

Manual till slitagemodellen, version 3.2.03

Bakgrund

VTI har under lång tid, sedan slutet på 1960-talet, följt upp beläggningsslitage från dubbtrafiken genom fullskaliga provvägar och kontrollsträckor.

Från början fokuserades verksamheten på VTI kring provvägar där syftet var att studera olika materialparametrars inverkan på dubbavnötningen, t ex stenmaterialkvalitet, stenstorlek, stenhalt och typ av bindemedel. Främst stenmaterialkvaliteten, maximala stenstorleken och andelen grovt stenmaterial visade sig ha stor betydelse för beläggningens nötningsresistens. Skelettasfalt med högkvalitativt stenmaterial visade sig vara den slitstarkaste beläggningstypen. Vid denna tid utvecklades även provningsmetoder för slitagestudier, t ex Kulkvarn, Prall, modifiering av provvägsmaskinen och utveckling av lasermätbalken.

Prognosmodeller som beskriver hur tillståndet förändras i olika delar av en vägkonstruktion utgör ett värdefullt verktyg för bedömning av en vägs eller en beläggningens livslängd och ekonomi. Prognosmodeller utgör också kärnan i planeringssystem, Pavement Management Systems, som bygger på olika vägkonstruktioners och beläggningsslager tillståndsförändring beroende av trafiken och tiden. I mitten av 1990-talet utvecklades VTIs slitagemodell som är framtagen för prognosering av dubbslitage. Målsättningen var att utveckla en datoriserad prognosmodell för den del av spårdjupsutvecklingen som orsakas av slitage från dubbade däck. Modellen skall dels ge en prognos av en beläggningsslitstyrka utifrån uppgifter om beläggningstyp, ingående materials egenskaper, dels ge en prognos av spårprofilen utifrån data om vägtyp, trafikbelastning med mera. Modellen omfattar beläggningar av typ ABT och ABS. Dessa två beläggningstyper är de helt dominerande slitlagren på mellan- och höghögt trafikerade vägar i Sverige.

Modellen har sedan slutet av 1990-talet använts av både entreprenörer och beställare inom beläggningsbranschen. Modellen innebär att beställaren kan optimera valet av slitlagerbeläggning efter de förutsättningar som råder för det aktuella objektet. För att modellen skall vara aktuell måste den regelbundet uppdateras med färsk data.

Under år 2005-2006 har slitagemodellen uppdaterats med flera olika körfältstyper. Det är också möjligt att använda Prallvärdet som indata till modellen. Andelen lättviktsdubb har tagits bort eftersom det numera är lättviktsdubb i alla dubbdäck.

Användningsområde

VTIs datoriserade prognosmodell för dubbslitage beskriver storleken av slitlagerbeläggningars slitage och den spårprofil som fordon med dubbade däck åstadkommer. Modellen kan användas av väghållare, entreprenörer, konsulter mfl som stöd vid val av slitlagerbeläggningar.

Modellen är ett bra hjälpmedel för följande uppgifter:

- ett tekniskt/ekonomiskt beslutsstöd vid val av beläggningsåtgärd, krav på stenmaterialkvalitet med mera på enskilda objekt.
- bedöma tekniska/ekonomiska effekter på vägnätsnivå beroende på vald åtgärdsstrategi.
- beräkning av livslängd med avseende på dubbslitaget till nästa åtgärd. Eftersom modellen skall kunna användas för att bedöma livslängden, fram till största tillåtna spårdjup, kommer den också att kunna tjäna som ett hjälpmedel vid planering och prioritering av beläggningsåtgärder.
- beräkning av årskostnader orsakade av dubbslitaget. Genom att mata in uppgifter om beläggningspriser eller enskilda materialpriser kan modellen hjälpa till att bedöma om det lönar sig att köpa in, och transportera, ett högkvalitativt stenmaterial istället för att använda ett billigare stenmaterial som finns tillgängligt lokalt.
- ett pedagogiskt verktyg för att sprida kunskap om hur olika faktorer påverkar slitagets storlek och fördelning över körfältsbredden.
- beräkning av bortsliten mängd beläggning, eventuellt som underlag för partikelprognoser

Prognosmodellen består huvudsakligen av tre delar:

