Theory*. The MIT Press.
- Bruzelius, N. (2004). The Pricing of Outputs and Traffic in Performance-based Contracts. PM tillgängligt på http://www.vti.se/templates/Project____3373.aspx
- Bruzelius, N. (2006). *Väghållning på ny väg*. Lunds Universitet, Institutet för Ekonomisk Forskning.
- Grennberg, T. & U. Olsson (1996). Restvärdebedömning vid avlämnandebesiktningen. Teknisk rapport 1996:04 T, Tekniska Högskolan i Luleå, Avdelningen för anläggningsproduktionsteknik.
- HDM IV
- Laffont, J-J. & J. Tirole (1993). *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*. The MIT Press.
- Milgrom, P. & J. Roberts (1992). *Economics, Organisation & Management*. Prentice Hall.
- Nilsson, J-E., M. Bergman, R. Pyddoke (2005). *Den svåra beställarrollen*. Om konkurrensutsättning och upphandling I offentlig sektor. SNS förlag.
- Nilsson, J-E. (2006). Designing Public-Private Contracts for the Efficient Provision of Infrastructure Services. Draft working paper, VTI.
- Riess, A. & T. Vällilä (2005). Editors introduction. In European Investment Bank (2005). Innovative financing of infrastructure – the role of public-private partnerships: Infrastructure, economic growth, and the economics of PPPs. EIB Papers Volume 10. n°1/2005.
- Vägverkets beräkningshandledning.

E 18, avsnittet Muurla – Lohjanharju i Finland

Den finska vägmyndigheten, Finnra, har upphandlat ett ca 50 km långt avsnitt av E 18 mellan Muurla och Lohjanharju på sträckan Helsingfors – Lahtis i form av ett funktionsavtal. I motorvägsprojektet ingår sju tunnlar med en sammanlagd längd om ca fem km, åtta trafikplatser och 49 broar. Syftet med denna bilaga är att sammanfatta huvuddelarna vad avser funktionskontraktet i denna upphandling.

A1. Valet av utförare

I början av 2005 bjöd Finnra in ett antal företag eller konsortier att lämna anbud på projektet. Det vinnande budet offentliggjordes i mitten av hösten. Utgångspunkten var att projektet ska vara färdigt i sin helhet i december 2010. Entreprenören har därefter ett åtagande om att underhålla vägen under 21 år efter denna tidpunkt.

Som i alla upphandlingsprojekt utgör det ekonomiska anbudet, dvs. den samlade kostnaden för den verksamheten som ingår i projektet, en avgörande parameter för val av utförare. Denna kostnad utgörs av nuvärdet av samtliga investerings- och underhållskostnader under bygg- och driftperioden.

Utöver det offererade priset avgjordes valet av utförare också av andra parametrar:

- Projektorganisation och om det finns erfarenheter av andra likartade projekt att redovisa
- Preliminär plan för genomförande av byggfas liksom av det framtida underhållet
- Plan för kvalitetssäkring
- Plan för hantering av tekniska och produktionsrelaterade störningar och problem
- Anbudsgivarens finansiella situation.

Det tycks som om dessa parametrar maximalt kan påverka jämförelsepriset med 10 procent, dvs. det ekonomiska anbudet är ojämförligt mest betydelsefullt för att välja utförare. Vi kommer inte att här beskriva detta viktningförfarande ytterligare.

A2. Utbetalning av ersättning

Den utförare som lämnat det lägsta anbudet enligt ovan kommer att årligen ersättas för sitt arbete. Ersättningen utgör i realiteten en betalning dels för den ursprungliga investeringen, dels för de årliga drift- och underhållskostnaderna. Detta innebär att entreprenören står för upplåningen av erforderligt kapital och att den årliga ersättningen också måste inkludera en ersättning för dennes räntekostnader.

I det avtal som tecknas mellan beställare och utförare fastställs en årlig ersättning (*Annual Gross Service Payment*) som också räknas om till en dagsersättning (*Daily Gross Payment*). För de fortsatta räkneexemplen antas att ersättningen uppgår till €9 000 per dag.

En särskild klausul reglerar en årlig indexuppräknings av ersättningens storlek. Detta innebär att beställaren bär risken för såväl generella prisnivåstegringar som de strukturella förändringar av kostnadsnivån som kan inträffa för olika komponenter i kostnadsmassan under löptiden för ett 21-årigt avtal.

Utbetalningen varierar emellertid i tre avseenden som i det följande kommer att beskrivas närmare: Dels utgår inte hela ersättningen under byggperioden (avsnitt A2.1), dels kommer ersättningen att villkoras mot att vägen verkligen finns tillgänglig på avsett sätt (A2.2) och dels kan ersättningen justeras beroende på vägens faktiska standard (A2.3).

A2.1 Ersättning under byggperioden

Byggprojektet delas in i två faser som utgör ett "första" och ett "andra" vägvsnitt. För varje avsnitt görs en skillnad mellan när vägvsnittet öppnas för trafik respektive när avsnittet i sin helhet är färdigt. Av förfrågningsunderlaget framgår att Finnra förutsätter att fas 1 öppnas för trafik den 15 november 2008 och fas 2 den 15 november 2009. Ersättningen varierar dessutom mellan fem olika betalningsperioder på det sätt som framgår av figur 1.

Under betalningsperiod A inleds byggverksamheten och ingen ersättning betalas. Perioden avslutas med att projektets fas 1 öppnas för trafik. En ersättning om 35 procent av dagersättningen betalas ut under period B. När fas 1 är helt färdigställd ökar ersättningen per dag till 40 procent av dagersättningen (period C). På motsvarande sätt kommer trafiköppningen av fas 2 att innebära att dagersättningen utgör 95 procent av totalsumman medan dagersättningen i sin helhet utgår från det att fas 2 färdigställts. Period E motsvaras därefter av en och samma dagersättning – med nedan beskrivna avvikelser – fram till kontraktperiodens slut.

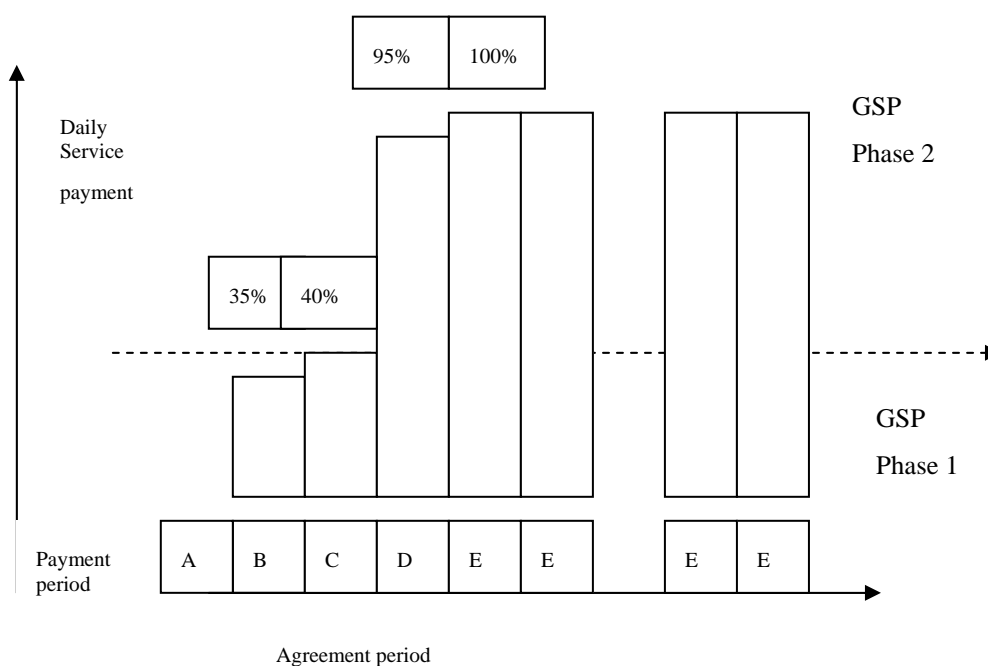
Tanken bakom den successivt stigande ersättningsnivån är att anbudsgivaren – med utgångspunkt från av Finnra angiven färdigställandetidpunkt för projektet som helhet – lägger upp en tidplan för perioderna A – F. Man kan på detta sätt koppla utbetalningar till att vägen verkligen finns tillgänglig för trafik och fokuserar entreprenörernas uppmärksamhet på detta förhållande.

Förutom denna grundläggande struktur på ersättningen utgår en bonus respektive ett avdrag om den faktiska öppningstidpunkten avviker från den planerade. Entreprenören får € 000 per dag som öppnandetidpunkten för fas 1 kan tidigareläggas, och man får en minskad ersättning med samma belopp om öppnandetidpunkten senareläggs. Med tidigare angivna dagersättning betyder detta att man vid trafiköppning enligt plan får $(0,35 * 59\ 000=)$ ca. €21 000. Bonusen för tidig, respektive straffet för försenat öppnande, innebär därför att dagersättningen kan öka respektive minska med nästan 30 procent. Den dagliga bonusen för tidigare- eller senareläggning av trafiköppning av fas 2 är €16 000. Ersättningen varierar då med $(16\ 000/59\ 000=)$ 27 procent per dag.

Från och med det att vägen är färdigbyggd uppgår alltså ersättningen till €59 000 per dag. Beloppet är emellertid beroende av vägen verkligen är *tillgänglig* och av dess *standard*. Beräkningen av dessa justeringar av ersättningen beskrivs i det följande.

Betalningsperiod

A	Tillstånd att använda fas 1
B	Färdigställande av fas 1
C	Tillstånd att använda fas 2
D	Färdigställande av fas 2
E	Underhållsperiod



A2.2 Tillgänglighet

Med tillgänglighet avses att vägen kan användas på avsett sätt, dvs. att trafiken kan bedrivas utan hastighetsnedsättningar eller andra former av restriktioner. Om vägen inte hålls tillgänglig beräknas ett avdrag vars storlek beror på nedanstående fyra parametrar. Man kan notera att nedsatt tillgänglighet till följd av trafikolyckor inte innebär någon minskning av ersättningsnivån; inte heller tillfälliga hastighetsnedsättningar till följd av besvärliga väderförhållanden medför avdrag.

- Otillgänglighetsfaktor (U)
- Faktor för att korrigera för tidpunkt då störningen inträffar (TP)
- Trafikmängd (T)
- Availability deduction unit (ADU).

I tabell A1 finns en sammanställning av vad Finnra menar med att vägen inte är tillgänglig liksom av hur stor omräkningsfaktor som används. Man kan notera att en avstängning av ett sidokörfält (*shoulder*) på en sträcka av åtminstone 500 m innebär att dagersättningen minskar med 10 procent (händelse C). Om avstängningen avser en

sträcka på ytterligare 5 km multipliceras faktorn med 2 och för varje ytterligare sträcka om 5 km som är avstängd ökar multiplikatorn med ytterligare 1. Om 20 km av sidofältet är avstängt uppgår därför multiplikatorn till 4 och entreprenörens ersättning är bara 60 procent av den ordinarie utbetalningen. Händelse K innebär att hela körbanan i en riktning stängs av och trafiken leds – via en av- och påfart – över på en parallell väg; ersättningen uppgår då bara till 30 procent av det normala.

Tabell 2 visar att avdragets storlek är beroende av när under dygnet som en störning inträffar; ju större trafik, desto större avdrag. Konkret betyder detta att avstängningar nattetid inte innebär reducerad ersättning. Detta ger entreprenören incitament att bedriva underhållsverksamhet som påverkar framkomligheten under natten.

Beräkningen utgår från att dygnet består av 12 tvåtimmarsperioder. För respektive fysisk del av vägen finns en definition av hur varje tvåtimmarsperiod klassificeras beroende på om det är en period med hög trafikbelastning (kategori A), medelbelastning (C) och låg belastning (C). Tabell 3 visar hur denna uppdelning av dygnet ser ut för en av sträckorna. Tabell 4 visar dessutom att framkomlighetsnedsättningar på en trekilometerssträcka ”straffas” dubbelt så högt som på övriga delar av vägen, sannolikt därför att trafikflödet är högre på denna del av vägen.

Avdragets storlek erhålls alltså genom att multiplicera de fyra värdena med varandra. Anta till exempel att en störning av typ G i tabell 1 inträffar. Detta renderar en minskning av ersättningen med faktorn 0,35. Om störningen pågår under ett helt dygn får entreprenören därför $(0,35 * 59\ 000 =)$ €38 350 i ersättning. Om störningen inträffar två timmar i normaltrafik (kategori B i tabell 2) måste man räkna om dagersättningen till en ersättning per tvåtimmarsperiod, dvs. $(59\ 000/12 =)$ €4 900. Avdraget är två gånger detta belopp (tabell 2), dvs. €9 800 och betalningen för denna dags ”produktion av vägtjänster” uppgår till knappt €50 000.

A2.3 Underhållsstandard

Syftet med en väg är inte bara att säkerställa att trafikanterna ska kunna ta sig fram. Detta måste också kunna ske på ett säkert och komfortabelt sätt och så att störningarna av trafiken för det omgivande samhället är så små som möjliga. Den ersättning som betalas ut villkoras därför med att vägen uppfyller rimliga krav i dessa avseenden, dvs. om vägens standard är sämre än vad som Finnra bedömer som rimligt så kommer den dagliga ersättningen att reduceras. Detta ger entreprenören anledning att göra noggranna bedömningar av vilka underhållsåtgärder som ska genomföras, dvs. att göra en bedömning av högre och lägre insatser av underhållsåtgärder kompenseras av lägre och högre vägstandard och därmed följande konsekvenser för ersättningens storlek.

I tabell 5 görs en uppräknin g av de parametrar som kan leda fram till minskningar av dagersättningen vad gäller kvalitén på periodiskt underhåll och rutinunderhåll, dvs. ungefär drift och underhåll av en väg. En detaljerad beskrivning av hur stora avdrag som görs finns i Appendix 2, dokumentet ”E 18 Muurla – Lohja Service Agreement Payment Mechanisms”.

A2.4 Kompensation för snabb trafik tillväxt

Underhållskostnader beror dels på tidens tand, dels på trafikens omfattning. Det avtal som skrivs mellan Finnra och entreprenören baseras på en förväntad trafik tillväxt på de två delsträckorna under kontraktperioden. Om trafiken ökar i snabbare takt än beräknat

kommer också entreprenörens kostnader att öka, och det finns en klausul som skyddar kontraktinnehavaren från denna kostnadsrisk.

Kompensationsklausulen baseras på faktisk jämfört med prognostiserad trafik under det femte och det trettande året av avtalsperioden. Man använder följande uttryck för att beräkna ersättningens storlek år 5; ett liknande uttryck används för att beräkna uppräkningsen år 13:

$$MC = GSP * 0,03 * \left[\frac{\frac{AT_5 - ET_5}{1,2}}{ET_5} \right]$$

MC står för *Maintenance Cost compensation*; GSP är som tidigare den årliga ersättningen, AT_5 den faktiska trafiken, och ET_5 den förväntade trafiken år 5. Såväl faktisk som förväntad trafik utgör i sin tur ett vägt genomsnitt av trafiken på de två delarna av den kontrakterade sträckan. I avtalet finns också en tabell som anger den trafik som Finnra beräknar för hela kontraktperioden (se dokumentet "E 18 Muurla – Lohja Service Agreement Payment Mechanisms", tabell 11, s 34).

För att visa på effekterna av denna ersättning kan man anta att den årliga ersättningen (GSP) uppgår till €24 miljoner. År 2015 uppgår den förväntade trafiken till $(5,037 * 0,43 + 5,877 * 0,57) = 5,5$ milj fordonskilometer. Vi antar att faktiskt trafikarbete är 7 milj fkm. Ovanstående uttryck ger då $MC = 24 * 0,03 * ((7/1,2) - 5,5) / 5,5 = 24 * 0,03 * 0,06 = €43\ 000$. Konstanten i nämnaren ger uttryck för att man förväntar sig att bolaget har vissa marginaler, eftersom en särskild begränsningsregel säger att om uttrycket i den stora parentesen blir negativ så kommer ersättningen inte att minska. När som i detta uttryck trafiken är 6 procent högre än förväntat ökar den årliga ersättningen med $(0,03 * 0,06) = 0,18$ procent. Finnra:s antagande är därför att underhållskostnaderna inte varierar speciellt mycket med trafikmängden.

A2.5 Trafiksäkerhet

Trafiksäkerhetssituationen på vägen mäts genom Finnra's uppföljning av olycksdata år från år. Syftet är att de avdrag från, eller tillägg till den årliga ersättningen som görs ska uppmuntra entreprenören att tillhandahålla en optimal olycksreducerande verksamhet.

Utgångspunkten för variationer i dygnersättningen ges av nedanstående uttryck; SP står för *Safety Performance deductions/bonuses*, GSP är (som tidigare) den årliga ersättningen medan AB står för *Accident Benchmark* och AA *Actual Accident rate*.

$$SP = GSP * \left[\frac{AB - AA}{AB} \right]$$

AA i sin tur mäts som olycksrisk, dvs. antal personskade- och dödsolyckor i förhållande till trafikarbete (miljoner fordonskilometer på vägen i fråga). AB beräknas för jämförelsevägar, i det här fallet tre olika vägavsnitt med likartade förutsättningar som funktionsprojektet med avseende på vägstandard, hastighet och trafikflöden.

För att illustrera innebörden av säkerhetskomponenten i ersättningen kan man utgå från att det inträffade 242 olyckor på referensvägen under perioden 1999 till 2003. Med ett trafikarbete på 6734 milj fordonskilometer är olycksrisken 0,036 per miljoner fordonskm. Man kan då studera ersättningens storlek för olika antal observerade

olyckor på projektvägen under antagande om ett trafikarbete som är 275 milj fordonskm per år. Nedan angivna siffror avser dygnersättning som kan räknas om till årsbelopp genom att multiplicera med 365.

0 olyckor: $59\ 000 * (0,036 - 0)/0,036 = \text{€}9\ 000$

5 olyckor: $59\ 000 * (0,036 - 0,018)/0,036 = \text{€}29\ 500$

10 olyckor: $59\ 000 * (0,036 - 0,036)/0,036 = \text{€}0$

15 olyckor: $59\ 000 * (0,036 - 0,055)/0,036 = -\text{€}1\ 100$

Om antalet olyckor på vägen är ungefär lika stor som på jämförelsevägarna utgår ingen bonus eller något avdrag. Varje procents avvikelse i riskutfallet uppåt eller neråt ger lika stor procentuell effekt på den fasta ersättningen.

Utöver denna incitamentskonstruktion lockas entreprenören också med en belöning för olycksreducerande innovationer. Om denne genomför en förändring som förväntas förbättra säkerheten på motorvägen i avsevärt hänseende kommer en engångsbonus att betalas ut. Bonusen är 50 procent av de trafiksäkerhetsvinster som samhället tillgodogör sig under resterande del av den kontraktperiod som avtalet mellan Finnra och entreprenören avser, med avdrag för Finnra's eventuella kostnader för att administrera åtgärderna. Ytterligare ett antal förutsättningar bygger upp ersättningens storlek,

Bilaga A
Sid 7 (10)

Table A1 Unavailability Factors for Road Section 1 and 2.

Event	Description of unavailability	Unavailability factor
A	The entire carriageway including hard shoulder is available for the entire length of the carriageway section	0.00
B	The entire carriageway is available and the hard shoulder is unavailable for a distance of 0.5 km or less	0.05
C	The entire carriageway is available and the hard shoulder is unavailable for a distance of more than 0.5 km. If the unavailability is more than 5.0 km, unavailability factor is multiplied by 2 and after that the factor is increased by 1 with each additional unavailable 5.0 km section.	0.10
D	Left running lane is unavailable, traffic in the right lane operating for a distance of 0.5 km or less.	0.25
E	Left running lane is unavailable, traffic in the right lane for a distance of more than 0.5 km. If the unavailability is more than 5.0 km, unavailability factor is multiplied by 2 and after that the factor is increased by 1 with each additional unavailable 5.0 km section	0.30
F	Right-hand running lane including the hard shoulder is unavailable for a distance of 0.5 km or less.	0.30
G	Right-hand running lane is unavailable, traffic in the right lane for a distance of more than 0.5 km. If the unavailability is more than 5.0 km, unavailability factor is multiplied by 2 and after that the factor is increased by 1 with each additional unavailable 5.0 km section	0.35
H	The speed limit has been lowered to 80 km/h or 100 km/h, and situations B-G or J-N do not prevail	0.15
I	The speed limit has been lowered to 80 km/h, and situations B-G or J-N do not prevail	0.25
J	Unavailability of a tunnel (defined in the document for technical requirements)	0.30
K	The entire carriageway including the hard shoulder is unavailable and traffic is directed to flow via another carriageway between the nearest two crossing points with only one running lane available for use in both directions	0.70
L	The entire carriageway including the hard shoulder is unavailable and traffic is directed to flow via another carriageway, with only one running lane in use in both directions. The length of the section is more than the length of the nearest two crossing points.	0.75
M	The entire carriageway including the hard shoulder is unavailable and traffic for the carriageway in question is directed to flow via a parallel road	0.75
N	Both carriageways including the hard shoulder are unavailable and traffic for the carriageways in question is directed to flow via a detour/parallel road. Length of unavailability is calculated on the basis of the total length of required traffic arrangements in all related Road sections	1.00

Table A2 Time Period Factors.

Category	Description	Time Period Multiples
A	Peak hours of traffic volume	5.00
B	Off peak hours	2.00
C	Low traffic volume	0.00

Tabell A3 Tidperioder och kategorier för trafik i riktning från Lohja till Muurla.

Tidperiod		Kategorier						
Nr.	Tid	Mån.	Tisd.	Onsd.	Tor.	Fre.	Lö.	Sön.
1	0-2	C	C	C	C	C	C	C
2	2-4	C	C	C	C	C	C	C
3	4-6	C	C	C	C	C	C	C
4	6-8	B	B	B	B	B	C	C
5	8-10	B	B	B	B	B	B	B
6	10-12	B	B	B	B	B	B	B
7	12-14	B	B	B	B	B	B	B
8	14-16	B	B	B	B	A	B	B
9	16-18	B	B	B	B	A	B	B
10	18-20	B	B	B	B	A	B	B
11	20-22	C	C	C	C	B	C	C
12	22-24	C	C	C	C	C	C	C

Table A4 Traffic Volume Factors for each Road Section.

Road section	Name	Poles	Traffic volume factor	
			Payment period B and C	Payment period D and E
1	Muurla-Lahn	63 400–87 100	1.00	1.00
	Lahn-Karnainen	87 100–109 670	–	
2	Karnainen-Muijal	109 670–113 570	–	2.00

Tabell A5 Parametrar som påverkar ersättningens storlek.

Vägyta

- Ojämnhet mätt med IRI
- Spårdjup
- Tvärfall
- Friktion
- Skador

Undergrund; ytojämnhet, deflektion

Dränering

Broar, tunnlar

- Inspektioner
- ”Chloride content measures”
- Underlåtenhet att vidta korrigerande åtgärder
- Tunneldränering
- Tunnelventilation
- Brandsäkerhet i tunnel
- El- och telekommunikationsnät i tunnlar.

Trafikledning; avdrag görs för brister i följande hänseenden:

- Trafikljus och körfältsindikatorer fungerar inte på avsett sätt
- ”*Interference detection system*” fungerar inte på avsett sätt
- System för väderövervakning fungerar inte på avsett sätt
- Trafikövervakningssystem fungerar inte på avsett sätt
- Vägmärkingar uppfyller inte uppställda krav.

Utrustningar som belysning i tunnel, räcken, djurstaket, bushållplatser etc. fungerar inte enligt givna specifikationer.

Miljö

- Stenar som faller ner på körbanan
- Planteringar och gräsmattor inte iordningställda efter inspektion
- Bullerskydd fungerar inte på avsett sätt
- Förorenad jord; entreprenören klarar inte uppställda krav
- Krav på skyddssystem för yt- och grundvatten tillgodoses inte
- Särskilda krav för att skydda utrotningshotad art (flygande ekorrar) uppfylls inte
- Total spridning av salt vintertid får inte överstiga 830 ton som ett genomsnitt per år under en treårsperiod.

