

Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan faktorer

Version 3.2.03

Torbjörn Jacobson
Lars-Göran Wågberg

Förord

Arbetet som ligger bakom det resultat som redovisas i denna dokumentation har finansierats av ett flertal uppdragsgivare. Dåvarande Kommunikationsforskningsberedningen, KFB, har finansierat det direkta arbetet med utvecklingen av prognosmodellen. Vägverket tillsammans med andra uppdragsgivare som tidigare Svenska Kommunförbundet, enskilda kommuner och entreprenörer har, genom sin uppdragsforskning i andra projekt, bidragit med de bakgrundsdata som använts för utveckling av prognosmodellens första version.

Dokumentationen och dess innehåll är resultatet av ett samarbete inom VTI där Torbjörn Jacobson svarat för bakgrundsdata till modellen och Lars-Göran Wågberg svarat för utveckling och uppgradering av prognosmodellen. Andra på VTI som gjort en stor insats, framför allt i arbetet med att ta fram bakgrundsdata, är Sven-Olof Hjalmarsson, Nils-Gunnar Göransson, Fredrik Hornwall och Fredrik Nilsson som gjort en stor del av slitagemätningarna på vägarna samt Tomas Halldin och Lars-Olof Svensson som ansvarat för körningarna i VTI:s provvägsmaskin (PVM).

Linköping februari 2007

Torbjörn Jacobson

Lars-Göran Wågberg

Kvalitetsgranskning

En intern granskning har genomförts av forskningsdirektör Kent Gustafsson, 2007-02-07.

Forskningsledarna Torbjörn Jacobson och Lars-Göran Wågberg har därefter justerat rapportmanus, 2007-02-12.

Forskningschef Sawfat Said har därefter granskat och godkänt rapporten för publicering, 2007-02-15.

Quality review

An internal peer review was performed by Research Director Kent Gustafsson, 2007-02-07.

The project leaders, Torbjörn Jacobson and Lars-Göran Wågberg, have made alterations to the final manuscript of the report.

The line manager of the project, Sawfat Said, has examined and approved the report for publication, 2007-02-15

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Bakgrund	9
2 Målsättning	10
3 Förväntad nytta	11
4 Beskrivning av prognosmodellen	12
4.1 Delmodell för prognos av slitagets storlek	12
4.2 Delmodell för fördelning av slitaget i tvärled	15
5 Datorbaserad sammansatt modell	16
5.1 Indata	16
6 Numerisk resultatredovisning	21
6.1 Prognos beräknad efter stenhalt >4 mm, största stenstorlek och Kulkvarnsvärde	21
6.2 Prognos beräknad efter Prallvärdet	23
7 Grafisk resultatredovisning	24
8 Validering av modellen	26
9 Bakgrundsdata	27
9.1 Fullskaliga provvägar	27
9.2 Dubbanvändning	28
9.3 Tillverkning av plattor	29
9.4 Utläggning av plattor på vägen	29
9.5 Slitagemätning – laserprofilometer	30
9.6 Provvägsmaskinen – allmän beskrivning	30
9.7 Korrelation provvägsmaskinen (PVM) – vägslitage	31
9.8 Nötningsmetoder – Kulkvarn/Slipvärde/Prall	32
9.9 Beläggningstyper och stenmaterial	34
10 Inverkande faktorer	39
10.1 Inverkan av stenmaterialkvalitet	39
10.2 Inverkan av andelen grovt stenmaterial	40
10.3 Inverkan av största stenstorleken	41
10.4 Inverkan av bindemedelstyp – modifierat bindemedel	41
10.5 Inverkan av beläggningstyp	42
10.6 Inverkan av packningsgrad – hålrumshalt	43
10.7 Inverkan av inblandning av högkvalitativa stenmaterial	44
10.8 Inverkan av klimat (geografiska läget)	45
10.9 Inverkan av våt – torrslitage	45
10.10 Inverkan av dubbtipp och dubbkraft	46
10.11 Inverkan av hastighet	46
10.12 Relativt slitage – försök i PVM	48
Litteratur	51

Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan av faktorer

Version 3.2.03

av Torbjörn Jacobson och Lars-Göran Wågberg
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

Prognosmodeller som beskriver hur tillståndet förändras i olika delar av en vägkonstruktion utgör ett värdefullt verktyg för bedömning av en vägs eller en beläggningens åtgärds livslängd och ekonomi. Prognosmodeller utgör också kärnan i planeringssystem, Pavement Management Systems, som bygger på olika vägkonstruktioner och beläggningsslagerens tillståndsförändring beroende av trafiken och tiden.

Den prognosmodell som behandlas i denna dokumentation beskriver dubbtrafikens slitage på asfaltbeläggningar med inriktning på spårbildning, tvärprofil och årskostnader. Den första versionen av prognosmodellen utvecklades under år 1997. Målsättningen var att utveckla en datoriserad prognosmodell för den del av spårdjupsutvecklingen som orsakas av slitage från dubbade däck. Modellen skulle dels ge en prognos av en beläggningens slitstyrka utifrån uppgifter om beläggningstyp, ingående materials egenskaper, dels ge en prognos av spårprofilen utifrån data om vägtyp, trafikbelastning med mera. I det första skedet begränsas modellen till att omfatta beläggningar av typ ABT och ABS. Under årens lopp har modellen validerats och kalibrerats vid några tillfällen. Under år 2006 har en ny version tagits fram. I den versionen har ytterligare några typsektioner lagts till, som 2+1 vägar och vägar med extremt smala körfält (t.ex. Essingeleden), uppgiften om andelen lättviktsdubb har tagits bort eftersom i stort sett samtliga dubbdäck som används idag har lättviktsdubbar. Den största skillnaden är att det i den nya versionen är möjligt att ange Prallvärdet som alternativ till tidigare indata.

