

FORMAT – Optimerat vägunderhåll

Del I: Praktisk guide för optimerat underhåll

Del II: Teknisk slutrapport

Anne Bolling

Leif Sjögren

Lars-Göran Wågberg

Förord

EU-projektet FORMAT (Fully Optimised Road Maintenance) ingick i EU:s femte ramprogram; ”Task 2.2.2/11, Road infrastructure pavement maintenance management” under ”Uthållig rörlighet och förändring”. Projektet startade den 1 februari 2002 och pågick i tre år. Finansieringen av projektet delades mellan Europakommissionen och deltagande organisationer. Tjugo olika organisationer, entreprenörer och forskningsinstitut, deltog i projektet, nitton från fjorton europeiska länder samt en deltagare från USA. Deltagarna omfattade nationella väghållare, nationella forskningsinstitut, universitet, entreprenörer och internationella handelssammanslutningar. VTI:s deltagande finansierades av VTI och VINNOVA.

Den översättning och sammanfattning som redovisas i detta VTI notat har finansierats av VTI och har delats upp i två delar; Praktisk guide för optimerat vägunderhåll och Teknisk slutrapport.

Den praktiska guiden är tänkt som projektets slutprodukt riktad mot tänkbara användare inom vägbranschen.

Den tekniska slutrapporten innehåller en kortfattad redovisning av projektets olika aktiviteter. För mer detaljerad information hänvisas till de s.k. deliverables, delrapporter, som finns listade som referenser i slutet på notatet.

Linköping mars 2006

Lars-Göran Wågberg

Kvalitetsgranskning

Intern granskning har genomförts av forskningsdirektör Kent Gustafson, 2006-03-08.

Forskningsledare Lars-Göran Wågberg har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus, 2006-03-23.

Forskningschef Gudrun Öberg har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering, 2006-05-03.

Quality review

Internal peer review was performed by Research Director Kent Gustafson on March 8, 2006.

Project leader Lars-Göran Wågberg has made alterations to the final manuscript of the report.

The line manager of the project leader, Gudrun Öberg, examined and approved the report for publication on 2006-05-03.

Innehållsförteckning

Sammanfattning av FORMAT-projektet	5
Summary	7
Del I Praktisk guide för optimerat vägunderhåll	
1 Dagens utmaningar för väghållare	11
2 Problemet	12
2.1 Säkert resande, pålitliga restider och välinformerade trafikanter	12
2.2 Värde för pengarna	12
2.3 Användning av den praktiska guiden	13
2.4 Förbättring av servicen	13
3 Mätning av vägytans tillstånd	15
4 Vägunderhållsåtgärder och tekniker	16
4.1 Metodik	16
4.2 Resultat	17
5 Säkra vägvästängningar	19
5.1 Metod	19
5.2 Resultat	20
6 Helhetssyn på vägunderhåll	22
6.1 Faktorer som påverkar kostnader	22
Del II Teknisk slutrapport	
7 Beläggningsteknik	27
7.1 Målsättning	27
7.2 Organisation av arbetet	27
7.3 Utvärdering i ALT-anläggningar	28
7.4 Utvärdering genom "pilot-försök" på vägobjekt	32
8 Cost-Benefit Analys	36
8.1 Sammanfattning av resultat	37
9 Säkerhet (trafikanter och personal)	38
9.1 Målsättning	38
9.2 Olycksdata, insamling och analys	38
9.3 Körsimulatorstudier	41
9.4 Databasinsamling från fältstudie	45
10 Tillståndsbeskrivning av vägens kondition	47
10.1 Introduktion	47
10.2 Nuvarande metoder	47
10.3 Optimering av insamlingsmetoder	48
10.4 Utvärdering av mätsystem för tillståndsbeskrivning vid trafikfart	48
10.5 Implementering av högfarts mätsystem	53
10.6 Slutsatser	56
Referenser	57

FORMAT – Optimerat vägunderhåll

Del I Praktisk guide för optimerat underhåll

Del II Teknisk slutrapport

av Anne Bolling, Leif Sjögren och Lars-Göran Wågberg

VTI

581 95 Linköping

Sammanfattning av FORMAT-projektet

FORMAT-projektet var en s.k. djupstudie som designades för att förbättra effektiviteten och säkerheten i det europeiska vägnätet genom att tillhandahålla hjälpmedel för att minska antalet vägunderhållsarbeten, dess varaktighet och storlek. Detta ger en möjlighet att förbättra säkerheten för både trafikanter och vägarbetare i samband med underhållsarbete. Arbetet inriktades också mot att minska trafikantförseningar och därmed kostnader för trafikanterna när de påverkas av avstängningar vid vägarbeten.

Fyra områden som är mycket viktiga vid vägunderhållsaktiviteter låg till grund för och formade målsättningen för detta omfattande forskningsprojekt: tekniker för vägunderhåll, ”cost-benefit” analys, säkerhet vid vägavstängningar och omgivande områden samt tillståndsmätning. Dessa fyra områden samverkar med varandra i projektet där resultat från ett område utgör indata till ett eller flera områden.

FORMAT-projektet hade följande tekniska och vetenskapliga målsättningar:

- Ta fram bättre fungerande, innovativa underhållsåtgärder och metoder som minskar trafikstörningar, i form av köbildning och förbättrad säkerhet, i samband med vägarbeten
- Utveckla en heltäckande ”cost-benefit” analys som tar hänsyn till alla viktiga aspekter av vägunderhåll, inklusive trafikantkostnader
- Utveckla strategier, för säkerheten vid vägarbeten, som omfattar utformningen av vägavstängningar och tidpunkten för åtgärdens genomförande på ett sådant sätt att säkerheten för trafikanter och vägarbetare maximeras
- Föreslå metoder, tillvägagångssätt och utrustning för mätning av vägars tillstånd i normal körhastighet för att minimera antalet störande vägavstängningar som krävs för insamling av tillståndsdata.

I projektet ingick fyra tekniska/vetenskapliga delar:

- Tekniker och tillvägagångssätt för underhåll av vägkonstruktioner
- Metoder för ”cost-benefit” analyser
- Säkerhet vid vägarbetsplatser
- Mätning av vägkonstruktionens tillstånd vid hög hastighet.

VTI deltog aktivt i alla delar utom den om cost-benefit analyser.

I teknikdelen granskades utvecklingen av underhållsåtgärder i Europa och Nord-Amerika varefter de mest lovande innovativa underhållsåtgärderna för asfalt- och cementbetongkonstruktioner identifierades. Utvalda lovande innovativa åtgärder utvärderades genom accelererad provning med tung belastning i speciella anläggningar

(ALT, Accelerated Load Testing) för fullskaleförsök. Fullskaliga försökssträckor genomfördes för att undersöka effektiviteten hos utvalda åtgärder för att validera ”cost-benefit” modellerna och att utveckla effektiva krav på trafikstyrning i samband med utförandet.

I delen ”*Cost-benefit*” analyser utvecklades en heltäckande ”cost-benefit” modell som tar hänsyn till kostnader på grund av vägkonstruktionens nedbrytning, tillkommande trafikantkostnader och kostnader för säkerhet vid vägarbetsplatsen. Dessutom tar den hänsyn till miljöaspekter som exempelvis förmåner genom återvinning av vägkonstruktionen, hela eller delar därav, bullerreduktion tack vare nya innovativa beläggningar ingår också i modellen. De nyutvecklade modellerna tillämpades vid vägförsök, som inkluderade försöken som genomfördes inom den tekniska delen, för att validera deras användbarhet i praktiska situationer.

I delen om *säkerhet*, undersöktes vilka tekniska krav som bör ställas på underhållsåtgärder för att maximera säkerheten för både trafikanter och vägarbetare. SäkerhetskONSEKVENSERNA vid utförandet av de nya innovativa underhållsåtgärderna utvärderades ur trafikanters och vägarbetares synvinkel genom utveckling av lämplig utformning av vägavstängningar. Effektiviteten av nya utformningar av vägavstängningar utvärderades i kör simulatorer vid VTI och TRL.

I delen om *tillståndsmätning*, värderades metoder för mätning, i normal körhastighet, av vägars tillstånd. Fokus sätts på metoder för att mäta vägytans tillstånd, vägkonstruktionens strukturella tillstånd och andra tillståndsindikatorer som krävs för att planera det framtida vägunderhållet. Ett grundläggande krav var att mätningarna skall kunna genomföras med mätutrustning som kan mäta vid samma hastighet som det omgivande trafikflödet. Relativt nyligen har det, både i Europa och USA, utvecklats utrustningar för att mäta deflektion och vägytans tillstånd vid hög körhastighet.

FORMAT – Fully Optimised Road Maintenance

Part I Key to Road Pavement Maintenance

Part II Final Technical report

by Anne Bolling, Leif Sjögren and Lars-Göran Wågberg
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

The FORMAT project (Fully Optimised Road Maintenance) addresses Task 2.2.1/11 ‘Road infrastructure pavement maintenance management’ of the European Commission Key Action ‘Sustainable Mobility and Intermodality’. The project started on 1 February 2002 and was programmed to run for three years.

Twenty organisations are contributing to this research project, nineteen from fourteen European countries and one from the United States of America. The funding of the project is shared between the European Commission and the Partner organisations or their funding agents. The Partners include national road owners, national highway research laboratories, universities, highway contractors and international trade associations.

The FORMAT project is an in-depth study designed to enhance the efficiency and safety of the European road network by providing the means to reduce the number, duration and size of road works for pavement maintenance purposes. This has the potential to improve safety of both road workers and road users at road maintenance sites. The research also focuses on reducing the associated delays and hence the costs for road users as they negotiate these work zones. In order to achieve these wide ranging objectives, all aspects of the planning and execution of the pavement maintenance process will be optimised in a fully integrated usable set of pavement maintenance procedures.

Four topics, key to road pavement maintenance, form the subject of this extensive research effort: Road maintenance technologies, cost benefit analysis, safety at work zones and the surrounding areas and pavement condition monitoring. These four topics are fully integrated with each other within the project, with outputs from each topic providing inputs to other topics.

The project has the following technical and scientific objectives: To provide better performing, innovative pavement maintenance techniques and procedures that will reduce traffic disruption at the road works, in terms of congestion and improved safety.

To develop an integrated cost-benefit analysis model that addresses all key aspects of pavement maintenance, including road user costs; To produce safety strategies for road works that allow for arranging the work site lay-out and the timing of maintenance intervention in such a way that the safety of road users and road workers are maximised;

To propose methods, procedures and equipment for monitoring the condition of road pavements at traffic speeds to minimise the number of disruptive road closures currently required for acquiring pavement condition data.

The project is organised into four integrated Technical Work Packages comprising:

- pavement maintenance techniques and procedures (WP3 'Technology')
- associated cost benefit analysis methods (WP4 'Cost Benefit Analysis')
- safety at work sites (WP5 'Safety')
- high speed monitoring of pavement condition (WP6 'Monitoring').

VTI was active participants in all Technical Work Packages except WP4, Cost Benefit Analysis.

Work Package '**Technology**' reviewed the developments in pavement maintenance technology throughout Europe and North America and identify the main innovations in this field concentrating on the most promising innovative maintenance techniques for both asphalt and concrete roads. Selected promising innovative treatment options was assessed and evaluated through accelerated testing in specialised full-scale road pavement test facilities. Pilot road trials were conducted to determine the efficiency of application of selected maintenance treatments, to validate cost benefit models and to develop effective traffic management requirements.

Work Package '**Cost Benefit Analysis**' (CBA) developed an integrated cost benefit model taking into account the costs due to pavement deterioration, additional user costs and safety at the work sites. In addition, environmental aspects such as benefits arising from recycling of road pavements and the reduction in noise from new innovative road surfaces will also be modelled. The new models were applied on road trials including the pilot road trials of Work Package 'Technology' in order to validate their applicability in practical situations.

Work Package '**Safety**' dealt with the engineering requirements of road maintenance treatments to be carried out while maximising safety of both road workers and users. The safety implications of different maintenance techniques involving new innovative maintenance treatments will be assessed for both road users and workers in terms of the development of appropriate traffic management layouts. This will be achieved by an analysis of accident data at sites with and without road works and through in-depth studies at specific sites including the pilot road trials of Work Package 'Technology'. Risks associated with traffic queuing at the roadwork sites will be analysed, taking into account safety of diversion routes. The effectiveness of new traffic management layouts will be evaluated in a driving simulator.

In Work Package '**Monitoring**', methods for measuring pavement condition at traffic speeds were assessed and procedures and methodologies will be developed to implement this technology. The main focus will be on methods to measure the surface condition as well as the structural capacity of the pavement and other indicators required for optimum planning of pavement maintenance. The principal requirement is that the measurements should be carried out using equipment that is compatible with regular traffic flow. There have been significant recent developments in equipment for high speed deflection and surface condition assessment, both in Europe and in the USA. This project tapped into these developments, critically assessing the capability of prototype equipment with respect to the data acquisition requirements specified.

Del I: Praktisk guide för optimerat vägunderhåll

1 Dagens utmaningar för väghållare



Europeiska väghållare ställs inför stadigt ökande trafikvolym och trafikanter som efterfrågar en förbättrad servicenivå på våra vägar. Målsättningen för dagens väghållare är att inte bara tillhandahålla infrastrukturen utan också att sköta hela trafikrörelsen. Väghållarna har utifrån en begränsad budget kravet att tillhandahålla service med hög kvalitet för att säkra:

- Säkert resande
- Pålitliga restider
- Välinformerade trafikanter
- Värde för pengarna.

2 Problemet

Med ökande trafik på vägnätet och större krav från trafikanterna så tittar väghållarna efter sätt att organisera sina aktiviteter för att gynna trafiksäkerheten och möjliggöra att pålitliga restider uppnås.