Rutinunderhåll

- Brister vad gäller vintervägunderhåll
- Brister vad gäller renhållning

Bilaga A
Sid 10 (10)

- Uppställda krav på reparation av ytskador, underhåll av *gravel shoulders* etc. följs inte
- Dräneringssystem, broar, tunnlar, bullerskydd, trafikkontroll och ledningssystem samt annan utrustning, belysning och borttagning av växtlighet; avdrag i ersättningen utgår om man inte klarat uppställda krav på det löpande underhållet
- Oförmåga att hantera trafikflödet under speciella omständigheter
- Oförmåga att hantera arbete på vägen i samband med nybyggnation och löpande underhåll.

Principles of an optimal blend of risk and incentives¹¹

The purpose with this appendix is to show how the principal-agent problem can be formulated in a procurement setting where the principal is assumed to be risk neutral while the agent is risk averse. Focus is on how the agent shall be paid for the task that she is assigned to handle. This is done by first providing a description of the situation at hand. Thereafter, the optimisation problem is described and finally the normative recommendations emerging from the analysis is discussed.

The setting

The principal is interested in undertaking a project, interpreted in a broad sense. It is convenient to think about the project generating an economic value or profit (P) for the principal. This could as well be the social benefits of having a road built. If the road construction project would be formulated as a cost minimisation task – i.e. to have a road built at lowest possible (social) costs – P could be re-interpreted as costs, with appropriate change of signing of parameters.

The agent – i.e. the firm assigned to build the road – must exert an effort (e) at personal cost $C(e)$ to serve the interest of the principal. The effort may have to do with doing more or less planning or other preparations; the cost is the fact that time could have been used for more amusing activities etc. It is assumed that the cost of effort is increasing in effort at an increasing rate, i.e. that $C' > 0$ and $C'' > 0$.

Effort is important for the principal since it is one determinant of the economic value of the activity, i.e. $P = P(e)$. Important for the current context is that the more effort that the agent expends on hedging against (external) risk, the higher is the value of the project. This includes considering all possible negative events with significance for P and taking whatever precautions that provide a net increase of the projects social value. So the more effort that the agent exerts, the higher is the economic value (the lower is the cost); $P' > 0$, $P'' < 0$.

By assumption, it is however impossible to observe an agent's direct effect on the economic value of a project and whether the agent works hard or not. It is still this effort and its consequences that the principal cares about. But it is obviously not feasible to pay the agent according to the effort expended, only to base payment on the result or outcome of the activity, whatever that may be.

The assumption is thus that the principal observes some imperfect indicator of e , that is a number that provides some information about e but that is contaminated by random events beyond the control of the agent. Measured output of a project (or its cost in the cost minimisation formulation of the problem) may provide such a signal: Output is related to effort but many influences beyond the agent's control also affect the realized output. We can think of output as the quality of the road that is to be built, and this quality is what matters to the principal, i.e. it represents P .

¹¹ This appendix summarises chapter 7 in Milgrom & Roberts (1994). It should be observed that the original formulation focuses wage contracts between employer and employee but that the presentation here has converted the analysis into the relationship between procurer and an entrepreneur.

Bilaga B
Sid 2 (6)

Let the indicator of effort be $z=e+x$, where x is a random variable. High effort might be offset by bad luck (low x), or low effort might be masked by good fortune (high x). In both cases z may assume a reasonably high value but it is impossible to explain why.

But except for output, the principal may be able to observe other factors, such as general economic conditions, that may be relevant for determining the performance of the agent. These other factors, represented by y , may be statistically related to x , the noise in z and may provide information that makes it feasible to disentangle effort from other aspects affecting z .

We are here interested in different ways to pay the agent for her work, and focus is on linear relationships. In (A1) w is the agent's payment, α is a base payment, β is a measure of the incentives provided to the agent and γ indicates how much relative weight is given to the information variable y (in comparison with z) in determining compensation. The task of our exercise is to establish the parameter values in (A1).

$$w = \alpha + \beta(e + x + \gamma y) \quad (\text{A1})$$

The optimisation problem

In this analysis it is assumed that the principal is risk neutral while the agent is risk averse. The important feature of this assumption is really that of relative risk aversion, so we could equally well think about this relationship as the agent being *more* risk averse than the principal.

If we would only be interested in risk allocation it would obviously be efficient to leave all risk with the principal that has no cost coming with shouldering the risk. This would, however, remove all economic incentives for the agent to increase profits by providing effort. We are therefore looking for a contract that balances the need for risk sharing against the need to provide incentives.

The payment regulated by this contract is characterised by the parameters used in expression (A1). Since both x and y are random variables it is obvious that the agent can not be sure to receive a deterministic remuneration; rather it is an expected number. And since payment is uncertain, there is also a risk cost associated with it. In addition, the agent has to expend effort coming with a cost. We are therefore looking for the agent's certainty equivalent (E) of the payment ($E(W)$):

Agent's certainty equivalent = expected compensation – risk cost – effort cost

$$E(W) = E(w) - 0,5 * r * Var(w) - C(e) \quad (\text{A2a})$$

$$E(W) = \alpha + \beta(e + \bar{x} + \bar{y}) - 0,5 * r * \beta^2 * Var[\alpha + \beta(e + \bar{x} + \bar{y})] - C(e) \quad (\text{A2b})$$

$$E(W) = \alpha + \beta e - 0,5 * r * \beta^2 * Var(x + \gamma y) - C(e) \quad (\text{A2c})$$

Here, r in (A2a) is the agent's coefficient of absolute risk aversion; a risk neutral individual would have a value of r equal to zero, and the middle term in (A2a) would disappear; the closer to 1 r gets, the higher is the cost for uncertainty. $Var(w)$ is way to measure the degree of randomness of w , the variance; the more uncertain is the outcome, the higher is $Var(w)$. The expression $0,5 * r * Var(w)$ in (A2a) therefore

Bilaga B
Sid 3 (6)

provides an expression for the risk cost (the derivation of this formula is not detailed here).

\bar{x} and \bar{y} in (A2b) are the mean values of x and y , assumed to be zero. This leads to (A2c). The assumption of zero means is again a normalisation in order to simplify expressions; it is straightforward to reintroduce any positive or negative average in the final expressions below.

In a similar way to calculating the agent's certainty equivalent it is also feasible to calculate the (risk neutral) principal's certainty equivalent ($E(P)$):

Principal's certainty equivalent = expected profit – expected compensation paid

$$E(P) = P(e) - E(w)$$

$$E(P) = P(e) - (\alpha + \beta e) \tag{A3}$$

From a social point of view, both principal and agent matters, so the purpose must be to maximise the sum of certainty equivalents of the two parties (i.e. A2c+A3):

Total certainty equivalent = Principal's certainty equivalent + agent's certainty equivalent

$$E(P + W) = P(e) - (\alpha + \beta e) + \alpha + \beta e - 0,5 * r * \beta^2 * Var(x + \gamma y) - C(e)$$

$$E(P + W) = P(e) - 0,5 * r * \beta^2 * Var(x + \gamma y) - C(e) \tag{A4}$$

(A4) is our objective function do be dealt with, the social welfare to be maximised (or the cost to be minimised). The next step is to decide which choices of contracts are feasible. Since it is not reasonable to ask the agent to exert a certain effort and to expect that this effort automatically will materialise, the level of effort to be expected by the principal must be compatible with the incentives that are provided to the agent. The realistic principal must therefore decide how the agent's choice of effort will depend on the other parameters (α, β, γ) of the contract. The level of effort that maximises the employee's certain equivalent income can be estimated by using (A2c), and more precisely let e vary in order to identify the value of e which maximises this expression. Taking this derivative gives us (A5).

$$\beta - C'(e) = 0 \tag{A5}$$

This is referred to as the *incentive constraint* which must be satisfied by any feasible contract between the parties. It says that the agent will select effort level so that the marginal gain from more effort is equal to the agent's marginal cost of effort.

Recommendations

A contract is efficient if the choices of $(e, \alpha, \beta$ and $\gamma)$ maximize the total certain equivalent in (A4) among all contracts that satisfy the incentive compatibility constraint in (A5). We have the following principal observations to make about the level of these values.

(1) The irrelevance of α for incentives: (A4) indicates that α does not affect the total certain equivalent at all. Efficiency of the contract does therefore not depend on the choice of α . This value is only important as a means to induce the agent to accept participating in the project in the first place. α is sometimes referred to as the participation constraint, meaning that the remuneration paid to the agent must be at least as large as the remuneration in the alternative to the project at hand.

(2) The informativeness principle: The social value of the contract is maximised when γ is chosen to make the variance of the estimate of e , i.e. $\text{Var}(x + \gamma y)$, as small as possible. This would minimise the risk premium, i.e. the costs of imposing risks on the agent to generate incentives. This is a special case of a more general idea referred to as *the informativeness principle*. It says that in designing compensation formulas, total value is always increased by factoring into the determinant of pay any performance measure that – with appropriate weighting – allows reducing the error with which the agent's choices are estimated. An obvious corollary is that performance measures that increase the error with which effort is estimated, for instance because they solely reflect random factors outside the agent's control, should not be used.

In technical terms, y should therefore be included in the determinants of pay if there is some value for γ that makes $\text{Var}(x + \gamma y)$ smaller than $\text{Var}(x)$. It is possible to show that $\text{Var}(x + \gamma y) = \text{Var}(x) + \gamma^2 \text{Var}(y) + 2\gamma \text{Cov}(x, y)$, where $\text{Cov}(x, y)$ is the covariance of x and y , a statistical measure of how x and y are related and vary together. Minimising this expression with respect to γ leads to (A6).

$$\gamma = -\frac{\text{Cov}(x, y)}{\text{Var}(y)} \quad (\text{A6})$$

If x and y are positively related $\text{Cov}(x, y)$ is positive and γ should be negative. Good general market conditions (positive levels of y) typically mean that conditions are also good in the specific market (positive x). Therefore, a greater portion of any given level of the observed performance $z = e + x$ is likely to reflect good luck (high x) rather than good effort (high e). A negative value for γ takes account of these likelihoods by increasing pay when general conditions are bad and decreasing it when they are good. The opposite intuition applies if $\text{Cov}(x, y)$ is negative; a high y then signals that the given, observed level of z was likely obtained despite a low level of x , and therefore a high y is evidence suggesting a high level of e , which is to be rewarded through a positive value for γ .

If x and y are independent $\text{Cov}(x, y)$ is zero and γ should be zero. This means that having access to values of y does not have anything to say about the value of x and so gives no better information of effort e . y should then not be included as a component of the compensation package. The conclusion of this discussion is perhaps that the benefits of complementary information of the type represented by y are less relevant for the

design of procurement contracts than in the context of wage contracts, which the present discussion is based on.

(3) The incentive-intensity principle: To establish the significance of effort in the contract, i.e. the value of β , we assume that the value of the information weighting parameter γ has been established at some level so that $V = \text{Var}(x + \gamma y)$ is known. If y is irrelevant for the context we can think of $V = \text{Var}(x)$ only. From (A5) the link between β and marginal cost of effort has been established. Inserting (A5) into (A4), taking the derivative with respect to e and rearranging gives us (A7):

$$E(P + W) = P(e) - 0,5 * r * C'(e)^2 * \text{Var}(x + \gamma y) - C(e)$$

$$0 = P'(e) - C'(e) - rVC'(e)C''(e)$$

$$\beta = \frac{P'(e)}{1 + rVC''(e)} \quad (\text{A7})$$

This provides the basis for drawing conclusions on the appropriate risk allocation in procurement contracts. It is important to remember that the closer the value of β is to one, the more of the consequences of the activities undertaken spills over on the agent (cf. (A1)). (A7) identifies four factors that interact in order to determine the appropriate intensity of incentives.

- (i) The profitability of incremental effort ($P'(e)$): There is no meaning incurring the costs of eliciting extra effort unless the results are valuable. To the extent that the agent can undertake hedging activities – i.e. to take precautions in order to handle the consequences of unexpected events, even if these are outside the control of the agent – it is on the other hand valuable to provide incentives for doing so.
- (ii) The risk aversion of the agent (r). The less risk averse the agent, the lower the cost he or she incurs from bearing the risks that attend intense incentives; more risk averse agents ought to be provided with less intense incentives.
- (iii) The precision with which performance is measured (V). Low precision corresponds to high values of the variance V , which means that only weak incentives should be used. It is futile to use strong incentives when performance measurement is highly imprecise, but strong incentives are likely to be optimal when good performance is easy to identify.
- (iv) The responsiveness of effort to incentives ($C''(e)$). Incentives should be most intense when agents are most able to respond to them. This happens when they have discretion about more aspects of their work, including the pace of work, the tools and methods they use, etc.

It should finally be observed that by fixing β and by virtue of (A5), we have also established the desired value of e .

Bilaga B
Sid 6 (6)

It should also be noted that the value of β also has implications for performance measurement. What is sometimes referred to as *the monitoring intensity principle* says that when the plan is to make the agent's pay very sensitive to performance – when β is close to one – it will pay to measure that performance carefully. More resources should be devoted to measurement in these situations.

Rapport 2

Funktionella egenskaper hos vägytor, effekter, mått och mätmetoder

Sammanfattning

En väg ska vara funktionell och det ska kosta så lite som möjligt att tillhandahålla vägen. Funktionalitet innebär att användarnas kostnader för att resa, liksom de kringboendes och samhället i övrigt dvs. miljöns störningar av resandet, ska vara så låga som möjligt.

Det behövs därför kunskap dels om vilka funktionella krav som kan/bör ställas på en väg och dels hur man mäter och följer upp dessa funktionella krav. Det måste också vara möjligt att mäta anläggningens funktion och variationer i trafikantnyttan när funktionen förändras över tiden. Slutligen måste det vara möjligt att formulera och mäta funktionskrav och strukturellt tillstånd i samband med att en anläggning återgår till beställaren och anläggningens skötsel ska upphandlas på nytt.

Funktionellt tillstånd beskrivs av de tillståndsvariabler som främst påverkar trafiken. Tekniskt tillstånd beskrivs utifrån tillståndsvariabler som främst påverkar vägnätets beständighet och trafiken först på sikt dvs. dåligt tekniskt tillstånd leder successivt till dåligt funktionellt tillstånd. Dåligt funktionellt tillstånd är ofta tecken på dåligt tekniskt tillstånd. Däremot behöver inte dåligt tekniskt tillstånd alltid betyda dåligt funktionellt tillstånd, betrakta t.ex. sprickor i beläggningen eller dålig strukturell kondition som normalt inte påverkar vägens funktion för trafikanten.

Funktionella egenskapers betydelse måste ofta baseras på rena "guesstimates".

Bättre kunskap om utseende på sambandskurvor mot vägytans tillstånd och väghållare-, trafikant- och samhällskostnader behövs.

En säkrare viktning av trafikanteffekternas betydelse behövs. Den/de trafikanteffekt/er som är viktigast att beakta bör dessutom vara den/de som påverkas mest av försämringar/förbättringar av vägytestandarden. Så förutom att känna till effektsambanden krävs en monetär värdering av de olika effekterna för att kunna göra dessa överväganden. Här finns en stor osäkerhet vad gäller bland annat att värdera miljöeffekter men också trafikanternas kör-/åtkomfort.

I redovisat underlag framgår vilka material- och konstruktionsegenskaper som har störst betydelse för de enskilda trafikanteffekterna och också vilka material- och konstruktionsegenskaper som har betydelse för flest trafikanteffekter.

Man kan t.ex. konstatera att texturen har betydelse för ett flertal av de funktionella egenskaperna och därmed också för flera av trafikanteffekterna. Nedan finns en summering av en lämplig uppsättning mätbara egenskaper:

- *IRI presenterat per meter* (samt sparade längsprofiler från vänster och höger hjulspår)
- *Makrotextur* beräknat som MPD och presenterat per meter
- *Tvärfall och "längsfall"* tillsammans med tvärprofil per meter
- *Sprickor* enligt rutnätmetoden
- *Bärighet* uppmätt i trafikfart enligt t.ex. Laser RDT eller den danska HSD.

Hållbara, funktionella och kvalitetssäkrade mätmetoder saknas. En marknad med funktionskrav ställer höga krav på mätmetoder då stora summor regleras mha resultaten från mätningar. Aktörer och mätutrustning av olika kvalitet varierar från tid till annan. En metod att certifiera både utrustning och kombinationen utrustning med operatör behövs

Summary

A road should be functional and the cost for providing this road should be as low as possible. Functionality implies that the cost for the road users' travel as well as the disturbance it causes for those living around and the costs for the rest of the society should be as low as possible.

Therefore knowledge is needed about which functional requirements that can or should be made as well as how these should be measured and followed up. It must also be possible to measure the functionality of the construction and the variation in road user benefits as the functionality changes over time. Finally it is of great importance to be able to measure the structural condition when the construction is returned to the owner.

The functional condition is described by the variables that mostly affect the roads users and traffic while the technical condition is described by variables that mostly affect the road constructions constancy and only in the long run the traffic, i.e. bad technical condition will successively lead to bad functional condition. A bad functional condition most often implies a bad technical condition. On the other hand a bad technical condition doesn't necessarily imply a bad functional condition, consider e.g. cracks in the surface or bad structural condition that normally won't affect the function of the road for the road users.

The importance of the functional characteristics very often have to be based on pure "guesstimates".

A better knowledge of the relation between road condition and the cost for the road keeper, the road user and society is needed.

A more reliable weighting of the importance of different road user effects is needed. The effects that have the greatest importance should be the those that are the most affected by changes in road condition. There are great uncertainties regarding the assessment of effects on the environment but also regarding road user ride comfort.

In the report the most important characteristics on material and constructions that affects the road users have been identified. It can for example be noted that the macrotexture is of importance for a number of functional characteristics and therefore also for several of the road user effects. Below is a summary of some suitable measurable characteristics:

- IRI (International Roughness Index) presented per meter together with storage of the longitudinal profiles.
- Macrotexture presented as MPD (Mean Profile Depth) per meter
- Cross fall and hilliness (longitudinal slope) together with the transverse profile
- Cracks presented as cracked surface defined by a mesh
- Bearing capacity measured in traffic speed with a high speed deflectometer e.g. The Swedish RDT or the Danish HSD.

Sustainable, reliable and quality assured measurement methods are missing.. A market using functional requirements involves great demands on measuring methods since large amounts of money are regulated based on the results from the measurements. Operators and equipment of various qualities exists and varies from time to time. A method to certify both equipment and the combination equipment and operator is needed.

1 Bakgrund

En väg ska vara funktionell och det ska kosta så lite som möjligt att tillhandahålla vägen. Funktionalitet innebär att användarnas kostnader för att resa, liksom de kringboendes och samhället i övrigt dvs. miljöns störningar av resandet, ska vara så låga som möjligt.

Det behövs därför kunskap dels om vilka funktionella krav som kan/bör ställas på en väg och dels hur man mäter och följer upp dessa funktionella krav. Det måste också vara möjligt att mäta anläggningens funktion och variationer i trafikantnyttan när funktionen förändras över tiden. Slutligen måste det vara möjligt att formulera och mäta funktionskrav och strukturellt tillstånd i samband med att en anläggning återgår till beställaren och anläggningens skötsel ska upphandlas på nytt.

Den föreliggande genomgången har avgränsats till att enbart behandla vägytans tillstånd och de funktionella kraven på denna.

Inledningsvis beskrivs de befintliga mätmetoder och mått som används idag för att beskriva vägytans tillstånd.

En översiktlig beskrivning av vilken betydelse olika material- och konstruktions-egenskaper bedöms ha för uppfyllandet av krav och önskemål från trafikanter och samhället i övrigt på vägytans funktion följer därefter.

Utifrån detta föreslås slutligen hur mått och mätmetoder bör förändras eller kompletteras för att bättre beskriva vägytan utifrån funktionella krav.

2 Tekniskt och funktionellt tillstånd, egenskaper och effekter för väghållare, trafikant och samhälle

2.1 Inledning

Funktionellt tillstånd beskrivs av de tillståndsvariabler som främst påverkar trafiken. Tekniskt tillstånd beskrivs utifrån tillståndsvariabler som främst påverkar vägnätets beständighet och trafiken först på sikt dvs. dåligt tekniskt tillstånd leder successivt till dåligt funktionellt tillstånd. Dåligt funktionellt tillstånd är ofta tecken på dåligt tekniskt tillstånd se Figur 2.1. Däremot behöver inte dåligt tekniskt tillstånd alltid betyda dåligt funktionellt tillstånd, betrakta t.ex. sprickor i beläggningen eller dålig strukturell kondition som normalt inte påverkar vägens funktion för trafikanten.

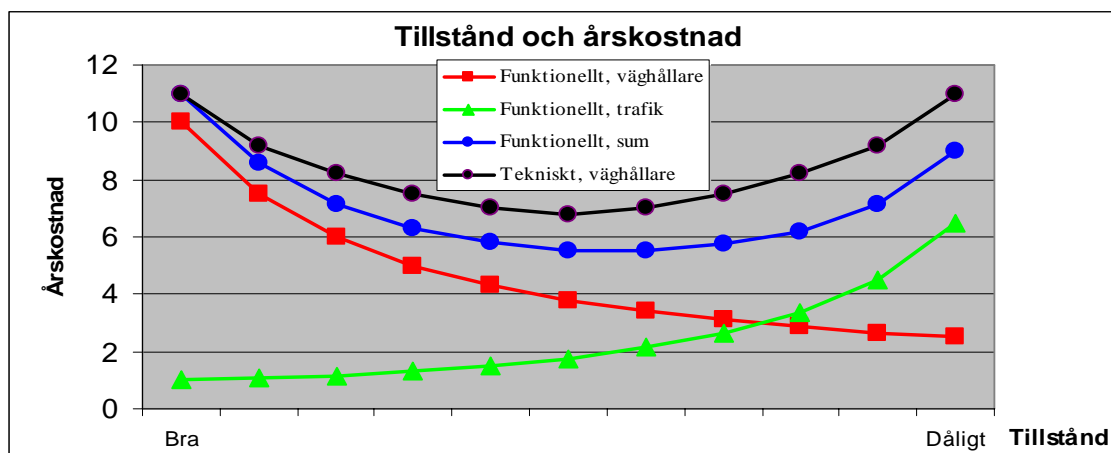


Figur 2.1 Samverkan mellan tekniskt och funktionellt tillstånd.

I figur 2.2 redovisas en principbild över sambandet mellan kostnaderna för trafikanter respektive väghållare och dess samband med det funktionella och tekniska tillståndet. För att hålla ett bra funktionellt tillstånd för trafikanterna ökar väghållarens årskostnader men kostnaden för nyttjarna sjunker. Vid motsatt förhållande, dåligt funktionellt tillstånd sjunker väghållarens årskostnader. Någonstans mellan dessa tillstånd finns ett optimum (samhällsekonomiskt bästa läge) där kostnaderna är som lägst för både väghållare och nyttjare.

Till summan för det funktionella tillståndet tillkommer en kostnad för att hålla en given nivå för det tekniska tillståndet. Kostnaden för att hålla ett bra tekniskt tillstånd är lägre ju bättre det funktionella tillståndet är. Man kan däremot anta att kostnaden för det tekniska tillståndet vid ökande dåligt funktionellt tillstånd ökar progressivt, kanske mer än i figuren? En anledning kan vara att det krävs åtgärder som innebär att det

omedelbara funktionella tillståndet inte förbättras t.ex. förstärkning av vägkroppen eller spricklagning. Om detta är fallet skulle man kunna tänka sig att man vid en viss lägre tillståndsnivå behöver kontrollera både funktionellt och tekniskt tillstånd men över denna nivå endast behöver kontrollera det funktionella tillståndet.



Figur 2.2 Principen för sambandet mellan kostnad och tillstånd (J. Potucek, VV).

Den funktionskontroll som hanteras i detta notat begränsas till vägytans funktion eller funktioner som mer eller mindre direkt påverkas av vägytans tillstånd. Utgångspunkten är att det belagda vägnätet ska vara framkomligt för fordon med tillåtna trafiklast.