Inom följande områden kan modellen användas:

- ett tekniskt/ekonomiskt beslutsstöd vid val av beläggningens åtgärd, krav på materialegenskaper med mera på enskilda objekt
- bedöma tekniska/ekonomiska effekter på vägnätets nivå beroende på vald åtgärdsstrategi
- beräkning av livslängd 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 beläggningens åtgärder
- planering och styrning av trafikens sidoläge. På vägavsnitt med spårbunden dubbdäckstrafik är det möjligt att förlänga ett slitlagers livslängd genom att flytta sidomarkeringslinjerna och därmed även flytta trafikens sidoläge
- beräkning över hur mycket asfaltmaterial som varje dubbat fordon sliter bort per km väg
- beräkning av bortsliten mängd asfaltmaterial per 100 m väg och år
- beräkning över bortsliten mängd asfaltmaterial under livslängden

- beräkning av årskostnader orsakade av dubbslitaget. Genom att mata in uppgifter om 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.

Prognosmodellen består huvudsakligen av tre delar:

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

Den delmodell som beräknar slitagets storlek per antal dubbade fordon bygger på en stor mängd slitagedata från de senaste tjugo årens forsknings- och utvecklingsarbete på VTI. Den största delen av data kommer från beläggningsplattor som dels lagts ut i befintliga slitlagerbeläggningar på högtrafikerade vägar, dels provats i VTI:s provvägsmaskin. Beläggningsplattorna representerar olika beläggningstyper, varierande stenmaterialegenskaper, olika stenstorlekar med mera. Dataunderlaget till delmodellen med Prallvärdet som indata kommer från borrhov som tagits från tvillingplattor till dem som testades i provvägsmaskinen.

I dokumentationen ges en översikt över bakgrundsdatan till de olika delmodellerna och de olika faktorer som enligt VTI:s olika undersökningar visat sig inverka på slitagets storlek. I detta sammanhang behandlas en lång rad parametrar såsom stenmaterialkvalitet, andelen grovt stenmaterial i massan, största stenstorlek, beläggningstyp, typ av bindemedel, inblandning av specialsten i ortens material, kubisering av stenmaterial, packningsgrad/hålrum, trafikens hastighet, typ av dubbar, våt/torr vägbana med mera. Även provningsmetoder och slitageutrustningar behandlas liksom korrelationen mellan olika provningsmetoder.

Developing and upgrading of a prediction model of wear caused by studded tyres and an overview of the knowledge of the factors influencing the wear

Version 3.2.03

by Torbjörn Jacobson and Lars-Göran Wågberg
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

Prediction models that describe changes in the condition of various portions of a road structure constitute valuable tools for evaluating service life and economics of a road structure or of a surfacing measure. Prediction models also constitute the core of planning systems – Pavement Management Systems – which are based on changes in the condition of various road structures and asphalt layers depending on traffic and time.

The prediction model discussed in this report describes the magnitude of wear of pavement and of rut formation created by vehicles with studded tyres. The work on this model was carried out as part of a project financed by the Swedish Transport and Communications Research Board (KFB) and the Swedish Road Administration. The model is based on the results and experiences gathered during the last twenty years of work at VTI (the Swedish National Road and Transport Research Institute) with the objective of developing and evaluating the wear resistance of asphalt wearing courses.

The objective was to develop a computer based prediction model for the rut formation that is caused by wear from studded tires. The model should both provide a prediction of the wear resistance of the wearing course based on data regarding the type of wearing course, the properties of component materials, and a model of the rut profile based on data for type of road, amount traffic, etc. In the first stage, the model was limited to include wearing courses of type *ABT (dense-graded asphalt concrete)* and *ABS (stone matrix asphalt)*. However, these two types of wearing courses are by far the most common road surfaces on medium to high trafficked roads in Sweden.

During the following years the wear model has been validated and calibrated a couple of times. A new updated version of the model was developed during year 2006. In this latest version a few new road types have been added to the model, 2+1 roads and roads with extremely narrow lanes. In the new version it is also possible to use Prall data as input to the model. Prall data is the output from a laboratory wear testing device.

The model can be a helpful tool for the following tasks:

- Support for decisions based on technology and economics in the choice of wearing courses, quality requirements for aggregates etc. for individual projects.
- Assessing the technical/economic effects on road infrastructure depending on what strategy is selected regarding interventions.
- Calculation of service life until the next measure. Since the model is intended to be used to evaluate a roads service life up to maximum permitted rut depth, it could also serve as an aid for planning and assigning priority to different road surfacing measures.
- Planning and control of the lateral positioning of traffic. On road sections where traffic is confined to the ruts created by studded tires, it is possible to extend the

service life of pavements by moving the lane marking lines and thereby alter the lateral position of traffic.