2.1 Säkert resande, pålitliga restider och välinformerade trafikanter

En av de större händelserna som påverkar trafiksäkerheten och orsakar trafikförseningar är aktiviteter som kan förknippas med underhåll av en väg för att hålla den i gott tillstånd. Vägarbeten tillför av naturen ytterligare potentiella risker för säkerheten av både trafikanter och vägarbetare och de kan också utgöra en stor källa till trafikförseningar. Arrangemang, som skyltning och vägavstängningar, är nödvändiga då vägen skall underhållas och normalt när vägens tillstånd skall värderas genom mätningar och provtagningar. Dessa arrangemang är nödvändiga för vägarbetarna. Emellertid påverkas trafikanterna av en ny, tillfällig vägutformning som kan öka risken för att en olycka skall uppstå. För närvarande bedöms inte effekten av utformningen av vägavstängningarna innan den används. Kunskap om de effekter som utformningen av avstängningarna har på förarna skulle utgöra en värdefull hjälp för väghållaren att besluta om den optimala utformningen av utformningen av skyltning och avstängningar för en given situation. Vägavstängningarnas utformning kan ofta orsaka omfattande trafikförseningar och därmed hamna i konflikt med att tillhandahålla förutsägbara restider. Därför försöker väghållaren och hans ansvariga hitta möjligheter att minska antalet vägavstängningar, tiden för avstängningarna och påverkan av aktiviteter (tillståndsbedömning, tillståndsmätning m.m.) som krävs för att bedöma vägens tillstånd. Ett problem är att mätningarna ofta kräver vägavstängningar eftersom de vanligen görs genom mätningar som är stationära eller görs vid mycket låg hastighet och därför kräver avstängning av ett körfält eller hela vägen.

Med ständigt ökande trafikmängd efterfrågar trafikanterna noggrann och uppdaterad information om pågående och planerade vägarbeten och tillståndet i vägnätverket så att trafikanterna kan planera sina resor.

2.2 Värde för pengarna

Väghållarens primära mål är att tillhandahålla en service med hög kvalitet till trafikanterna. Det målet är ofta svårt att uppnå med tillgängliga finansiella resurser. Kostnaderna för olyckor och trafikförseningar tillsammans med miljökostnader i samband med genomförandet av underhållsåtgärder som buller, luftföroreningar och avyttrande av miljöfarligt material blir i allt högre utsträckning en viktig politisk fråga. För att fastställa den bästa avkastningen på gjorda investeringar, med hänsyn tagen till en hållbarhet och ekonomiska resurser, söker väghållaren efter nya eller förbättrade verktyg för att värdera olika möjliga underhållsåtgärder.

Inom hela den Europeiska unionen börjar frågor om underhållsstrategier och upphandling med funktionskontrakt bli alltmer viktigt för att förbättra kostnadseffektiviteten vid underhållsåtgärder. Det behövs därför metoder för att värdera kontraktsförslag där entreprenören påtar sig större risker för att leverera ett nätverk som garanterar servicenivåer till trafikanterna genom inarbetning av rigorös standard för mätbara tillståndsparmetrar.

2.3 Användning av den praktiska guiden

Verktyget är tänkt att användas i tre steg:

1. **Är detta mitt problem?**
Information hämtas i guiden
2. **Kan detta lösa mitt problem?**
Analys av tänkbara lösningar
3. **Hur gör jag?**
Implementering av lösningen på problemet.

Den ansvarige för underhåll överväger och fattar beslut om vilka av de föreslagna lösningarna som kan lösa det aktuella problemet som inte finns i det PMS-system som normalt används av väghållaren. Helhetsbilden av en lösning kan förändra de rutiner som använts tidigare.

Analys av tänkbara lösningar

För att möjliggöra för väghållaren att värdera en helhetslösning på underhållsproblem på våra vägar har en CD tagits fram och som bifogas denna handbok. CD:n innehåller alla tekniska resultat från projektet. De tekniskt ansvariga hos väghållaren kan analysera lösningarna för att besvara frågan, "Kan detta lösa mitt problem?"

Implementering av lösningen på problemet

För att implementera den valda lösningen är det nödvändigt att försäkra sig om en kompatibilitet med det tidigare använda systemet genom att anpassa de tekniska resultaten från forskningen. De tekniska rapporterna på CD:n kan utgöra en startpunkt. Implementeringen baseras på frågan, "Hur gör jag?"

2.4 Förbättring av servicen

Det här verktyget erbjuder lösningar som riktar sig mot de krav från trafikanterna i förbindelse med behovet av att underhålla vägkonstruktionen i gott skick.

2.4.1 Säkert resande, förutsägbara restider och välinformerade trafikanter

Minskning av antalet vägvästängningar; detta verktyg tillhandahåller lösningar genom att minimera antalet vägvästängningar nödvändiga för tillståndsmätningar för att besluta om en underhållsåtgärd är nödvändig. Detta uppnås genom användning av godkänd mätutrustning som arbetar vid normal körhastighet.

När en underhållsåtgärd krävs föreslås, i den praktiska guiden, att utvärdera material och tekniker som har en lång livslängd för att på så sätt minska underhållsfrekvensen och därmed antalet vägvästängningar.

Minimera vägvästängningarnas varaktighet; I den praktiska guiden föreslås lösningar genom att tillhandahålla metodiken för att identifiera och värdera underhållstekniker och/eller material som kan minska utförandetiden i förhållande till konventionella metoder.

Göra vägvästängningar säkrare och lättare att förstå; Den praktiska guiden tillhandahåller lösningar för att värdera styrningen av trafiken med hjälp av konventionella vägvästängningar i form av säkerhet för vägarbetare och trafikanter och i form av tillkommande trafikantkostnader för förseningar. En metod tillhandahålls för att möjliggöra potentiella förbättringar av vägvästängningarna och utvärdera dem.

2.4.2 Värde för pengarna

När ett körfält eller hel väg behöver repareras finns det ofta ett flertal underhållsåtgärder och/eller material som kan vara användbara. Dessa kan värderas i ekonomiska termer genom att hänsyn tas till hur lång vägsträcka som behöver stängas av, helt eller delvis, reparationens varaktighet, hur mycket trafikstörningar kommer att kosta samhället samt vilka miljökostnader som åsamkas samhället. Målsättningen är att välja en underhållsåtgärd som ger maximal "vinst" till både väghållaren och trafikanterna i det långa perspektivet.

Detta verktyg erbjuder en metod som tillåter en heltäckande, ekonomisk värdering av olika underhållsåtgärder. Följande aspekter ingår:

- *Vägens tillståndsförändring:* Baserat på nedbrytningen av vägkonstruktionen orsakad av trafik eller miljöbelastning kan en utvärdering göras av kostnadseffektiviteten av valda underhållsåtgärder eller material
- *Trafikförseningar på grund av vägarbeten:* Köbildning som orsakas av vägvästängningar kan beskrivas i monetära ordalag. Den totala kostnaden beror på avspärrningens varaktighet. Den påverkan vägarbetet har på köbildningen bestäms huvudsakligen av på trafikbehovet jämfört med återstående kapacitet efter avstängningar vilket beror på antalet öppna körfält och andra geometriska hinder. Om trafikbehovet stannar under vägens kapacitet tidsförsening avgörs av hur stor hastighetsminskningen blir
- *Säkerhetskostnader:* Kostnaderna för möjliga olyckor inom vägarbetsområdet skall tas med i beräkningen
- *Miljökostnader:* Konsekvenserna av växthusgaser, i första hand (CO₂) på grund av transporter av de material som är nödvändiga för vägunderhållet, köbildning orsakad av vägarbetet ingår samt kostnader för buller
- *Väghållarkostnader:* Detta är kostnader för väghållaren som behövs för att upprätta och övervaka genomförandet av kontraktet. Nya former av kontrakt i vilka entreprenören tar en större risk skulle göra väghållarens kostnad mer förutsägbar.

3 Mätning av vägytans tillstånd

Det är en stor fördel med mätmetoder som kan mäta i trafikhastighet istället för långsamma som ofta kräver att vägen stängs av vid mättillfället. Vidare finns det flera fördelar med att optimera mätstrategin, inklusive kostnadsbesparingar genom att optimera typ av mätning och frekvensen.

I FORMAT har två modeller tagits fram för planering av mätstrategin. Den första är en prestationsmodell uppbyggd kring konfidensintervall baserad på statistiska principer. Det optimala året för en mätning kalkyleras och beroende på när sedan underhåll utförs beräknas fördelarna. Den andra modellen beräknar och jämför alternativa kostnader under ett givet tidsintervall för olika mätintervall.

4 Vägunderhållsåtgärder och tekniker

Valet av underhållsåtgärder som är kapabla att korrigera tillståndet på ett givet vägobjekt är nyckeln i alla system för underhållsplanering. I de flesta fall stöds valet av åtgärd med befintlig praxis. Hänsyn tas till tillståndet på den existerande vägkonstruktionen och kostnader som är förknippade med material och utförande av underhållsåtgärden. Hänsyn skall också tas till andra aspekter i valet av åtgärd:

- Effekter på trafikantkostnader som orsakas av underhållsaktiviteter, som en underhållsåtgärds livslängd eller tillvägagångssättet för användning av underhållsåtgärden
- Miljöeffekter, bl.a. sådana som återvinning (recycling) av material.

Underhållsaktiviteter av en vägkonstruktion kan genomföras av flera skäl, beroende på vägkonstruktionstyp, förekommande skadetyper i konstruktionen eller av serviceskäl som trafik- och climateffekter. Ett antal tillståndsindikatorer, som spårdjup, sprickbildning, strukturellt tillstånd, som är knutna till de nedbrytningsmekanismer som uppstår i vägkonstruktionen används vanligen som underlag för val av lämplig underhållsåtgärd.

4.1 Metod

En databas med underhållsåtgärder byggdes upp från verkliga erfarenheter från 21 länder. Ett flertal innovativa underhållsåtgärder som ansågs lovande för att lösa de mest signifikanta problem som uppstår på det stora Europavägnätet studerades. Dessa oberoende tester utgjorde exempel på metodiken för att utvärdera innovativa underhållsåtgärder. De innovationer som testades omfattade åtgärder för att förbättra vägytans tillstånd, förstärkningsåtgärder för asfaltkonstruktioner och förstärkande åtgärder för cementkonstruktioner.

Den genomförda forskningen omfattade utförande av innovativa åtgärder på slitna vägkonstruktioner i fullskaleförsök i ALT-utrustningar. En utvärdering gjordes av innovativa åtgärders tillståndsutveckling under belastning av simulerad tung trafik vilket även jämfördes med tillståndsutvecklingen av konventionella underhållsåtgärder under identiska försökssituationer. Det inkluderade även utförande av utvalda innovativa försökssträckor ute på verkliga vägobjekt med noggrann övervakning av förutsättningarna för utförandet och hur dessa påverkade trafikanterna.

I båda typerna av studier, ALT och försökssträckor, värderades vägkonstruktionens tillstånd före och efter utförandet av en underhållsåtgärd för att utvärdera effektiviteten för att förbättra vägkonstruktionens tillstånd och för att identifiera positiva och negativa effekter av de valda innovativa åtgärderna. I ALT-försöken utvärderades konstruktionens tillstånd vid flera olika steg av belastningen, både för innovativa och konventionella underhållsåtgärder som användes som referens. Utöver standardprovning för kvalitetskontroll av konstruktionsmaterial genomfördes andra laborietester för att fastställa de funktionsrelaterade egenskaperna som utmattnings- och deformationstester (wheel tracking test).

4.2 Resultat

Den omfattande databasen med underhållsåtgärder finns tillgänglig på CD-skivan som följer med detta verktyg. Den utvecklades med indata från 20 europeiska länder och från USA. Databasens innehåll täcker fyra viktiga typer av underhållsåtgärder för olika typer av vägkonstruktioner, asfaltkonstruktioner, cementkonstruktioner och kompositkonstruktioner. I databasen finns detaljerad information om en underhållsåtgärd kan användas för att åtgärda vissa defekter i vägkonstruktionen och generell information om hur respektive underhållsåtgärd skall utföras. Underhållsåtgärders effektivitet för att åtgärda problem som identifierats med hjälp av tillståndsindikatorerna fastställdes också:

Hur bra åtgärden förbättrade tillståndet efter den primära tillståndsindikatorn.

Om åtgärden också hade sekundär effekt på någon annan tillståndsindikator.

När orsaken till underhåll är identifierad kan väghållaren analysera alla valmöjligheter som finns tillhands för val av den lämpligaste lösningen.

Med hjälp av de studier som genomförts för detta verktyg utvecklades en beslutsprocess för att hjälpa väghållaren att välja den optimala underhållsåtgärden som krävs för ett vägobjekt.

Det första beslutet som tas är att fastställa:

***Vägtyp och vägkonstruktion
Vägkonstruktionens tillstånd.***

Nästa steg är att fastställa:

***Målsättningen med underhållsåtgärden
Vilka tillståndsindikatorer behöver förbättras
Vilken typ av åtgärd ska övervägas
Lokal skada
Spår eller andra ytliga defekter
Förstärkning eller ombyggnad.***

Nästa steg är att värdera möjliga åtgärder:

***Hur är åtgärdens effektivitet i förhållande till målsättningen?
Har den sekundära effekter på andra tillståndsindikatorer?
Vilka metoder och tekniker krävs för utförande?
Vilka vägvastängningar behövs under utförandet
Uppskattning av framtida tillståndsförändringar.***

Vid värdering av möjliga underhållsåtgärder är det viktigt att inte bara överväga användning av olika konventionella åtgärder/lösningar utan också innovativa åtgärder som kan vara lovande, antingen uthållighetsskäl, t.ex. användning av åtgärder med längre livslängd eller användning av återvinning eller trafikförseningsskäl, som användning av underhållsåtgärder som kan utföras snabbare. Emellertid kan valet av en innovativ lösning öka den risk som är associerad med arbetet eftersom erfarenheten av utförandet av åtgärden kan vara begränsad eller att informationen om åtgärden har eventuella negativa sidoeffekter.