1. en delmodell som beräknar hur stort slitaget blir per antal dubbade fordon
2. en delmodell som beräknar hur slitaget fördelas över körfältets bredd (slitageprofil)
3. en delmodell som beräknar exempelvis årskostnaden utifrån använda material och beräknad livslängd

Dataunderlag för modellutvecklingen

Det dataunderlag som ligger till grund för modellutvecklingen har hämtats från ett mycket stort antal fullskaliga provsträckor, från laboratorietillverkade plattor som lagts ut i fullskaliga vägar och slutligen från laboratorietillverkade plattor som testats i VTI:s provvägsmaskin. Eftersom det visade sig finnas en mycket stark korrelation mellan slitaget på plattor om implanterats på fullskaliga vägar och slitaget på tvillingplattor i provvägsmaskinen gjordes därefter de flesta testerna i provvägsmaskinen. Mer än 500 olika plattor har testats i provvägsmaskinen. Plattorna utgjordes av ABT- och ABS-beläggningar med en mängd olika stenmaterialkvaliteter och med största stenstorlekar från 8 mm upp till 20 mm.

Det är mycket viktigt att notera att samtliga beläggningsplattor som tillverkats och som utgjort underlag vid modellutvecklingen är homogena, har en packningsgrad på minst 98 % och är väl definierade avseende materialval, sammansättning mm. Plattorna representerar därmed den högsta kvalitet som går att åstadkomma. Kvaliteten i fullskaliga beläggningar kan av många orsaker variera och vara lägre än dessa laboratorietillverkade plattor.

Dataunderlaget för modellen som bygger på Prallvärdet som indata är något osäkrare eftersom antalet undersökta beläggningar är betydligt mindre, speciellt för ABT-beläggningar. Prallvärdet kan även vara något osäkrare än kulkvarn/stenhalt/största stenstorlek beroende på skillnader mellan olika prallutrustningar. Efter uttalat önskemål från branschen valde VTI att trots den osäkerhet som råder ändå ta med Prallvärdet i modellen.

Indata till modellen

All indata matas in på ett blad i modellen som är utvecklad i Microsoft Excel. Den första delen beskriver de väg- och trafikförhållanden som berör det vägojekt där slitaget ska prognoseras.

Del 1:

Prognosmodell för beläggningsslitage

Indata - gula fält



Rubrik i diagram:	E4, Värnamo	Version 3.2.03
Underrubrik i diagram:	Kvalitetssten (porfyr)	oktober 2006
Typsektion (1/2/3/4/5/6/7/8):	5	(1=7 m; 2=9 m; 3=13 m; 4= breda körfält; 5=motorväg; 6=tunnel & (2)+1 vägar; 7=2+(1) vägar; 8= extr smala körfält)
Tillåten hastighet:	110	(50, 70, 90 alt 110 km/h)
ÅDT körfält:	4000	fordon/dygn
Slitageperiod/år:	180	vinterdygn/år
Dubbandel:	60	% (medel under slitageperioden)
Saltad väg (J/N):	J	
Antal beräkningsår:	5	st
Tillåtet spårddjup:	17	mm
Uppskattat övrigt spårddjup:	4	mm
Tillgängligt slitage-spårddjup:	13	mm

Rubriker

Här kan önskad huvudrubrik och underrubrik till de diagram som visar prognosen skrivas in.

Typsektioner

Det finns 8 st olika typsektioner att välja mellan. Skriv in den siffra som motsvarar önskad typsektion. Valet av typsektion har betydelse för vilken spårbundenhet fordonen har. Spårbundenheten påverkar fördelningen av slitaget. Ju mer spårbunden trafik desto djupare och smalare blir slitagespåren. Typsektionerna 1 tom 5 har validerats och kalibrerats mot sidolägesmätningar medan typsektionerna 6 tom 8 tills vidare bygger på bedömningar.

Tillåten hastighet

Den hastighet som skall anges här är den skyltade hastigheten. Modellen beräknar efter 4 olika hastigheter; 50, 70, 90 och 110 km/h.

ÅDT körfält

ÅDT omfattar årsmedeldygnstrafiken i det körfält för vilket prognosen skall göras. Endast antalet personbilar och lätta lastbilar, < 3,5 ton skall ingå. Om markören placeras på den röda vinkeln vid rutan ges information hur ÅDT skall anges.

Slitageperiod/år

Slitageperiod/år avser antalet vinterdygn per år. Med vinterdygn avses dygn då dubbdäcken är tillåtna (november-april), normalt ca 180 dygn och den tid då dubbanvändningen ligger över 5 %.