- Calculation of the amount of wear from one vehicle with studded tyres every kilometre.
- Calculation of the amount of wear from 100 m of driving lane each year.
- Calculation of annual costs caused by wear from studded tires. By entering data for the price of materials, the model can assist in evaluating whether it pays to purchase and transport high quality stone material instead of using cheaper mineral aggregate available locally.
- A pedagogic tool to disseminate the knowledge about how various factors affect the magnitude of wear and its dispersal across the width of the traffic lane.

The prediction model consists mainly of three parts:

- One model that calculates the magnitude of wear per number of vehicles with studded tires.
- One model that calculates how the wear is distributed across the width of the driving lane (wear profile).
- One model that calculates, for example, annual costs based on materials used and estimated service life.

The partial model, which calculates the magnitude of wear per number of vehicles with studded tires, is based on a large amount of wear data from the last twenty years of research and development at VTI. Most of the data comes from pavement slabs that were placed both in existing pavements on high traffic roads and in VTI:s Road Simulator. The slabs represent different types of surfacing, a variety of aggregate properties, different aggregate sizes etc. The new part of the model is based on data from laboratory wear tests of cores from twin slabs that were tested in the Road Simulator.

In this document there is a broad overview of background data used for developing the different models and the different elements influencing the amount of wear according to results from the research at VTI. Elements like the quality of the aggregate, type of wearing course, type of binder, effects of mixing high quality with ordinary aggregate, shape of the aggregate, air void and the degree of compaction, the speed of the traffic, type of studs, wet and dry surface of the wearing course etc. Also different kinds of test methods and test equipments and correlation between different test methods are discussed.

1 Bakgrund

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 beläggningsslagers tillståndsförändring beroende av trafiken och tiden. Den prognosmodell som behandlas i denna dokumentation beskriver storleken av slitaget på slitlagerbeläggningar och den spårutveckling som fordon med dubbade däck orsakar. Det ursprungliga modellutvecklingsarbetet genomfördes under år 1997 inom ett tema som finansierats av dåvarande Kommunikationsforskningsberedningen (KFB). Modellen bygger på de resultat och de erfarenheter som erhållits under de senaste tjugo årens verksamhet på VTI med målsättningen att utveckla och värdera slitstyrkan hos slitlagerbeläggningar av asfalttyp. Detta utvecklingsarbete har gjorts på uppdrag av Vägverket, tidigare Svenska Kommunförbundet, enskilda kommuner samt svenska entreprenörer.

2 Målsättning

Målsättningen inom detta projekt har varit att utveckla en första version av en datoriserad prognosmodell för den del av spårdjupsutvecklingen som orsakas av slitage från dubbade däck. Modellen skall dels ge en prognos av en beläggnings slitstyrka utifrån uppgifter om beläggningstyp, ingående materials egenskaper, dels ge en prognos av spårprofilen utifrån data om vägtyp, trafikbelastning med mera. Modellen innefattar beläggningar av typ ABT och ABS. Den fungerar även för tunnskiktsbeläggning, TSK (TSK ingår i kategorin ABS-beläggningar i modellen). Modellen beskriver inte slitaget på en dränasfalt på ett relevant sätt. Dränerande beläggningar har vid slitagestudier i PVM (provvägsmaskinen) och fält, förutom renodlad avnötning, även erhållit stenlossning, vilket medfört ett accelererat slitage (spårbildning). Slitagemodellen är inte heller utprovad för ytbehandling. Om returafalt ingår i asfaltmassan måste detta beaktas, t.ex. kulkvarnsvärdet kan behöva korrigeras.

Under år 2006 har en ny version tagits fram. I den versionen har ytterligare några typsektioner lagts till, som 2+1 vägar och vägar med extremt smala körfält (t.ex. Essingeleden). Uppgiften om andelen lättviktsdubb har tagits bort eftersom i stort sett samtliga dubbdäck som används idag har lättviktsdubbar. Den största skillnaden är att det i den nya versionen är möjligt att ange Prallvärdet som alternativ till tidigare indata.

3 Förväntad nytta

Inom följande områden kan modellen användas:

- ett tekniskt/ekonomiskt beslutsstöd vid val av beläggningsåtgärd, krav på materialegenskaper med mera på enskilda objekt
- bedöma tekniska/ekonomiska effekter på vägnätsnivå beroende på vald åtgärdsstrategi
- beräkning av livslängd till nästa åtgärd. Eftersom modellen skall kunna användas för att bedöma livslängden, fram till största tillåtna spår djup, kommer den också att kunna tjäna som ett hjälpmedel vid planering och prioritering av beläggningsåtgärder
- planering och styrning av trafikens sidoläge. På vägavsnitt med spårbunden dubbdäckstrafik är det möjligt att förlänga ett slitlagers livslängd genom att flytta sidomarkeringslinjerna och därmed även flytta trafikens sidoläge
- beräkning av årskostnader orsakade av dubbslitaget. Genom att mata in uppgifter om 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.