Funktionskontrakt baseras på att det är möjligt att koppla den ersättning som en byggherre får till den färdiga produktens funktion, dvs. att kraven formuleras i operativa termer som kan följas upp. Man måste därför vid kontraktstillfället ha en god uppfattning om följande samband, vilka i stort sett täcker de trafikpolitiska målen:

- Vägens utformning och färdigställande påverkar
 - Säkerhet
 - Framkomlighet och komfort
 - Fordonskostnader
 - Buller
 - Tillgänglighet (färdigställandetidpunkt)
- Vägytans standard vid nybyggnation påverkar främst
 - Komfort och framkomlighet
 - Fordonskostnader
 - Buller
 - Partikelsläpp
- Bullerskydd påverkar omfattningen av buller
- Löpande drift och underhåll, påverkar
 - Säkerhet
 - Fordonskostnader
 - Komfort och framkomlighet

Flera av dessa samband involverar vägytans tillstånd som input till olika effektsamband eller modeller som används för att värdera tillståndet. Kunskapsläget rörande dessa effektmodeller beskrivs i kapitel 3 och 4. I kapitel 3 framkommer också vilka tekniska parametrar som är viktiga att mäta utifrån en utvärdering av nuvarande kunskapsläge.

2.2 Nuvarande mått och mätmetoder

Traditionellt har man oftast utnyttjat befintliga mätmetoder och mått och anpassat dessa så gott det går till de särskilda behov som finns vid en funktionsupphandling. I huvudsak har detta bestått av jämnhetsmätning och friktionsmätning. Enkelt uttryckt kan man säga att friktionsmätningen har indikerat och beskrivit säkerheten och jämnhetsmätningen har indikerat funktionen såsom trafikanten upplever den (funktionella tillståndet). Trigger eller gränsvärden har bestämts för varje enskilt projekt.

Mer detaljerat kan jämnhetsmätningen delas upp i ojämnheter tvärs vägen uttryckt som spårdjup och ojämnheter längs vägen uttryckt som komfortvärde eller numera IRI (International Roughness Index). Här kan man säga att spårdjupet indikerat ett tekniskt tillstånd och komfortvärdet det för trafikanten funktionella tillståndet. Det kan diskuteras hur man vill betrakta spårdjupet, dvs. spårbildningen om man använder spårdjupet för att värdera risken för vattenplaning närmar det sig ett funktionellt tillstånd, men oftast används spårdjupet endast för att värdera vägyteslitaget och är då ett tekniskt tillstånd. Som vi vill beskriva i denna rapport menar vi att spårdjupet är en av flera parametrar som krävs för att t.ex. beskriva fenomenet risk för vattenplaning som kan sägas vara en funktionell egenskap.

Ursprungligen ansåg man alltså att man täckt in de funktionella kraven genom att mäta spårdjup, friktion och komfortvärde eller IRI. Data presenterades per 20 meter och/eller 400 meter, (Metodbeskrivning 115, VV samt Metodbeskrivning 116, VV).

I ATB Väg 2005 anges kravnivåer för mått på längs- (se bilaga) och tvärgående ojämnheter som används idag.

Vid en granskning av olika genomförda projekt med funktionsåtaganden kan man dra följande slutsatser:

- Det är för få mätaktörer, man tycker mätningar är dyra, man väljer enklare mätmetoder troligen mest beroende på priset samt tillgången
- Man håller sig till traditionella mått och låter dessa trots sina brister representera en funktion de aldrig varit tänkta att nyttjas för
- Man vill ha ett mått på lokala ojämnheter, då dessa inte kan urskiljas från IRI-data per 20 meter
- Traditionella mått för tvärlutning (tvärfall) fungerar inte
- Man vill kunna detektera sättningar
- Underlag för kravnivåer saknas.

2.3 Generella krav på mått och mätmetoder

Kvaliteten på mått och mätmetoder är väsentliga vid en funktionskontroll då de reglerar stora belopp. Det kritiska skedet i en funktionsupphandling är när en tvist uppstår t.ex. på grund av ej uppfyllda krav. Det första som kritiseras och ifrågasätts i denna situation är mätresultaten och pålitligheten hos dessa.

De mått och mätmetoder som används måste bland annat tillgodose följande krav:

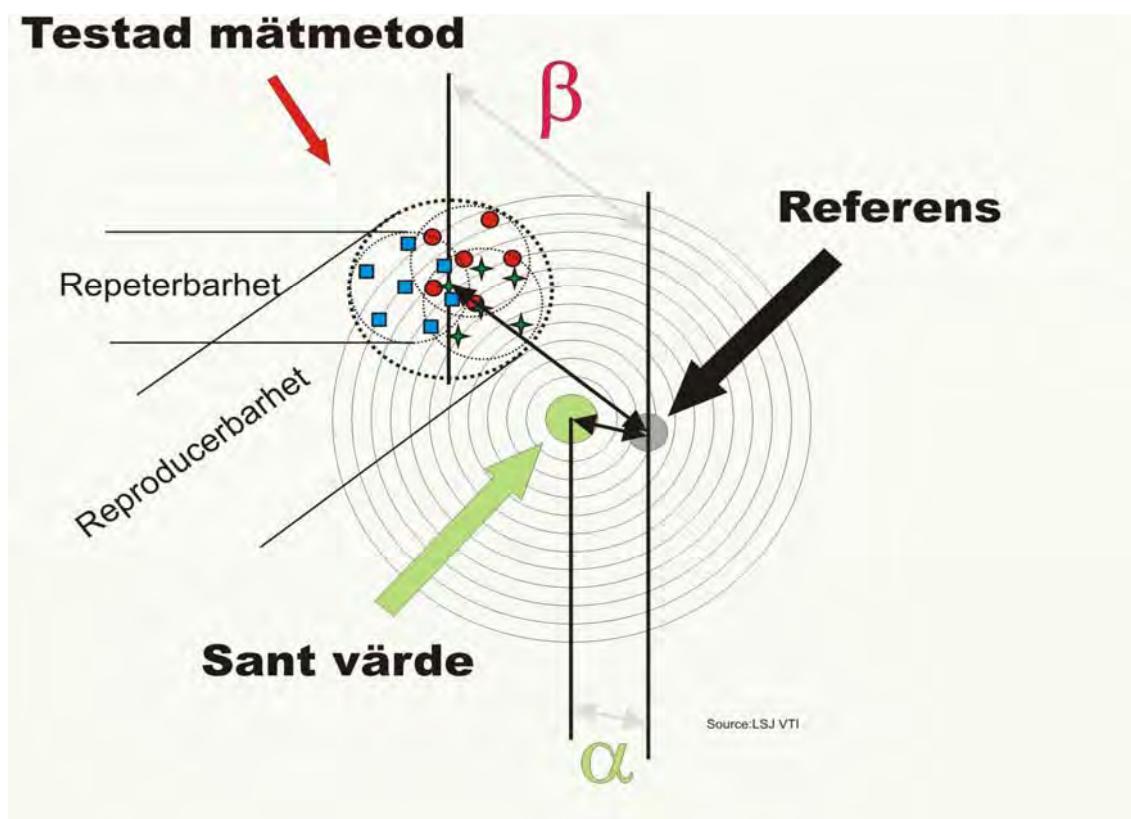
De ska vara *objektiva* vilket innebär att olika granskare ska kunna göra samma bedömning av de mätdata som används

Repeterbarhet som innebär att samma utrustning ska ge samma utfall om mätningarna upprepas vid samma förhållanden

Reproducerbarhet som innebär att mätresultaten ska vara oberoende av mätoperatör och utrustning.

Delar av detta beskrivs i Figur 2.3. Här är det viktigt att påpeka att ett sant värde normalt inte existerar i praktiken. Det är inte heller ekonomiskt försvarbart att försöka erhålla ett sådant. Istället skaffar man sig ett referensvärde eller referens som man jämför sig mot, *referens = sant värde + α* , se Figur 2.3. I figuren symboliserar de röda punkterna, blå fyrkanterna och gröna plustecknen olika exemplar av en utrustningstyp. Spridning av en sådan grupp av tecken benämns precision och avståndet β , kan sägas vara noggrannheten.

Mätmetoderna ska vara *juridisk hållbara* så att de bonus-/bötesbelopp som beräknas med stöd av mätdata ska kunna hanteras på ett juridiskt hållbart sätt. Vidare bör mätmetoden vara sådan att den inte försämrar trafiksäkerheten när den används. Då funktionskontrakt kan vara långa kanske upp till 20 år bör mätmetoderna också vara *stabila eller spårbara* under samma tidsrymd.



Figur 2.3 Principer för krav på mätmetoder.

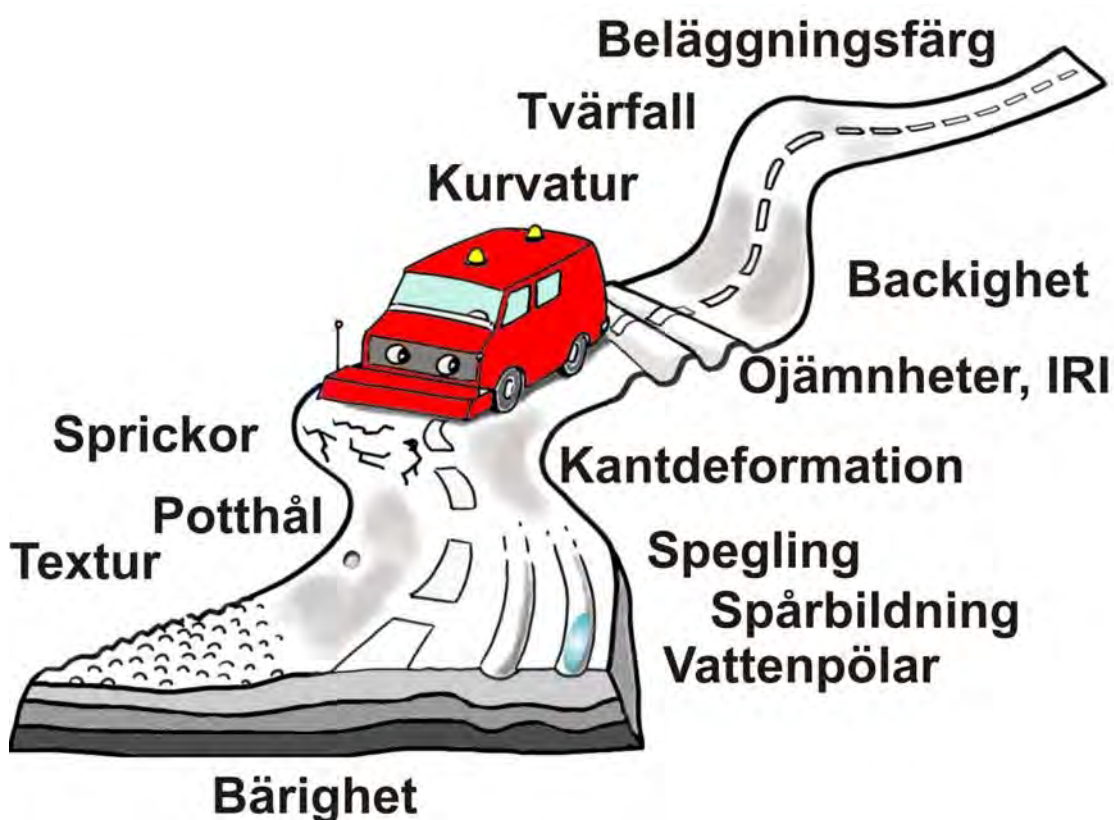
2.4 Mätaktörer

I Sverige finns ett fåtal aktörer som har resurser eller möjlighet att utföra vägytemätningar. Vägverket utför var fjärde år en upphandling av vägytemättjänsten som ska täcka behovet av indata till sitt management system. I denna upphandling ingår omfattande kvalitets tester av både mätsystem som kombinationen av mätsystem och dataleveranser. Vid detta tillfälle kan aktörer välja att bli testade och slutligen godkända

som mätare för så kallad objektmätning där mätning i samband med funktionskontroller ingår. Ett godkännande innebär att aktören inklusive sitt mätinstrument har tillräcklig kvalitet (likhet med referens samt kan leverera data i rätt format och i tid).

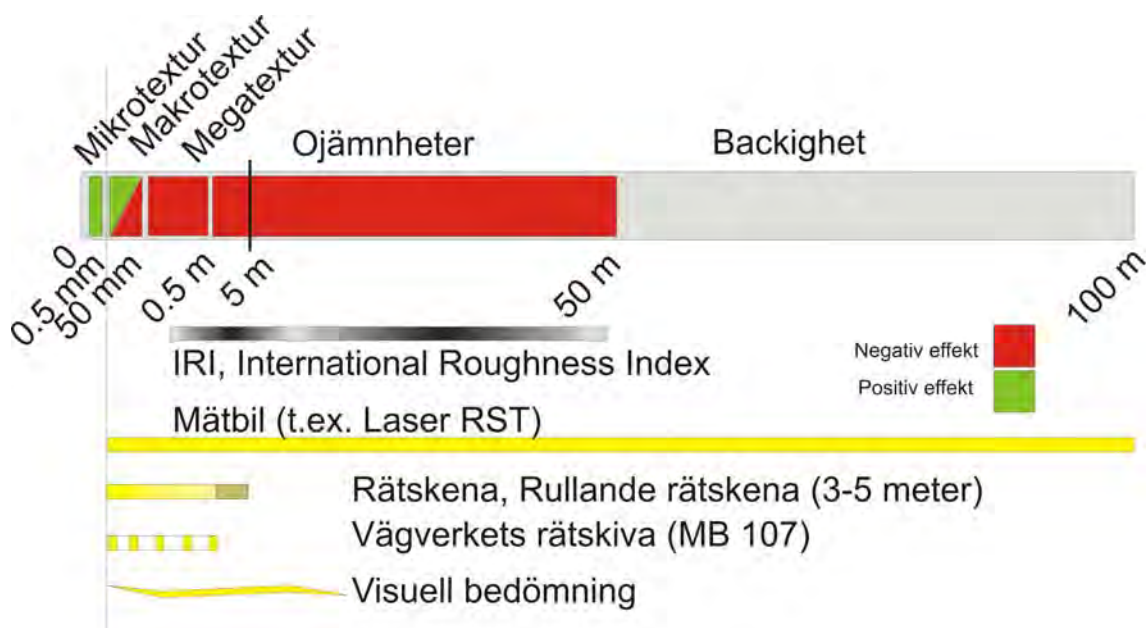
2.5 Beskrivning av mått och mätmetoder

Ett flertal mått finns utvecklade för att beskriva vägytans tillstånd. De mest använda är spår djup (ojämnheter i tvärled) och IRI (ojämnheter i längsled). Ytterligare information kan fås i (Sjögren et al., 2002). Figur 2.4 visar flertalet av de parametrar som är mätbara.



Figur 2.4 Mätbara tekniska parametrar

I Figur 2.5 visas dels vilka ojämnheter olika metoder täcker in men också hur mikro-, makro- och megatextur samt ojämnheter och backighet kan relateras till varandra. Värt att notera är att man med en rätskiva omöjligt kan täcka in de ojämnheter som ingår i en funktionsduglig väg. Trots detta används rätskiva som mätmetod vid funktionsentreprenader!



Figur 2.5 Ojämnhets- och mätområden några mätinstrument täcker.
(Källa: Leif Sjögren.)

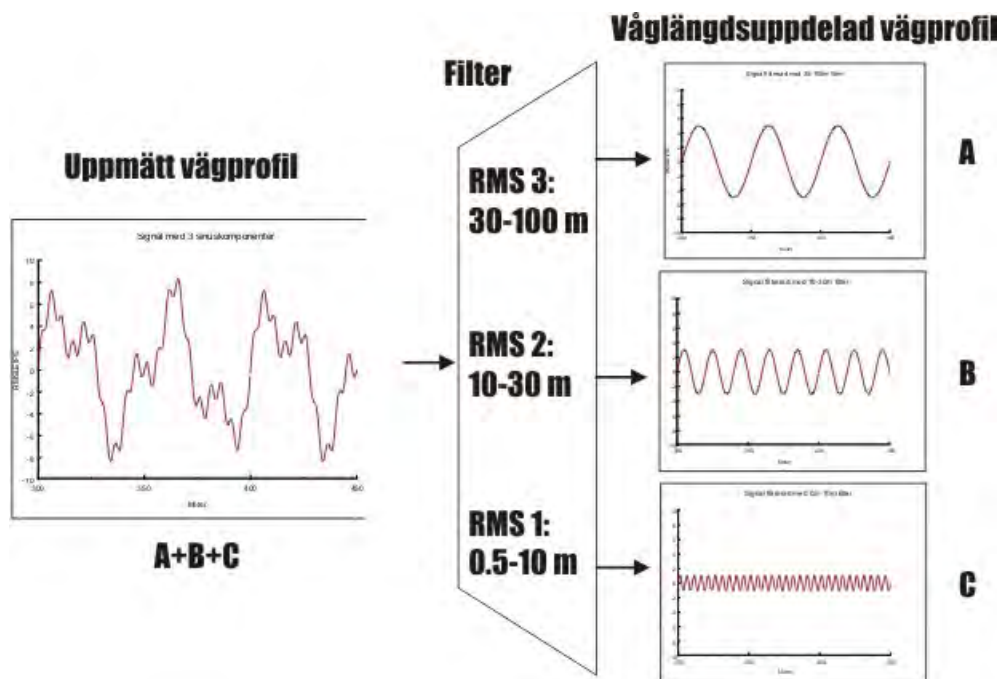
Enligt uppräknig i matriserna i kapitel 3 vill man ha mätmetoder för följande parametrar:

Mikrotextur som kan sägas vara ett mått på hur glatt eller slät en yta är och definieras som ojämnheter i alla riktningar med en våglängd mindre än 0,5 mm. Det finns inte någon bra metod att mäta mikrotextur idag. Viktigt att notera är att man behöver en viss mikrotextur och därför är det svårt att sätta gränsvärden.

Makrotextur definieras på motsvarande vis som mikrotexturen men gäller för våglängder mellan 0,5–50 mm, Makrotextur tillhör en av de egenskaper där det finns standarder hur ett mått skall beräknas. Den effektivaste mätmetoden och måttet som gäller idag är att mäta en längsprofil som täcker rätt våglängdsområde och från denna beräkna Mean Profile Depth (MPD). Bekymret här är att gränsvärden är svåra att fastställa då makrotexturen förändras med tiden utan att detta betyder att utförandet är dåligt. Man borde alltså ha dynamiska gränser kopplade till beläggningens ålder men också ta fram underlag för att beskriva när ett beläggningsarbete är dåligt utfört indikerat av makrotexturen. Rätt utvärderat kan makrotexturen utnyttjas för att finna och beskriva ytskador som finns i vägytan i form av stensläpp, blödningar, potthål, kanter, lokala breda sprickor. I princip är det ett mått på variationen hos makrotexturen som behövs, både längs med vägen och tvärs vägen. Alla beläggningar har alltid en viss grad av makrotextur, dvs. ett visst MPD-värde speglar inte graden av misslyckande med beläggningsarbetet. Makrotextur har ingått i Vägverkets upphandling av vägytemätningar och kan således sägas uppfylla de juridiska kraven.

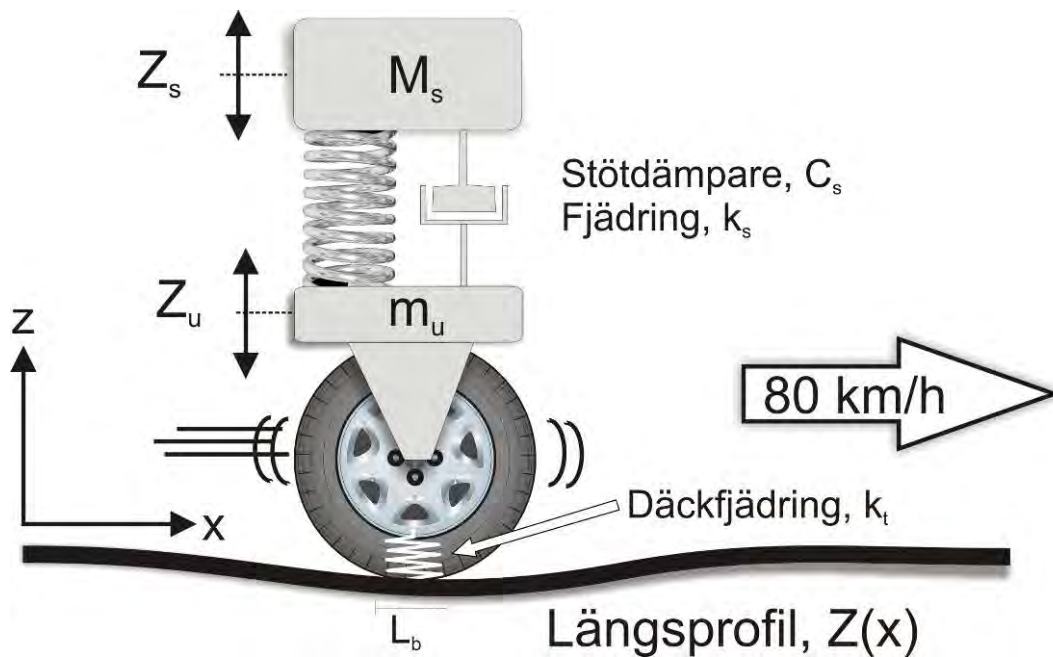
Megatextur, definieras på samma vis som makrotexturen men för våglängder inom 50 mm till 0,5 m. Till skillnad från mikro- och makrotextur speglar en förhöjning av megatexturvärde ett misslyckande eller fel i beläggningsarbetet. Detta innebär att man för megatexturen bör sträva att hålla den så låg som möjligt. Megatexturen beräknas via en inmätt längsprofil i rätt våglängdsområde. En ISO standard för megatextur finns som kommer att bli en CEN standard.

Längsgående ojämnheter kan indikeras på många olika vis. I grunden mäts en längsgående profil, normalt i höger hjulspår. Utifrån denna profil kan sedan olika mått beräknas. En variant är att våglängdsuppdelna profilen och sedan beräkna dess effektiva värde (rms). En sådan uppdelning har gjorts av Vägverket vid tidigare års övergripande vägnätsmätningar. Områdena har då varit 0,5–1 m, 1–3 m, 3–10 m, 10–30 m, 30–100 m. I Figur 2.6 finns en beskrivning över våglängdsuppdelning. För så kallade lokala eller singulära ojämnheter finns hittills inte något mått framtagit. En metod är dock under utvecklande vid VTI.



Figur 2.6 Exempel på våglängdsuppdelning av uppmätt vägprofil. (Källa: Leif Sjögren.)

International Roughness Index (IRI) är det mått som allmänt används för att beskriva vägytans ojämnheter i längsled. IRI beräknas från den inmätta längsprofilen. I själva verket beskriver IRI *responsen* från en vägs ojämnheter. IRI kan i korthet sägas vara en sammanvägning av de viktigaste ojämnheterna som påverkar trafikanten vid körning på väg, dvs. 0,5–100 m (Vägverket MB115, 2004). Sammanvägningen sker med hjälp av väldefinierade fjäder- och dämpningskonstanter i en så kallad "quarter car modell" (en fjärdedels bil), se Figur 2.7. Då dessa specifika parametrar för fjädring- och dämpningskonstanter utnyttjas kallas "quarter car modellen" för IRI-modell eller mer sällan för "Golden Car". Eftersom IRI kan sägas vara anpassat till personbilssegenskaper har flera studier genomförts för att ta fram mått och index som är mer lämpade för att beskriva vägytans inverkan på tunga fordon och dess förare. Det bör påpekas att Golden Car modellen *inte* beskriver en normal medelpersonbil. Dämpningen i Golden Car modellen är mycket högre än i de flesta person- och lastbilar (Sayers, 1995). IRI tillhör ett av de mått som ingår i Vägverkets upphandling och kan därför sägas uppfylla juridiska kraven. IRI kommer också inom kort vara en CEN standard.