Innovationerna som testades i detta projekt riktade sig mot olika typer av underhållsproblem:

- Ytbehandling för förbättring av friktionen, och därmed trafiksäkerheten
- Förstärkande åtgärder för asfaltkonstruktioner med permanenta deformationer eller sprickbildning
- Förstärkande åtgärder på vägkonstruktioner av cementbetong
- Erodering av slänter.

Den nya dränasfalten med högmodifierat bitumen och en finare stenmaterialgradering (0/6,3 mm) utfördes med stor framgång på en försökssträcka på en europeisk motorväg. Dränasfalten var designad för att förbättra trafiksäkerheten, genom att förbättra friktionen och ytdränering av vatten samt även att minska trafikbullernivån. Dessutom förväntas den ha en längre livslängd än konventionell dränasfalt.

Rehabilitering av asfaltkonstruktioner med hjälp av asfaltbeläggning som bindlager ger ett förbättrat motstånd mot permanent deformation under ett tunt slitlager och kan därmed utgöra ett bra alternativ till konventionell påläggning av nya lager. Några exempel på sådana lösningar har testats i flera ALT-anläggningar.

Användning av geogrid kombinerad med påläggning av nytt asfaltlager är ett bra alternativ för rehabilitering av en sprucken asfaltkonstruktion. Överbyggnadstjockleken kan med geogrid också minskas med bibehållen prestanda hos konstruktionen jämfört med en konventionell åtgärd.

Lämpligheten av injektering av cementslam under fogad Portland cementbetong för att återställa konstruktionens strukturella status har demonstrerats i fullskaleförsök på ett vägobjekt bestående av en motorväg i dåligt tillstånd. Denna typ av arbete kompletteras med ytterligare åtgärder för att återställa ytjämnheten. Detta kan göras med påförande av ett nytt asfaltlager, ibland i förbindelse med ett anti-sprick system.

Ett annat fullskaleförsök har visat möjligheten att utföra ett tunt lager med ”bonded” cementbetong på kontinuerligt armerad cementkonstruktion. Före detta gjordes lagningar av lokala skador.

En mycket viktig aspekt som skall övervägas när en innovativ underhållsåtgärd används är den praktiska implementeringen av förfaranden för utförandet av underhållsåtgärden. Både ALT-försök och fullskaleförsök fungerade som en del i den forskning som syftade till att identifiera möjliga svårigheter förenade med den valda tekniken och att utveckla rekommendationer för förfarandet vid utförandet av underhållsåtgärden.

Fler detaljer om underhållsåtgärder och tekniker finns på den CD som medföljer denna praktiska guide:

- Val av underhållsåtgärd och förfarande vid implementering
- Funktionella egenskaper hos innovativa underhållsåtgärder och strategier
- Praktisk implementering av förfaranden för vägunderhållsarbete.

5 Säkra vägvägarstängningar

Det som berör trafikanterna mest vid ett vägarbete är hur trafiken leds förbi. Detta har en stor inverkan på resan. Det påverkar i första hand genom fördröjningar beroende på sänkt hastighet och köer. Men det har också en påverkan på risken för att råka ut för en olycka.

Det finns därför ett behov av att behålla både kapacitet och hastighet förbi ett vägarbete samtidigt som säkerheten måste upprätthållas.

5.1 Metod

5.1.1 Olycksrisk vid vägarbete

För att undersöka hur stort problemet med ökad olycksrisk vid vägarbetsplatser är samlades data in från länder i Europa och från USA. Utifrån detta underlag kunde man direkt dra slutsatsen att de flesta länder inte hade uppgift om hur mycket olycksrisken förändrades vid vägarbete. Därför har endast data från ett fåtal länder använts för att bygga upp en modell för beräkning av olycksrisken vid vägarbete.

5.1.2 Körsimulatorstudier

I körsimulatorn kan tester göras på ett kontrollerat och säkert sätt som inte är möjligt ute i fält. Olika vägarbetsutformningar testades för att undersöka vilken effekt olika utformningar har framför allt på hastigheten.

Två simulatorstudier genomfördes, en i motorvägsmiljö (på TRL i Storbritannien) och en på en tvåfältig 11 m väg (på VTI i Sverige). I båda studierna testades fyra olika utformningar av vägarbetsplatser.

I motorvägsstudien, där ett ordinarie körfält var stängt i den ena riktningen, testades tre olika varianter med två smala körfält och en med enbart ett körfält öppet. I de olika alternativen med smala körfält varierades vägmarkeringen, en normal utformning (6 m vit linje 6 m glapp), en med kortare vita linjer som då skulle ge en illusion av högre hastighet och en med gula linjer och de ordinarie vita linjerna kvar.

I studien på tvåfältsvägen var halva vägen avstängd för vägarbete och resterande del 5,6 m delades på två körfält ett för vardera körriktning. Det som varierades var avgränsningen mellan körfälten. De olika alternativen var: heldragen orange linje, orange körbanereflektorer, sidomarkeringsskärmar och ingen avgränsning alls.

5.1.3 Fältstudie

Fältstudier ger en god möjlighet att samla in data om faktiskt trafikantbeteende. I praktiken kan det vara svårt att genomföra studier i fält. Tester i fält måste genomföras utan att säkerheten äventyras för vägarbetare eller för trafikanter. Till detta kommer att för olyckstudier behöver vägarbetet pågå under en relativt lång tid för att ge ett användbart underlag. I denna studie har data samlades in från ett stort och långvarigt vägarbete i Belgien.

5.2 Resultat

5.2.1 Olycksrisk vid vägarbete

Ett datorprogram har utvecklats som beräknar kostnader för fördröjningar och ökad olycksrisk vid vägarbete. Indata som behövs för beräkningarna är olycksrisk med och utan vägarbete. Dessa data finns bara för ett fåtal platser så programmet föreslår ungefärliga värden där inte data finns tillgängliga.

För att bättre kunna uppskatta säkerhetseffekterna av olika utformningar, rekommenderas alla länder att införa noggrannare uppföljning av olyckor i samband med vägarbete. Det behövs också detaljerade studier för att direkt jämföra olyckor på vissa sträckor med och utan vägarbete.

De senaste studierna från Storbritannien pekar mot att olycksrisken vid vägarbete är ungefär lika stor som olycksrisken utan vägarbete. Detta något förvånande resultat beror troligen på att stora insatser har gjorts för att reducera hastigheten vid vägarbetsplatser, till stor del med hjälp av kameror. Hastigheten verkar ha stor betydelsen för säkerheten, därför rekommenderas att stor vikt läggs vid åtgärder för att skapa en lämplig hastighet förbi vägarbetsplatsen.

5.2.2 Körsimulatorstudier

Resultaten från simulatorstudierna på tvåfältig landsväg visa att hastigheten förbi alla olika utformningar av vägarbete sjunker med 30–40 km/h. Mest reduceras hastigheten vid utformningen med sidomarkeringsskärmar som körfältsavskiljare.

Genomsnittlig hastighet förbi hela vägarbetet och max hastighet var lägst för alternativet med sidomarkeringsskärmar. Det alternativet hade också den lägsta hastighetsvariationen utmed vägarbetet. Sidoläget var längre till höger med sidomarkeringsskärmar än de andra alternativen vilket ger den bästa separationen av trafiken. Störst hastighetsvariation var det i alternativet utan avskiljning med höga hastigheter när ingen mötande trafik fanns och kraftiga retardationer vid möte. Alternativen med heldragen linje och vägbanereflektorer hade högst genomsnittlig hastighet förbi vägarbetet.

Alternativet med sidomarkeringsskärmar ser ut att vara kopplat till beteenden som anses "säkra" – låga hastigheter, låg hastighetsvariation, störst separering mellan motriktade trafikflöden. Men när förarna tillfrågades så ansåg de att alternativen med heldragen linje och vägbanereflektorer var både säkrare och bättre. Vägbanereflektorerna var det alternativ som förarna föredrog och därefter kom den heldragna linjen. Varken sidomarkeringsskärmar eller alternativet utan avskiljning ansågs av förarna som bra.

I motorvägsstudien var hastighetsskillnaden mellan de olika utformningarna väldigt liten men hastigheten var även i denna studie lägre förbi vägarbetsområdet än på sträckorna mellan vägarbetena. Totalt sett visar denna studie att smala körfält kan ge en betydande hastighetssänkning och större delen av förarna föredrog utformningen med smala körfält.

I alternativet med gul linje var det något lägre hastighet än i de övriga utformningarna. Till detta kom att förarna närmade sig vägarbetet med den gula markeringen i en lägre hastighet än övriga. Beträffande körfält ett ("slow lane") körde trafikanterna närmare höger ("snabb filen") för alternativet med gulmarkering, detta kan möjligen bero på att de ursprungliga vita markeringen var kvar. För körfält två var det ingen skillnad i sidoläge mellan de olika utformningarna.

Det är inte normalt att använda gula vägmarkeringar i Storbritannien. Trots detta tyckte en stor del av förarna att den gula vägmarkeringen var till hjälp. Sedan fanns det även andra förare som ansåg den var förvirrande eller farlig. I försöket hade den gula linjen kombinerats med den ordinarie vita vägmarkeringen och många förare tyckte det var förvirrande och farligt att ha den ordinarie vita vägmarkeringen kvar.

Utifrån dessa studier ser vi att det kan vara ett bra alternativ att **använda smala körfält** och på så sett **undvika att stänga ett körfält helt**. I många fall undviker man på så sätt köer och med dessa restidsfördröjningar. De smala körfälten leder också till lägre hastigheter.

Eftersom både alternativet utan vägmarkering (VTI:s försök) och de ej borttagna originallinjerna (TRL:s försök) ansågs sämst i den subjektiva bedömningen av förarna och även fick dåliga resultat i de objektiva mätningarna **rekommenderas klara och entydiga vägmarkeringar**.

5.2.3 Fältstudier

Studien genomfördes vid ett vägarbete på en motorväg i Belgien. När vägarbetet startade leddes trafiken förbi i två smala körfält i en riktning (3,00 och 3,25 m) och ett i den andra riktningen (3,35 m). Två veckor efter arbetets start kunde man konstatera att det hade inträffat ett onormalt stort antal olyckor. Problemet var störst på delar där den riktning som hade ett körfält var placerat i den ursprungliga vägrenen. Den ursprungliga vägmarkeringen var inte borttagen och detta medförde att körfältet kunde uppfattas som bara 2,40 m brett. Detta ledde till att en del trafikanter förlorade kontrollen på fordonet och körde av vägen.

Utformningen gjordes om och i stället för två + ett med smala körfält gjordes ett körfält i vardera riktningen varav ett av dessa körfält var 5,05 m brett. Samtidigt togs all ursprunglig vägmarkering bort. Detta medförde att antalet olyckorna sjönk markant. Men eftersom ändringen av körfältsindelningen och borttagandet av original vägmarkering genomfördes samtidigt går det inte att avgöra hur stor inverkan varje enskild åtgärd hade.

6 Helhetssyn på vägunderhåll

De olika aspekterna på vägunderhåll behandlas i ett helhetsperspektiv genom användning av en "cost benefit analysis". Det är en metod som kan användas för att jämföra underhållsåtgärder och strategier genom en beräkning av kostnadseffektivitet där hänsyn tas till alla (eller vissa) aspekter. Det är ett sätt att visa de politiska instanserna och skattebetalarna att vägunderhållet är kostnadseffektivt, hållbart, trafiksäkert och att det tar hänsyn till trafikanterna. Huvudproblemet är emellertid svårigheten att värdera de möjliga förändringarna av viktiga faktorer som förändring i olycksrisk eller minskade miljöskadliga utsläpp. Dessutom är det inte alltid möjligt att nå en samstämmighet om hur exempelvis ett människoliv skall värderas eller vad växthus-effekten kostar eftersom de till skillnad från olja och stenmaterial inte har priser satta av marknaden.

För att genomföra en "cost benefit analysis" måste det först finnas en bra modell för prediktering över en lång tid (exempelvis 30 år), konsekvenserna av beslut som bestämmer kostnaderna:

- Under vägarbeten, konsekvenserna för trafikanter och miljön (längre restider, ökad olycksrisk och ökad bränsleförbrukning)
- Vid normal trafikering (ostört av vägarbeten), konsekvenser för trafikanterna beroende på vägens tillstånd (sämre komfort, fordonskostnader) och konsekvenser för miljön (buller, utsläpp av koldioxid och andra föroreningar m.m.)
- Resurserna som krävs för att bygga, underhålla och sköta vägsystemet.

6.1 Faktorer som påverkar kostnader

Underhållsarbeten

Materialsammansättning och tjocklekar

Beständighet (avgör framtida underhåll)

Utformning av vägvästängningar (ev. omledning av trafik)

Väghållarkostnader för att förbereda och verkställa kontrakt.

Trafikförseningar

Vägvästängningens varaktighet, längd och tidplan

Trafikmängd och fördelning av trafik

Vägvästängningarnas utformning

Ombesörjande av flyttning av skadade fordon.

Miljö

Materialsammansättning och tjocklekar

Materialens ursprung (återvinningsprocent, transportlängd)

Konsekvenser av köbildning och avledning av trafik under arbetet (ökad förorening och bränsleförbrukning)

Ökat buller på grund av arbetet, den nya beläggningsens bulleregenskaper.