4 Beskrivning av prognosmodellen

Prognosmodellen består huvudsakligen av tre delar:

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

4.1 Delmodell för prognos av slitagets storlek

Den delmodell som beräknar slitagets storlek per antal dubbade fordon bygger på en stor mängd slitagedata från de senaste tjugo årens forsknings- och utvecklingsarbete på VTI. Den största delen av data kommer från beläggningsplattor som dels lagts ut i befintliga slitlagerbeläggningar på högratikerade vägar, dels provats i VTI:s provvägsmaskin. Beläggningsplattorna representerar olika beläggningstyper, varierande stenmaterialegenskaper, olika stenstorlekar m.m. En närmare beskrivning av dataunderlaget återfinns i avsnittet "Bakgrundsdata".

I samtliga körningar i provvägsmaskinen har ABT16 med ett porfyrmaterial från en och samma täkt i Älvdalen utgjort referensbeläggning. Övriga beläggningsplattors slitage har därför relaterats till referensbeläggningen som har givits referensvärdet 1,0.

En databas byggdes upp innehållande samtliga beläggningsplattors beläggningsdata som, mot bakgrund av tidigare erfarenhet, kunde tänkas vara relevanta i sammanhanget. Följande beläggningsdata finns i databasen:

– Beläggningstyp (ABT, ABS)	– Stenmaterialtyp, resp. fraktion
– Bindemedelstyp	– Största stenstorlek
– Bindemedelshalt	– Korngradering
– Ev. fibertillsats	– Stenhalt
– Skrymdensitet	– Flisighetstal
– Kompaktdensitet	– Sprödhetstal
– Hålrums halt enl. Marshall	– Slipvärde
– Packningsgrad	– Kulkvarnsvärde

Slitagedata från körningar i provvägsmaskinen finns i form av tre uppmätta profillinjer per platta. Profilen har uppmätts före körningen (nollmätningen) och med jämna intervall under körningarna, vilket innebär profileringar efter 5 000, 15 000, 25 000, 45 000, 65 000, 85 000, 105 000, 125 000, 245 000 och 305 000 varv (slutmätning). Slitageprofilen beräknas genom att subtrahera profillinjerna från varje mättillfälle med nollprofilen innan körningen, varefter medelslitaget för respektive profillinje och beläggningsplatta beräknats.

På beläggningsplattor som placerats ut i befintlig slitlagerbeläggning på trafikerade vägar har en s.k. nollmätning gjorts på hösten innan dubbdäckssäsongen och en slutmätning vid slutet av dubbdäckssäsongen. Medelslitaget för respektive profillinje och beläggningsplatta har beräknats på samma sätt som i provvägsmaskinen. Antalet

dubbäcksförsedda fordon som passerat beläggningsplattorna har mätts och beräknats så att slitaget storlek kunnat relateras till antalet överfarter med dubbade däck.

Modellutvecklingen har baserats på stegvis multipel linjär regressionsanalys vilket är en metod som vanligtvis används för utveckling av modeller av detta slag. Den mjukvara som använts vid modellutvecklingsarbetet är SPSS 7.0 för Windows.

Efter en noggrann kontroll av samtliga datas relevans inleddes modellarbetet med en analys av korrelationskoefficienterna mellan det relativa slitaget och de variabler som kunde tänkas ingå i modellen.

Tabell 1 Korrelationskoefficienter.

	Hålrums- halt	Packnings- grad	Största sten- storlek	Kulkvarns- värde	Optimal stenhalt	Stenhalt > 4 mm	Stenhalt > 8 mm
Relativt slitage – alla	-0,035	-0,088	-0,458**	0,731**	-0,267*	-0,336**	-0,425**
Relativt slitage – alla ABT	-0,039	-0,034	-0,544**	0,823**	-0,585**	-0,528**	-0,578**
Relativt slitage – alla ABS	0,125	-0,221	-0,540**	0,730**	-0,013	-0,333**	-0,369**

* Korrelationen är signifikant på nivå 0,05 (2-tailed).

** Korrelationen är signifikant på nivå 0,01 (2-tailed).

Korrelationskoefficienten analyserades för tre olika fall – ABT och ABS gemensamt samt ABT respektive ABS individuellt.

Som framgår av korrelationskoefficienterna i ovanstående tabell är korrelationen generellt starkast mellan det relativa slitaget och den grova stenfraktionens kulkvarnsvärde, de olika måtten för halten grov sten samt största stenstorlek.

Anledningen till att korrelationskoefficienten är låg mellan relativt slitage och packningsgrad respektive hålrum är att variationen i packningsgrad och hålrum är liten i dessa laboratorietillverkade plattor där hålrumshalten och packningsgraden medvetet har lagts på en låg respektive hög nivå. Vid för låga packningsgrader har plattor underkänts och kasserats. Om större variation i hålrum och packningsgrad tillåtits hade med all sannolikhet dessa variabler visat en tydligare korrelation med slitaget. Låg (dålig) packningsgrad medför på sikt (på vägen) att egenskaper som åldringsresistens och beständighet markant kan försämrats.

Anledningen till att korrelationskoefficienten är relativt låg mellan relativt slitage och optimal stenhalt för ABS-beläggningsarna beror sannolikt också på att variationen mellan ABS-plattornas sammansättning är liten.