Figur 2.7 Principskiss av IRI-modellen (Källa: Leif Sjögren, VTI).

Tvärgående ojämnheter: Mätning av tvärfilen ingår i Vägverkets upphandling av mätningar. Utifrån tvärfilen beräknas olika spårdjupsmått. Med hjälp av tvärfallsinformation kan *kantdeformation* beräknas. Ännu finns ingen rutin metod för att nyttja spårformen.

Tvärfallsförändringar: Den variant av tvärfallsmätning som används idag är inte bra. Den använder regressionslinjens lutning och presenteras endast för var 20 meter. Istället kommer en ny metod mer anpassad för t.ex. funktionskontroller att föreslås. Denna metod använder en så kallad spårbottnemetod och ska presenteras för varje meter.

Linjeföring: Vägens linjeföring förändras sällan men mäts ändå regelbundet vid de övergripande mätningarna. Linjeföringen beskrivs främst av de två parametrarna backighet och kurvatur men också tvärfall kan sägas ingå i vägens linjeföring.

Genomsläpplighet, mäts t.ex. med en utflödesmätare. Detta är dock en stickprovsmetod som kräver avstängning kring mätplatsen.

Styvhet kan säga beskriva vägens bärighet, dvs. vägens förmåga att bära laster och hur utmattad konstruktionen är. En fallviktsapparat kan användas för detta. Detta är en stickprovsmetod som kräver avstängning. Mer elegant vore att nyttja en metod som mäter vid trafikfart som t.ex. Laser Road Deflection Tester (RDT), (Andrén, 2006).

Om man tar hänsyn till de krav man bör ställa på mätmetoder, se kapitel 2.3 så är det endast ett begränsat antal som uppfyller dessa.

2.5.1 Kommentarer till och möjliga förbättringar av befintliga mätmetoder:

IRI per meter och längsprofiler: Tack vare en upplösning per meter i stället för som tidigare 20 meter kan man också detektera lokala ojämnheter. Längsprofiler som sparas som stöd för djupare analyser vid en eventuell tvist eller tveksamhet om mätresultatet.

Längsprofilen sparas med ett värde för varje 0,1 meter. Detta kan utan problem utföras med dagens teknik och skulle kunna uppfylla kvalitets krav.

En metod för detektering av lokala ojämnheter med hjälp av en simulerad rätskena som löper både på ovansidan av längsprofilen och undersidan finns nu klar. På detta vis kan man upptäcka både uppfrysningar som potthål.

Med hjälp av tätare presentation och nytt mått på tvärfall (spårbottentvärfall istället för regressionslinjelutning) kan man skapa mått för risk för pölbildning. Via en kombination av tvärfall och längsfall (från längsprofilen) kan man skapa ett mått för snedlutning. Tvärfallspresentation per meter medger också att man kan beräkna säkrare krängningsmått (rollning).

Idag finns teknik för automatisk mätning av sprickor i vägbanan. En metod att beskriva sprucken yta finns framtagen (rutnätmetoden). Förekomsten av sprickor detekteras inte via övriga tekniska parametrar som mäts för att beskriva det funktionella tillståndet och behövs därför som separat mätning.

Vi föreslår att man mäter bärigheten med hjälp av t.ex. Laser RDT och på detta vis får ett mått på det strukturella tillståndet under eller vid återlämnandet av funktionsobjektet. En ytterligare nyligen utvecklad högfartsmetod för detta finns också i Danmark, kallad HSD (High Speed Deflectograf), (Andrén, 2006) .

3 Funktionellt tillstånd -effekter

I detta kapitel 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. Detta illustreras nedan i form av två matriser. Matriserna är en vidareutveckling av de matriser som redovisas i VTI notat 71-2000.

I det första steget bedöms betydelsen av olika material- och konstruktionsegenskaper för primära och sekundära funktionella egenskaper hos vägytan, se Figur 3.1. Och i det andra steget bedöms vägytans funktionella egenskapers betydelse för olika trafik-effekter, se Figur 3.2.

I Figur 3.1 har texturen hos vägytan indelats i mikro-, makro- och megatextur. Mikro-texturen 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 exempelvis deformationer orsakade av tung trafik och bristande bärighet, spårslitage pga. dubbdäck, sättningar, tjälskott, upptinande block etc.

Vägytans ojämnheter har indelats i kategorierna tvärgående, längsgående och lokala ojämnheter. De två föregående har i sin tur indelats i ett antal underkategorier som kan tänkas ha olika stor betydelse för vägytans funktionella egenskaper.

Även vägens linjeföring har tagits med i matrisen eftersom denna i kombination med vissa vägyteegenskaper har betydelse för de funktionella egenskaperna. Ett exempel är kombinationen av spår djup och tvärfall som har avgörande betydelse för vattenavrinningen.

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.

Material- och konstruktionsegenskaper	Primära funktionella egenskaper									Sek. funkt. egensk.		
	Friktion	Rullmotstånd	Däckslitage	Buller och ljudinformation	Vibrationer	Krängningar	Stöt(ar)	Ytavvattning	Synbarhet, ljusreflektion	Vattendjup	Is på vägen	Snö på vägen
Mikrotextur <0,5 mm	+++	+	++	+								
Makrotextur 0,5 – 50 mm	+++	++	++	+++				++	++		+	
Megatextur 50 mm-0,5 m	+	++	+	++	++	+	+	+		++		
Tvärg. ojämnheter:												
Kantdeformation/-häng						++						
Spårdjup			+			+		++		++	++	++
Spårform			+			+		++		++	++	++
Längsg. ojämnheter:												
0,5 - 1 m		+		+	++						+	+
1 - 3 m		+			++						+	+
3 – 10 m		+			++	++					+	+
10 – 30 m						++				+	+	+
30 – 100 m						++				+		
Tvärfallsförändringar		+	+			+++						
Lokala/singulära ojämnh			+				+++					
Linjeföring:												
Backighet			+++					++		+		
Kurvatur		+	+++			+						
Tvärfall		+	+			(+)		+++		+++	+	
Genomsläpplighet				+++				++	++	++	+	
Styvhet		+	+	+								
Beläggningsens färg									+			

Figur 3.1 Matris som visar bedömning av olika material- och konstruktionsegenskapers betydelse för en vägytas funktionella egenskaper (+ viss betydelse, ++ stor betydelse, +++ störst betydelse).

Primära och sekundära funktionella egenskaper	Fordonskostnader			Restid	Trafiksäkerhet	Komfort	Miljöeffekter/kostnader			
	Bränsleförbrukning	Däckslitage	Reparationer				Avgaser	Saltförbrukning	Partiklar	Externt buller
Friktion				+	+++	++				
Rullmotstånd	+++	+					+++		+	
Däckslitageeg.		+++							+	
Buller/ ljudinformation				+	+	++				+++
Vibrationer			+	++	+	+++				+
Krängningar			+	+	++	++				
Stöt(ar)			++		++	+				
Ytavvattning	+			+	+			+		
Synbarhet, ljusreflektion				+	+	+				
Vattendjup	+			++	++	+				
Is på vägen				+	++	+		+		
Snö på vägen	+			+	++	+		+		

Figur 3.2 Matris som visar bedömning av vägytans funktionella egenskapers betydelse för olika trafikeffekter (+ viss betydelse, ++ stor betydelse, +++ störst betydelse).

3.1 Fordonskostnader

3.1.1 Allmänt

Fordonskostnaderna kan indelas i:

- Bränsle
- Däck
- Reparation
- Service/underhåll
- Kapitalkostnader.

Fordonskostnader påverkas enligt följande:

- Av körförlopp
- Av lutningskrafter i längsled
- Av vägytans bidrag till rullmotstånd: kan indelas i torr vägyta och olika andra väglag
- Av vägytans bidrag till vertikala belastningsväxlingar

- Av vägytans bidrag till påkänningar över brottgränsen
- Av stenskott
- Av kemisk halkbekämpning
- Av fordonsegenskaper
- Av förarens ruttval.

Dessa olika punkter är i flera fall ett uttryck för olika vägbeskrivande variabler. Olika funktionskrav ger upphov till olika värden på variablerna. För att exempelvis kunna bestämma storleken på kompensationer i vilka fordonskostnader ingår måste fordonskostnader kunna bestämmas som funktion av dessa variabler.

Variabler av betydelse för fordonskostnader vid investering:

- Lutning
- Radie
- Tvärfall/skevning
- Vägbredd
- Hastighetsgräns
- Korsningsutformning
- Korsningsreglering
- Ojämnheter
- Textur
- Spårbildning.

Fordonskostnadsvariabler vid drift underhåll:

- Potthål
- Tjälskador/IRI
- Avrinning/rullmotstånd
- Sopning och sandupptagning: stenskott.

Betydelsen av variabler med koppling till drift och underhåll för fordonskostnader kan mera förväntas vara genom körmönster än genom förändrat rullmotstånd.

Fordonskostnadsvariabler vid reinvestering:

- IRI
- Textur
- Tvärfall
- Spårbildning/avrinning.

Fordonskostnader som följer av drift och underhåll respektive av reinvestering är också beroende av den vägutformning som följer av investering.

3.1.2 Bränsleförbrukning

Rullmotstånd:

Stor inverkan: Megatextur, makrotextur

Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter, tvärfallsförändringar, kurvatur, backighet, vägytans styvhet

Ytavvattning:

Stor inverkan: Makrotextur, spårdjup + tvärfall, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Megatextur, längsgående ojämnheter, backighet

Vattendjup:

Stor inverkan: Megatextur, spårdjup + tvärfall, vattengenomsläpplighet
Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter, backighet

Snö på vägen:

Stor inverkan: Spårdjup
Måttlig inverkan: Spårform, längsgående ojämnheter

Kommentarer:

Bränsleförbrukning, liksom däckslitageegenskaper och avgaser är naturligtvis starkt beroende av hastighet. Alla variabler som påverkar hastighet påverkar också dessa effekter. Inverkan av hastighet kan vara olika:

- En sänkt konstanthastighet medför att framdrivningsarbetet minskar och har en sänkande effekt på kostnaderna
- Om hastighetsreduktionen är ett uttryck för acceleration/retardation behöver inte framdrivningsarbetet minska med minskande hastighet
- En sänkt hastighet i kombination med ändrat växelläge kan trots minskat framdrivningsarbete medföra att bränsleförbrukningen inte minskar. I alla fall där det står ett ”+” för restid och det handlar om ändrad hastighet med oförändrat växelläge borde det också finnas ett ”+” för bränsleförbrukning.

Ojämnheter i längsled och **megatextur** ger värmeförluster i dämpare och däck och därmed ökad bränsleförbrukning.

Makrotexturen, och kanske även **mikrotexturen**, har betydelse för rullmotståndet. Ju grövre textur desto större blir rullmotståndet. En grov makrotextur behöver dock inte vara entydigt negativ för rullmotståndet. Om det finns vatten på vägytan så åtgår mindre energi för att transportera bort vattnet från kontaktytan mellan däck och vägbana ju grövre makrotexturen är. Detta i sin tur innebär ett mindre rullmotstånd och en lägre bränsleförbrukning.

Vägytans styvhet och ytuppmjukning kan ha betydelse för rullmotståndet och därmed även för bränsleförbrukningen.

Vattengenomsläppligheten har betydelse genom dess inverkan på vattendjup i samband med nederbörd.

3.1.3 Däckslitage

Rullmotstånd:

Stor inverkan: Megatextur, makrotextur
Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter, tvärfallsförändringar, kurvatur, backighet, vägytans styvhet

Däckslitageegenskaper

Störst inverkan:	Backighet, kurvatur
Stor inverkan:	Makrotextur, mikrotextur
Måttlig inverkan:	Megatextur, spårdjup, spårform, längsgående ojämnheter, tvärfallsförändringar, lokala ojämnheter, tvärfall, vägytans styvhet
Snö på vägen:	
Stor inverkan:	Spårdjup
Måttlig inverkan:	Spårform, längsgående ojämnheter

Kommentarer:

Om **rullmotståndet** påverkas så påverkas även däckslitage.

Makro- och mikrotextur ger avverkande bearbetning av däck.

Backighet och **kurvatur** har extremt stor betydelse för däckslitage jämfört med övriga faktorer.

Däcken nöts av kanterna på **spår**, ju brantare kanter desto mer slitage (sidkraft och textur).

Längsgående ojämnheter och **megatextur** ger ökad uppvärmning av däcken och därmed högre slitage.

Tvärfallsförändringar innebär förändrad sidkraft vilket i sin tur ger förändrat däckslitage.

Lokala ojämnheter kan tänkas medföra risk för hårda inbromsningar vilket per sträckenheter ger ett dramatiskt däckslitage. I övrigt har de samma betydelse som ojämnheter generellt.

På en ren snö- eller isyta finns det ingen anledning att förvänta något däckslitage. **Snö på vägen** skulle därför eventuellt kunna innebära ett mindre däckslitage än vid barmark.

3.1.4 Reparationer

Vibrationer

Stor inverkan:	Megatextur, längsgående ojämnheter 0,5–10 m
----------------	---

Krängningar

Störst inverkan:	Tvärfallsförändringar
Stor inverkan:	Längsgående ojämnheter 3–100 m
Måttlig inverkan:	Megatextur, kantdeformation, spårdjup, spårform, kurvatur, backighet

Stötar

Störst inverkan:	Lokala ojämnheter (längsgående ojämnheter 0,5–10 m)
Måttlig inverkan:	Megatextur

Kommenterar:

Lokala ojämnheter kan göra att brottsgränsen passeras som följd av att man överraskas och inte hinner sänka hastigheten.

Is på vägen ger oftast upphov till vad som kan jämföras med förhållandevis kortvågiga ojämnheter. Bör därför ha samma betydelse som ”vanliga” ojämnheter.

3.2 Restid

Friktion

Stor inverkan: Mikrotextur, makrotextur

Måttlig inverkan: Megatextur

Buller/ljudinformation

Stor inverkan: Makrotextur, megatextur

Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter

Vibrationer

Stor inverkan: Megatextur, längsgående ojämnheter

Krängningar

Stor inverkan: Längsgående ojämnheter, tvärfallsförändringar

Måttlig inverkan: Megatextur, kantdeformation, spår djup, spårform, kurvatur, backighet

Ytavvattning:

Störst inverkan: Tvärfall

Stor inverkan: Makrotextur, spår djup, spårform, backighet, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Megatextur, längsgående ojämnheter, backighet

Synbarhet/ljusreflektion:

Stor inverkan: Makrotextur, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Beläggnings färg

Vattendjup:

Störst inverkan: Tvärfall

Stor inverkan: Megatextur, spår djup, spårform, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter 10–100 m, backighet

Is på vägen:

Stor inverkan:	Spårdjup, spårform
Måttlig inverkan:	Makrotextur, längsgående ojämnheter, vattengenomsläpplighet

Snö på vägen:

Stor inverkan:	Spårdjup, spårform
Måttlig inverkan:	Längsgående ojämnheter

Kommentarer:

Om föraren av någon anledning bedömer att **friktionen** är låg sänker denne troligen hastigheten.

Mikro- och makrotexturen har en stor betydelse för **friktionen** och kan därigenom sägas (indirekt) påverka framkomligheten och restiden.

Beläggningstexturen påverkar **bullernivån** i fordonskupén, vilket i sin tur kan ha betydelse för hastigheten.

Ökade variationer i **megatexturen** sänker hastighetsnivån och ökar därmed restiden.

Spårdjup+ spårform + tvärfall, makrotextur och vattengenomsläpplighet har betydelse för vattenavrinningen/dräneringen i samband med regn. Med vattengenomsläpplighet avses här inverkan av öppna, dränerande beläggningar av typ HabD eller liknande.

Synbarheten och **ljusreflektionen** kan förväntas ha stor betydelse för val av hastighet vid regn och mörker.

Snö och is på vägen kan innebära att friktionen fläckvis/sträckvis är lägre och kan därmed innebära sänkt hastighet.

Linjeföring (kurvor) i kombination med ytskador på grund av bromsning kan medföra lägre hastigheter.

3.3 Trafiksäkerhet

Friktion

Stor inverkan:	Mikrotextur, makrotextur,
Måttlig inverkan:	Megatextur

Buller/ljudinformation

Stor inverkan:	Makrotextur, megatextur
Måttlig inverkan:	Längsgående ojämnheter

Vibrationer

Stor inverkan:	Megatextur, längsgående ojämnheter
----------------	------------------------------------

Krängningar

Stor inverkan: Längsgående ojämnheter, tvärfallsförändringar

Måttlig inverkan: Megatextur, kantdeformation, spårdjup, spårform, kurvatur, backighet

Stötar

Stor inverkan: Lokala ojämnheter

Måttlig inverkan: Megatextur

Yttavvattning:

Stor inverkan: Makrotextur, spårdjup+spårform + tvärfall, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Megatextur, längsgående ojämnheter, backighet

Synbarhet/ljusreflektion:

Stor inverkan: Makrotextur, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Beläggningsens färg

Vattendjup:

Störst inverkan: Tvärfall

Stor inverkan: Megatextur, spårdjup, spårform, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter 10–100 m, backighet

Is på vägen:

Stor inverkan: Spårdjup, spårform

Måttlig inverkan: Makrotextur, längsgående ojämnheter, vattengenomsläpplighet

Snö på vägen:

Stor inverkan: Spårdjup, spårform

Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter

Kommentarer:

Mikro- och makrotexturen påverkar i hög grad **friktionen**, vilken i sin tur anses vara den mest väsentliga parametern vad gäller inverkan på trafiksäkerheten. 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.

En varierande **friktion** i längs- eller tvärled kan innebära en ökad olycksrisk t.ex. i samband med inbromsning.

Megatexturen kan inverka på friktionen genom minskad kontakt mellan däck och vägyta pga. att hjulen studsar. En ojämn yta kan också innebära att föraren blir mer koncentrerad på vägytan framför fordonet och därmed minskar uppsikten på den övriga trafiken.

Makrotextur, megatextur och **spår** i kombination med dåligt **tvärfall** liksom **vattengenomsläpplighet** påverkar **vattendjupet** på vägbanan och därmed friktionen.

Undersökningar har visat att **spår** generellt sett har tämligen ringa inverkan på trafiksäkerheten. Tendensen är att spår åtminstone på torra vägar har en viss positiv effekt. Under särskilt ogynnsamma förhållanden då mycket vatten samlas i spåren, i kombination med höga hastigheter, kan risk för vattenplaning föreligga. Även om denna typ av olyckor är ovanliga så kan de få allvarliga konsekvenser när föraren plötsligt förlorar kontrollen över fordonet. **Spårformens** betydelse har inte undersökts empiriskt, delvis beroende på att vedertagna mått för att beskriva spårform saknas. Vidare har undersökningar visat att **ojämnheter** har en i jämförelse med spår större och dessutom negativ inverkan på trafiksäkerheten.

Ett korrekt **tvärfall** borde ha ringa inverkan på trafiksäkerheten. Ett felaktigt **tvärfall** i kombination med **kurvor** bör dock ha en större inverkan. Otillräckligt **tvärfall** i kombination med **spår** och vatten innebär en ökad risk för vattenplaning.

Ljusreflektion (retroreflektion och spegling) torde ha stor betydelse vid våt vägbanan i mörker. Jämfört med friktion bör dock inverkan vara ganska måttlig.

Linjeföringen borde ha betydelse för vägytans inverkan på trafiksäkerheten bland annat genom att inbromsningar före och accelerationer efter kurvor lokalt kan ge lägre friktion.

Belagd bredd, målad bredd och körfältsbredd har inverkan på spår djup och spårform.

Klimat och lokalklimat kan tillsammans med vägytans egenskaper ha betydelse för uppkomst av halka. De termiska egenskaperna hos materialen längre ner i väggroppen har dock troligen större betydelse. Klimat har även som tidigare nämnts indirekt inverkan på ojämnheten i längs- och tvärled genom dess betydelse för tjälprocessen.

3.4 Komfort

Friktion

Stor inverkan: Mikrotextur, makrotextur

Måttlig inverkan: Megatextur

Buller/ljudinformation

Stor inverkan: Makrotextur, megatextur

Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter

Vibrationer

Stor inverkan: Megatextur, längsgående ojämnheter

Krängningar

Stor inverkan: Längsgående ojämnheter, tvärfallsförändringar

Måttlig inverkan: Megatextur, kantdeformation, spårdjup, spårform, kurvatur, backighet

Stötar

Stor inverkan: Lokala ojämnheter

Måttlig inverkan: Megatextur

Ytavvattning:

Stor inverkan: Makrotextur, spårdjup + tvärfall, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Megatextur, längsgående ojämnheter, backighet

Synbarhet/ljusreflektion:

Stor inverkan: Makrotextur, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Belägningens färg

Vattendjup:

Störst inverkan: Tvärfall

Stor inverkan: Megatextur, spårdjup, spårform, vattengenomsläpplighet

Måttlig inverkan: Längsgående ojämnheter 10–100 m, backighet

Is på vägen:

Stor inverkan: Spårdjup

Måttlig inverkan: Makrotextur, längsgående ojämnheter, vattengenomsläpplighet

Snö på vägen:

Stor inverkan: Spårdjup

Måttlig inverkan: Spårform, längsgående ojämnheter

Kommentarer:

Låg **friktion** kan innebära en osäkerhetskänsla för föraren.

Ett högt **internt buller** i fordonskupén innebär ett obehag för föraren och kan också vara tröttande om föraren utsätts för det under längre tid.

Vibrationer kan upplevas som obehagliga och tröttande för föraren. Långvariga vibrationer kan också ge upp upphov till smärta i nacke, axlar och rygg. Se vidare kapitel 2.4.

Krängningar upplevs inte minst av förare av tunga fordon som obehagliga. Kan även orsaka åksjuka.

God **synbarhet** vid mörkerkörning innebär en ökad körkomfort för föraren. En våt vägyta som är mycket speglade ger dock upphov till störande bländning.

Vatten, snö eller is på vägen kan upplevas som en ökad olycksrisk och påverkar därför körkomforten negativt.

3.5 Miljö

3.5.1 Avgaser

Avgaser har i huvudsak samma förklaringsvariabler som bränsleförbrukning.

3.5.2 Saltförbrukning

En spårig eller i övrigt ojämn beläggningssyta anses allmänt medföra konsekvenser för vinterväghållningens effektivitet och kostnader. Effektiviteten av plognings- och saltningsåtgärder minskar på grund av att plogskären kommer åt is och snö på vägytan in mindre utsträckning och efter saltning kvarstår det mer modd på vägytan. Många hävdar också att mer salt måste användas på spåriga vägar för att erhålla snö- och isfri vägbana och därmed uppfylla kraven i ATB Vinter 2003.

3.5.3 Partiklar

Partiklar kan indelas i fyra grupper:

- I avgaser
- Från däck
- Från bromsar
- Från vägbana (beläggning samt sandningssand).

3.5.4 Buller

Buller genereras främst från däckskontakten med vägytan samt från kraftöverföringen i fordon. Modeller för buller emission baseras på data om fordonet och vägens tillstånd. Men det buller kringboende exponeras för kräver ytterligare information om befolkningstäthet, geografin i området, körbeteenden och väder och vind. Modeller finns för körbeteende och däck/väg genererat buller. Modeller finns också för beräkning av miljö och sociala kostnader som uppstår på grund av transporter.

4 Modeller och effektsamband

I detta kapitel redovisas lite om vad vi vet angående modeller och effektsamband samt refereras i korthet till några senare relevanta studier.

4.1 Fordonskostnader

För att beskriva inverkan av olika vägbeskrivande variabler på fordonskostnader krävs modeller. Exempel på tänkbara modeller är bl.a.

- HDM 4
- VETO
- EVA
- Vintermodellen/VTI
- Fordonskostnadsmodeller ingående i olika PMS-system.

Vid beräkning av fordonskostnader är det inte tillräckligt att kunna beräkna själva fordonskostnaderna för förekommande förutsättningar. Som ett första steg måste hastighet och väglag uppskattas. För detta krävs speciella samband eller modeller.