Trafiksäkerhet

Vägavstängningens varaktighet, längd och tidplan

Vägavstängningarnas utformning

Hastighetsbegränsning inom vägarbetszonen, utformning av trafikavledning

Den nya beläggningsens friktionsegenskaper och förändring under trafik.

Nästa steg i processen är att sätta kostnader för olika faktorer, baserade på enhetskostnader knutna till olika typer av arbeten, resurser och störningar. För produkter som har en marknad (vägbyggnadsmaterial, bränsle m.m.) sätts priset av marknaden men för andra resurser och störningar (förseningar, olyckor, buller, föroreningar) sätts priset i huvudsak av myndigheter eller fastställs efter speciella studier.

Del II: Teknisk slutrapport

7 Beläggningsteknik

Detta utgör en kort sammanfattning av arbetet inom projektets teknikdel. Den integrerade guiden är projektets slutprodukt.

7.1 Målsättning

Målsättningen i teknikdelen var att utvärdera innovativa underhållstekniker och metoder för underhåll av både asfalt- och cementbetongkonstruktioner med syftet att minska trafikantförseningar och säkerhetsrisker i samband med vägarbeten. Syftet uppnåddes genom att välja underhållstekniker som har långa livslängder och som tar kortare tid att utföra. På detta vis minskar antalet vägvästängningar och avstängningarnas varaktighet blir kortare. De innovativa metoderna och teknikerna fokuserades på att reducera antalet och varaktigheten hos vägvästängningar i samband med vägunderhållsarbeten.

7.2 Organisation av arbetet

Verksamheten bestod i tre uttalade arbetsuppgifter. *Uppgift 1* fokuserades på valet av underhållstekniker som sedan undersöktes och utvärderades inom *Uppgift 2*, värdering av underhållsteknikens olika egenskaper och *Uppgift 3* "Pilot studies" genomfördes s.k. pilotstudier i fullskaleförsök på vägar. *Uppgift 2* koncentrerades på tekniskt/mekaniska parametrar hos åtgärden medan *Uppgift 3* fokuserades mer på trafikantens intressen. Målsättningen i Uppgift 1 var att tillhandahålla ett urval av de mest lovande, innovativa underhållsteknikerna för utvärdering och praktisk implementering.

Arbetet inom WP3 började med en värdering av huvudorsakerna till utförande av underhållsarbeten i Europa, att identifiera de huvudsakliga nedbrytningsmekanismerna i olika typer av vägkonstruktioner (asfalt, cementbetong och compositmaterial) samt de indikatorer som användes för att beskriva väggkonstruktionens tillstånd och utvärdera behovet av att utföra ett underhållsarbete.

En lista togs fram som bestod av underhållstekniker och metoder som ansågs vara bäst anpassade för de olika typer av problem som uppstår på europeiska vägar. Till hjälp i detta arbete var den databas, innehållande olika underhållstekniker, som utvecklades inom COST Action 343, "Long Term Performance of Road Pavements". Detta material kompletterades med ytterligare underhållstekniker från medlemmar i arbetsgruppen. Viktiga data i detta sammanhang var uppgifter om metoder för utförandet av underhålls-åtgärden och åtgärdens effektivitet för korrigera de problem som var orsaken till nedbrytningsmekanismen i olika väg- och beläggningkonstruktioner. Underhålls-åtgärden delades upp i fyra kategorier; lokala, begränsade åtgärder (lagningar), ytliga åtgärder (t.ex. nytt slitlager), förstärkningsåtgärder (strukturella åtgärder) och en omfattande ombyggnad av väg- eller beläggningkonstruktionen.

Baserat på detta urval underhållsåtgärder och med hänsyn tagen till möjligheterna i de ALT-anläggningar som ingick i FORMAT-projektet planerades fyra försök i ALT. De åtgärder som valdes var att åtgärda spårbildning och sprickbildning i asfaltkonstruktioner med tonvikt på spårbildning eftersom det är den vanligaste nedbrytningsmekanismen i det europeiska vägnätet.

7.3 Utvärdering i ALT-anläggningar

Fyra olika ALT-anläggningar användes i FORMAT-projektet; ALT hos LAVOC, LinTrack hos DWW och TRL i England. Dessa tre ALT-anläggningar är linjära dvs. försökskonstruktionen belastas av ett hjul som går fram och tillbaka i ett spår. I dessa anläggningar kan temperaturen styras och kontrolleras, Lin Track har dock begränsade möjligheter att styra temperaturen. Den fjärde ALT-anläggningen, hos LCPC i Nantes, är en cirkulär anläggning som inte är inbyggd vilket medför att temperaturen inte kan påverkas. Fördelen med denna typ av anläggning är att en konstruktion kan testas med tunga axlar vid hög hastighet.

Målsättningen med dessa tester var att utvärdera ett antal utvalda underhållsåtgärder som används för att korrigera spårbildning och sprickbildning, bl.a. deras effektivitet för att förbättra vägkonstruktionens tillstånd och genom att dokumentera tillståndsförändringen under upprepad trafikbelastning.

Följande innovativa underhållsåtgärder testades:

- En dränasfalt med slammad cement som slitlagerbeläggning i en fräst låda (DWW)
- En styv asfalt med ett tunt slitlager i en fräst låda (LAVOC)
- En styv asfalt i ett fräst spår följt av ett tunt slitlager över hela bredden (TRL)
- En tunn asfaltbeläggning förstärkt med geogrid (LCPC).

Vid försöket vid LCPC, som inriktades mot sprickbildning, användes geogrid för att bromsa tidpunkten för återkommande strukturella sprickor från underlaget. Under körningen var det mycket viktigt att notera när den första sprickan visade sig i ytan på den nya ytbeläggningen.

Körningarna vid LAVOC, TRL och DWW inriktades mot spårbildning och hade följande principiella försöksdesign:

- Belastning av en beläggningkonstruktion för att framkalla spårbildning i två hjulspår
- Utförande av den innovativa åtgärden i ett av hjulspåren
- Utförande av referensåtgärden i det andra hjulspåret
- Belastning i hjulspåren igen under samma förutsättningar
- Jämförelse mellan spårutvecklingen i den utvalda innovativa åtgärden med spårbildningen i den konventionella referensåtgärden.

7.3.1 ALT-försök vid DWW

Cementslammad dränasfalt

För att genomföra försöket planfrästes de övre lagren av den gamla beläggningsskonstruktionen (ca 120 mm djupt och 3,75 m brett). Därefter utfördes dränbeläggningen, 80 mm tjock.

Slitlagerbeläggningen består av en dränbeläggning med ett hålrum på 25–30 % som efter utläggning och avsvälning fylls med ett cementslam.

Den cementslammade dränbeläggningen utsattes för samma belastningsförhållanden som användes vid test av referensbeläggningen, konventionell tät asfaltbetong, med 45/60 pen bitumen.

Den cementslammade dränasfalten uppvisade en bättre spårdjupsutveckling än den konventionella referensbeläggningen.

Den konventionella referensbeläggningen visar på en kraftig spårutveckling i inledningen av testet men som sedan planar ut efter ca 5 000 belastningar. Den slammade dränasfalten visar en lägre, flackare och jämnare spårutveckling över hela belastningsperioden.

Underhållsstrategisk betydelse

Förbättring av beläggningstillståndet

Den cementslammade dränbeläggningen korrigerar spårbildning och sprickbildning i underlaget. Måttliga längsojämheter kan eventuellt förbättras. Buller- och friktions-egenskaper förändras inte nämnvärt.

Ökad livslängd

ALT-försöken ger endast information om en förbättring av livslängden med avseende på spårbildning. En ökad livslängd förutsätter dock ett homogent utförande som ger en yta utan defekter. Om den slammade dränbeläggningen utförs i en fräst låda är det inte givet att åtgärden förbättrat det strukturella tillståndet hos konstruktionen eftersom det inte är helt givet att den slammade dränbeläggningen blir styvare än en konventionell asfaltbeläggning.

Kostnader

Utförandet av den slammade beläggningen, exempelvis i korsningar, blir priset för utförande av slambeläggningen ca 2 ggr högre jämfört med en konventionell beläggning. För större ytor är priset för slambeläggningen 1,5–1,7 ggr högre. Eftersom den slammade dränasfaltens densitet är 4–5 % lägre än konventionell asfaltbeläggning kan ett prisförhållande 1,4–1,6 konstateras vid en jämförelse med konventionell asfaltbeläggning.

Tidsåtgång för utförande

Tidsåtgången för utförande av cementslammad dränbeläggning är en klar nackdel. Efter läggning av dränasfalten måste den svalna. Därefter måste cementslammet arbetas

manuellt in i dränasfalten och sedan inte trafikeras förrän den är tillräckligt stark för att bära trafik. Vanligtvis dröjer det ca 24 timmar efter slamningen. Regn kan ytterligare förlänga hela processen.

7.3.2 ALT-försök vid LAVOC

LAVOC` s ALT-anläggning är en linjär maskin för fullskaleförsök som kan belastas på en total längd av 5,4 meter. Maskinen är uppställd inomhus varför det finns möjlighet att styra och kontrollera temperaturen.

ALT-körning

Vägkonstruktionen som byggdes för detta ALT-försök utgörs av 220 mm asfaltkonstruktion på ett 280 mm tjockt obundet lager. Den förändring/nedbrytning som förväntas är framförallt spårbildning. Materialen som använts i konstruktionen är standardmaterial som används i Schweiz.

Den första fasen i ALT-körningen gjordes i syfte att generera skador i form av spårbildning innan en innovativ underhållsåtgärd utfördes. Belastningen stoppades då spårdjupet nådde 20 mm, som är gränsvärdet för åtgärd i Schweiz.

Utförande av underhållsåtgärder

Som innovativ underhållsåtgärd valdes ett bindlager med ett högvisköst bitumen benämnd EME (béton bitumineux à module élevé. Och ett tunt bituminöst slitlager, benämnt Macro 6, som lades 20 mm tjockt. Spårbildningsresistensen hos den innovativa beläggningen jämfördes med en konventionell underhållsåtgärd, 40 mm AB11s, som rekommenderas av Schweizisk standard. Testet stoppades efter 21 000 belastningar.

Den konventionella beläggningen uppvisade då ett spårdjup på 31,3 mm medan den innovativa beläggningens åtgärden hade ett spårdjup på 12,2 mm.

Som resultaten visar är det tydligt att den innovativa beläggningens åtgärden är en lovande metod.

7.3.3 ALT-försök vid TRL

ALT-utrustningen vid TRL är en linjär belastningsmaskin för fullskaleförsök i tempererad miljö.

Försöket vid TRL hade följande målsättningar:

- Undersöka om en beläggning med ”High Modulus Binder” med pen15 bitumen (EME Class2) har en bättre resistens mot spårbildning jämfört med en konventionell beläggning. (HDM50)
- Undersöka om High Modulus Binder kunde utföras vid ett konventionellt asfaltverk
- Att undersöka effektiviteten av inläggning i 90 mm (bindlager och slitlager) djupa frästa lådor i hjulspår.

Försökets konstruktion

En fullskalig vägkonstruktion hade byggts med totalt 280 mm asfaltdlager, 430 mm grusbärlager och en undergrund av lera. Försöksbeläggningarna lades dels i en körfältsbredd, dels i frästa spår i läget för hjulspår.

Resultat – spårbildning

Spårutvecklingen både på ytan för full körfältsbredd och hjulspårsinlägg var i stort sett densamma för den innovativa EME Class2 bindemedlet och HDM50 bindemedlet. Ytan med HDM50 visade dock något större deformation och mer tendens till ”kavling”.

7.3.4 ALT-försök vid LCPC

LCPC's ALT-anläggning i Nantes utgörs av en utomhusplacerad cirkulär ”karusell” som är ansedd för fullskaletestning av hela vägkonstruktioner. Maskinen består av ett centralt nav med fyra långa armar i vars yttre ände olika typer av belastningskonfigurationer som kan förekomma på tunga fordon som: singel eller tvillinghjul monterade på en singel eller tandemaxel; singelhjul monterade på trippelaxlar. Tack vare armarnas längd (20 m) kan hjulpaketen nå en hastighet av 13 varv per minut vilket motsvarar en linjär hastighet på 95 km/tim. Vid utmattningstest (sprickbildning) är hastigheten normalt ca 70 km/tim.

Existerande vägkonstruktion

Den existerande konstruktionen som senare skulle åtgärdas med en innovativ underhållsåtgärd bestod av: en undergrund av siltig sand 2,8 m tjock; ett obundet bärlager 200 mm tjockt; ett bindlager 80 mm och en slitlagerbeläggning 60 mm tjockt. Efter 2,2 miljoner belastningar fanns det mycket sprickor på slitlagrets yta. Slitlagret planfrästes innan de nya beläggningarna utfördes.

Utförande av underhållsåtgärder

Tre olika underhållsmetoder testades: ett lager med 40 mm tunn asfaltbetong; geogrid + 25 mm asfaltbetong; 25 mm asfaltbetong utan geogrid. Åtgärderna utfördes med standardutrustning för utläggning och packning.

Resultat

Resultatet av försöket visade att geogrid + 25 mm asfaltbetong inte fungerade bättre än konventionell asfaltbetong. Närvaron av geogrid fördröjde sprickinitieringen. Eftersom den underliggande beläggningen var både fräst och uppvisade sprickor uppstod problem med vidhäftningen mellan beläggningsslagren. Om underlaget är fräst och/eller har sprickor bör klisatermängden ökas.

Kostnaden för geogrid + 25 mm asfaltbetong var ca 10 % större än 40 mm konventionell asfaltbetong.