Regressionskvationen beräknades med hjälp av stegvis multipel linjär regressionsanalys med uttrycket för det relativa slitaget som beroende variabel. Beräkningarna genomfördes med några olika förutsättningar. Dels har en regressionskvation beräknats för både ABT och ABS samt respektive beläggningstyp för sig. Anledning till detta förfarande är att beläggningstyperna är relativt olika och det är därför inte givet att en och samma beräkningsmodell är tillräckligt bra för båda beläggningstyperna. Vidare har

regressionsanalysen gjorts med olika uttryck för stenhalt, nämligen optimal stenhalt (halten stenmaterial på sikten närmast under största nominella stenstorlek) samt halten sten >4 mm respektive >8 mm.

De beräknade korrelationskoefficienterna (R), förklaringsgraderna (R^2_{just}) samt regressionsekvationerna för de olika beräkningsalternativen redovisas i tabell 2.

Tabell 2 Korrelationskoefficienter, förklaringsgrader och regressionsekvationer.

optimal stenhalt	R	R^2_{just}	Regressionsekvation
ABT & ABS	0,85	0,71	$S=2,035+KV*0,144-MS*0,073-OPTH*0,0011$
ABT	0,93	0,84	$S=0,805+KV*0,161-OPTH*0,03+HM*0,316$
ABS	0,85	0,71	$S=1,547+KV*0,143-MS*0,087$
Stenhalt >4 resp. >8 mm			
ABT & ABS	0,86	0,73	$S=2,493+KV*0,144-MS*0,069-HALT4*0,017$
ABT	0,93	0,84	$S=2,179+KV*0,167-HALT4*0,047+HM*0,287$
ABS	0,85	0,71	$S=1,547+KV*0,143-MS*0,087$

S = beräknat relativt slitage (1,0 motsvarar HABT16 Älvdalsporfyr)

KV = kulkvarnsvärde

MS = största stenstorlek

$OPTH$ = andel sten i största stenfraktion (för HABS16 är det mängden 12–16 mm sten)

$HALT4$ = andel sten >4 mm

HM = hålrumshalt i vol-% enligt Marshall.

Kommentarer till tabell 2:

Av ekvationerna i tabell 2 kan noteras att hålrumshalten, HM , enligt modellen påverkar slitagets storlek endast i tät asfaltbetong, ABT.

I ABS-beläggningar är det kulkvarnsvärde och största stenstorlek som enligt modellen har det största inflytandet på slitagets storlek. Att andelen grov sten inte kommer med i ekvationen beror på att variationen i stenhalt inte är så stor mellan olika ABS-beläggningar.

I det fortsatta modellarbetet har för enkelhetens skull en och samma ekvation använts för ABT- och ABS-beläggningar. Vidare har optimal stenhalt använts för att beskriva halten grov sten i beläggningens sammansättning.

I den nya versionen av modellen kan även beläggningens Prallvärde användas som indata. Sambandet mellan Prallvärden och avnötning i provvägsmaskinen har använts för att beräkna slitagets storlek. Sambandets förklaringsgrad och regressionsekvation är följande:

Förklaringsgrad $r^2 = 0,75$

Ekvation Rel. slitage = $0,32 + 0,04 * \text{Prallvärdet}$

4.2 Delmodell för fördelning av slitaget i tvärled

Slitagets fördelning över körfältets bredd utgör en mycket viktig information för att modellen skall kunna beräkna ett slitlagers livslängd eftersom det är spårdjupets storlek som är avgörande för när en underhållsåtgärd måste vidtagas. Fördelningsmodellen bygger på trafikens (personbilar) sidolägesfördelning som enligt mätningar genomförda av VTI är relativt nära normalfördelad. Standardavvikelsen i sidolägesfördelningen varierar normalt mellan 0,20 till 0,45 m beroende på vägens typsektion. På vägar med extra breda körfält och vägar med vägren ligger sidofördelningens standardavvikelse upp mot 0,45 m. På vägar med smala körfält och på motorvägar och trafikleder med flera körfält i varje körriktning är standardavvikelsen närmare 0,25 och ner mot 0,20 på extremt högtrafikerade vägar.

Fördelningsmodellen bygger på en vänd, något modifierad normal fördelningskurva som tagits fram genom jämförelser med uppmätta slitageprofiler från ett stort antal vägar och som visar sig ha god överensstämmelse med verkligheten. Modellen är utvecklad i Excel där körfältets hela profil ritats upp med bland annat sidolägesfördelningens standardavvikelse som indata. Indata som beskriver slitagets storlek hämtas från den första delmodellen.

5 Datorbaserad sammansatt modell

5.1 Indata

De tre delmodellerna har sammanförts i en datorversion för beräkning av spår djup, livslängd och årskostnad. Samtliga beräkningar bygger enbart på dubb slitageutvecklingen och tar således inte hänsyn till spårbildning som kan ha andra orsaker. Den datoriserade versionen har skapats i Microsoft Excel eftersom detta är en enkel miljö för att testa och vidareutveckla modellen. Den datoriserade modellversionen består i huvudsak av tre block med indata och ett diagram som visar den beräknade spårprofilen.

I det första blocket efterfrågas trafikrelaterade indata som påverkar slitagetets storlek.