Det bör vara lämpligt att primärt använda modeller som beräknar fordonskostnader i två steg:

- Förbrukning och förslitning uttryckt i fysiska mått så långt möjligt
- Kostnadsuppskattning baserad på värderingar av olika komponenter och drivmedel i kombination med den första punkten.

VV:s EVA-modell är exempelvis uppbyggd enligt denna princip. Effektsambanden i EVA håller f.n. på att revideras ifråga om bränsleförbrukning och däckslitage.

Mycket av det arbete som gjorts avseende fordonskostnader och vägyta har koppling till HDM-modellen, antingen direkt eller att resultat från olika studier utnyttjats i modellen.

Trots att inverkan av vägyta på fordonskostnader under lång tid varit i fokus speciellt ifråga om s.k. PMS-system kan man inte påstå att fordonskostnader kan bestämmas med någon större säkerhet relativt vägytevariabler. Med vägytevariabler menas då primärt ojämnheter och makrotextur. Litteraturen ger effekter, bränsleförbrukning, för dessa variabler som ligger inom ett brett intervall för en och samma förändring av variablerna. HDM4 ger exempelvis bränsleeffekter av textur och ojämnheter, vilka är ca 3 ggr större än enligt den senaste svenska studien.

En central fråga bör vara vilka noggrannhetskrav som finns på beräkningsmodeller vid funktionell upphandling. Fordonskostnadsberäkningar är både beroende av noggrannhet ifråga om samtliga förutsättningar och av sambanden som beskriver fordonskostnader. Vissa beräkningsförutsättningar är direkt uppmätta medan andra har beräknats som funktion av uppmätta förutsättningar.

VTI deltar f.n. i en EU ansökan i vilken VTI:s del bl.a. omfattar en studie avseende samband mellan färdmotstånd och olika vägytevariabler.

I ett samarbete mellan VTI¹² och ett polskt forskningsinstitut har en mätutrustning för rullmotstånd utvecklats.

VTI har nyligen avslutat en litteraturstudie avseende vinterdäck med inriktning på skillnader i trafikanteffekter mellan dubbdäck och odubbade vinterdäck.

Inom det s.k. IERD-projektet, EU och VV finansiärer, har en programvara utvecklats för att direkt få uppgifter både om energianvändning vid byggnation och för trafiken på vägen.

VV satsar f.n. inom miljöområdet på att använda internationellt accepterade beräkningsmodeller. Ifråga om bränsleförbrukning/CO₂ skall modeller av VETO-typ kunna användas, både för lätta och för tunga fordon. VTI skall på uppdrag av VV sammanställa ett underlag för en diskussion i en internationell arbetsgrupp (DACHNLS). En del av detta underlag utgörs av motormappar för ca. 60 lätta fordon. Inom COST 346 har motormappar för ca 100 dieselmotorer sammanställts. Betydelsen av detta för funktionell upphandling är förbättrade möjligheter till att beräkna representativa värden för bränsleförbrukning.

Beträffande inverkan av vägyta på rullmotstånd och bränsleförbrukning finns en form av mått på osäkerhet genom att ett större antal studier finns rapporterade. Beträffande däckslitage och reparationskostnader är situationen betydligt sämre.

Beträffande reparationskostnader har situationen försämrats genom att den Bilunderhållundersökning som Konsumentverket tidigare utförde vart tredje år inte utförts sedan 1995.

VTI arbetar sedan några år med utveckling av en vintermodell. I denna beskrivs väglag som funktion av olika åtgärder. Därmed bör möjligheterna att beskriva bränsleförbrukning för olika vinterväglag ha förbättrats.

För åtgärder som riktas mot vägytan finns en tendens till att man ifråga om fordonskostnadseffekter överbetonar betydelsen av rullmotståndseffekten på bekostnad av inverkan på hastighet. Det skulle kunna vara så att förhållandevis stora ökning av makrotextur och ojämnheter endast ger förändringar av bränsleförbrukning med några procentenheter. För varje procentenhets ökning av hastigheten kan bränsleförbrukningen öka med ca 0,6 %.¹³ Tilläggas kan att samband mellan bränsleförbrukning och hastighet är väsentligt mindre omdiskuterade än samband relativt vägyta direkt. Slutsatsen av detta är att det kan vara väsentligt mera kostnadseffektivt att lägga resurser på samband mellan hastighet och vägyta än på samband mellan rullmotstånd och vägyta. Åtminstone bör man inte glömma hastighetsaspekten i detta sammanhang.

Även åtgärder avseende ”potthål” kan primärt förväntas påverka fordonskostnader via körmönster. Kunskapsläget om körbeteende som funktion förekomst av potthål och mera extrema ojämnheter är sannolikt dåligt.

¹² Ulf Sandberg.

¹³ Exemplet avser en genomsnittlig europeisk personbil på en svensk väg med motorvägsstandard och hastighetsgräns 90 km/h.

4.2 Restid

I Vägverkets PMS beräknas idag restidskostnaderna 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

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

Lastbilar

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

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

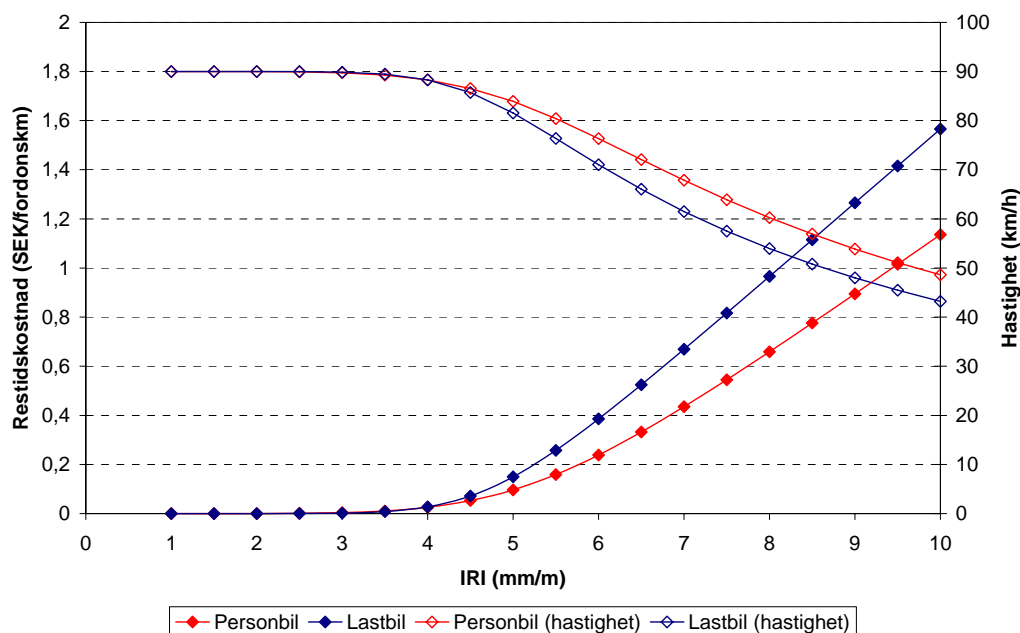
Tidsförlusten beräknas sedan enligt följande:

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

Slutligen beräknas restidskostnaden med hjälp av följande tidsvärden (år 2002?):

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 4.1.



Figur 4.1 Hastighet och restidskostnad för personbil respektive lastbil vid skyltad hastighet 90 km/h och $LF=1$.

4.3 Trafiksäkerhet

Friktionen är den funktionella egenskap som bedöms ha störst betydelse för trafiksäkerheten. Låg friktion mellan däck och vägbanan under barmarksförhållanden har dock normalt inte varit något stort problem i Sverige. Friktionen påverkas framförallt av makro- (stenstorleken) och mikrotexturen (skrovligheten på stenarnas yta) i kombination med fukt (smörjmedel) hos beläggningen. På senare år har det kommit fram indikationer på att stenrika slitlagerbeläggningar, såsom ABS-beläggningar, med stenmaterial av hög slitstyrka (främst porfyr) kan få låg friktion i vått tillstånd på hårt trafikerade vägar. Orsaken till den låga friktionen bedöms vara att porfyrsten, som kan ha mycket släta ytor redan från början, poleras sommartid och sedan inte ruggas upp i tillräcklig omfattning under vinterhalvåret. Den minskade uppruggningen beror på att ståldubben i dubbdäcken under senare år har ersatts med lättviktsdubb. Poleringen är av särskild betydelse i kritiska lägen, t.ex. kurvor med små radier, rondeller, vägkorsningar etc. Ett antal inträffade halkolyckorna initierade en inventering av asfaltbeläggningsfriktionsegenskaper med inriktning på trafikpolering och en regelbunden uppföljning av utvalda vägsträckor har sedan skett under ett antal år.

I många länder där dubbdäck är förbjudna är trafikpolering ett stort problem och föreskrifter finns bland annat för stenmaterialets poleringsbenägenhet. I Sverige har tidigare dubbtrafiken medfört att stenmaterialet på vintern ruggats upp varför låga friktionstal varit ovanliga på inslitna beläggningar. Val av allt slitstarkare stenmaterial, övergång till skelettasfalt samt skonsammare dubbar har markant reducerat dubbslitaget och i vissa situationer kan detta medföra låga friktionsvärden under hösten. En "state-of-the-art" – rapport om polering av stenmaterial i slitlagerbeläggning och dess inverkan på friktionen har skrivits (Höbeda, 1997).

Låg friktion vid barmarksförhållanden kan även uppstå då enklare underhållsåtgärder som bindemedelsförsegling används på relativt högtrafikerade vägar.

Friktionen mäts inte rutinmässigt i Sverige så som man gör i många andra länder. Det finns därför inte underlag för att ta fram modeller för friktionsförändringar för olika beläggningstyper vid olika trafikbelastningar och inte heller trafiksäkerhetseffekter.

I senare studier där vägytans inverkan på trafiksäkerheten har undersökts har en negativ inverkan av ojämnheter kunnat påvisas (Sjölinder et al., 1997; Ihs et al., 2002). Att ojämna vägar skulle kunna innebära högre olycksrisk är väl inte helt oväntat. Dock kan effekten ibland synas oväntat stor.

En ojämna väg kan förväntas ha både positiva och negativa effekter på bilföraren och dennes bilkörning. Nedan ges några exempel.

Positiv inverkan på olycksrisken:

- Ökad koncentration på bilkörningen
- Sänkt hastighet på grund av försämrad komfort, buller, oro för olycksrisk eller att bilen ska skadas etc.

Negativ inverkan på olycksrisken:

- Mer koncentration på bilkörningen och därmed mindre observant på andra trafikanter
- Långvarig körning på ojämna väg kan vara tröttande (kan också innebära att bilföraren slappnar av/släpper koncentrationen när han kommer in på en bättre vägsträcka och då råkar ut för en olycka)
- Försämrat väggrepp pga. av minskad kontakt med vägytan, särskilt negativt i samband med snö- och isväglag eller rimfrost
- Plötsligt uppträdande ojämnheter, såsom exempelvis enstaka tjällyft, kan överraska bilföraren i en situation då denna kanske har uppmärksamheten riktad åt annat håll (knappar på radion, svarar i mobiltelefon eller liknande)

Som ett mått på vägens ojämnheter har IRI använts i de tidigare studierna. Eftersom medelvärden över 20 respektive 500 m har använts innebär det att en sträcka med enstaka större ojämnheter kan erhålla samma IRI-värde som en sträcka med flera mindre ojämnheter. Detta är en av anledningarna till att det med hittills använda analysmetoder inte har gått att särskilja effekten på olycksrisken av enstaka större ojämnheter från mer kontinuerligt förekommande mindre ojämnheter.

En hypotes som framförts är att vägar som har enstaka/lokala större ojämnheter men i övrigt är förhållandevis jämna kan ha högre olycksrisk lokalt vid ojämnheten än vägar med mer ”kontinuerlig” ojämnheter. Sett över hela vägsträckan behöver dock inte olycksrisken vara större än på vägen med ”kontinuerlig” ojämnheter. Vid lokal större ojämnheter kan bilföraren bli överraskad och kanske bromsa in mer eller mindre häftigt. Är det då dessutom halt kan sladd uppkomma, alternativt så hinner inte bakomvarande bil bromsa utan kör på den som bromsat.

Spårdjup som av många förknippas med en hög olycksrisk leder enligt resultaten från de ovan nämnda studierna totalt sett inte till ökad olycksrisk. Risken för vattenplaningsolyckor konstaterades dock öka så som kan förväntas med ökande spårdjup och minskande tvärfall, dvs. förhållanden som gör att mer vatten kan bli stående på vägen.

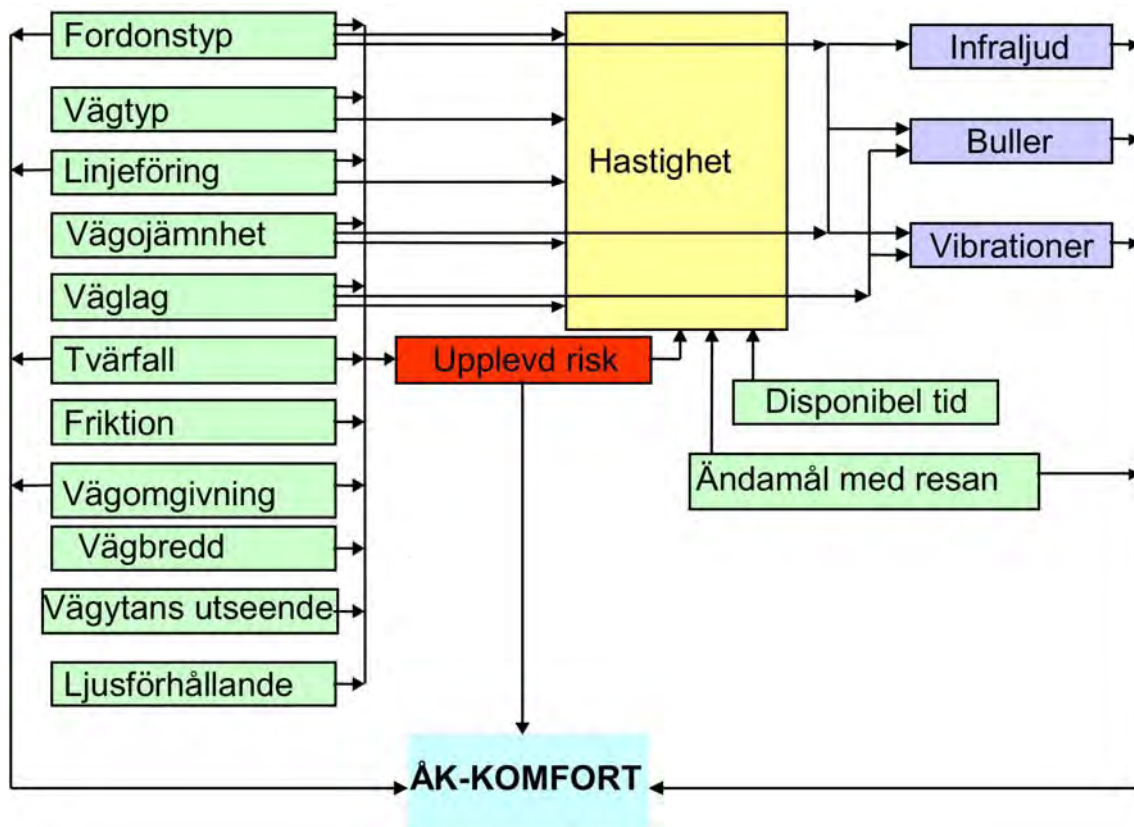
Hur olika förändringar/försämringar av vägytans tillstånd påverkar trafiksäkerheten beror i hög grad på om och hur trafikanten anpassar sitt beteende. Trafikanten blir kanske mer koncentrerad och sänker kanske även hastigheten på en väg med ”dåligt”

tillstånd. Det är därför långt ifrån självklart att en fysisk försämring leder till sämre trafiksäkerhet. Att exempelvis bedöma vilken friktion som råder kan dock vara svårt för trafikanten som därmed också får svårt att anpassa sitt körbeteende till rådande förhållanden. Det kan också vara så att om vägen inte känns alltför ojämn så upplever inte bilföraren någon större olycksrisk utan håller en i förhållande till väggreppet allt för hög hastighet.

4.4 Komfort

Det är viktigt att beakta vad man lägger in i begreppet komfort. Exempel på definitioner är "angenäm och praktisk bekvämlighet" (*National Encyklopedin*) samt "subjektivt tillstånd av trygghet och välmående" (*Johan Granlund, VV konsult*). Resultaten från en litteraturstudie av Alm (*Alm, 1989*) tyder på att det är otillräckligt att betrakta komfort som enbart en reaktion på fysiska stimuli. Man bör istället ta reda på vad trafikanterna uppmärksammar i vägmiljön och vilka faktorer som kan minska/öka komfortupplevelsen under biltransporten.

För några år sedan gjordes ett försök att beskriva vilka faktorer som kan vara av betydelse för komforten och hur, dvs. en skiss på en komfortmodell (se nedanstående schema). Av schemat framgår att de faktorer som primärt styr förarens (och i viss mån passagerarens) komfortupplevelse är vägens egenskaper, fordons typ och egenskaper samt ljusförhållandena under färden.



Figur 4.2 Komfortupplevelsens element och dessas samband (källa: Georg Magnusson, VTI).

Vägens egenskaper

- Vägtyp: motorväg, motortrafikled etc.
- Linjeföring: horisontal- och vertikalkurvatur påverkande siktsträckan
- Vägbredd: med eller utan vägren
- Vägojämnhetsnivå: ojämnhetsnivå och våglängdsfördelning
- Vägomgivning: omgivningens skönhet, krockvänlighet och närhet till skogsbyn
- Väglag: torrt, vått, snöigt eller isigt.

Fordonets typ och egenskaper

- Personbil: sedan, kombi eller sportmodell
- Lastbil: storlek, fjädringens och dämpningens egenskaper
- Bus: storlek, fjädringens och dämpningens egenskaper.

Ljusförhållanden

Dagsljus eller natt

Samtliga av dessa primära faktorer påverkar förarens upplevelse av risk. Föraren väljer en acceptabel risknivå, eller i de flesta fall kanske t.o.m. en noll-risknivå, genom sitt val av hastighet.

Färdhastigheten beror av fordonets typ och egenskaper (t.ex. roligt att köra fort med en sportbil) samt av vägtyp (högre hastighet på motorväg än på andra vägar), linjeföring (uppförbackar innebär för vissa fordon en naturlig hastighetsbegränsning), vägojämnhetsnivå (risk för fordonsskador), för resan disponibel tid och ändamålet med resan (resor till och från arbetet avverkas normalt på kortast möjliga tid medan hastigheten vid rekreationsresor kanske är lägre för att omgivningens skönhet ska kunna avnjutas).

De fordonsinterna störningsmomenten vibrationer, buller och infraljud beror via färdhastigheten av vägojämnhetsnivå och fordonets typ och egenskaper.

Komfortupplevelsen beror slutligen av risknivån, de fordonsinterna störningsmomenten, ändamålet med resan, linjeföringen (körning i horisontalkurvor ger sidaccelerationer som kan uppfattas som komfortnedsättande utan att samtidigt upplevas som riskabla), omgivningens eventuella skönhet och av bekvämligheten (stolutföring, servoassistans etc.) och det inre klimatet i fordonet.

I en litteraturstudie som genomförts inom ett ramprojekt kallat "Vägytans trafikeffekter" definieras komfort som bekvämlighet, välbefinnande, trygghet i vid mening – både fysiskt och psykiskt (Forsberg och Magnusson, 2000). Vägverket har beslutat att hälsoeffekter som uppstår på grund av vägytans tillstånd (exempelvis ryggproblem hos yrkeschaufförer som kör långa sträckor på dåliga vägar) ska behandlas separat och inte inkluderas i körkomforten, vilket annars hade varit tänkbart.

Litteraturstudien syftade till att finna underlag för revidering av det samband mellan vägojämnhetsnivå och komfortkostnad som tidigare utnyttjats i Vägverkets PMS. Detta samband är åtminstone delvis baserat på en finsk studie från 1985 (Lampinen och

Mäkelä, 1985). Litteraturstudien visade att sambandet mellan vägojämnheter/vibrationer och komfortupplevelse under årens lopp har varit föremål för ett flertal studier. Studier syftande till att sätta ett pris på upplevelsen av komfort, eller snarare bristen på komfort är däremot mycket fåtaliga. Detta innebär att litteraturstudien inte kunde ge något underlag för en revidering av komfortkostnadsmodellen i PMS.

Under år 2000 kom ytterligare två svenska rapporter med anknytning till körkomfort. Den ena handlade om en undersökning av helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar i Västernorrland (Granlund, 2000). Syftet med studie var att undersöka om vägbaneojämnheter kan medföra hälsofara och/eller om de genom förarpåverkan kan medföra trafikfara. Sträckorna i studien täckte hela spannet från mycket jämnt (IRI=0,43 mm/m) till mycket ojämnt (IRI=22,78 mm/m). Mätningarna omfattade helkroppsvibrationer enligt vibrationsstandard SS-ISO-2631, dels mätt på bår för en liggande person i olika ambulansbilar och med olika fart, dels mätt på durk och på sits för en sittande person vid såväl förarplats som passagerarplats i några olika lastbilskonfigurationer. Bland annat följande redovisades i rapporten:

- Vibrationerna beror i huvudsak av tre faktorer: vägbanans ojämnheter, fordonets egenskaper samt förarens beteende (inklusive val av hastighet). Resultaten av studien tolkades som att vägbanans jämnheter var den faktor som hade den avsevärt största betydelsen.
- Vissa typer av vibrationer är kända för att orsaka åksjuka under bilfärd. Dessa är dels de mycket lågfrekventa (0,1–0,63 Hz) vertikalkvibrationerna och dels rollrörelser.
- På de ojämnaste sträckorna registrerades på ambulansbåren toppvärden som ligger långt över den vibrationsnivå som fullt friska människor enligt internationell standard förväntas uppleva som ”extremt obehagligt”.
- Effekten av vägbanans ojämnheter på kupévibrationsnivån är i storleksordningen 2–3 gånger högre i en lastbil än i en vanlig personbil.
- Resonansfenomen gör att två vägar med samma IRI-värde men olika våglängdsinnehåll ger helt olika störningar vid andra hastigheter än just referenshastigheten 80 km/h. För att utveckla modeller som ger en hög förklaringsgrad avseende vägojämnheters betydelse för kupévibrationerna, krävs att modellerna även tar hänsyn till ojämnheters våglängdsinnehåll.

I rapporten redovisas också modeller för skattning av translationsvibrationer baserade på Vägverkets vägojämnhetsmätningar i lastbilar och ambulanser. Med dessa samband samt föreslagna gränsvärden enligt ISO 2631 erhöles att vägbanor med ojämnheter som ger IRI=1,8 mm/m är okomfortabla i en äldre lastbil med farten 75 km/tim. I en ny lastbil är motsvarande värde 2,3 mm/m. I en ”stor” ambulans i farten 120 km/tim är IRI = 2,2 mm/m okomfortabelt för en frisk människa. I en ”liten” ambulansbil i 90 km/tim är värdet 4,8 mm/m. De mekaniska egenskaperna hos den lilla ambulansbilen är jämförbara med en typisk personbil, liknande den ”Golden Car” som nyttjas för beräkning av IRI-värdet.

Baserat på resultaten från studien föreslås i rapporten att ojämnheter över nivån 3 mm/m betraktas som helt oacceptabla, vilket skulle innebära att ca 1/3 av det statliga vägnätet har en oacceptabel ojämnheter på vägytan.

Man konstaterar också att en mycket stor del av vibrationsproblemen beror på relativt långvågiga/mycket långvågiga vägojämnheter, samt av ogynnsamt varierande tvärfall. Dessa vägsador fångas inte särskilt väl med IRI-måttet.

Den andra rapporten beskriver en undersökning av trafikanternas syn på lägsta acceptabla vägstandard, vilken genomförts i Norrbottens län (*Persson, 2000*). Drygt 220 personer hade fått svara på frågor om fyra utvalda belagda vägar i en enkät.