7.4 Utvärdering genom "pilot-försök" på vägobjekt

En av målsättningarna i FORMAT och området underhållsåtgärder var att utvärdera tekniker och metoder som kan anses ha en potential att reducera antalet och storleken på vägvastängningar samt tidsåtgång för underhållsarbeten av vägkonstruktionen. I denna värdering ingår också en praktisk implementering av lovande underhållstekniker på faktiska vägobjekt, s.k. pilot trials. Huvudmålsättningen med dessa "pilot trials" var:

- Att utvärdera effektiviteten hos den valda underhållsåtgärden för att förbättra vägkonstruktionens tillstånd
- Att vinna erfarenheter i samband med utförandet av åtgärderna för användning i projektets slutprodukt "Practical Guidelines".

För att uppnå ovan beskrivna mål så upprättades ett program som var identiskt för de tre fullskaleförsöken:

- Värdering av vägkonstruktionens tillstånd före utförandet av underhållsåtgärden
- Uppföljning av organisation och utförande av vägarbetszonen med speciell betoning på styrning och kontroll av trafiken under utförandet av underhållsåtgärden
- Uppföljning av utförandet av underhållsåtgärden
- Värdering av vägkonstruktionens tillstånd efter utförandet av underhållsåtgärden.

Utöver ovan nämnda aktiviteter användes fullskaleförsöken i andra "Work Packages" i projektet som insamling av data rörande trafikantförseningar i samband med utförandet av underhållsåtgärder, test av utrustning för tillståndsmätning vid hög hastighet.

7.4.1 Utförande av en ny dränasfaltbeläggning i Toulouse

På grund av hög trafik i den östra delen av ringvägen i Toulouse behövdes ett nytt slitlager. Trafiken uppgår till 110 000 fordon per dygn i vägens båda riktningar. Det befintliga slitlagret var en dränbeläggning 0/10 mm samt en tunn, tät asfaltbetong på broarna. Arbetet genomfördes på följande sätt:

- Fräsning av den befintliga dränbeläggnings ned till den nominella tjockleken 40 mm
- Påförande av ett klisterlager (clean tack coat) med en minimimängd motsvarande 350 g/m²
- Utförande av ett anti-spricksystem med geogrid på en del av objektet
- Utförande av en ny dränbeläggning 0/6,3 mm med en nominell tjocklek av 30 mm över hela bredden av ringvägen
- Utförande av en ny 40 mm tjock asfaltbetongbeläggning på broarna.

Clean tack coat är en speciell och patenterad metod i Europa. Det består av en bitumen-emulsion i vilken en tillsats tillsätts under spridning. Tack vare clean tack coat kan lastbilar köra på emulsionen utan att den klibbar på däck.

På grund av den höga trafiken och användandet av cementblock som skydd begränsades arbetet enligt följande: Vägen var tillgänglig för entreprenören mellan kl. 22 och kl. 6 fyra nätter i veckan. Nattarbetet måste planeras mycket noggrant:

- Skyltning av arbetsplatsen och av – resp. påfarter från kl. 22
- Transport av läggare och vältar mellan kl. 22 och 23
- Skärning av skarvar mellan kl. 23 till 24
- Läggning av dränasfalt mellan kl. 00 till 4.30
- Utförande av vägmarkeringar mellan kl. 4.30 till 6
- Öppning av vägen för full trafik kl. 6.

Dessutom utfördes fräsningsarbeten varje natt.



Utläggning med ett flertal läggningmaskiner som arbetade parallellt för att undvika beläggningsskarvar.

Mätningar efter utförandet visade att den nya dränbeläggningen hade bra makrotextur. Dränbeläggningen klarade alla krav i anbudshandlingarna och har därför förutsättningar att fungera bra även under tung trafik.

7.4.2 Strukturell rehabilitering av cementbetongbeläggning med fogar (JCP) i Valencia

Den befintliga beläggningen består av oarmerade cementbetongplattor utan dymlingar, med en medeltjocklek av 25 cm och plattlängder på 3,50, 4,00, 5,50, och 6,0 meter. Underliggande lager består av ett förblandat grus/cementblandning, 15 cm tjock på ett 50 cm tjockt obundet grusbärlager. Objektet delades in i tre delsträckor, som öppnades för trafik år 1978. Konstruktionens tillstånd före åtgärd kan beskrivas som normal med tanke på åldern. Det fanns också mindre områden som var sämre. Under de 28 åren i drift hade det skett en nedbrytning på ca 1,5 % per år. Alla sträckorna bedömdes dock lämpliga för rehabilitering.

På alla tre sträckorna genomfördes en stabilisering av underliggande lager med injektering av cement slam. När detta var genomfört på sträckorna gjordes följande underhållsåtgärder:

Sträcka 1

1. Stabilisering av underlaget genom injektion av cementslam (injektering plus försegling av fogar och sprickor)
2. Läggnig av 60 mm tjock asfaltbeläggning.

Sträcka 2

1. Stabilisering av underlaget genom injektion av cementslam (injektering plus försegling av fogar och sprickor)
2. Justering av asfaltlagret med en medeltjocklek av 25 mm på cementplattorna
3. Utförande av anti- sprick system bestående av en geotextil impregnerad med klister
4. Läggnig av 50 mm tjock asfaltbeläggning.

Sträcka 3

1. Stabilisering av underlaget genom injektion av cementslam (injektering plus försegling av fogar och sprickor)
2. Ytfräsning av cementbetongen i höger körfält.

Värdering av befintlig beläggning

Tillståndet hos den befintliga beläggningen värderades dels genom besiktning av beläggningsytan, dels deflektionsmätningar med FWD. AUMAR, en spansk entreprenör, har utvecklat en metod som ger en värdering av vägkonstruktionens tillstånd. Cementbetongbeläggningen var relativt högt sprickindex.

Värdering av tillståndet efter åtgärd

Den åtgärdade beläggningen värderades enligt samma system som är beskrivet i föregående stycke. Tio månader efter genomförda underhållsåtgärder uppvisade sträckorna 1 och 2 inga sprickor i beläggningsytan. På sträcka 3 har ett antal sprickor återkommit i beläggningsytan. Det är också tydligt att stabiliseringen har haft en klart positiv effekt. Mätningar av både deflektion och IRI visade en klar förbättring efter underhållsåtgärden.

7.4.3 Utförande av en "Bonded Concrete Overlay" på en kontinuerligt armerad cementbetongkonstruktion i Texas

I syfte att bidra med erfarenheter till WP3 i FORMAT-projektet gjordes ett pilotförsök bestående av en spallreparation. Spall är en form av nedbrytning av cementbetongen i läng- och tvärgående fogar. I detta fall var det längsgående fogar eftersom cementbetongen inte har några tvärgående fogar.

Rehabiliteringen genomfördes enligt följande:

- På mindre ytor med medel- till hög svårighetsgrad av nedbrytning vid längsgående fogar och sprickbildning gjordes en reparation av hela cementbetongens lagertjocklek
- På övriga ytor gjordes en fräsning av körfälten till ett djup på 50 mm för att ta bort nedbrytning av fogar och s.k. avflagning av cementbetongen
- Noggrann rengöring av den frästa ytan
- Utläggning av 50 mm ”Bonded Overlay”.

Resultat från FWD-mätningar, före och efter genomförda åtgärder, visade att underhållsåtgärden på ett effektivt sätt återställde det strukturella tillståndet.

8 Cost Benefit Analys

Målsättningen inom delen för ”Cost Benefit Analysis” var att utveckla en metod för att kunna jämföra underhållsåtgärder och underhållsstrategier i termer av total kostnads-effektivitet. Tidigare arbete som gjorts inom PAV-ECO¹-projektet tog hänsyn till både kostnaderna för underhållet och användar/trafikantkostnader i samband med vägarbeten. Principen för en cost benefit analys (CBA) baseras på sökandet av den minsta totala summan för alla kostnader. Eftersom ingen riktig vinst uppkommer i kalkylerna skall vinst förstås som minskning av kostnader. WP4 var indelat i tre uppgifter:

- Kostnader för nedbrytning av vägkonstruktionen
- Extra kostnader i samband med vägavstängningar vid vägarbetet
- Integrering och validering.

Modellen beräknar vägkonstruktionens nedbrytning och tillkommande kostnader för vägarbetet:

- Kostnader för bevarande av vägkonstruktionen
- Förlängning av restider och extra bränslekostnader under underhållsarbetet
- Extra kostnader för trafiksäkerheten under underhållsarbetet
- Vaghållar- och miljökostnader.

Som resultat från WP4 redovisas också en prototyp till MS Excel fil med vilken det är möjligt att göra en total cost benefit analys (CD-skiva). Medföljande kalkylfil är tänkt att endast användas i forskningssyfte. Varken Europeiska Kommissionen eller FORMAT konsortiet tar något ansvar för användningen av denna prototyp eller följderna av dess användning.

Validering av modell för beräkningar av trafikantförseningar

Detta arbete har gjorts för att validera de slutsatser av det tidigare arbete som utförts inom WP4 genom att studera ett antal verkliga vägarbetszoner, där en komplett uppsättning data samlats in; detaljerade trafikdata insamlade med och utan vägarbete, hastighets- och restidsmätningar, visuell bedömning av köbildning etc. Observerade data jämfördes sedan med resultatet från modellerna i avsikt att validera dem.

Beräkning av trafikflödet

Beräkningar av trafikflödet i modellen baserades på en uppskattning av koefficienter som bestämmer fördelningen av trafik under en given dag i enlighet med en veckovis eller säsongsstyrd klassificering av dagar; om nödvändiga data är tillgängliga är de trafikflödesberäkningar som FORMAT-modellen fungerar normalt i enlighet med faktiska trafikräkningar.

Beräkning av köbildningar

Beräkning av köbildningar är mycket känsliga till den kvarvarande trafikkapaciteten efter avstängningar på vägen och är därför svår att prediktera med önskad noggrannhet.

¹ Pavement and Structure Management Systems.

Predikteringen kan i de flesta fall baseras på officiell litteratur som PAV-ECO rapporten eller analys av liknande avstängningssituationer. Återstående kapacitet efter vägvästängning, skapandet av köer eller att köer inte uppstår kan modellen prediktera. Den tenderar dock att övervärdera konsekvenserna i form av väntetid och kölängd.

Kostnader

I de studerade fallen inom WP4 är kostnaden för restidsfördröjning ganska låg under förutsättning att inga köer bildas men kostnaderna ökar snabbt om köer skulle uppstå. Bland tre av de nio olika vägvästängningar som ingick i valideringen uppstod uppenbara viktiga och upprepade köer som modellerna skulle ha förutsett, förutsatt att bedömningen av vägens återstående kapacitet efter vägvästängningen var god. Vid de resterande sex objekten var den ekonomiska kostnaden för restidsfördröjningen relativt låg jämfört med arbetskostnaden, ca 5 %.

Väghållar- och miljökostnader

Åsättande av monetära värderingar av påverkan på miljön stöter på många svårigheter i att erhålla rätt värden och att använda dem i en accepterad metodik. Tre områden där miljöeffekter påverkar underhåll ingår i FORMATs cost benefit modell:

- Användning av återvunnet och tidigare använt material som bärlagergrus etc. i vägkonstruktionen
- Påverkan av föroreningar beroende på förändringar i bränslekonsumtion och avgaser
- Påverkan av buller relaterat till underhållsåtgärder.

Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomfördes för alla ingående delar i cost benefit analysmodellen genom att bedöma och värdera effekten av varje delmodell på slutresultatet. Principen var att i känslighetsanalysen välja tre av de mest intressanta parametrarna i varje modellelement och variera dessa värden med ± 20 %.

8.1 Sammanfattning av resultat

Om detaljerade trafikdata är tillgängliga kan en god kalibrering göras och det visar sig att modellens *trafikflödesberäkningar* stämmer mycket bra med faktiska mätningar.

Beräkning av *köbildningar* är mycket känsliga till den kvarvarande trafikkapaciteten efter avstängningar på vägen och är därför svår att prediktera med önskad noggrannhet.

I de studerade fallen inom WP4 är kostnaden för *restidsfördröjning* ganska låg under förutsättning att inga köer bildas men kostnaderna ökar snabbt om köer skulle uppstå. Bland tre av de nio olika vägvästängningar som ingick i valideringen uppstod uppenbara viktiga och upprepade köer som modellerna skulle ha förutsett, förutsatt att bedömningen av vägens återstående kapacitet efter vägvästängningen var tillfredställande.

9 Säkerhet (trafikant och personal)

Detta utgör en kort sammanfattning av arbetet inom WP5. Den integrerade guiden är projektets slutprodukt.

9.1 Målsättning

Målsättningen med denna del var att ta fram underlag till en Cost benefit analys genom att undersöka hur olika vägarbetsutformningar påverkar olyckskostnader och fördröjningskostnader. Olika vägarbetsutformningar testades i fordonssimulatorer och mätningar och analyser gjordes vid pågående vägarbeten. Olycksdata samlades också in och analyserades.

9.2 Olycksdata, insamling och analys

Olycksdata samlades in från länder i Europa och från USA. Totalt samlades data in från 15 olika länder. Eftersom det inte fanns resurser till att genomföra ny datainsamling koncentrerades arbetet till att fånga in redan existerande statistik. Därför är nivån på data varierande mellan länderna.

I följande tabell visas antal personskadeolyckor totalt och antalet vid vägarbetsplatser, för en del länder uppdelade på olika vägtyper som motorvägar och huvudvägar.