Del 1:

Prognosmodell för beläggningsslitage

Indata - gula fält



Rubrik i diagram: E4, Värnamo
Underrubrik i diagram: Kvalitetssten (porfyr)

Version 3.2.03
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 spår djup:	17	mm
Uppskattat övrigt spår djup:	4	mm
Tillgängligt slitage-spår djup:	13	mm

Rubriker

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

Typsektioner

Först i detta block beskrivs den aktuella vägens typsektion. Det finns åtta 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 t.o.m. 5 har validerats och kalibrerats mot sidolägesmätningar medan typsektionerna 6 t.o.m. 8 tills vidare bygger på bedömningar.

I modellen beskrivs respektive typsektion genom en modifierad normalfördelning och standardavvikelsen för personbilarnas sidolägesfördelning (spårbundenhet).

Följande standardavvikelser har använts för att beskriva sidolägesfördelningen:

Typ	Körfältsbredd m	Std.avv mm
1	7	250
2	9	300
3	13	450
4	breda körfält	500
5	motorväg	250
6	Tunnlar	225
7	2+1 vägar	200
8	Extremt smala körfält	180

De körfält som typ 7 (2+1) avser är körriktningen med två körfält. Om enkelkörfältet (2+1) skall beräknas kan typ 6 användas.

Tillåten hastighet

Den tillåtna hastigheten anges i form av fyra hastigheter. Följande relationer har använts:

Hastighet, km/h	Slitagefaktor
50	0,65
70	0,90
90	1,20
110	1,50

Ovanstående slitagefaktorer härrör från studier av plattor i fält och i PVM.

ÅDT i körfält

Vidare anges ÅDT, fordon <3,5 ton, för det körfält som prognosen avser.

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

Därefter anges dubbanvändningen i procent i form av ett medelvärde under den angivna slitageperioden. Denna information är av lätt förstådda skäl mycket avgörande för modellens prognos. Det är därför viktigt att indata är relevant.

Saltad väg

Avgörande för slitagets storlek är också om vägen saltas eller ej vintertid. Denna fråga besvaras med Ja eller Nej. Data som beskriver skillnaden i slitage mellan saltad och osaltad väg har inte funnits tillgänglig varför modellen tills vidare använder den korrektionsfaktor som anges i VÄG-94. Försök i PVM har dock visat att en fuktig väg bana slits mer än en torr (saltade vägar är fuktigare än osaltade).

Antal beräkningsår

Vidare anges hur många år eller vintersäsonger som beräkningen eller prognosen skall omfatta. Denna uppgift används endast i diagrammet som visar spårprofilen.

Tillåtet spårdjup

Tillåtet spårdjup är det spårdjup som Vägverkets anvisningar för största tillåtna spårdjup anger för aktuell vägtyp.

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 slitagespårdjup

Uppskattat övrigt spårdjup subtraheras från maximalt tillåtet spårdjup erhålls det spårdjup som orsakas av slitage från dubbade fordon. Det tillgängliga slitagespårdjupet 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.

Det andra indatablocket utgörs av indata som beskriver beläggningsens slitageegenskaper och ser ut enligt följande:

Del 2:

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 75 vikt-%. 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 är det en risk att modellen ger fel prognos.

Prallvärde

Beläggningsens slitageresistens kan också anges i form av ett Prallvärde som erhålls genom laboratorieprovning på laboratorietillverkade beläggningsprover eller borrprov från färdig beläggning efter 950 varv enligt metodbeskrivning. Modellen är giltig för Prallvärden 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/Pris för slitlagerbeläggningen

Här anges kostnaden/priset för färdig beläggning i kr/m². I modellen beräknas beläggningens årskostnad genom att beläggningens kostnad 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.

Det tredje indatablocket utgör grunden för den ekonomiska värderingen av beläggningsåtgärden, fortfarande enbart ur dubbslitagesynpunkt:

Del 3:

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 dyl):	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

Genom att mata in stenmaterialsammansättningen och genom att ange respektive fraktions procentuella andel och pris i kronor per ton levererat till asfaltverk beräknas den totala stenmaterialkostnaden.

Till detta läggs kostnaden för bitumen, ev. tillsatser, tillverkningskostnaden vid verket, etableringskostnad, transportkostnad, utläggningkostnad och ev. övriga kostnader tillsammans med beläggningens mängd i kg/m². Med hjälp av dessa data erhålls en total produktionskostnad i kronor per kvadratmeter.

Produktionskostnaden divideras sedan med den av prognosmodellen beräknade livslängden och en årskostnad i kronor per kvadratmeter erhålls. Även om livslängden, enbart ur slitagesynpunkt, kan bli mer än 20 år har livslängdsgränsen satts till 20 år i modellen eftersom det vid den tidpunkten sannolikt krävs en åtgärd av annan anledning än spårslitage. I nuläget tar inte årskostnadsberäkningen hänsyn till räntor. Detta är dock fullt möjligt att tillägga. Årskostnaden är inte beräknad med kalkylränta.

6 Numerisk resultatredovisning

6.1 Prognos beräknad efter stenhalt >4 mm, största stenstorlek och Kulkvarnsvärde

Resultat enligt avnöttningsmodell

Indata:

vti

Version 3.2.03
oktober 2006

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 spårdjup:	17	mm
Uppskattat övrigt spårdjup:	4	mm
Tillgängligt slitage-spårdjup:	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. I modellen har hänsyn tagits till initialslitage (en högre avnötning har satts för de 300 000 första dubbade fordonen, dvs. den uppskattade tid bruket slits bort och stentopparna rundas av).