Man fann att synen på lägsta acceptabla standarden låg på en något bättre standard än de gränser som gäller som riktlinjer vid prioritering inom Vägverket Region Norr (VN):

- VN:s gräns för trafikantkostnaderna ligger på 1,0 kr/km. Trafikanterna accepterar en trafikantkostnad på max 0,7–0,8 kr/km. (Beräknas med trafikantkostnadsmodellerna i PMS.)
- VN:s gräns för hål i beläggningen är en diameter på 20–30 cm och ett djup på 30 mm. Trafikanterna accepterar en diameter på max 10–15 cm och ett djup på 20–30 mm.
- VN:s gräns för spårdjup är 30–35 mm. Trafikanterna accepterar ett spårdjup på max 25 mm.
- VN:s gräns för bredd och längd på sprickor är 30 mm respektive 3 m. Trafikanterna accepterar en längsgående spricka med bredd på max 20 mm och en tvärgående spricka med bredden max 15 mm.

Vidare fann man att slaghål, ojämnheter och dåliga lagningar på de belagda vägarna besvärar trafikanterna mest och dessa defekter är också viktigast att åtgärda.

För några år sedan genomfördes också en studie rörande upplevelsen av vägojämnheter på vägar med låga IRI-värden (0,5–3 mm/m) (*Dahlstedt, 2001*). Undersökningen genomfördes som ett skattningsförsök där ett 20-tal bedömare fick åka med som passagerare i dels personbil, dels lastbil.

Några av de viktigaste resultaten av undersökningen var följande:

- Den upplevda ojämnheten verkar vara en linjär funktion av IRI-värdena inom det studerade ojämnhetsintervallet.
- Känsligheten hos bedömarna, eller deras överensstämmelse sinsemellan, verkar vara större i personbil än i lastbil.
- För några delsträckor med ”icke-typisk” frekvenssammansättning av ojämnheter visade sig IRI korrelera ganska dåligt med den upplevda ojämnheten.
- Många enskilda bedömare hade ännu starkare samband mellan sina subjektiva bedömningar och vägprofilbeskrivningen i RMS-värden än mellan bedömningar och ojämnheter enligt IRI.

Under sommaren 2002 antogs inom EU ett särdirektiv om arbetstagares hälsa och säkerhet vid exponering för risker i samband med vibrationer i arbetet, även kallat ”Physical agents vibration directive” (Europaparlamentets direktiv 2002/44/EG). Medlemsländerna i EU hade fram till den 6 juli 2005 på sig att överföra direktivet till nationell lagstiftning.

Tillståndet på delar av vägnätet kan med all säkerhet vara sådant att vibrationsnivåerna som yrkesförare exponeras för överstiger de som anges i vibrationsdirektivet. Hur stort problemet är och vilka konsekvenser införandet av EU-direktivet får för Vägverket som

ansvarig för underhållet av det statliga vägnätet är inte känt och VTI fick därför i uppdrag att genomföra en förstudie för att bland annat kartlägga Vägverkets ansvar samt Arbetsmiljöverkets tolkning av direktivet, men också att studera hur olika utformning av vägens längsprofil kan ge upphov till vibrationer som kan vara skadliga eller okomfortabla för människan. Förstudien har avrapporterats i (VTI notat 29-2006).

Enligt EU-direktivet, och även Arbetsmiljöverkets föreskrifter, är det ett arbetsgivaransvar att tillse att arbetet planeras och bedrivs så att kraven i direktivet uppfylls och att arbetstagarens vibrationsexponering minimeras så långt möjligt. När det gäller vägtransporter är det därför exempelvis åkeriägare och bussbolag som har ansvaret att se till att förarna inte exponeras för otillåtna vibrationsnivåer. Vägverket skulle därmed egentligen inte ha något direkt ansvar för att yrkesförarna inte utsätts för vibrationer enligt EU-direktivet. Indirekt finns ändå ett ansvar för Vägverket eftersom uppgiften som väghållare är att utveckla och förvalta det statliga vägnätet på ett sådant sätt att man bidrar till Riksdagens transportpolitiska mål. För vägtransportsystemet har sex delmål definierats:

- Ett tillgängligt transportsystem
- Ett jämställt transportsystem
- En positiv regional utveckling
- En hög transportkvalitet
- En god miljö
- En säker trafik.

Om stora delar av vägnätet har ett tillstånd som är sådant att kraven i EU-direktiven inte kan uppfyllas för yrkesförare skulle detta bland annat kunna innebära en inskränkning av tillgängligheten. Vägnätets tillstånd har dock på olika sätt mer eller mindre betydelse för samtliga delmål.

Det är troligen främst problem med helkroppsvibrationer som kan uppstå till följd av vägytans tillstånd. Med helkroppsvibrationer avses vibrationer som överförs till hela kroppen genom en stödjande yta, exempelvis en sittande persons säte, och medför risker för ohälsa och olycksfall, särskilt smärttillstånd i nedre ryggen och skador på ryggraden.

Följande gränsvärden och insatsvärden för helkroppsvibrationer anges i direktivet:

- Gränsvärdet för den dagliga exponeringen, normaliserat till en referensperiod på 8 timmar, skall fastställas till $1,15 \text{ m/s}^2$ eller enligt medlemsstatens val till ett vibrationsdosvärde på $21 \text{ m/s}^{1,75}$
- Insatsvärdet för den dagliga exponeringen, normaliserat till en referensperiod på 8 timmar, skall fastställas till $0,5 \text{ m/s}^2$, eller enligt medlemsstatens val till ett vibrationsdosvärde på $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$.

För bedömning av helkroppsvibrationerna beräknas den dagliga vibrationsexponeringen $A(8)$, uttryckt som den ekvivalenta kontinuerliga accelerationsstyrkan under en åttatimmarsperiod och beräknad som det högsta av de verkliga (r.m.s.) värdena eller de högsta vibrationsdoserna (VDV) för den frekvensvägda accelerationen i tre rätvinkliga riktningar ($1,4a_{wx}$, $1,4 a_{wy}$ och a_{xz} för en sittande eller stående arbetstagare) i enlighet med ISO 2631-1 (1997).

VTI genomförde inom ramprojektet ”Vägytans trafikeffekter” förutom den tidigare nämnda litteraturstudien även en fältstudie rörande körkomfort (Ihs et al., 2004). Studie

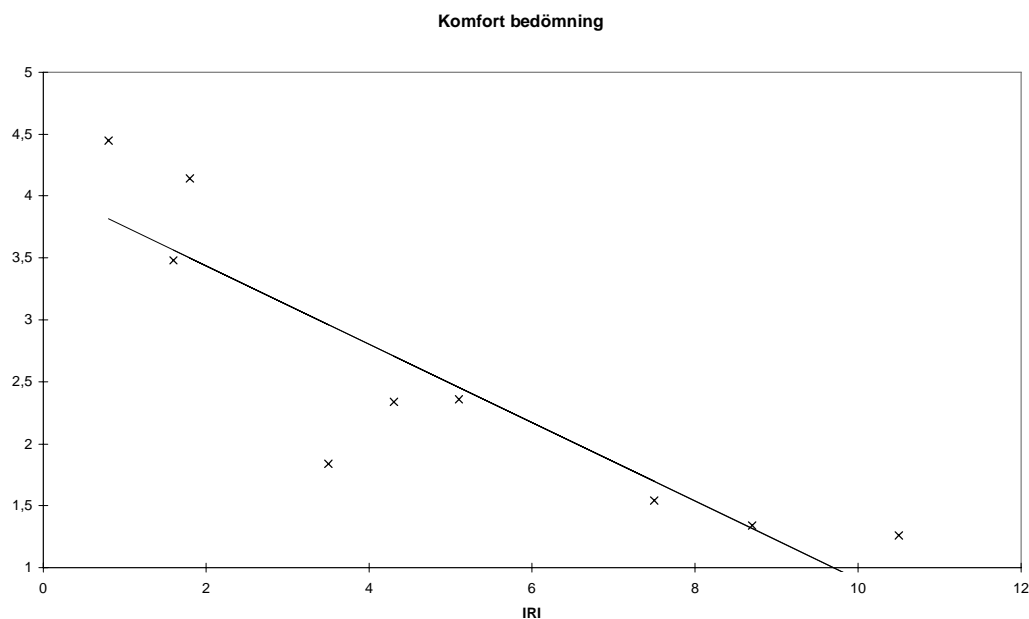
syftade primärt till att i en fältstudie undersöka sambandet mellan vägytans ojämnhet, uttryckt i måttet IRI och bilisters upplevda körkomfort. Även olika metoder för att bestämma bilisternas betalningsvilja för komfort testades.

Undersökningen gick i korthet till så att 50 försökspersoner fick köra en personbil över nio stycken 500 m långa vägsträckor med olika vägytetillstånd. Medelvärdet av uppmätt IRI-värde på sträckorna varierade från 0,8 mm/m på den jämnaste sträckan till 10,5 mm/m på den ojämnnaste.

I samband med undersökningen intervjuades försökspersonerna. De fick bland annat frågor om vilka faktorer som har störst inverkan på körkomforten och hur körkomforten upplevdes på de olika sträckorna.

Försökspersonerna fick göra en bedömning av ett antal olika defekter som kan förekomma på en asfaltbeläggning. Viktigast för en komfortabel färd är att det inte finns några hål/gropar i beläggningen. Därefter följer spår, ojämnheter som ger upphov till vibrationer samt gupp och sättningar, i nu nämnd ordning.

Ett tydligt samband mellan uppmätt IRI-värde och försökspersonernas bedömning av körkomforten kunde konstateras, dvs. ju högre IRI-värde desto sämre körkomfort (se figur 4.3).

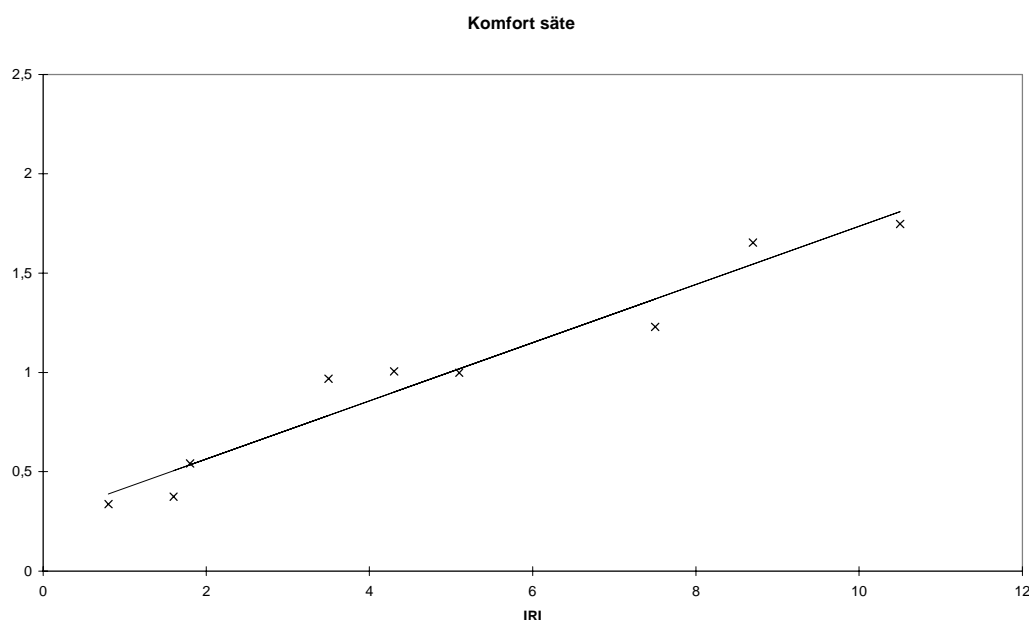


Figur 4.3 Försökspersonernas bedömning mot IRI. Korrelation = -0,89; Lutning = -0,32; Intercept = 4,07.

Den fysiska påverkan orsakad av teststräckornas olika vägytetillstånd undersöktes även genom att en krockdocka utrustad med tre-axiella accelerometrar och placerad i personbilens passagerarsäte transporterades över teststräckorna. Signalerna filtrerades enligt SS-ISO-2631-1 (1997).

Ett stort antal regressionsanalyser genomfördes där de observerade accelerationsvärdena (filtrerade) i bilen anpassades till de uppmätta IRI-värdena.

Det kan verka rimligt att anta att de ojämnheter som fångas upp med IRI i första hand påverkar de vertikala accelerationerna, men det var genomgående så att det var sammanslagningen av accelerationerna i de tre ortogonala riktningarna som korrelerade bäst med IRI. Sammanslagningen gjordes genom att summera kvadratvärden i respektive riktning och sedan dra kvadratroten ur summan. I figuren nedan visas som ett exempel det sammanslagna accelerationsvärdet uppmätt i sätet mot IRI.



Figur 4.4 Det sammanslagna accelerationsvärdet i bilens säte mot IRI. Korrelation = 0.98; Lutning = 0.15; Intercept = 0.27.

4.5 Miljö

4.5.1 Avgaser

Se kapitel 4.1 Fordonskostnader. I de modeller som används för beräkning av fordonskostnader, dvs. HDM-4, VETO, respektive EVA, kan även avgasemissioner beräknas.

4.5.2 Salförbrukning

Spårig och ojämn vägyta anses medföra konsekvenser för vinterväghållningens effektivitet och kostnader. Effektiviteten av plognings- och saltningsåtgärder minskar pga. att plogskären kommer åt is och snö på vägytan in mindre utsträckning och efter saltning kvarstår det mer modd. Mot bakgrund av detta fick VTI i uppdrag av Vägverket att genomföra en studie med syfte att undersöka om vinterväglaget är sämre på vägar med stora spår djup än på vägar med små spår djup och, om så är fallet, kvantifiera skillnaderna (Möller & Wallman, 2001).

Underlagsmaterialet i studien utgjordes av väglagsobservationer på körfält som samlats in vid Vägverkets vinteruppföljningar under de fyra vintrarna 1993/94 till och med 1996/97. Dessutom utnyttjades Vägverkets mätningar med RST-bil av spår djupet på det belgda vägnätet under somrarna 1993–1997.

Undersökningen gav inget generellt stöd för att större spårdjup skulle medföra mer is eller snö på vägen. På A1 och A2 vägar fanns dock en svag tendens till mer is-/snövägslag. Variationen i spårdjup var dock inte speciellt stor i materialet.

En förklaring som framförts till att vägar med större spårdjup inte har mer is-/snövägslag, skulle vara mer saltning. Eftersom det inte fanns tillgång till information om hur mycket de olika vägarna saltats kunde man dock inte att undersöka om denna förklaring är riktig.

4.5.3 Partiklar

En undersökning av inandningsbara partiklar (PM₁₀) från dubbdäckslitage av vägbana har genomförts i VTI:s provvägsmaskin (Gustafsson et al., 2005).

Höga halter av inandningsbara partiklar (PM₁₀) i omgivningsluften har en bevisad relation till befolkningens dödlighet och insjuknande i olika typer av luftvägssjukdomar. Den negativa inverkan på hälsan har medfört att EU har infört direktiv för hur höga halter som får förekomma i utomhusluften. Detta har i Sverige översatts till en miljö kvalitetsnorm innebärande bland annat att medelhalten av inandningsbara partiklar (PM₁₀) under året får vara högst 40 µg/m³ luft och under dygnet högst 50 µg/m³.

De högsta halterna av PM₁₀ uppstår i hårt trafikerade väg- och gatumiljöer under torra perioder på vinterhalvåret. En del av partiklarna är förbränningspartiklar, men upp till 80% av massan kan utgöras av slitage partiklar från främst vägbeläggningen, däck och bromsar. Även vintersandning bidrar till luftens partikelinnehåll.

Två lika typer av beläggningar, en asfaltbetong med (ABT) och en skelettasfalt (ABS) med granit respektive kvartsit som huvudsakligt stenmaterial, ingick i undersökningen.

Stora skillnader mellan de två beläggningstyperna konstaterades. ABT-beläggningen med granit orsakade flera gånger högre halter av PM₁₀ i experimenten.

4.5.4 Buller

Vägtrafikbullret påverkas i hög grad av typen av beläggning samt konditionen hos denna. Enligt (Sandberg, 2000) kan skillnaden mellan ”bästa” och ”sämsta” fall vara upp till 10 dB(A). Denna skillnad innebär att effekten hos bullret från den ”sämsta” beläggningen är 10 gånger högre än hos den ”bästa” beläggningen.

Detta visar på vikten av att ta hänsyn till vägytans egenskaper vid beräkning av kostnader för bullerexponering i modeller som används för beräkning av effekter av vägunderhåll och/eller vägkonstruktion.

I (Sandberg, 2000) har en korrektionstabell tagits fram med förslag till korrektioner för bulleregenskaper hos beläggningar som kan användas i Vägverkets modeller.

5 Slutsatser

- **Funktionella egenskapers betydelse baseras ofta på "guesstimates".**

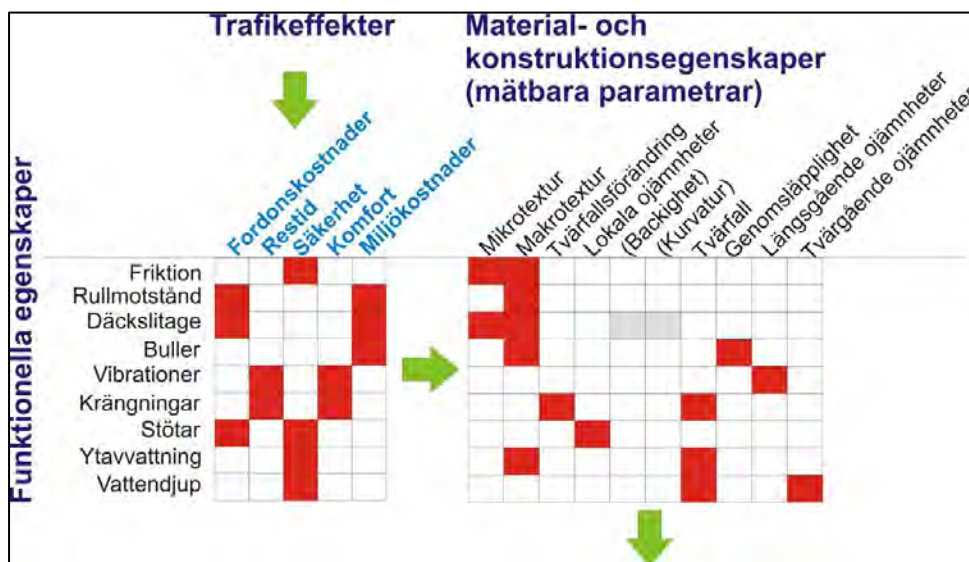
I de tidigare ovan redovisade matriserna framgår bedömningen av vilka material- och konstruktionsegenskaper som via deras inverkan på de funktionella egenskaperna har större eller mindre betydelse för trafikanter och samhälle. Dessa bedömningar baseras i viss mån på resultat från undersökningar men i många fall är de rena "guesstimates".

- **Bättre kunskap om utseende på sambandskurvor mot vägytans tillstånd och väghållare-, trafikant- och samhällskostnader behövs.**

Det som dock också skulle behövas är en bättre kunskap om utseendet på den kurva se Figur 2.1, som beskriver sambandet mellan vägytans standard/tillstånd, och därmed också väghållarens kostnader, och trafikantens/samhällets kostnader. Är kurvan väldigt flack kan standarden variera ganska mycket kring optimum (för summan av väghållarens, trafikanternas och samhällets kostnader) utan att trafikantkostnaderna varierar nämnvärt. Är kurvan däremot brant kommer trafikantkostnaderna att öka eller minska kraftigt även vid en mindre försämring respektive förbättring av standarden. I det senare fallet är det av stor vikt att kunna ställa mycket preciserade krav på de för trafikantkostnaderna relevanta funktionella egenskaperna.

- **En säkrare viktning av trafikanteffekter behövs.**

Den/de trafikanteffekt/er som är viktigast att beakta bör dessutom vara den/de som påverkas mest av försämringar/förbättringar av vägytestandarden. Så förutom att känna till effektsambanden krävs en monetär värdering av de olika effekterna för att kunna göra dessa överväganden. Här finns en stor osäkerhet vad gäller bland annat att värdera miljöeffekter men också trafikanternas kör-/åtkomfort. Dock kan man naturligtvis inte komma ifrån att samtliga de sex transportpolitiska delmålen för vägtransportssystemet måste beaktas.



Figur 5.1 Trafikeffekter-funktionella egenskaper-mätbara parametrar.

- **Några av de viktigaste material och konstruktionsegenskaperna t.ex. makrotexturen.**

I matriserna framgår vilka material- och konstruktionsegenskaper som har störst betydelse för de enskilda trafikanteffekterna och också vilka material- och konstruktionsegenskaper som har betydelse för flest trafikanteffekter.

Exempelvis kan man bland annat konstatera att texturen har betydelse för ett flertal av de funktionella egenskaperna och därmed också för flera av trafikanteffekterna.

Inte minst makrotexturen bedöms ha mycket stor betydelse för flera funktionella egenskaper, såsom friktion, rullmotstånd, däckslitage, buller och vägytans beständighet. Dessa funktionella egenskaper har i sin tur stor betydelse för framförallt trafiksäkerhet (i kombination med mikrotextur) och fordonskostnader, men även för miljön (buller och avgaser) och vägnedbrytningen.

Utifrån denna typ av överväganden redogörs nedan för att antal mått och mätmetoder som anses viktiga att ta med eller komplettera med i en funktionsupphandling. Följande vore lämpligt att mäta vid en mer komplett funktionskontroll av vägytan:

- *IRI presenterat per meter* (samt sparade längsprofiler från vänster och höger hjulspår)
- *Makrotextur* beräknat som MPD och presenterat per meter
- *Tvärfall och "längsfall"* tillsammans med tvärprofil per meter
- *Sprickor* enligt rutnätmetoden
- *Bärighet* uppmätt i trafikfart enligt t.ex. Laser RDT eller den danska HSD.

- **Hållbara, funktionella och kvalitetssäkrade mätmetoder saknas.**

En marknad med funktionskrav ställer höga krav på mätmetoder då stora summor regleras med hjälp av resultaten från mätningar. Aktörer och mätutrustning av olika kvalitet varierar från tid till annan. En metod att certifiera både utrustning och kombinationen utrustning med operatör behövs. Ett led i detta är att utpeka referensmetoder (eller ta fram dessa). Kvalificeringsmetod finns men behöver förbättras och formuleras i en metodbeskrivning. Förfarandet bör vidare förankras internationellt då marknaden för verksamheten måste vidgas till hela Europa för att bli effektivt för alla.

Slutligen kan man konstatera att vid en granskning av olika genomförda projekt med funktionsåtaganden kan man dra följande slutsatser:

- Det är för få mätaktörer, man tycker mätningar är dyra, man väljer enklare mätmetoder troligen mest beroende på priset samt tillgången
- Man håller sig till traditionella mått och låter dessa trots sina brister representera en funktion de aldrig varit tänkta att nyttjas för
- Man vill ha ett mått på lokala ojämnheter, då dessa inte kan urskiljas från IRI-data per 20 meter
- Traditionella mått för tvärlutning (tvärfall) fungerar inte
- Man vill kunna detektera sättningar
- Underlag för kravnivåer saknas.