Land	Vägtyp	Antal olyckor		Andelen olyckor vid vägarbete
		Totalt	Vid vägarbete	
Österrike	Motorvägar	2 466	122	4,9
Österrike	Alla vägar	42 126	515	1,2
Danmark	Motorvägar	341	12	3,5
Danmark	Alla vägar	7 346	113	1,5
Finland	Motorvägar	161	2	1,2
Finland	Huvudvägar	2 336	33	1,4
Finland	Alla vägar	3 084	42	1,4
Frankrike	Motorvägar	6 624	81	1,2
Frankrike	Huvudvägar	24 515	135	0,6
Frankrike	Alla vägar	121 223	245	0,2
Nederländerna	Motorvägar	4 184	149	3,6
Portugal	Motorvägar	1 918	63	3,3
Portugal	Huvudvägar	10 585	328	3,1
Portugal	Alla vägar	44 159	1 152	2,6
Slovenien	Motorvägar	338	11	3,3
Slovenien	Nationella huvudvägar	1 846	21	1,1
Slovenien	Andra nationella vägar	2 629	34	1,3
Spanien	Motorvägar	3 041	62	2,0
Spanien	Huvudvägar	19 861	469	2,4
Spanien	Alla vägar	44 720	1 133	2,5
Sverige	Alla vägar	9 226	106	1,1
Schweiz	Motorvägar	45 359	648	1,4
Schweiz	Alla vägar	238 946	1 109	0,5
Storbritannien	Motorvägar	9 394	439	4,7
Storbritannien	Huvudvägar	116 938	1 796	1,5
Storbritannien	Alla vägar	233 729	2 602	1,1

Nu är det svårt att dra slutsatser ur detta material eftersom det finns stora skillnader i de olika länderna. Exempel på sådana skillnader är graden av olycksrapportering och skillnader i definitioner. Antalet olyckor som kan relateras till vägarbeten beror naturligtvis mycket på hur stor förekomsten av vägarbete är i tid och rum och dessa uppgifter har inte funnits tillgängliga.

Det statistiken kan användas till är mer generella slutsatser som att andelen olyckor som är relaterade till vägarbetsplatser är mindre än 2 % av det totala antalet trafikolyckor. Och att det oftast är mycket högre 3–5 % om man bara studerar motorvägar .

Som indata i en cost benefit analys behövs en direkt jämförelse mellan olyckskostnad med och utan vägarbete. Därför utvecklades en modell som skattade skillnader i olyckskostnad med och utan vägarbete.

$$ACR = AR * C$$

ARC	Olyckskostnadskvot
AR	Olyckskvot
C	Olyckskostnad

Jämförelse värdet RATIO blir då:

$$RATIO = ACR_w / ACR_n$$

ACR_w olyckskostnadskvot med vägarbete
ACR_n olyckskostnadskvot utan vägarbete.

Det är känt att olika länder har olika former av olycksstatistik och olika regelverk för vägarbete. Därför var tanken att varje land skulle lägga in sin olyckskostnads kvot. I praktiken har endast ett fåtal länder underlag för att ta fram skillnaden i olyckskostnads-kvot vid vägarbete.

Ett exempel på skattningar av skillnader i olyckskostnadskvot kom från Tyskland där två studier från en motorväg i Hessen finns rapporterade av Grebe och Hanke (1991) och av Durth, Stöckert och Klotz (1999). Resultaten från dessa studier är summerade i tabell nedan.

Land	Situation	Period	Olyckskostnads kvot RATIO
Tyskland (Hessen)	Kortvarigt vägarbete på motorväg	1986–1989	5,6
Tyskland (Hessen)	Kortvarigt vägarbete på motorväg	1991–1996	7,0
Tyskland (Hessen)	Långvarigt vägarbete på motorväg	1991–1996	1,2

Trots att få studier har hittats som direkt jämför olyckskostnader med och utan vägarbete är det möjligt att uppskatta dessa kostnader för några länder utifrån tillgänglig statistik. Till exempel om det antas att olyckskostnaden är lika stor för olyckor vid vägarbete som för en för landet genomsnittlig olycka så kan jämförelsen reduceras till en jämförelse mellan olyckskvoten med och utan vägarbete. Data från Tyskland från studien ovan kan analyseras på ett sådant sätt och det finns även data från studier i Storbritannien som kan användas för att beräkna olyckskvot vid vägarbete.

Ett alternativt sätt att få fram information om förändring av olyckskvot vid vägarbete är att använda mer aggregerade data. Problemen med denna metod är att man ofta får göra antagande om viktiga faktorer som trafikflöde och att det kan bli svårigheter med jämförbarhet mellan data från olika källor. Analyser av denna typ har genomförts i

Finland och i Slovenien. Resultaten i form av jämförelse värde för olyckskvot med och utan vägarbete finns i tabell nedan tillsammans med resultat från tidigare nämnda studier i Tyskland och Storbritannien.

Land	Vägtyp	År	Olyckskvots jämförelse
Finland	Huvudvägar klass 1	2001	4,9
Finland	Huvudvägar klass 11	2001	3,9
Finland	Regionala vägar	2001	4,8
Finland	Förbindelsevägar	2001	3,9
Tyskland	MV korta vägarbete	1986–1989	3,2
Tyskland	MV korta vägarbete	1991–1996	9,8
Tyskland	MV långa vägarbeten	1986–1989	1,5
Tyskland	MV långa vägarbeten	1991–1996	1,9
Slovenien	MV	2002	1,6
Slovenien	Andra nationella vägar	2002	2,9
Storbritannien	MV	1982	1,5
Storbritannien	MV	1987	1,6
Storbritannien	Tvåfältsvägar	1991	1,1
Storbritannien	MV	1993	2,3
Storbritannien	MV	2002	1,0

Data från olika länders olyckskostnad är också sammanställda. Några länder har en kostnad per olycka och andra har kostnad per skadad. Här finns också problem med olika definitioner på lätt och allvarligt skadad och vad som ingår i kostnaden.

Land	Kostnad Olycks (O) Skade (S)	Skadeföljd (den allvarligast skadade)		
		Lätt	Allvarligt	Död
Belgien	O	25 000	370 000	1 470 000
Finland	O	50 456	250 000	1 934 161
Slovenien	O	6 516	14 989	19 101
Storbritannien	O	24 755	248 053	2 130 895
Österrike	S	43 605	73 695	805 223
Danmark	S	31 088	113 900	1 101 882
Frankrike	S	22 665	154 534	1 030 224
Tyskland	S	3 835	86 920	1 227 100
Slovenien	S	9 873	79 422	950 300
Spanien	S	497	28 679	217 266
Sverige	S	38 700	666 700	1 538 000
Schweiz	S	13 333	200 000	1 200 000
Storbritannien	S	15 967	207 073	1 842 795
USA	S	23 350	827 300	2 457 400

Detta arbete visar tydligt på hur lite detaljerad information som finns om ändrade olyckskvoter och olyckskostnader i samband med vägarbete. De flesta länder samlar in data om olyckor i samband med vägarbete men oftast saknas något exponeringsmått

(antal vägarbeten, vägarbetets utbredning i längd och tid samt trafikflödet vid vägarbetsplatsen).

Det är angeläget att få fram bättre statistik på detta område.

9.3 Körsimulatorstudier

Körsimulatorer har använts för att på ett säkert och kontrollerat sätt undersöka effekter av olika vägarbetsutformningar. Två körsimulatorstudier har genomförts, en på VTI i Sverige och en på TRL i Storbritannien.

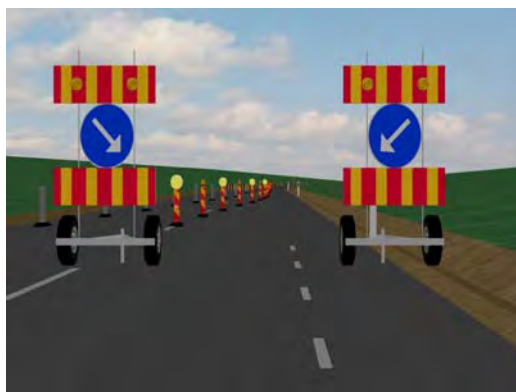
Frågeställningarna var hur körbeteendet och då främst hastigheten påverkas av körbanebredd och olika typer av vägmarkeringar.

VTI-studien behandlade vägarbete på tvåfäلتsväg med god standard och TRL-studien vägarbete på motorväg. I båda studierna fick alla förarna köra en sträcka där de passerade fyra olika vägarbetsplatser med några km väg före, efter och mellan vägarbetena.

I VTI-studien testades också två olika infarter till vägarbetet. En med bara en enkel pil som visade var man skulle köra och den andra med två skärmvagnar med pilar i överstorlek och blinkande lampor på sidomarkeringsskärmarna vid avsmalningen. Hälften av försökspersonerna fick köra med den enkla infarten till samtliga vägarbeten och den andra hälften fick köra med den tydligare markerade infarten.



Figur Enkel infart.



Figur Tydligare markerad infart.

I VTI studien upptog vägarbetsområdet halva vägbanan. Den återstående delen 5,6 m delades mellan de två körrikningarna, ett körfält i vardera riktning med mycket smala körfält. Skillnaden mellan de fyra olika vägarbetsplatserna var hur de olika körbanorna skildes åt. De fyra alternativen var:

- Ingen avskiljning
- Sidomarkeringsskärmar
- Orange heldragen linje
- Gula vägbanereflektorer.



Figur Utan vägmarkering.



Figur Sidomarkerings-skärmar.



Figur Heldragen orange linje.



Figur Gula vägbanereflektorer.

I TRL:s studie (motorväg) stängdes ett körfält av i en körriktning. Här testades både att använda endast det återstående normala körfältet och att göra två smala körfält med hjälp av den breda vägrenen. I fallet med ett körfält användes den ordinarie vägmarkeringen. Med de två smala körfälten testades tre olika vägmarkeringar. De olika vägmarkeringarna var följande:

Linje 6 m och mellanrum 3 m

Linje 3 m och mellanrum 3 m

Linje 6 m och mellanrum 3 m gul färg med den ordinarie vita vägmarkeringen kvar.

I Storbritannien använd vit färg vid vägarbete så den gula färgen var helt ny för försökspersonerna.



Figur Ett körfält.



Figur Två körfält, vägmarkeringar 6 m.



Figur Två körfält, vägmarkeringar 3m. **Figur** Två körfält, gul vägmarkering.

Resultaten av studierna presenteras i tre delar:

Effekt av smala körfält

Effekt av skyltning

Effekt av vägmarkeringar.

9.3.1 Effekt av smala körfält

VTI-studien behandlade en tvåfältsväg med hastighetsbegränsning 90 km/h där det fanns motriktad trafik. I försöket förekom ingen trafik i den egna körriktningen vilket innebär att försökspersonerna kunde välja sin hastighet oberoende av annan trafik. Alla utformningar av vägarbete sänkte hastigheten. Eftersom alla vägarbetsutformningarna hade smala körfält så går det inte att jämföra med normala breda utformningar.

I TRL-studien som behandlade motorväg fanns ingen motriktad trafik, däremot fanns trafik i den egna körriktningen vilket innebär att man i den första vägarbetsutformningen, med endast ett körfält, kunde bli hindrad av andra fordon eftersom det inte gick att köra om. I de övriga utformningarna fanns två körfält vilket möjliggjorde omkörningar. Resultaten visar en hastighetssänkning i samtliga vägarbetsutformningar men mycket små hastighetsskillnader mellan de olika utformningarna.

Fördelen med att använda smala körfält och därmed behålla antalet körfält är att man bibehåller en hög kapacitet och därmed minskar risken för ökande köer och den frustration som dessa kan medföra. Till detta kommer också att större delen av deltagarna föredrog de smala körfälten. Resultaten från dessa studier pekar på att smala körfält bör användas för att hålla fler körfält öppna.

Det ska dessutom noteras att studierna också indikerar att körfälten ska vara tydligt markerade och att ursprunglig vägmarkering bör tas bort.

9.3.2 Effekt av skyltning

Den variation av skyltning som undersöktes i dessa studier var vid skyltningen av infarten till vägarbetet i VTI-studien. Det var två alternativ, en enkel infart med endast en pil före sidomarkeringsskärmarna som markerade avsmalningen och ett andra alternativ med en tydligare infart med två skärmvagnar och pilar i överstorlek.

I resultaten finns ingen effekt på hastigheten eller retardationen men på den laterala positionen finns en effekt av utformningarna. Med den tydligare infarten placerade sig fordonen närmare vägmitt. Orsaken till detta kan dels vara att det fysiska utrymmet minskar med de stora skyltarna men också att skyltarna syns från ett större avstånd.

9.3.3 Effekt av vägmarkeringar

I VTI-studien testades fyra olika utformningar för att separera trafikriktningarna:

- Utan avskiljare
- Sidomarkerings-skärmar
- Heldragen orange linje
- Orange vägbanereflektorer.

Tabell Jämförelse mellan ingen avskiljning och olika alternativa separeringar av trafikriktningarna förbi vägarbete. Grön färg = signifikant skillnad, Gul färg = ej signifikant skillnad.

Ingen avskiljning	Sidomarkerings skärmar	Heldragen linje	Vägbane-reflektorer	Mått
56,9	51,7	58,5	58,5	Genomsnittlig hastighet förbi hela vägarbetet (km/h)
	-5,2	1,6	1,6	
67,4	59,8	67,2	67,1	Maximal hastighet (km/h)
	-7,6	-0,2	-0,3	
6,25	4,55	5,29	5,28	Standardavvikelsen för hastigheten (km/h)
	-1,7	-0,96	-0,97	
49,3	50,6	56,4	57,1	Hastighet vid möte (km/h)
	1,3	7,1	7,8	
0,92	0,32	0,4	0,28	Maximal retardation före möte (m/s ²)
	-0,6	-0,52	-0,64	
140,5	77,6	99,7	111,7	Avstånd var retardationen startar före möte (m)
	-62,9	-40,8	-28,8	
1,19	1,62	1,34	1,42	Lateral position förbi vägarbetet (m)
	0,43	0,15	0,23	
0,42	0,25	0,28	0,26	Standardavvikelse för lateral position (m)
	-0,17	-0,14	-0,16	
1,6	1,6	1,43	1,5	Lateral position vid första mötet (m)
	0	-0,17	-0,1	

Genomsnittlig hastighet förbi hela vägarbetet och max hastighet var lägst för alternativet med sidomarkerings-skärmar. Det alternativet hade också den lägsta hastighetsvariationen utmed vägarbetet. Sidoläget var längre till höger med sidomarkerings-skärmarna än de andra alternativen vilket ger den bästa separeringen av trafiken. Störst hastighetsvariation var det i alternativet utan avskiljning med höga

hastigheter när ingen mötande trafik fanns och kraftiga retardationer vid möte. Alternativen med heldragen linje och vägbanereflektorer hade högst genomsnittlig hastighet förbi vägarbetet.