Medelavnötning per år

Här redovisas medelavnötningen över hela körfältets bredd.

Livslängd

Här redovisas den beräknade livslängden utifrån spårtillväxten varje år och tillåtet, alternativt tillgängligt, slitagespårdjup. 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 beläggnings 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:

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

*Antal dubbade fordon = antal personbilar * dubbfrekvens * antal mätdygn*

Körfältsbredden är i detta sammanhang låst till 3,5 m utifrån valideringsmätningarna. SPS-talen är i modellen korrigerade för hastigheten, vilket inte framgår av ekvationen ovan.

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 partikelmängder.

6.2 Prognos beräknad efter Prallvärdet

Resultatet redovisas numeriskt på samma sätt som tidigare beskrivits.

Resultat enligt Prall

Indata

vti
Version 3.2.03
oktober 2006

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 spårdjup:	17 mm
Uppskattat övrigt spårdjup:	4 mm
Tillgängligt slitage-spårdjup:	13 mm
Prallvärde (950 varv):	15 cm ³

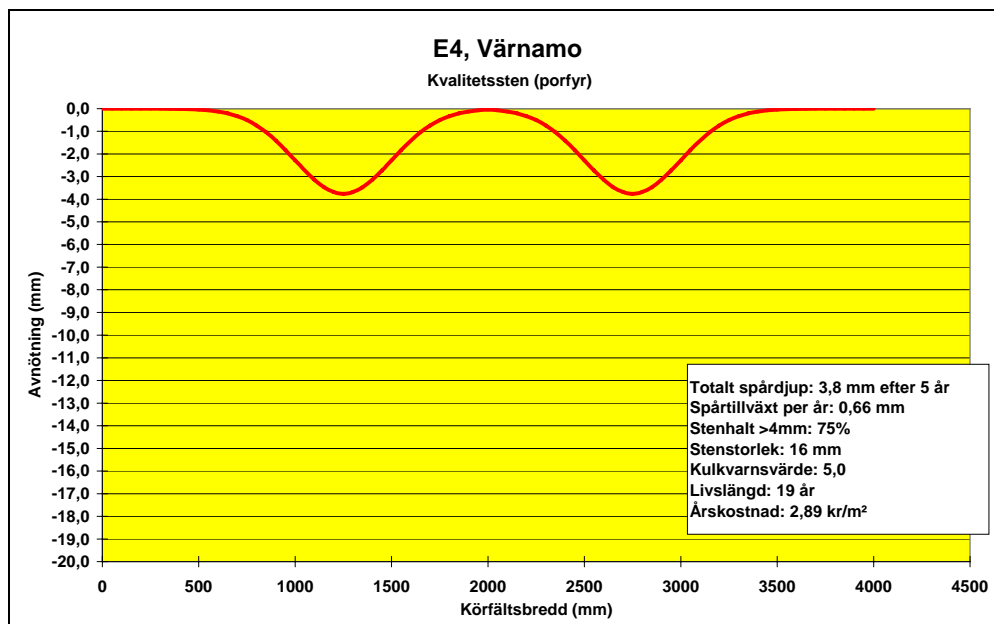
Resultat:

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

7 Grafisk resultatredovisning

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

Slitageprofilen

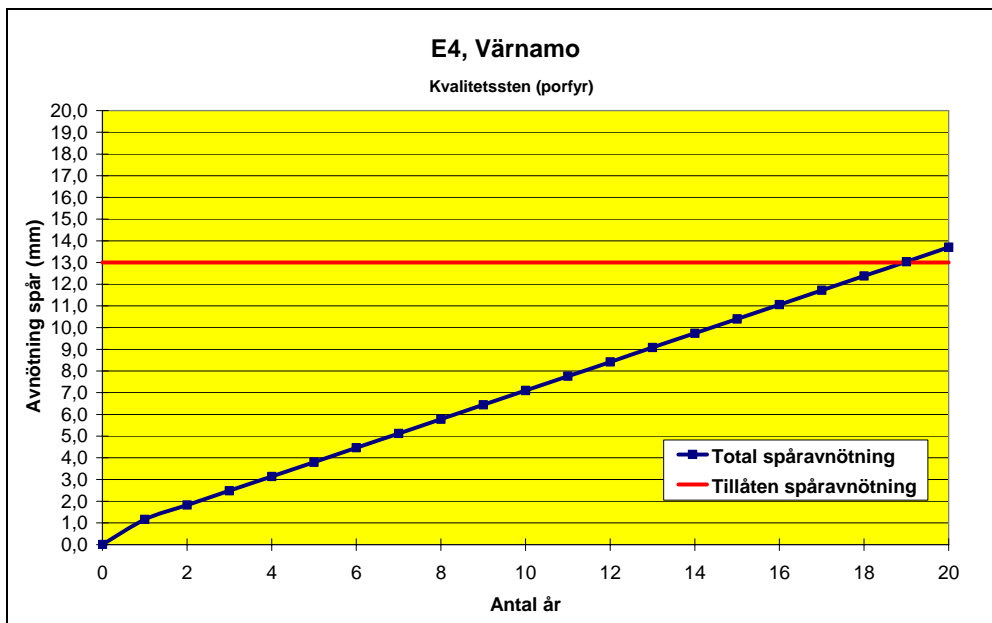


Grafisk redovisning av den spårprofil som slitaget orsakar. Modellen visar spårprofilen efter det antal år som angavs som indata. I detta fall var det 5 år. Det finns även en ruta med de viktigaste indata och resultaten.