Referenser

- Andrén, Peter (2006), *Development and results of the Swedish road deflection tester*, Lic. Thesis, 2006, KTH, Stockholm.
- Alm, Irma (1989), *Transportabel komfort – komfortabel transport*, VTI rapport 347, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.
- Dahlstedt, Sven (2001), *Bedömd vägojämnhhet på vägar med låga IRI-värden*. VTI rapport 474, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Forsberg, Inger & Magnusson, Georg (2000), *Vägojämnhhet – komfortkostnad. En litteraturstudie*. VTI notat 11-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Granlund, Johan (2000), *Helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar. En skakande upplevelse*. Vägverket publikation 2000:31, Vägverket, Borlänge.
- Gustafsson, Mats, Blomqvist, Göran, Dahl, Andreas, Gudmundsson, Anders, Ljungman, Anders, Lindbom, John, Rudell, Bertil & Swietlicki, Erik (2005), *Inandningsbara partiklar från interaktion mellan däck, vägbana och friktionsmaterial: slutrapport av WearTox-projektet*. VTI rapport 520, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping. (Ett utdrag av projektet finns i VTI rapport 521.)
- Hammarström, Ulf (2000): *PMS-fordonskostnader*, VTI notat 48-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Höboda, Peet (1997): *En State-of-the-art-rapport med avseende på svenska förhållanden: Polering och nötning av stenmaterial i slitlagerbeläggning – inverkan på friktionen hos vägbeläggning*. VTI notat 18-1997. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- Ihs, Anita, Andrén Peter, Mård Berggren, Selina & Sjögren Leif (2006): *Utformning av väg och vägyta för säkerhet, komfort och hälsa. En förstudie*. VTI notat 29-2006, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Ihs, Anita, Grudemo, Stefan & Wiklund, Mats (2004): *Vägytans inverkan på körkomforten*. Bilister monetära värdering av komfort. VTI meddelande 957, 2004, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Ihs, Anita & Magnusson, Georg (2000): *Betydelsen av olika karakteristika hos beläggningsytan för trafik och omgivning*, VTI notat 71-2000, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Ihs, Anita, Velin, Hans & Wiklund, Mats (2001): *Vägytans inverkan på trafiksäkerheten. Data från 1992–1998*, VTI meddelande 909, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping
- Ihs, Anita & Velin, Hans (2002): *Vägytans inverkan på fordonshastigheten. Data från 1992–1998*. VTI notat 40-2002, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Lundberg, Thomas & Sjögren, Leif (2004): *Qualification of road surface monitoring services in Sweden, 1996-2000*, VTI notat 38A-2004. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Magnusson, Georg, Dahlstedt, Sven & Sjögren, Leif (2002): *Mätning av vägytans longitudinella jämnhet- metoder och nödvändig noggrannhet*, VTI Rapport 475. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Metodbeskrivning 115:2004, *Vägytemätning med mätbil; vägnätsmätning*, VV publ. 2004:64, Borlänge.

Metodbeskrivning 116:2004, *Vägytemätning med mätbil; objektmätning*, VV publ. 2004:65, Borlänge.

Möller, Staffan & Wallman, Carl-Gustaf (2001): *Konsekvenser av beläggningsytans tillstånd för vinterväghållningen*, VTI notat 27-2001. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Mäkelä, Kari & Lampinen, Anssi (1985), *Monetär värdering av åkkomfort*. VTT meddelande 476, Espoo, Finland.

Persson, (2000).

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

Sayers, Michael W. (1995): *On the calculation of international roughness index from longitudinal road profile*. Transportation Research Record, No 1501, 1995.

Sjögren, Leif, Lundberg, Thomas & Andrén, Peter (2002): *Nya mått; ett underlag för en utveckling strategi inom området vägytemätningar*. VTI notat 23-2002, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Sjögren, Leif, (2002): *State of the art; Automatisk sprickmätning av vägbanor*. VTI notat 24-2002, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Sjölinder, Kent, Velin, Hans & Öberg, G (1997): *Vägytans inverkan på trafiksäkerheten. Data från 1986 och 1987*. VTI notat 67-1997. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Törnros, Jan & Wallman, Carl-Gustaf (2003): *Inverkan av spår i beläggningsytan på förarbeteendet. En förstudie i VTI:s körsimulator*. VTI meddelande 940, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Utdrag ur ATB VÄG 2005 Kapitel A Gemensamma förutsättningar, s. 14–19

A6.1.1 Ojämnhet i längsled, mätning med mätbil

Krav på tillåten ojämnhetsindex under tjälade förhållanden skall anses vara uppfyllt om krav under otjälade förhållanden uppfylls och om konstruktiv utformning, dimensionering, utförande och kontroll görs enligt ATB VÄG. Jämnheten skall verifieras enligt VVMB116 ”Vägytemätning med mätbil;objektsmätning”.

A6.1.1.1 Allmänt

Kontrollobjekt	Ett körfält av 400 m längd. Samtliga kontrollobjekt undersöks.
Mätförfarande	Mätning skall utföras enligt VVMB 116.
Mätvariabler	Mätvariabel (x), x = ojämnhetsindex (IRI, mm/m, medelvärde för 20m-delsträcka).
	Medelvärdet för mätvariabeln i stickprovet, $\bar{x} = 1/n \cdot \sum x$ över 400 m.
Kriterievariabler	Kriterievariabler är x, \bar{x} , s.

RED. ANMÄRKNING:variabeln s i formler är standardavvikelsen av 20st 20 metersvärden för 400 meter.

A6.1.1.2 Kravnivåer för största ojämnhetsindex vid nybyggnad, utförandeentreprenad

Största tillåtna ojämnhetsindex vid trafikpåsläpp framgår av Tabell A6-1. Kraven gäller för otjälade förhållanden.

Tabell A6-1 Största ojämnhetsindex i längsled för 20 resp. 400 m sträcka.

Skyttad hastighet	För varje 20m-sträcka	För varje 400m-sträcka
VR 50 km/h eller mindre	$x (IRI) \leq 2,4$	$s \leq 0,7$ $\bar{x} \leq (1,8-0,4s)$
VR 70 km/h	$x (IRI) \leq 2,0$	$s \leq 0,6$ $\bar{x} \leq (1,6-0,4s)$
VR 90 km/h	$x (IRI) \leq 1,7$	$s \leq 0,5$ $\bar{x} \leq (1,4-0,4s)$
VR 110 km/h i klimatzon 3-6	$x (IRI) \leq 1,5$	$s \leq 0,4$ $\bar{x} \leq (1,2-0,4s)$
VR 110 km/h i klimatzon 1-2	$x (IRI) \leq 1,4$	$s \leq 0,3$ $\bar{x} \leq (1,1-0,4s)$

A6.1.1.3 Kravnivåer för största ojämnheter vid nybyggnad, totalentreprenad

Största tillåtna ojämnheter vid trafikpåsläpp framgår av Tabell A6-1.

Största tillåtna ojämnheter efter halva garantitiden framgår av Tabell A6-2

Största tillåtna ojämnheter vid garantitidens utgång framgår av Tabell A6-3

Kraven gäller för otjälade förhållanden.

Tabell A6-2 Största ojämnheter i längsled för 20 respektive 400 m sträcka efter halva garantitiden.

Skyltad hastighet	För varje 20m-sträcka	För varje 400m-sträcka
VR 50 km/h eller mindre	$x \text{ (IRI)} \leq 3,5$	$s \leq 0,8$ $\bar{x} \leq (2,6-0,4s)$
VR 70 km/h	$x \text{ (IRI)} \leq 2,9$	$s \leq 0,7$ $\bar{x} \leq (2,2-0,4s)$
VR 90 km/h	$x \text{ (IRI)} \leq 2,4$	$s \leq 0,6$ $\bar{x} \leq (1,8-0,4s)$
VR 110 km/h i klimatzon 3-6	$x \text{ (IRI)} \leq 1,9$	$s \leq 0,4$ $\bar{x} \leq (1,5-0,4s)$
VR 110 km/h i klimatzon 1-2	$x \text{ (IRI)} \leq 1,6$	$s \leq 0,3$ $\bar{x} \leq (1,3-0,4s)$

Tabell A6-3 Största ojämnheter i längsled för 20 respektive 400 m sträcka vid garantitidens utgång.

Skyltad hastighet	För varje 20m-sträcka	För varje 400m-sträcka
VR 50 km/h eller mindre	$x \text{ (IRI)} \leq 4,0$	$s \leq 0,9$ $\bar{x} \leq (3,0-0,4s)$
VR 70 km/h	$x \text{ (IRI)} \leq 3,2$	$s \leq 0,8$ $\bar{x} \leq (2,5-0,4s)$
VR 90 km/h	$x \text{ (IRI)} \leq 2,6$	$s \leq 0,7$ $\bar{x} \leq (2,0-0,4s)$
VR 110 km/h i klimatzon 3-6	$x \text{ (IRI)} \leq 2,1$	$s \leq 0,5$ $\bar{x} \leq (1,6-0,4s)$
VR 110 km/h i klimatzon 1-2	$x \text{ (IRI)} \leq 1,8$	$s \leq 0,4$ $\bar{x} \leq (1,4-0,4s)$

A6.1.1.4 Kravnivåer för största ojämnheter vid nybyggnad, funktionsentreprenad

Största tillåtna ojämnheter skall bestämmas i varje enskilt fall. Kraven skall gälla för otjälade förhållanden

Kravnivåerna kan väljas enligt A6.1.1.3

A6.1.1.5 Kravnivåer för största ojämnheter vid bärighetsförbättring

Största tillåtna ojämnheter skall bestämmas i varje enskilt fall. Kraven skall gälla för otjälade förhållanden.

Kravnivåerna kan väljas enligt A6.1.1.3

A6.1.1.6 Kravnivåer för största ojämnheter vid underhåll

Största tillåtna ojämnheter skall bestämmas i varje enskilt fall.

Kraven skall gälla för otjälade förhållanden.

Då största tillåtna ojämnheter vid underhåll skall bestämmas kan följande metodik användas. Här avses 400 m sträckor.

$$IRI_{ini} = IRI_{\hat{a}tg} * k_{IRI} \quad [1]$$

$$IRI_{ini} > 2,0$$

$$IRI_{gar} = IRI_{ini} + IRI_{ned} \quad [2]$$

$$IRI_{ned} = k_{ned} * t_{gar} \quad [3]$$

$$0 < t_{gar} \leq 5[\text{år}]$$

$$k_{ned} = 0,1247 - 9,3 * 10^{-6} * \hat{A}DT_{ini} \quad [4]$$

$$k_{ned} \geq 0,03$$

$IRI_{\hat{a}tg}$ är det IRI-värde som mätts upp innan åtgärden startas.

k_{IRI} är en reduktionsfaktor som beror av vilken typ av beläggning som man kommer att använda vid åtgärden. Detta mått redovisas i Tabell A6-4 nedan.

IRI_{ini} är den största acceptabla ojämnheten för 400 m sträckor efter åtgärd. IRI_{ini} bör inte sättas lägre än 2,0.

IRI_{gar} är den största acceptabla ojämnheten efter valt antal år, maximalt 5 år.

IRI_{ned} är det tillskott av ojämnheter som man kan förvänta sig efter valt antal år, maximalt 5 år. IRI_{ned} är beroende av trafikflödet samt antal år.

IRI_{ini} beräknas för utförandeentreprenader

IRI_{ini} och IRI_{gar} beräknas för totalentreprenader och funktionsentreprenader.

Om längre tidsperspektiv än 5 år skall användas rekommenderas att kontakt tas med sektionen för vägteknik.

Tabell A6-4 Jämnhetsreduktion beroende på beläggningstyp.

Beläggningstyp	k_{IRI}
Varmblandade massor	0,4
Halvvarma massor	0,4
Kallblandade massor	0,6
Ytbehandlingar (om förberedande åtgärd utförts)	0,6
Förseglingar (om förberedande åtgärd utförts)	0,8

Rapport 3

Genomgång av kunskapsläget beträffande sambandet mellan teknisk nybyggnadsstandard och framtida underhållskostnader.

1 Inledning

Dimensioneringsperioden för flexibla vägkonstruktioner är normalt 20–40 år. Det bitumenbundna bärlaget skall dimensioneras för 20 år medan undergrunden-/underbyggnaden skall dimensioneras för 40 år. Jämförs detta med garantitiden för funktionsentreprenader är funktionskontrakten ofta inte längre än 7 år. Detta innebär att vägägaren betalar för en väg som ska hålla i 20/40 år men garantitiden utgår efter ca 7 år. Varför det är viktigt att ägaren har redskap/modeller för att avgöra vägens restvärde annars finns det risk att vägen inte klarar den dimensionerade perioden. Det är självklart att konstruktionens bärighet och de strukturella funktionsegenskaperna har stor betydelse för framtida underhållsbehov varför denna möjlighet bör utnyttjas i funktionsentreprenader i brist på tillförlitliga metoder för bestämning av vägens restvärde vid överlåtandet av vägen till ägaren. Det är egentligen förvånansvärt att funktionsentreprenaderna har så kort garantitid. Vägkroppens restvärde och frekvensen av underhållsåtgärder efter garantitiden är mycket värda för väghållaren. För att vägkroppen ska hålla för hela dimensioneringsperioden och enligt underhållsplanen krävs kvalitetssäkring av konstruktionen. För nybyggda vägkonstruktioner är det mest naturligt att definiera kvalitetsparametrar i funktionsentreprenaden. När entreprenören använder en ny teknik eller ett nytt material vid byggandet, vilket är syftet med funktionsentreprenader, måste nyttan bevisas genom olika nedbrytningsberäkningar om kontraktstiden är kortare än dimensioneringstiden, vilket är fallet vid funktionsentreprenader. Det räcker inte att redovisa provresultaten och kontroller under byggprocessen. Dimensioneringsunderlaget med ingående förutsättningar bör vara en del av entreprenaden för att garantera bärförmåga och stabilitet under såväl garantitiden som hela dimensioneringsperioden. Nedbrytningsmodeller är också praktiska vid reglering av kostnadsersättningar vid avvikelse från kontraktet. Betydelsen av vägens standard och val av beläggningens standard kan åskådliggöras bl.a. genom flera nedbrytnings-/prognosmodeller, HVS-körningar, provvägar m.m.

2 Syfte

Syftet är att belysa möjligheter i dagsläget att göra prognoser av vägars tillståndsförändring under längre perioder med hänsyn till nybyggnadsstandard och effekter av underhållsåtgärder.

3 Nedbrytningsmodeller

Nedbrytningsmodeller eller prognosmodeller för vägars livslängd delas ofta in i mekanistisk/empiriska och rent empiriska modeller. Modellerna ska beskriva hur vägars funktionella och strukturella tillstånd förändras med hänsyn till trafikbelastning, klimat, överbyggnadskonstruktion och undergrundsbärighet. Sådana modeller ger därför en viktig utgångspunkt för att göra avvägningar mellan höga/låga investeringskostnader och låga/höga underhållskostnader.

Mekanistisk/empiriska modeller

Mekanistisk/empiriska modeller baseras på en kombination av teoretisk beräkning och empiriska erfarenheter främst avseende materialegenskaper (E-moduler och dimensioneringskriterier). Beräkning av kritiska påkänningar i vägkroppen översätts till livslängd via dimensioneringskriterier. Vägverkets PMS Objekt är en mekanistisk-/empirisk dimensioneringsmodell liksom en tidigare VTI-utvecklad modell benämnd VägDim95.

Empiriska modeller

Empiriska modeller baseras på uppföljning av tillståndutvecklingen hos befintliga vägar.

Empiriska prognosmodeller för sprickinitiering och sprickpropagering finns och utvecklades av VTI år 2000–2001, VTI meddelande 916. Projektet finansierades av dåvarande KFB. I utvecklingsarbetet ingick även validering av modellerna med oberoende data. Modellernas indata är FWD-data insamlade ett år efter vägens öppnande och andelen tung trafik alt. All data för utvecklingsarbetet hämtades från Sveriges nationella LTPP-databas (Long Term Pavement Performance) som omfattar en noggrann uppföljning av högkvalitativa tillståndsdata på ca 600 sträckor runt om i landet sedan år 1984 och framåt.

En prognosmodell för utveckling av spår orsakade av tung trafik är under utarbetande och skall vara klart senast hösten 2006. Arbetet finansieras av Vägverket. Projektet startades år 2005 och ser lovande ut. Även här är all data hämtad från den nationella LTPP-databasen.

4 Samband mellan teknisk nybyggnadsstandard och framtida underhållskostnader

Ett flertal modeller som beskriver tillståndsförändring och nedbrytning bör kombineras för att bedöma effekten av utmattning, utveckling av långsojämnheter, spår orsakade av tung trafik och dubbdäckstrafik eftersom de olika tillstånd indikatorerna kan utlösa behovet av underhållsåtgärder av olika slag vid olika tidpunkter. En tidig åtgärd av spår orsakade av dubbdäckstrafik kan exempelvis påverka nedbrytningsförloppet orsakat av tung trafik.

Nedan följer exempel på hur några av de befintliga nedbrytningsmodellerna kan användas

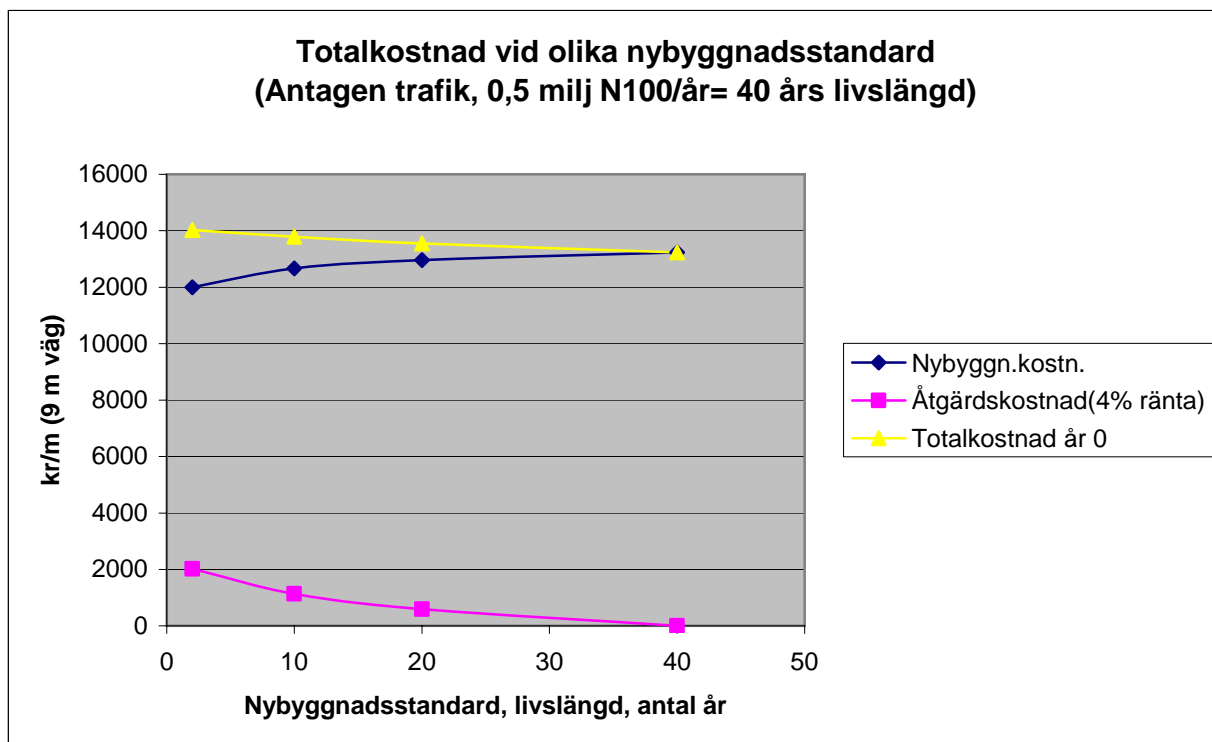
Mekanistisk/empiriska modeller för sprickbildning

Teknisk livslängd med avseende på utmattning/sprickbildning för konventionell GBÖ konstruktion (Grus Bitumen Överbyggnad) har beräknats med Vägverkets dimensioneringsmodell PMS Objekt för olika nybyggnadsstandard genom att variera tjockleken på bitumenbundet bärlager (AG).

Total teknisk livslängd har i exemplet valts till 40 år.

Underhållsbehovet hos överbyggnader med kortare livslängd än 40 år har antagits vara ny beläggning motsvarande resterande tid fram till 40 år. Härvid har befintlig beläggningstjocklek värderats till 50 % vid åtgärdstillfället.

I diagrammet nedan visas totalkostnad år 0 för olika val av nybyggnadsstandard (kostnad).



Kommentar:

Av diagrammet framgår att en ökning av nybyggnadsstandarden med avseende på risken för utmattning/sprickbildning ger en minskad totalkostnad. En ökning av nybyggnadskostnaden från 12 000 kr/m väg till 13 240 kr/m (+10 %) ger en minskning av totalkostnaden från 14 000 kr till 13 240 kr (-5,4 %).

Förutsättningar:

Livslängdsberäkningarna har genomförts med VV:s PMS Objekt på en konventionell GBÖ-konstruktion i klimatzon 1 (Blekinge) på undergrund av materialtyp 3 (<30 % finmtrl.).

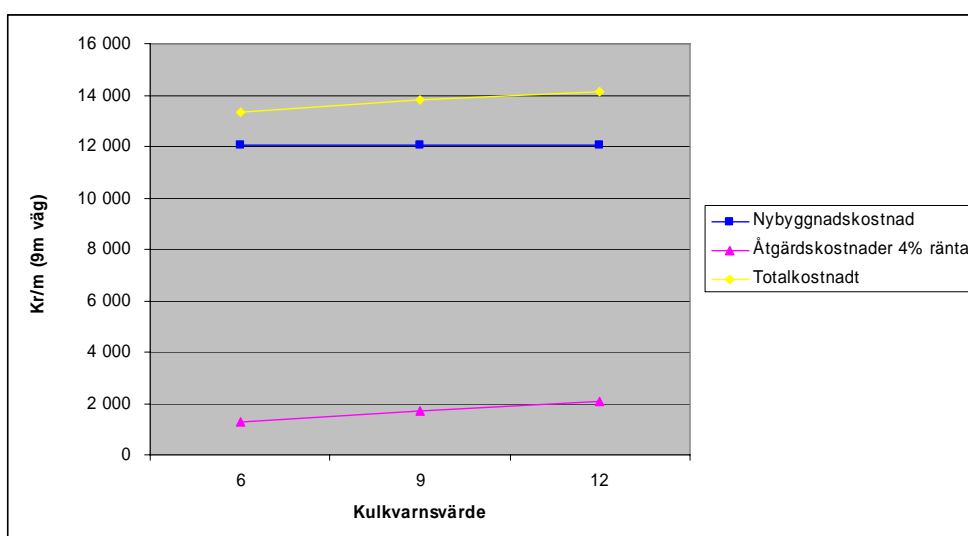
Nybyggnadskostnad är hämtat från VV:s redovisning i Publ. 2005:35 för landsväg med mötande trafik byggda under perioden 2000–2004.

En ökning av beläggningstjockleken med 10 mm bundet bärlager, (AG), har kostnadsberäknats till 120 kr/m väg, (9-m väg).

4.1.1 Empirisk modell för dubbdäcksslitage

Den av VTI utvecklade prognosmodellen för dubbdäcksslitage har använts för att demonstrera möjligheten att göra en nuvärdesberäkning för byggnad och underhåll/ersättning av ett slitlager i ca 40 år. Beräkningen har gjorts för tre olika stenmaterialkvaliteter i slitlagret. Beräkningen är gjord med samma förutsättningar som i föregående exempel:

- Beräkningsperiod över 40 år
- Samma typ av väg och en trafik med dubbade personbilar som normalt motsvarar 0,5 milj N100/år, ger 8 700 personbilar per körfält och dygn
- Användningen av dubbdäck har bedömts vara 70 % under vinterperioden som bestämts till 150 dygn
- Vägen saltas vintertid
- Skyltad hastighet är 90 km/tim.



Kommentar:

Som framgår av ovanstående diagram har valet av stenmaterialkvalitet och därmed nybyggnadspriset för slitlagerbeläggningen relativt liten betydelse i förhållande till hela investeringen. Valet av slitlagerbeläggning har däremot en relativt stor betydelse för framtida underhållskostnader.