Alternativet med sidomarkeringsskärmar ser ut att vara kopplat till beteenden som anses "säkra" – låga hastigheter, låg hastighetsvariation störst separering mellan motriktade trafikflöden. Men när förarna tillfrågades så ansåg de att alternativen med heldragen linje och vägbanereflektorer är både säkrare och bättre. Möjligen kan detta bero på att man är rädd för att köra på sidomarkeringsskärmarna. Vägbanereflektorerna var det alternativ som förarna föredrog och därefter kom den heldragna linjen. Varken sidomarkeringsskärmarna eller alternativet utan avskiljning ansågs av förarna som bra.

I TRL-studien testades tre olika utformningar av körfältsavskiljare mellan två smala körfält på motorväg.

1. Vit linje 6 m med 3 m mellanrum (normal vid vägarbete i Storbritannien)
2. Vit linje 3m med 3 m mellanrum
3. Gul linje 6 m med 3 m mellanrum med den ordinarie vita vägmarkeringen kvar.

Det var små hastighetskillnader i de olika utformningarna, endast något lägre hastighet i alternativet med gul linje. Till detta kom att förarna närmade sig vägarbetet med den gula markeringen i en lägre hastighet än övriga.

Det är inte normalt att använda gula vägmarkeringar i Storbritannien. Trots detta tyckte en stor del av förarna att den gula vägmarkeringen var till hjälp. Men det fanns också förare som ansåg den var förvirrande eller farlig. I försöket hade den gula linjen kombinerats med den ordinarie vita vägmarkeringen och många förare tyckte det var förvirrande och farligt att ha den ordinarie vita vägmarkeringen kvar.

Eftersom både alternativen utan vägmarkering (VTI:s försök) och de ej borttagna originallinjerna (TRL:s försök) ansågs sämst i den subjektiva bedömningen av förarna och även fick dåliga resultat i de objektiva mätningarna rekommenderas klara och entydiga vägmarkeringar.

9.4 Datainsamling från fältstudie

Data samlades in från ett vägarbete på motorväg i Belgien, väg E411 och E25. Arbetet pågick under tre år och berörde under långa perioder stora delar av en sträcka på 120 km.

I den ursprungliga utformningen av vägarbetssträckan stängdes ena riktningen av motorvägen och den återstående delades på 2 + 1 med smala körfält där då även vägrenen användes. Körbanebreddens var 3,35 m och de ursprungliga vägmarkeringarna fanns kvar.

Under de första två veckorna inträffade många olyckor (65 olyckor varav 7 med personskador). Trots att detta inte är något bra statistiskt material så blev detta naturligtvis orsak till eftertanke.

Problemet var störst på delar där den riktning som hade ett körfält var placerat i den ursprungliga vägrenen. Den ursprungliga vägmarkeringen var inte borttagen och detta medförde att körfältet kunde uppfattas som bara 2,40 m brett. Detta ledde till att en del trafikanter förlorade kontrollen på fordonet och körde av vägen.

För att få bredare vägbanor gjordes utformningen om till ett körfält i varje körriktning, varav ett av dessa körfält var 5,05 m brett. Samtidig togs också den ursprungliga vägmarkeringen bort.

Efter denna förändring sjönk antalet olyckor markant (bara en personskadaolycka under fyra månader). Eftersom det gjordes två förändringar samtidigt är det omöjligt att säga hur mycket av resultatet som beror på den borttagna vägmarkeringen och hur mycket som beror på det bredare körfältet i kombination med ett körfält i vardera riktning.

Huvudresultaten från fältstudien är:

- Körfälts indelningen ska vara klar och entydig
- Ett körfält i vardera riktning kan vara att föredra från ett säkerhetsperspektiv under förutsättning att kapaciteten någorlunda bibehålls och att man har med i planerna hur eventuella fordon med motorstopp och utryckningsfordon ska hanteras
- Det är viktigt att bevaka olycksutfallet i arbetets början, för att snabbt kunna identifiera och lösa eventuella problem
- Långa sträckor av vägarbeten kan ge ökade problem med fördröjning på grund av olyckor och incidenter. Därför kan det vara att föredra att istället för ett långt vägarbete göra en serie kortare.

10 Tillståndsbeskrivning av vägens kondition

10.1 Introduktion

I denna del av FORMAT har metoder för tillståndsmätning vid normal trafikhastighet utvärderats. Vidare har metoder och procedurer utvecklats för att underlätta nyttjande och implementering av tillståndsmätningarna. I både Europa och USA har det utvecklats utrustning för mätning av olika tillståndsparmetrar som sprickor, stensläpp och beskrivning av det strukturella tillståndet. Sådana är t.ex. beläggningstjocklek och belastningsrespons. Vidare har effektiva och alternativa tillståndsinventeringsstrategier utvecklats, bland annat med hänsyn till ekonomi och till traditionella metoder. Denna del av FORMAT bygger bland annat på resultaten från COST action 325 (1997). I COST 325² har några prototypsystem för mätning av bärighet och sprickor i ytan valts ut. Dessa utrustningar har kritiskt värderats i projektet. Projektet har utförts i tre delar:

Del 1 Optimering av insamlingsmetoder

Del 2 Utvärdering av mätsystem för tillståndsbeskrivning vid trafikfart

Del 3 Utveckling av strategier för nyttjande av tillståndsmätning vid planering.

Resultaten från Del 6 i FORMAT-projektet, Tillståndsbeskrivning av vägens kondition har sedan arbetats in i guiden "Fully Optimised Road Maintenance". Alla utvärderingar och modeller som utvecklats samt dokument rörande optimering av procedurer för tillståndsmätning samt att nyttja höghastighetsutrustning i beläggingsplaneringen, finns på en medföljande CD som inte har översatts till svenska från engelska.

10.2 Nuvarande metoder

Motiven att utföra tillståndsinventering av vägytan sträcker sig från kravuppfyllnad till praktiska och tekniska orsaker. Motiven för nätverksövergripande tillståndsinventering är:

- Planering av budget behov
- Planering av underhåll
- Prioritering av aktiviteter
- Utveckla och fastställa indikatorer
- Värdering av vägkapital
- Fastställa ett säkert vägnät
- Tillhandahålla ett hållbart vägnät
- Förse väganvändare med en överenskommen (fastställd) servicenivå.

Förbättrade system för värdering av vägytan och det strukturella tillståndet är centralt och nödvändigt för att få data med hög kvalitet och ett lyckat utfall. Idag finns det två typer av system; dels långsamgående mätmetoder, typiskt under 25 km/h samt högfartssystem som kan mäta i vanlig trafikfart. För att hålla mätkostnader så låga som möjligt har så kallade multifunktionssystem blivit utvecklade. Dock finns det nackdelar med dessa då olika parametrar inte alltid har samma krav på mätfrekvens. Det kan konstateras att det finns ett behov av kostnadseffektiva mätsystem. Trots detta saknas

² COST 325 - New Pavement Monitoring Equipment and Methods

initiativ till optimering av tillståndsinventering. Oftast utförs tillståndsmätning med konstanta tidsintervall något olika beroende på användningsområde, för att skapa effektmodeller behövs täta intervall som 1–2 år, vid datainsamling för PMS databaser ca 3 till 4 år och då stora trafikförändring sker vid behov och med varierad frekvens. Oftast sker insamling inte glesare än 5 år för att undvika ”utgången” data.

10.3 Optimering av insamlingsmetoder

Vid en översyn kan det konstateras att det i många länder inom EU saknas en tillståndsinventeringsstrategi baserad på optimal kostnad. En sådan behöver utvecklas. Kostnaden för tillståndsmätning är mycket lägre än underhållskostnader men inte försumbar. Det är dock troligt att sådana strategier kommer att bli vanliga, bland annat tack vare att:

- Metoden är enkel
- Frekventare tillståndsmätning innebär att man kan validera och testa effekt- och nedbrytningsmodeller
- Budgeten för inventering är konstant och känd
- Underhållsbehovet är väldefinierat tack vare den mängd data som finns tillgänglig.

Vidare är trenden att mätplaneringsprocessen blir mer total, dvs. inte bara tillståndsmätningen av beläggningen utan kostnaden för flera parametrar som skyltning och säkerhetsaspekter inkorporeras. Detta ökar kostnaden och behovet av optimering. Målet är att förse väghållaren med verktyg som underlättar utvecklingen av mätstrategier där mätverksamheten är optimerad. En bra kunskap om vägnätets tillstånd är grunden för framtida beslutsprocesser.

10.4 Utvärdering av mätsystem för tillståndsbeskrivning vid trafikfart

På senare tid har flera system för mätning i trafikfart av vägtillstånd utvecklats, bland annat som en följd av slutsatserna från t.ex. projektet COST 325. I FORMAT har några av dessa system utvärderats. Systemen kan delas in i vilket stadium av utveckling de befinner sig i:

1. Rutin Tillverkas kommersiellt och används i reguljär produktion
2. Prototyp Tillverkas ej kommersiellt och används inte reguljärt
3. Forskningsversion Existerar endast i få exemplar och används för forskningsändamål.

10.4.1 Rutinutrustning

Tvärprofil

I huvudsak finns två typer av metoder utvecklade för tvärprofilmätning, en som utnyttjar fotografisk eller videoteknik där man betraktar deformationen hos en på vägytan projicerad linje. Den andra metoden använder kontaktlös avståndsmätning med hjälp av t.ex. lasersensorer. Ett antal av dessa sensorer mäter samtidigt tvärs vägen och en tvärprofil erhålls. Oftast utvärderas tvärprofilen för att ge ett tvärojämnhetsmått som

t.ex. spår djup. I kombination med tvärfallet kan också teoretiskt vattendjup beräknas. Numera finns också metoder som tar hänsyn till vägens longitudinella lutning och ett mått på pöldjup kan fås. I FEHRL³:s projekt FILTER⁴ har omfattande tester av dessa metoder utförts.

Längsprofil

Längsprofil mäts med profilometrar i trafikfart. En profilometer är en utrustning som avbildar vägens längsprofil i ett spår, oftast höger hjulspår. Profilometern begränsas av sin vertikala upplösning samt täckningen av det longitudinella våglängdsområdet. Profilometrar kan indelas i de som mäter kontaktlöst med hjälp av t.ex. avståndsmätande lasrar. Dessa är numera vanligast. Utöver de kontaktlösa finns en grupp som representeras av den franska APL:en (Analyseur de Profil en Long) som är ett släpfordon som utnyttjar ett fullstort bilhjul som sensor och mäter med konstant fart. Även för dessa har omfattande tester utförts inom FILTER-projektet.

Friktion

Två parametrar används för att karakterisera vägytans säkerhet i samband med däck-vägbanekontakten, friktionskoefficient samt makrotextur. Flera apparater för mätning av friktionskoefficient i normal trafikhastighet har utvecklats både för vägnät och projektnivå. Trots att friktionskoefficient mäts rutinmässigt av flera länder gör mångfalden av utrustningar och koefficienter en jämförelse mellan dessa svår. Därför har flera harmoniseringsprojekt genomförts och nya är på gång.

Textur

Ursprungligen mättes makrotextur med ”sand patch”-metoden. Sand (numera glaspärlor) av en bestämd mängd (volym) sprids ut på vägytan tills texturen är täckt. Därefter mäts den täckta ytans storlek och ett texturdjupvärde bestäms. Numera kan motsvarande mätas med avståndsmätande lasrar som jobbar med hög samplingsfrekvens som gör det möjligt att mäta i trafikhastighet. Från den makrotexturprofil som erhålls kan mått på makrotexturen bestämmas som korrelerar väl med ”sand patch”-värden.

Geometri

De flesta multifunktionsmätbilarna har sensorer såsom lutningsgivare och gyron som gör det möjligt att bestämma väggeometriska parametrar vid normal trafikhastighet.

10.4.2 Prototyputrustning

Nedan beskrivs status för prototyputrustningar som kan mäta i trafikfart, närmare bestämt utrustning för mätning av sprickor, ”ravelling” eller ”fretting” vilket är engelska benämningar på skador som kan definieras som ytskador i makrotexturområdet (stensläpp eller oxiderad yta alternativt polerad yta eller blödning), bärighet, lagertjocklek och buller.

³Forum of European National Highway Research Laboratories.

⁴FEHRL Investigation on Longitudinal and Transverse Evenness of Roads.

Sprickor

Det är användningen eller applikationen där resultatet ska nyttjas som fastställer specifikationen på hur ett sprickmätningssystem ska se ut. Detta innebär att olika system och tekniker kan används för olika applikationer såsom beslutsystem för vägnät, utförandekontroll eller vid underhåll. Idag finns det tre dominerande tekniker:

1. Bildbehandling av bilder från vanlig video (digital eller analog)
Med vanlig video menas här att en yta (frame) filmas
2. Bildbehandling av bilder uppbyggda med s.k. "linescan" video
Med "linescan" filmas en linje i taget, flera linjer sätts ihop till en bild
3. En tredje metod är tredimensionell då man utöver lateralt och longitudinellt läge kan få djupet på sprickan. Denna metod använder ett antal avståndsmätande lasersensorer som också kan mäta djupet hos sprickan. Den laterala upplösningen beror på antalet lasersensorer och den longitudinella på samplingfrekvensen.