Dubbandel

Här skall medelvärdet för dubbanvändningen under hela slitageperioden anges.

Saltad väg (J/N)

Här anges om vägen saltas vintertid, J för ja och N för nej.

Antal beräkningsår

Denna information berör enbart diagrammet som visar slitageprofilen. Det som skrivs här påverkar inte beräkningen.

Tillåtet spårdjup

Här anges det maximala spårdjup som är tillåtet på den aktuella vägen.

Uppskattat övrigt spårdjup

Här anges uppskattat övrigt spårdjup som inte orsakas av slitage från dubbtrafik. Den kan vara spår från tung trafik, efterpackning, plastiska deformationer, bärighetsberoende deformationer mm.

Tillgängligt slitage-spårdjup

Uppskattat övrigt spårdjup subtraheras från maximalt tillåtet spårdjup erhålls det spårdjup som orsakas av slitage från dubgade fordon. Det tillgängliga slitage-spårdjupet är alltså avgörande för slitlagrets livslängd med avseende på slitage. Om uppskattat övrigt spårdjup sätts till noll, beräknas slitlagrets livslängd fram till det maximalt tillåtna spårdjupet har uppnåtts.

Del 2

Denna del av indata är uppgifter om beläggningstyp, största stenstorlek och stenmaterialkvalitet, det senare i form av Kulkvarnsvärde. Ett alternativ är att ange beläggningens Prallvärde.

Stenhalt >4mm:	75	vikt-%
Största stenstorlek (MS):	16	mm
Kulkvarnsvärde (KV):	5	
Prallvärde:	15	cm ³
Beläggningstyp (endast för Prall):	2	(använd "del" för att nollställa) (ABT=1; ABS=2)
Pris - färdig beläggning:	55	kr/m ²
		(använd "del" för att nollställa)

Stenhalt >4 mm

Slitagemodellen är giltig för stenhalter >4 mm mellan 40 och vikt-75 %. Om detta område under- eller överskrids föreligger en risk att modellen ger fel prognos.

Största stenstorlek (MS)

Slitagemodellen är giltig för största stenstorlekar mellan 8 och 20 mm. Om detta område under- eller överskrids är det en risk att modellen ger fel prognos.

Kulkvarnsvärde (KV)

Slitagemodellen är giltig för kulkvarnsvärden mellan 3 och 13. Om detta område under- eller överskrids finns det en risk för att modellen ger fel prognos.

Prallvärde

Beläggningens slitageresistens kan också anges i form av ett Prallvärde som erhålls genom laboratorieprovning på laboratorietillverkade beläggningsprover eller borrprov från färdig beläggning. Modellen är giltig för ett Prallvärde mellan 13 och 46 cm³.

Beläggningstyp (endast för Prall)

Prallvärdet måste kompletteras genom att beläggningstypen ABT (=1) eller ABS (=2) anges. Anledningen är att initialslitaget är något olika för de två beläggningstyperna.

Kostnad

Här anges kostnaden för färdig beläggning i kr/m². I modellen beräknas beläggningens årskostnad genom att beläggningskostnaden divideras med den beräknade livslängden. Vid beräkningen tas inte hänsyn till nuvärde och räntor. Det finns också en möjlighet att, i del 3, beräkna en kostnad för färdig beläggning. Om den möjligheten används skall denna ruta vara tom. Använd ”delete” för detta.

Del 3

I denna del finns en hjälp att beräkna kostnaden för färdig beläggning. De ifyllda uppgifterna i nedanstående exempel skall inte betraktas som någon prövning.

Material- och produktionskostnader:

Stenmaterialkostnader:	vikt-%	kr/ton	densitet	kr
Filler:	5	55	2,66	2,75
fraktion 0-2 mm:	10	55	2,66	5,50
fraktion 2-4 mm:	10	60	2,66	6,00
fraktion 4-8 mm:	10	95	2,66	9,50
fraktion 8-12 mm:	15	240	2,66	36,00
fraktion 12-16 mm:	50	240	2,66	120,00
fraktion 16-20 mm:	0	0	0	0,00
stenmaterial:	100	2,66		179,75
bindemedelshalt:	6,2	1750	1,01	108,50
totalt:				2,415

Summa kostnader:

Stenmaterial:	179,75	kr/ton massa
Bitumen:	108,50	"
Tillsatser (fiber el dy):	15,00	"
Tillverkning verket:	25,00	"
Etableringskostnad:	0,05	"
Transport (verket-utläggning):	150,00	"
Utläggning:	30,00	"
Övrigt:	0,00	"
Beläggningstjocklek:	35	mm
Summa kg/kvm:	85	kg/m ²
Summa kr/ton:	508	kr/ton
Summa kr/kvm:	55,00	kg/m ²
Årskostnad:	2,89	kg/m ²

Numerisk resultatredovisning

Prognos beräknad efter stenhalt >4 mm, största stenstorlek och kulkvarnsvärde

Resultat enligt avnöttningsmodell

Indata:

Rubrik i diagram:	E4, Värnamo		Version
Underrubrik i diagram:	Kvalitetssten (porfyr)		oktober
Typsektion (1/2/3/4/5/6/7/8):	5	(1=7 m; 2=9 m; 3=13 m; 4= breda körfält; 5=motorväg; 6=tunnel & (2)+1 vägar); 7=2+(1) vägar; 8= extr smala körfält)	
Tillåten hastighet:	110	(50, 70, 90 alt 110 km/h)	
ADT körfält:	4000	fordon/dygn	
Slitageperiod/år:	180	vinterdygn/år	
Dubbandel:	60	% (medel under slitageperioden)	
Saltad väg (J/N):	J		
Tillåtet spårddjup:	17	mm	
Uppskattat övrigt spårddjup:	4	mm	
Tillgängligt slitage-spårddjup:	13	mm	
Stenhalt >4mm:	75	vikt-%	
Största stenstorlek (MS):	16	mm	
Kulkvarnsvärde (KV):	5		

Resultat:

Spårtillväxt per år (mm):	0,66	mm
Livslängd:	19	år
Årskostnad:	2,89	kr/m ²
SPS-tal:	3,9	gram per dubbat fordon och kilometer
Bortsliten mängd per 100 m körfält och år:	0,17	ton

I den övre delen upprepas de indata som utgjort underlag för beräkningarna. I nedre delen under rubriken, Resultat, redovisas resultatet av beräkningarna.

Spårtillväxt per år (mm)

Här redovisas den spårtillväxt som slitaget orsakar varje år.

Medelavnötning per år

Här redovisas medelavnötningen över hela körfältets bredd.

Livslängd

Här redovisas den beräknade livslängden utifrån spårtillväxten varje år och tillåtet, alternativt tillgängligt slitage-spårdjup. Den redovisade livslängden kan aldrig överstiga 20 år. Även om det kan bli så teoretiskt anses att ett slitlagers livslängd begränsas av andra orsaker till ca 20 år.

Årskostnaden

Årskostnaden redovisas som beläggningens pris/kostnad dividerat med den beräknade livslängden.

SPS-tal

SPS-talet anger i gram hur mycket material som ett dubbat fordon (två axlar) sliter bort per km väg. SPS-talen skall uppfattas som ungefärliga och inte absoluta värden på slitaget beroende på att trafikdata och dubbfrekvensen alltid är något osäkra i dessa sammanhang. SPS-talet påverkas förutom av trafikdata också av hastigheten, vilket försvårar direkta jämförelser mellan olika objekt. I slitagemodellen korrigeras dock SPS-talet för hastigheten (vilket inte är fallet vid beräkningar av data från vägen). SPS-talet definieras och beräknas enligt följande:

Definition:

den mängd beläggning, uttryckt i gram, som ett fordon med dubbade däck sliter bort på en sträcka av en kilometer

Beräkning:

$$SPS = \frac{\text{medelavnötning (mm)} * \text{körfältsbredd (m)} * \text{skrymdensitet (kg/dm}^3\text{)}}{\text{antal dubbade fordon under mätperioden}} * 10^6$$

$$\text{Antal dubbade fordon} = \text{antal personbilar} * \text{dubbfrekvens} * \text{antal mättygn}$$

Bortsliten mängd per 100 meter körfält och år

Här redovisas den mängd beläggning som slits bort på 100 meter körfält per år. Resultatet kan eventuellt användas för att uppskatta genererade partikelmängder.

Prognos beräknad efter Prallvärdet

Resultatet redovisas numeriskt på samma sätt som tidigare beskrivits.