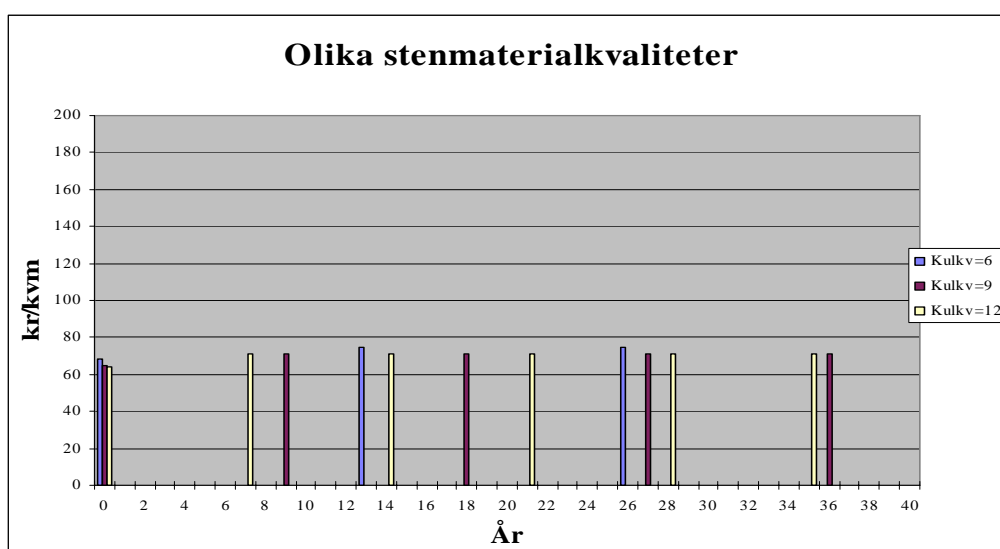
Förutsättningar:

Slitlagerbeläggning över perioden har antagits vara en 80ABS16 med tre olika stenmaterialkvaliteter, kulkvarnsvärde 6, 9 och 12 där kulkvarnsvärde 6 motsvarar det bästa stenmaterialet ur slitagesynpunkt som används i Sverige. Ett stenmaterial med kulkvarnsvärde 6 är det naturliga valet på en så relativt högtrafikerad väg som denna. Kulkvarnsvärde 9 motsvarar ofta "ortens lokala material" som ofta är tillräckligt slitstarkt för medeltrafikerade vägar. Kulkvarnsvärde 12 är ett relativt dåligt material ur slitagesynpunkt och bör därför normalt användas på relativt lågtrafikerade vägar. När det beräknade spårdjupet uppnått 17 mm ansågs slitlagrets livslängd vara förbrukad. Vid varje åtgärdsstillfälle avsattes ca 10 % av slitlagerkostnaden för planfräsning eller justering av underlaget.

Följande priser har använts för beräkning av framtida underhållskostnader för resp slitlagerbeläggning:

Kulkvarnsvärde	Pris 80ABS16 kr/m ²	Beräknad livslängd år	Ant. underhållsåtgärder under ca 40 år	Nuvärdeskostnad ¹ kr/m ²
6	68	13	2	140
9	65	9	4	192
12	64	7	5	232

¹Kalkylränta 4,0 %.



Underhållsåtgärdernas placering i tiden.

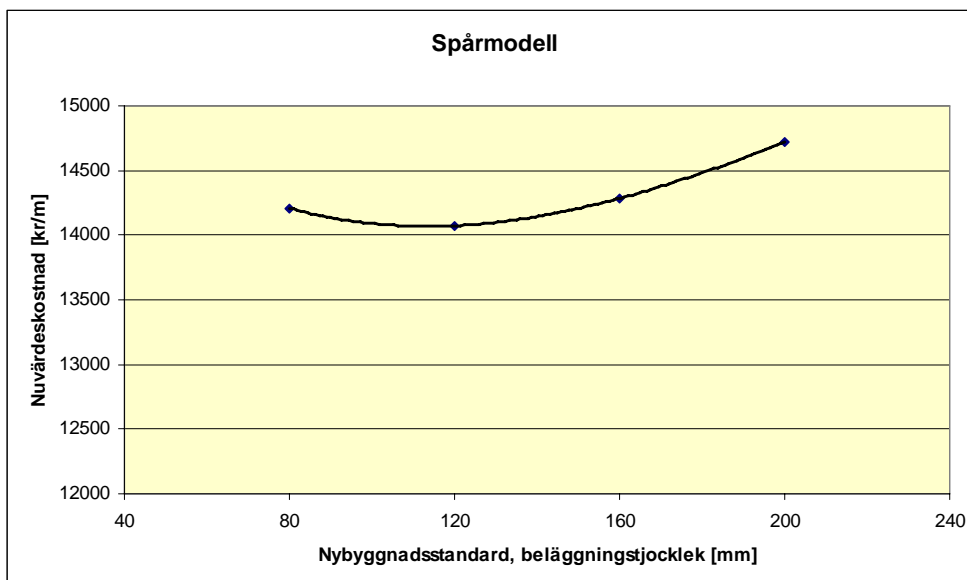
Som framgår av ovanstående tabell och diagram är valet av underhållsåtgärd, i detta fall stenmaterialkvalitet i slitlagerbeläggningen, mycket avgörande för underhållskostnaderna under en 40-årsperiod. Det mest ekonomiska valet är slitlagerbeläggningen med det högsta priset. Sett till underhållskostnaderna är det emellertid den billigaste. Den tillbakaräknade nuvärdeskostnaden för underhåll av slitlagret under 40 år är ca 140 kr/m² medan slitlagerbeläggning med det lägsta utförandepriset får motsvarande kostnad på ca 232 kr/m².

Alternativet med den högsta underhållskostnaden medför dessutom att framkomligheten på vägen begränsas på grund av planfräsning och läggning av nytt slitlager vid 5 tillfällena under 40-årsperioden medan alternativet med de lägsta underhållskostnaderna endast behöver åtgärdas vid 2 tillfällena.

4.1.2 Empirisk modell för spårbildning av tung trafik i kombination med empirisk modell för dubbdäcksslitage

Vid VTI pågår utveckling av en prognosmodell för spårbildning orsakad av tung trafik. När den ännu preliminära modellen kombineras med modellen för dubbdäcksslitage ges möjligheten att göra en nuvärdesberäkning för byggnad och underhåll/ersättning av ett slitlager i ca 40 år. Det mest ekonomiska valet, enligt exempel 2, där dubbdäckslitage sattes i fokus var det mest slitstarka stenmaterialet. Det är därmed naturligt att beräkningarna utgår från detta material och att det även används vid varje åtgärdstillfälle. Dessutom antas att en planfräsning ned till spårdjupet som maximerats till 17 mm alltid föregår en belägningsåtgärd.

Fyra olika starka nybyggnadskonstruktioner har tidigare jämförts i exempel 1, där tjockleken på de bundna lagren varieras: 80, 120, 160 och 200 mm. Kostnaderna är även de hämtade från exempel 1 och 2, även samma trafikarbete antas gälla.



Kommentar:

Som framgår av ovanstående diagram är konstruktionsalternativet där det bundna lagret har nybyggnadstjockleken 120 mm det mest ekonomiska, sett över en 40-årsperiod. Antalet åtgärder som krävs, om spårdjupet inte skall tillåtas överstiga 17 mm beräknas till mellan 4 och 6 st. (h1=200 mm: 4 st.; h1=160 mm: 4 st.; h1=120 mm: 5 st.; h1=80 mm: 6 st.).

Förutsättningar:

- Vägbredden är 9 m
- Antal N100 per år uppgår till 500 000
- Antal passerande personbilar är 8 780 per dygn
- Följande nybyggnadskostnader för de olika alternativen har använts:

h1=200 mm: 13 440 kr/m	h1=160 mm: 12 960 kr/m
h1=120 mm: 12 480 kr/m	h1= 80 mm: 12 000 kr/m
- Inför nytt slitlager utförs alltid planfräsning som uppgår till 10 % av slitlagerkostnaden
- Alla slitlager utgörs av 80ABS16, tjocklek 32 mm, kulkvarnsvärde 6, pris 68 kr/m²
- Kalkylräntan är satt till 4 %.

4.1.3 Slutkommentar

Redovisning och kommentarer i föregående avsnitt är ett försök att demonstrera hur det är möjligt att använda några av de befintliga empiriska och mekanistiska/empiriska modellerna för att prediktera sambandet mellan nybyggnadsstandard och efterföljande underhållsåtgärder samt kostnader för dessa.

För att modellerna skall kunna användas optimalt av beställare och utförare av funktionsupphandling krävs ett utvecklingsarbete för att sammansätta modellerna till ett praktiskt verktyg som stöd för val av nybyggnads- och underhållsstrategier. Verktuget måste dock tillämpas specifikt för hela (eller delar av) vägobjekt som skall funktionsupphandlas.

Rapport 4

Svenska erfarenheter av upphandling med funktionskrav

Svenska erfarenheter av upphandling med funktionskrav

Denna sammanställning av svenska erfarenheter av upphandling med funktionskrav är inte heltäckande utan har av resursbrist gjorts utifrån kända redovisningar och VTI:s kunskap, kontakter och erfarenheter.

1 Omfattningen av funktionsupphandling

Vägverkets funktionsupphandlingar ligger på en låg nivå. På underhållssidan är det endast ca 5 % av objekten som upphandlats med funktionskrav. Under den senaste tiden är det endast enstaka nyinvesteringsobjekt som upphandlats med funktionskrav. Inom driftsidan upphandlas dock idag ca 50 % av verksamheten med funktionella krav.

Det arbete som pågår med Vägverkets nya kund- och leverantörsstrategi kan komma att påverka omfattningen av funktionsupphandling inom Vägverket. Målbilden de närmaste 10 åren är att 30 % av underhållet och 20 % av nyinvesteringar skall funktionsupphandlas enligt VV:s nya kund- och leverantörsstrategi.

På den kommunala sidan är det framför allt Göteborgs stad som har kommit längst med funktionsupphandling av underhåll och nyinvesteringar. Implementeringen av funktionsupphandling påbörjades redan år 1996. Från och med år 1999 har alla beläggningsobjekt där det varit tekniskt möjligt upphandlats som funktionsupphandling. För att underlätta och påskynda utvecklingen har en Teknisk Beskrivning tagits fram vars inriktning bygger på funktionella krav.

Helsingborgs och Höganäs kommuner har sedan ett antal år tillbaka gått tillsammans med en gemensam upphandling av beläggningar med funktionskrav. Målsättningen är att 80 % av alla beläggningsåtgärder skall utföras med funktionsupphandling. Det finns också många andra kommuner som mer eller mindre genomfört upphandling med funktionskrav.

2 Olika typer av funktionsupphandling

Det är principiellt viktigt att inte ställa funktionskrav och samtidigt kräva användning av vissa material, utförandetekniker eller dylikt. Antingen teknikupphandling eller upphandling med funktionskrav bör gälla. Undantag från denna regel förekommer dock vid många upphandlingar. Ett generellt krav som kan ställas på material och utförandetekniken är dock att det inga miljöskadliga material eller tekniker används. Materialen bör också gå att återvinna i framtiden.

Funktionskrav kan i princip ställas på tre olika nivåer:

- Asfaltmassa
- Beläggningslager
- Vägyta.

Det är viktigt att vid funktionsupphandling bara ställa krav på en funktionell egenskap på en nivå. Om en funktionsupphandling skall göras med krav på vägytan, exempelvis största tillåtna spårdjup, kan beställaren inte samtidigt ställa krav på beläggningslagrets eller asfaltmassans nötningsresistens.

I Vägverkets Allmänna Tekniska Beskrivning, ATB VÄG, finns stöd för upphandling med funktionskrav.

Exempel på krav på funktionsegenskaper för asfaltmassa, beläggningsslager och vägyta.

Asfaltmassa (nivå 1)	Beläggningsslager (nivå 2)	Vägyta (nivå 3)
Nötningsresistens	Nötningsresistens	Spårdjup
Deformationsresistens	Deformationsresistens	Längsojämnhet
Vattenkänslighet	Vattenkänslighet	Textur
	Styvhet	Friktion
	Vattentäthet	Homogenitet
	Flexibilitet	Tvärfall
	Utmattnings	Buller
		Stenlossning

Funktionskrav på asfaltmassa (nivå 1) ställs på laboratorietillverkade provkroppar.

Denna kravnivå används normalt endast då en utförare av ett beläggningsarbete köper asfaltmassa av en annan part.

Funktionskrav på beläggningsslager (nivå 2) ställs och kontrolleras på borrprov från den utlagda, färdiga beläggningen. Vissa laboriemetoder kräver provkroppar med en viss minimitjocklek. Om kontrollen avser tunna beläggningar kan det vara svårt att genomföra en provning av funktionsegenskaperna på borrprov. Funktionskraven bör då upphandlas på asfaltmassans egenskaper istället.

Denna kravnivå används ofta vid kommunala funktionsupphandlingar av beläggningar på gator i tätort där det ofta är svårt att mäta vägytans egenskaper. På större objekt som trafikleder kan det dock vara möjligt att ställa funktionskrav på vägytan.

Funktionskrav på vägyta (nivå 3) ställs på den färdiga beläggningssytan efter utfört arbete.

Vid funktionsupphandling med krav på vägytan följer ett ansvar för gatans eller vägens tillståndsutveckling, exempelvis spårdjups- och längsojämnhetsutveckling, friktion, textur m.m.

Denna kravnivå är den vanligast förekommande vid Vägverkets funktionsupphandlingar. Kravnivå 2 kan dock användas vid underhållsåtgärder på ett objekt där det är svårt att definiera egenskaperna i vägkonstruktionen, t.ex. underhållsåtgärder på s.k. ”icke byggda” vägar eller vägobjekt med problematiska undergrundsförhållanden.

3 Viktigt att tänka på vid funktionsupphandling

Funktionsupphandling är ofta en ny erfarenhet för både beställare och utförare. Det är därför mycket viktigt att alla uppgifter och villkor i förfrågningsunderlag och kontrakt är väl genomarbetade. En enkel checklista finns i slutet av detta PM.

4 Funktionstidens längd

Funktionstiderna är i regel relativt korta, upp till ca 5 år, vilket snarare är att betrakta som en förlängd garanti på den utförda åtgärden. Den längsta redovisade funktionstiden är 8 år på det långa funktionskontraktet på E4 genom F- och E-län. Även 8 år är en relativt kort period eftersom åtgärderna för att uppfylla funktionsegenskaperna

begränsas till ytliga underhållsåtgärder. Funktionstiden borde vara så lång att även upprätthållandet av objektets strukturella status omfattas. Det skulle ge utrymme för en högre nivå av innovativa lösningar på en långsiktig underhållsstrategi.

5 Krav på funktionsegenskaper

De vanligaste kraven på funktionsegenskaper på nivåerna 1 och 2 är krav på laboratorieresultat från provning av dynamisk stabilitet, slitageresistens mm. Funktionsegenskaperna på nivå 3 (vägta) avser i regel krav på spårdjup och längsojämnhet eventuellt kompletterat med ytliga defekter som friktion, stenlossning mm. Däremot förekommer inga krav på hur vägobjektets strukturella status (bärighet) skall upprätthållas under funktionstiden alternativt den strukturella statusen vid funktionstidens slut.

6 System för bonus och avdrag vid funktionsupphandling

Det förekommer många varianter av framför allt bonusutbetalning, alltifrån bonus vid funktionstidens slut till bonusutbetalning vid olika kontrollstationer under funktionstiden. Det finns även olika utformning av tidpunkter för avdrag och andra åtgärder om inte funktionskraven uppfylls under funktionstiden.

Göteborgs stad har det mest utvecklade systemet för avdrag. Avdragen regleras efter funktionstidens slut, normalt fem år, med olika procentavdrag eller krav på åtgärder på funktionsobjektet som reparationer, omläggning mm under funktionstidens gång. Bonus delas endast ut om återvinning har tillämpats i funktionsentreprenaden. En mer detaljerad redogörelse för bonus/avdragssystemet finns i Göteborgs tekniska beskrivning¹⁴.

7 Beställarens erfarenheter av funktionsupphandling

För beställaren innebär funktionsupphandling en relativt stor omställning där arbetsuppgiften förändras från att definiera en beläggnings sammansättning, materialval etc., och kontrollera att detta uppfylls, till att definiera vilken roll beläggningsen har och därmed vilka funktionella krav som beläggningsen skall uppfylla. Denna omställning ger möjlighet för beställaren att mer inrikta sig på strategiska frågor kring beläggningsunderhållet. För att utveckla och förbättra beläggningar är det viktigt att beställaren ställer funktionella krav som genererar innovativa lösningar och produkter.

8 Utförarens erfarenheter av funktionsupphandling

För utföraren kan funktionsupphandling ge större möjligheter till att hitta innovativa lösningar på beläggningsfrågor. Det innebär också en möjlighet för en entreprenör att ”nischa” sig gentemot andra entreprenörer i branschen med hjälp av en egen produkt. Det anses också att funktionsupphandling gör det lättare att attrahera yngre, välutbildad arbetskraft eftersom det finns ett större utrymme för utveckling av både produkter och processer. Därför är det viktigt att utföraren har en positiv syn på att hitta innovativa lösningar.

¹⁴ Teknisk beskrivning Väg/Beläggning – funktionsupphandling, Göteborgs stad.

9 Samspel mellan beställare och utförare

Båda parter, beställare och utförare, har i en funktionsupphandling nya roller som de måste anpassa sig till. Funktionsupphandling innebär inte med automatik att slutprodukten blir bättre och/eller billigare.

Det är mycket viktigt att parterna visar på gott samarbete och en viss tolerans i samband med implementeringen av funktionsupphandling. Denna anpassning kan ta minst 2 år enligt erfarenheter från parter som gått igenom den. Det har visat sig att det är mycket viktigt att klargöra funktionsupphandlingens gränser som anslutningar, anslutningsfräsning, brunnsjusteringar och andra kringarbeten.

10 Viktigt att tänka på vid funktionsupphandling

Det är mycket viktigt att klart definiera vilken nivå funktionsupphandlingen avser (asfaltmassa, beläggningslager eller färdig vägyta). Det bör absolut inte förekomma en blandning av olika nivåer.

Funktionskrav på asfaltmassa tillämpas normalt endast då en entreprenör köper asfaltmassa vid ett asfaltverk.

Funktionskrav på beläggningslager är mest förekommande vid funktionsupphandling av objekt inom tätorten. Funktionskraven ställs då på beläggningsegenskaper som resistens mot slitage från dubbade däck, resistens mot plastiska deformationer mm. Kraven ställs och provas på laboratorietillverkade provkroppar eller på borrhprov tagna efter slutfört beläggningsarbete. Anledningen till att funktionskraven ställs på beläggningslager inom tätort beror på relativt små upphandlingsobjekt och att det kan vara svårt att följa upp funktionskraven, exempelvis med mätbil, på en gatas beläggningsyta på gator beroende på kantstenar, refuger, parkerade bilar m.m.

Funktionskrav på vägytans egenskaper tillämpas vanligen vid upphandling av beläggningsåtgärder på större trafikleder eller på landsbygdsvägar (primära, sekundära och länsvägar). Kraven ställs då på långsgående ojämnheter, spårbildning, kanthäng, friktion, buller m.m.

Förutom funktionstidens längd bör det klart framgå vilka funktionskrav som gäller under funktionstiden respektive vid funktionstidens utgång. Skall besiktningar och andra kontroller genomföras under funktionstidens gång? Förfarandet runt detta, exempelvis vad som utlöser en besiktning/kontroll och vem som bekostar denna, måste klart framgå av kontraktet. Likaså skall det klart framgå vad som gäller om funktionskraven inte uppfylls, lagning, omläggning eller andra åtgärder.

Det är mycket viktigt att det i kontraktet klart framgår vilka laboriemetoder respektive metoder för mätning av vägytan som skall tillämpas i funktionsupphandlingen. Dessutom bör det anges vilka krav (certifiering, standardiserade laborie- och mätmetoder) som ställs på laborier och på den som genomför kontroll av vägytan.

Funktionsupphandlingens begränsningar skall klart framgå. Det kan vara justering av brunnsbetäckningar, anslutning till andra befintliga beläggningsytor, justering av kantsten m.m.

Det är mycket viktigt att beställaren tillhandahåller ett så bra underlag som möjligt om det objekt som skall funktionsupphandlas. Det kan vara undergrundsförhållanden, vägkonstruktionens uppbyggnad, tidigare beläggningsåtgärder, tidigare tillståndsdata, uppgifter om trafiken (antal fordon, andel tunga fordon m.m.).

Innan arbetet påbörjas bör en gemensam besiktning, beställare och utförare, göras av objektet. Partier av vägen som bedöms kunna orsaka framtida problem bör i så fall dokumenteras genom fotografier eller dylikt.

11 Synpunkter på svenska funktionsupphandlingar

Svenska funktionsupphandlingar har vanligen en funktionstid på mellan tre och fem år. En så kort funktionstid fungerar mer som en förlängd garantitid. Funktionstiderna bör omfatta mer än en underhållscykel och bör vara ännu längre om upphandlingen omfattar en nyproduktion. Avsikten med en funktionsupphandling är ju att möjliggöra innovativa lösningar på nyproduktion och underhållsstrategier och underhållsåtgärder.

Det är idag ytterst ovanligt att det ställs funktionella krav på vägkonstruktionens strukturella status (bärighet) vid funktionstidens slut. Vanligtvis ställs enbart krav på längsojämheter, spår djup, friktion och ytliga defekter som kan åtgärdas av utföraren med relativt enkla, tunna beläggningsåtgärder. Dessa tillför dock ingen förbättring av vägkonstruktionens strukturella status som ständigt bryts ned av den tunga trafiken. Krav på strukturell status krävs i ännu högre grad om funktionstiderna blir längre.

De funktionskrav som används idag bör ses över och eventuellt omformuleras. IRI som ett funktionellt krav på vägens jämnhet är inte alltid användbart. IRI beräknas över ett brett våglängdsområde och kan då exempelvis spegla ojämnheter som utföraren inte kan åtgärda inom ramen för en underhållsåtgärd.

Beställaren bör i högre grad ställa funktionella krav som i konkurrens genererar ”tvingar fram” nya innovativa lösningar med avseende på material, processer och produkter. Ordinära funktionsupphandlingar med kort löptid ger inte incitament till nya lösningar.

Beställaren bör också ställa funktionella krav som tillgodoser såväl väghållarens som trafikantens och samhällets intressen.

En av grundtankarna med funktionsupphandling är ju att beställaren inte skall styra materialval och beläggningarnas sammansättning. Ett undantag bör dock kunna göras genom att med tanke på framtida underhållsåtgärder endast tillåta användning av återvinningsbara och miljögodkända material. Krav skulle även kunna ställas på material i slitlager med hänsyn till miljö- och hälsoeffekter av slitagepartiklar.

Beställaren bör överväga att låta allt underhåll såsom skyltar, räcken, belysning, dränering, släntklippning mm ingå i samma paket för att underlätta samordning, vilket kan vara positivt för trafikanterna.

På högtrafikerade vägar bör ”lane rental” införas, dvs. utföraren får betala hyra för den tid vägen är avstängd för underhållsarbeten. Hyran kan variera med hänsyn till årstid, dag/natt, vardag/helg m.m. Ett sådant system gagnar trafikanternas intressen vid exempelvis helgtrafik och semestertrafik.

Om allt fler funktionskontrakt kommer till stånd är det viktigt att det skapas en marknad med operatörer för mätning och kontroll av funktionskraven. På laboratoriesidan finns idag många certifierade laboratorier, däremot är antalet operatörer för mätning av vägytan relativt begränsad.

Det krävs väl genomtänkta bonus- och avdragssystem som garanterar funktionen både under funktionstiden och vid funktionstidens slut. Bonus eller avdrag under funktionstiden är något som indirekt är positivt för trafikanten medan bonus och avdrag vid funktionstidens slut är ett primärt intresse för väghållaren.

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportsystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE

LINKÖPING

POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING

TEL +46 (0)13 20 40 00

www.vti.se

BORLÄNGE

POST/MAIL BOX 760

SE-781 27 BORLÄNGE

TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM

POST/MAIL BOX 6056

SE-171 06 SOLNA

TEL +46 (0)8 555 77 020

GÖTEBORG

POST/MAIL BOX 8077

SE-402 78 GÖTEBORG

TEL +46 (0)31 750 26 00