Mätoperatörer som erbjuder sprickmätningstjänster har utsatts för flera kvalitetstester i t.ex. England. TRL⁵ har utfört dessa på uppdrag av Department of Transport. Vid testerna har olika rutter längs vanliga vägar valts som provvägar. Dessa har referensmätt med HARRIS, en mätbil som TRL förfogar över, dessutom har visuell inspektion skett av valda avsnitt. Dessa har sedan jämförts med prototyptrustningar som t.ex. PAVUE, ett system som använder vanlig video (fyra videokameror) speciellt utvecklad ljussättning och bildbehandling, se Figur 1.



Figur 1 PAVUE mätbil, sprickutrustningen är monterad bak på bilen.

Slutsatsen är att det numera är vanligt med prototypsystem för högfartsmätning av sprickor.

Dock visar testerna i England att ytterligare utveckling behövs framförallt för att öka förmågan att arbeta med olika makrotexturförhållanden. Bildbehandlingsprocessen behöver adapteras till aktuell makrotextur.

⁵ Transport Research Laboratory, England

”Ravelling” och ”fretting”

DWW⁶ i Holland har utvecklat en högfartsmetod att från makrotexturen bestämma ravelling hos porösa vägytor. Metoden kallas ”Stoneway”. Även CROW⁷ i Holland och TRL i England har gjort liknande utvecklingar eller modifieringar av Stoneway. Stoneway kommer att användas som rutin i Holland istället för nuvarande visuella inspektion.

Bärighet

Två utrustningar för högfartsmätning av bärighet valdes ut att testas vidare inom FORMAT-projektet. Dessa är den svenska RDT (Road Deflection Tester) och den danska HSD (High Speed Deflectograph).



Figur 2 Den svenska Laser Road Deflection Tester (LRDT).



Figur 3 Den danska High Speed Deflectograph.

Även en amerikansk utrustning, the Rolling Wheel Deflectometer (RWD) har granskats.

⁶ Road and Hydraulic Engineering Institute, Holland.

⁷ The national Information and Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public space, Holland.



Figur 4 Rolling Wheel Deflectometer (RWD) från USA.

Den svenska RDT'n togs till England för testmätningar mot traditionella metoder, som fallvikt. Resultaten visade att ytterligare utveckling behövs innan den kan bli operativ för rutinmätningar. Den danska HSD'n testades i Frankrike och visade på lovande resultat vad gäller repeterbarhet och likhet med referens. Ytterligare utveckling behövs dock för att förbättra elektronik och kalibreringsförfarande. Den amerikanska RWD'n visade lovande resultat vad gäller relativ likhet med referens. Vidare förbättringar rörande temperaturberoende behövs.

Principen för bärighetsmätning med den svenska RDT'n innebär att jämföra en belastad tvärprofil med en obelastad från samma sektion. Belastningen är ca 10 ton. Tvärprofilerna mäts med lasersensorer. Den Danska HSD'n mäter istället den vertikala hastigheten hos vägytan då den reagerar på en belastning. Hastigheten mäts med avancerade dopplermätare. Den amerikanska RWD'n mäter längsprofilen i höger hjulspår och dess respons på belastning. Profilen mäts med lasersensorer.

Lagertjocklek

Metoden för mätning av lagertjocklekar i hög fart innebär att utnyttja GPR (Ground Penetrating Radar). Principen är att skicka ut en elektromagnetisk genererad ljudpuls (radar) och sedan detektera dess eko då den studsar åter via de olika lagrens ytor. GPR kan idag närmast benämnas som rutinmetod, vid undersökning av underliggande lager. Tack vare möjligheten att mäta i hög fart lämpar sig metoden för både objekt- och vägnätsmätning. Upplösningen eller minsta tjocklek som kan bestämmas, vilken är ca 25 mm behöver förbättras. Därför pågår utveckling i Frankrike med en stegfrekvent radar som kan lösa problemet. Radarvågorna påverkas olika beroende på egenskaperna i materialet och endast tränade operatörer bör styra filtrering och tolkning av signalerna. En del utveckling krävs innan denna process kan sägas vara automatisk.

Buller

Externt eller omgivningsbuller kan mätas med "proxy"-metoder. En standardiserad metod, CPX (ISO/DIS 11819-2:1997) kan mäta buller längs vägavsnitt i hög fart men har inte tillräcklig noggrannhet ännu. CPX använder en akustiskt isolerad släpkärra med inbyggda mikrofoner som mäter det genererade däck-vägbanebullret från ett standardiserat däck som rullar under den isolerade huven på aktuell väg bana. Arbete pågår att via makrotexturens spektrum avgöra bulleregenskaper. Det är många

egenskaper hos vägytan och dess material som påverkar bullrets storlek och spridning. Detta har hanterats i EU-projektet SILVIA⁸ (2005) som snart kommer med en rapport.

10.4.3 Forskningsutrustning

Denna utrustning kan oftast inte operera i normal trafikhastighet och har inte behandlats av FORMAT.

10.4.4 Slutsatser rörande insamlingsmetoder

Mycket behöver fortfarande förbättras innan de nya metoderna kan användas rutinmässigt. Dock är idag vissa av metoderna så väl utvecklade att de redan nu kan användas. I tabellen nedan finns en summering av status.

Parameter	Status för prototyp som kan användas vid trafikfart
Sprickmätning	Stadiet just före produktion
"Ravelling" och "Fretting"	Snart i produktion
Bärighet	Prototyper har potentialen men mer utveckling behövs
Lagertjocklek	Produktionssystem finns och används
Buller	Snart finns texturbaserade system. CPX finns redan för vägnätsmätning.

10.5 Implementering av mätsystem i normal trafikhastighet

Att nyttja höghastighetssystem som del i tillståndsinventering beror på behovet hos ansvarig väghållare. För att utröna detta och få kunskap om nuvarande förhållande och vad man önskar förbättra genomfördes en enkät hos väghållare i de deltagande länderna. Med hjälp av svaren kan behovet av nödvändig utveckling definieras. Femton länder svarade på enkäten. I tabellen nedan finns svaren grupperade efter hur många länder som mäter och använder en parameter för vägnät eller objektsnivå samt hur frekvent nyttjandet är. Frekvensen är uppdelad enligt tre nivåer:

Frekvent nyttjande, $75\% \leq M\&N$ (Mätt och Nyttjat) $\leq 100\%$,

Begränsat nyttjande, $25\% \leq M\&N < 75\%$ samt

Lågt nyttjande $M\&N < 25\%$.

Svaren beror givetvis väldigt mycket på vilken typ av väg som är aktuell i respektive land t.ex. är betongvägar den vanligaste typen i flera länder och då prioriteras t.ex. betongskarvskvaliteten (faulting och stepping) högt.

⁸ Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control.

Tabell 1 Fördelning av mätt och nyttjade parametrar.

Nyttjande	Nätverksnivå	Objektnivå
Frekvent nyttjande 75 % M&N 100 %	<ul style="list-style-type: none"> • Längsgående ojämnheter • Tvärgående ojämnheter • Sprickinformation • Friktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Längsgående ojämnheter • Tvärgående ojämnheter • Sprickinformation • Beläggningskonstruktion • Bärighet • Potthål • Tvärfall
Begränsat nyttjande 25 % M&N 75 %	<ul style="list-style-type: none"> • Makrotextur • Kurvatur • Vägmarkeringstillstånd • Megatextur • Andra ytdefekter • Backighet • Potthål • Tvärfall • Bärighet • Beläggnings uppbyggnad 	<ul style="list-style-type: none"> • Makrotextur • Kurvatur • Vägmarkeringstillstånd • Megatextur • Andra ytdefekter • Backighet • Friktion • Buller (omgivning) • Betongskarv tillstånd (Stepping, faulting)
Lågt nyttjande M&N<25 %	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrationer (från ojämnheter) • Beläggningsens spegling • Buller (i fordon) • Rullmotstånd • Betongskarv tillstånd (Stepping, faulting) • Buller (omgivning) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrationer (från ojämnheter) • Beläggningsens spegling • Buller (i fordon) • Rullmotstånd

För vägnät är det längsgående och tvärgående ojämnheter, sprickinformation och friktion som används flitigast. För projektnivån tillkommer typ av beläggningskonstruktion, bärighet, potthål och tvärfall som mest nyttjat. Den andra frågeställningen var att prioritera önskade parametrar för vägnät och objektsanvändning. Följande skala användes

Nivå 3 (poäng=3): Hög prioritet

Nivå 2 (poäng =2): Medel prioritet

Nivå 1 (poäng=1): Låg prioritet

Nivå 0 (poäng=0): Ej relevant.

Tabell 2 Prioritering av önskade parametrar.

Prioritet	Nätverksnivå	Objektnivå
Hög prioritet 30 ≤ poäng < 45	<ul style="list-style-type: none"> • Längsgående ojämnheter • Tvärgående ojämnheter • Sprickinformation • Friktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Längsgående ojämnheter • Tvärgående ojämnheter • Sprickinformation • Friktion • Beläggningskonstruktion • Bärighet • Potthål
Medel prioritet 15 ≤ poäng < 30	<ul style="list-style-type: none"> • Makrotextur • Vägmarkeringstillstånd • Megatextur • Andra ytdefekter • Potthål • Bärighet • Beläggnings uppbyggnad • Buller (omgivning) 	<ul style="list-style-type: none"> • Makrotextur • Vägmarkeringstillstånd • Megatextur • Andra ytdefekter • Buller (omgivning) • Tvärfall • Kurvatur • Betongskarv tillstånd (Stepping, faulting) • Backighet
Låg prioritet Poäng < 15	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrationer (från ojämnheter) • Beläggningsens spegling • Buller (i fordon) • Rullmotstånd • Tvärfall • Kurvatur • Betongskarv tillstånd (Stepping, faulting) • Backighet 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrationer (från ojämnheter) • Beläggningsens spegling • Buller (i fordon) • Rullmotstånd

För både vägnät och projektnivå är det längsgående och tvärgående ojämnheter, sprickinformation och friktion som får högst prioritet. Beläggningsuppbyggnad, bärighet och potthål är viktiga på projektnivå.

Tre av de högst prioriterade parametrarna längsgående, tvärgående ojämnheter och friktion kan redan mätas i normal trafikhastighet. Den fjärde parametern, sprickinformation, är nära att bli rutin i trafikfart. I FORMAT-projektet har det kommit fram att också övriga relativt högt rankade parametrar som andra ytdefekter (t.ex. ”ravelling” och ”fretting”), buller (omgivning), bärighet och beläggningskonstruktion (t.ex. beläggningstjocklek, beläggningstyp m.m.) snart kan mätas eller redan delvis kan mätas i trafikfart. Noterbart är att potthål och vägmarkeringstillstånd rankades relativt högt. Dessa har inte utvärderats i FORMAT-projektet vad gäller möjlighet till mätning i hög fart.

10.6 Slutsatser

En viktig slutsats från projektet är att tillståndsmätning bör ske i normal trafikhastighet, framförallt beroende på den ökade säkerheten för alla inblandade. Den genomförda kostnads- och intäktsanalysen visar också att mätning vid normal trafikhastighet lönar sig mer än motsvarande statisk eller mätning vid låg hastighet. Detta är framförallt tydligt med ökande trafikflöden. Det lönar sig att se över med vilken frekvens olika parametrar samlas in.

Ett antal rekommendationer till vägmyndigheter har också formulerats utifrån resultaten i projektet:

- Definiera och formulera målet med tillståndsmätning
- Vara medveten om nödvändig frekvens för tillståndsmätning med olika utrustningar
- Använda höghastighetsmätning, särskilt vid höga trafikflöden
- Fortsätta stöttningen av utveckling av höghastighetssystem, instrumenterade bilar och smarta (instrumenterade) vägar.

Slutligen kan man säga att utnyttjandet av existerande databaser och skapandet av kombinerat index behöver utvecklas. Stödet till gemensamma projekt mellan länder behöver ökas. Särskilt i perspektivet att utvecklingen av höghastighetssystem är kostsamt och behoven oftast är gemensamma mellan länder. Standardiseringsarbetet bör prioriteras. Den nödvändiga noggrannheten behöver utforskas.

Referenser

Delrapporter (Deliverables) från FORMAT-projektet:

<http://www.rws.nl/rws/dww/home/format/>

Deliverable Report nr.	Title
D1	Inception report
D2	Selection of maintenance techniques and procedures for implementation
D3/D4	Basic model for financial evaluation of pavement deterioration and additional cost at road workers
D5	Collection of accident data from across Europe
D6	Optimised pavement condition data collection procedures
D7	Technological implementation plan
D8	Mid-term report
D9	Performance on innovative maintenance techniques and strategies
D10	Integrated prototype spreadsheet + CBA model
D11	Analysis of general and specific accident data
D12	Assessment of high speed monitoring equipment
D13	Computer simulation of traffic management arrangements
D14	Practical Implementation of procedures for road maintenance works
D15	Calibration and validation of the integrated CBA model
D16	Assessment of high speed equipment in pavement maintenance planning
D18	Integrated guide "Fully Optimised Road Maintenance"
	Format Final Report

Work Package 5

Durth, W, Stöckert, R och Klotz, S.: Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kurzerer Dauer auf Bundesautobahnen, Schlussbericht zum FE-Vorhaben 03.285/1995/FR, Darmstadt, 1999.

Grebe, N och Hanke, H.: Verkehrssicherheit an kurzfristigen und beweglichen Arbeitsstellen auf Autobahnen, Strassenverkehrstechnik, Heft 12, Bonn, 1991.