Resultat enligt Prall

Indata

Rubrik i diagram:	E4, Värnamo	
Underrubrik i diagram:	Kvalitetssten (porfyr)	
Typsektion (1/2/3/4/5/6/7/8):	5	(1=7 m; 2=9 m; 3=13 m; 4= breda körfält; 5=motorväg; 6=tunnel & (2)+1 vägar; 7=2+(1) vägar; 8= extr smala körfält)
Tillåten hastighet:	110	(50, 70, 90 alt 110 km/h)
ÅDT körfält:	4000	fordon/dygn
Slitageperiod/år:	180	vinterdygn/år
Dubbandel:	60	% (medel under slitageperioden)
Saltad väg (J/N):	J	
Tillåtet spår djup:	17	mm
Uppskattat övrigt spår djup:	4	mm
Tillgängligt slitage-spår djup:	13	mm
Prallvärde (950 varv):	15	cm ³

vti
Version 3.2.03
oktober 2006

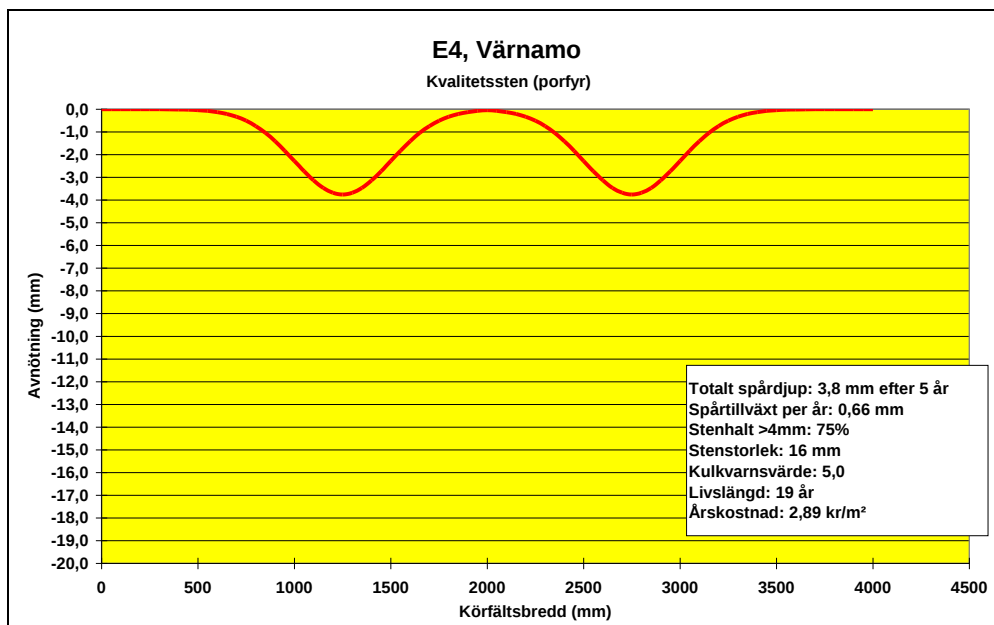
Resultat:

Spårtillväxt per år (mm):	0,73	mm
Livslängd (år):	17	år
Årskostnad (kr/kvm):	3,24	kr/m ²
SPS-tal:	4,3	gram per dubbat fordon och kilometer
Bortsliten mängd per 100 m körfält och år:	0,19	ton

Grafisk resultatredovisning

Resultatet av prognosberäkningen redovisas också grafiskt dels i form av en slitageprofil, dels en graf som visar spårtillväxten under åren.

Slitageprofilen

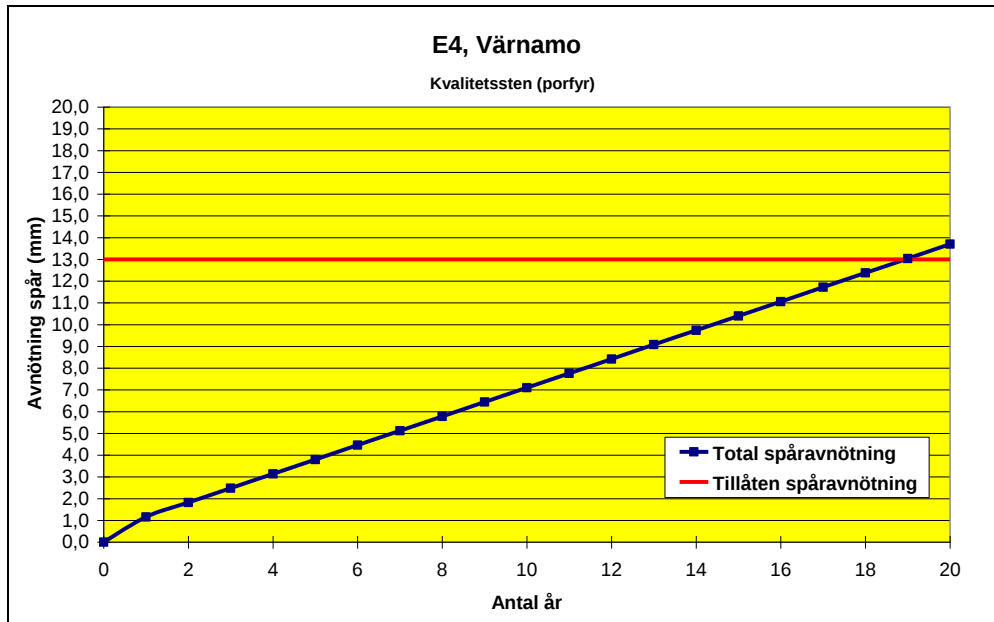


Grafisk redovisning av den spårprofil som slitaget orsakar. Modellen visar spårprofilen efter det antal år som angavs som indata. I detta fall var det 5 år. Det finns även en liten ruta med de viktigaste indata och resultaten.

Observera att den faktiska (verkliga) profilen på vägen efter 5 år inte överensstämmer med slitageprofilen ovan eftersom det finns andra faktorer (deformationer) som också orsakar spårtillväxt på vägen.

Motsvarande redovisning finns också för beräkning med hjälp av Prallvärdet.

Slitagespårets tillväxt



Ovanstående graf visar den spårillväxt som dubbdäcksslitage orsakar. Den totala spårillväxten påverkas förutom av beläggningsslitage från dubbtrafiken även av andra faktorer, t ex deformationer.

Rapporter relaterade till slitagemodellen

Större delen av bakgrundsmaterialet till slitagemodellen finns beskrivna i följande rapporter:

Gustafson Kent: **Prov med lättare däckdubb i VTIs provvägsmaskin.** VTI rapport 377, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Slitlager med dränerande asfaltbetong och polymermodifierade bindemedel. Provväg E3, Göteborg. Byggnadsrapport och första årets mätningar.** VTI notat V152, 1991.

Jacobson Torbjörn: **Asfaltbeläggningsresistens. Provpallor 1990.** VTI notat V162, 1991.

Jacobson Torbjörn: **Kalkstensfiller i asfaltbeläggning. Provvägsförsök med beläggingspallor.** VTI notat V189, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Avnötningssmätningar på provpallor vintern 1991/92.** VTI notat V198, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Slitlager med polymermodifierade bindemedel. Provväg E3/E18, Örebro-Arboga. Lägesrapport 92.02.** VTI notat V173, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Asfaltbeläggningsresistens. Försök i VTIs provvägsmaskin och laborieprovning enligt Tröger och PWR.** VTI notat V197, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Avnötningssmätningar på provpallor vintern 1991/92.** VTI notat V198, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Undersökning av slitlagerbeläggningsresistens mot dubbade däck. Försök i VTIs provvägsmaskin. Projekt VVÄ.** VTI notat 23-93, 1993.

Jacobson Torbjörn: **Provvägsförsök med modifierade bindemedel i dränerande asfaltbetong, E20 Partille. Lägesrapport 1993.** VTI notat 14-93, 1993.

Jacobson Torbjörn: **Dubbavnötning på provsträckor med skelettasfalt. E6 Göteborg, delen Kallebäck-Åbro.** VTI notat V230, 1993.

Jacobson Torbjörn: **Provsträckor med bindemedlet Multigrade i skelettasfalt, E4 Norrköping.** VTI notat V234, 1993.

Jacobson Torbjörn: **Undersökning av slitlagerbeläggningsresistens mot dubbade däck. Försök i VTIs provvägsmaskin. Projekt VVÄ, slutrapport.** VTI meddelande 732, 1994.

Jacobson Torbjörn: **Asfaltbelägningars nötningsresistens. Beläggingsplattor vid E4 Salem, Häggvik och Upplands-Väsby. Lägesrapport 1993.** VTI notat 8/93, 1993.

Jacobson Torbjörn och Wågberg Lars-Göran: **Kommunala beläggningar. Undersökning av asfaltbelägningars resistens mot dubbade däck i VTIs provvägsmaskin.** VTI notat 46-1994.

Jacobson Torbjörn: **Undersökning av slitstyrkan och ljusreflektionsegenskaper hos vägbeläggning. Försök i VTIs provvägsmaskin. Projekt RYT.** VTI notat 47-1994.

Jacobson Torbjörn: **Undersökning av asfaltbelägningars resistens mot dubbade däck - Försök med provplattor i vägen och VTIs provvägsmaskin.** Föredrag vid NVF-utskott 33 kongress i Tällberg, juni 1994. VTI särtryck 224, 1994.

Jacobson Torbjörn: **Dubbavnötning på provvägar och provplattor vintern 1993/94. Lägesrapport 94-12.** VTI notat 79-1994.

Jacobson Torbjörn: **Slitagemätning Linköping.** VTI utlåtande 601, 1995.

Jacobson Torbjörn: **Provsträckor på Nynäsvägen. Slitage- och ljusreflexions-mätningar.** VTI Utlåtande 602, 1995.

Jacobson Torbjörn: **Undersökning av slitlagerbelägningars resistens mot dubbade däck. Försök i VTIs provvägsmaskin - PVM 13.** VTI notat 15-1996.

Jacobson Torbjörn: **Dubbavnötning på provvägar vintern 1994/95. Lägesrapport 96-06.** VTI notat 17-1996.

Jacobson Torbjörn: **Slitagemätning, Linköping. Lägesrapport 1996.** VTI notat 51-1996.

Jacobson Torbjörn: **Dubbavnötning på provvägar och provplattor vinter 1995/96. Lägesrapport 96-12.** VTI notat 64-1996.

Jacobson Torbjörn: **Dubbavnötning på provvägar vinter 1996/97. Lägesrapport 96-12.** VTI notat 64-1996.

Jacobson Torbjörn och Viman Leif: **Modifiering av Prallmetoden och nordisk ringanalys.** VTI notat 58-1999.

Jacobson Torbjörn och Hornwall Fredrik: **Dubbslitage på asfaltbeläggning. Provvägar och kontrollsträckor 1990-98.** VTI meddelande 862, 1999.

Jacobson Torbjörn och Wågberg Lars-Göran: **Inventering av dränerande asfaltbetong. Undersökningar av borrhärdar.** VTI meddelande 766, 1995.

Jacobson Torbjörn och Hornwall Fredrik: **Provvägsförsök med skelettasfalt. E6, Kallebäck – Äbro, Göteborg.** VTI notat 23-1999.

Jacobson Torbjörn och Hornwall Fredrik: **Försök med polymermodifierade bindemedel i skelettasfalt och tät asfaltbetong.** VTI notat 79-1999.

Jacobson Torbjörn: **Beläggningsslitage från dubbade fordon. Beräkning av det årliga dubbslitaget 1996-1999.** VTI notat 44-1999.

Jacobson Torbjörn och Hornwall Fredrik: **Dubbavnötning på asfaltbeläggning. Mätresultat från vintrarna 1998/99 och 1999/00. Validering av VTIs slitagemodell 1997-2000.** VTI notat 8-2000.

Jacobson Torbjörn: **Undersökning av dubbslitaget och validering av slitagemodellen vintern 2004/2005.** VTI notat 36-2005.

Wågberg Lars-Göran: **Avnötningsmätningar på beläggingsplattor i E-län och O-län 1989/90.** VTI notat V131, 1990.

Wågberg Lars-Göran: **Avnötningsmätningar på beläggingsplattor vid Wårby och Upplands-Väsby vintern 1989/90.** VTI notat V132, 1990.

Wågberg Lars-Göran och Torbjörn Jacobson: **Avnötningsmätningar på beläggingsplattor vintern 1990/91.** VTI notat V150, 1991.

Wågberg Lars-Göran och Jacobson Torbjörn: **Utveckling av prognosmodell för beläggningsslitage, slitageprofil och årsmodell.** VTI notat 21-1997.