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

Motsvarande redovisning finns också för beräkning med hjälp av Prallvärdet.

Slitagespårets tillväxt



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

I det nedre vänstra hörnet i diagrammet syns effekten av initialslitage.

8 Validering av modellen

Under vintern 1996/1997 genomfördes den första valideringen av modellen mot ett 15-tal kontrollsträckor med varierande beläggning. Alla data som utgör indata till modellen finns insamlade och slitagemätningarna har gjorts på 1–6 år gamla beläggningar med varierande beläggningstyp, vägkategori och hastighet. De utvalda beläggningarnas egenskaper varierade också med avseende på beläggningstyp, största stenstorlek och kulkvarnsvärde. Beläggningarna ligger i Halland, Bohuslän, Västergötland, Östergötland och Södermanland.

Ytterligare valideringar genomfördes år 1999/2000 och 2004/2005. Resultaten från valideringarna finns redovisade i VTI notat 8-2000 (där redovisas bl.a. slitagefaktorer som beskriver hur mycket varje fordon sliter i mm av vägbanan) och VTI notat 36-2005.

9 Bakgrundsdata

Kartläggningen och kvantifieringen av de parametrar som inverkar på beläggnings (asfaltmaterialet) förmåga att motstå dubbslitage har hämtats från provplattor testade i provvägsmaskinen eller på vägen. Det handlar främst om parametrar av materialteknisk karaktär men även utförandekvalitet, trafik- och klimatinverkan har kunnat studeras genom denna teknik. Följande faktorer har studerats och inom parentes framgår betydelsen för dubbslitaget:

Materialtekniska faktorer

- stenmaterialkvalitet (mycket stor)
- stenhalt (mycket stor)
- största stenstorlek (stor)
- bindemedelstyp (mindre, kan ha betydelse för ABT)
- massatyp (stor mycket stor).

Produktionsbetingade faktorer

- krossningsproceduren – kubisering (ibland stor)
- packningsgrad – hålrum (ibland stor).

Yttre faktorer

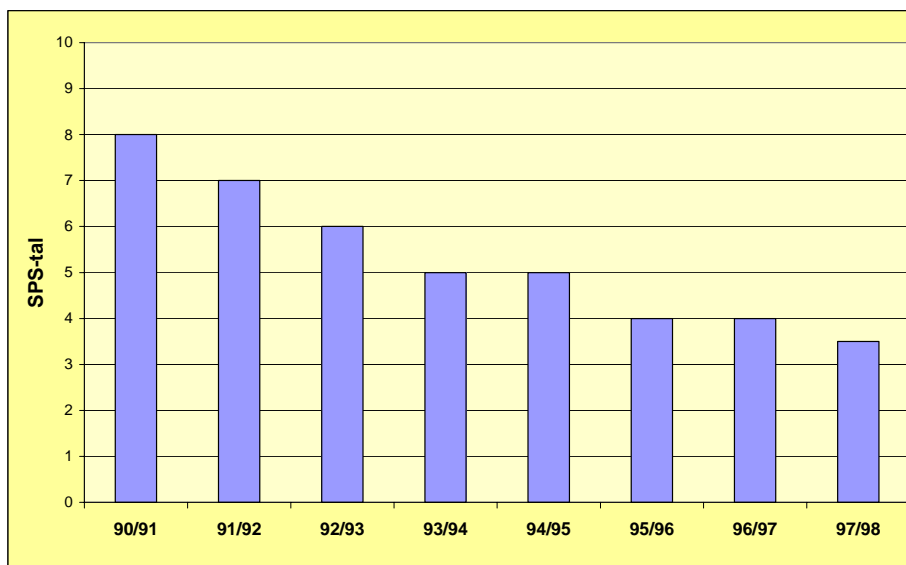
- hastighet (stor)
- typ av dubbar, dubbkraft (stor)
- klimat (mindre, lokalt kan den vara stor)
- fukt (kan vara stor).

Förutom dessa faktorer påverkas dubbslitagets storlek av trafikmängden, andelen dubbade fordon, trafikens sidolägesfördelning, våt-torr eller snö-isbelagd vägbana. Ett stort antal rapporter, meddelande, notat och särtryck finns publicerade från senare år och titlar och nummer från ett urval av dessa framgår av litteraturlistan. I följande avsnitt ges en sammanställning över provningsmetodik, provmaterial (typ av beläggningar och stenmaterial), inverkan faktorer och korrelationer mellan materialparametrar, metoder och vägsitage, dvs. mycket av det material som ligger till grund för modellen.

9.1 Fullskaliga provvägar

VTI har sedan lång tid studerat dubbslitaget genom fullskaliga provvägar. Syftet har oftast varit att utvärdera olika beläggningstyper och försöken har bedrivits i samarbete med entreprenörer och Vägverket. På så sätt har ett förhållandevis stort antal provsträckor följts upp under lång tid och ett digert material med slitagedata har erhållits från ett 10 provvägar under 1990-talet.

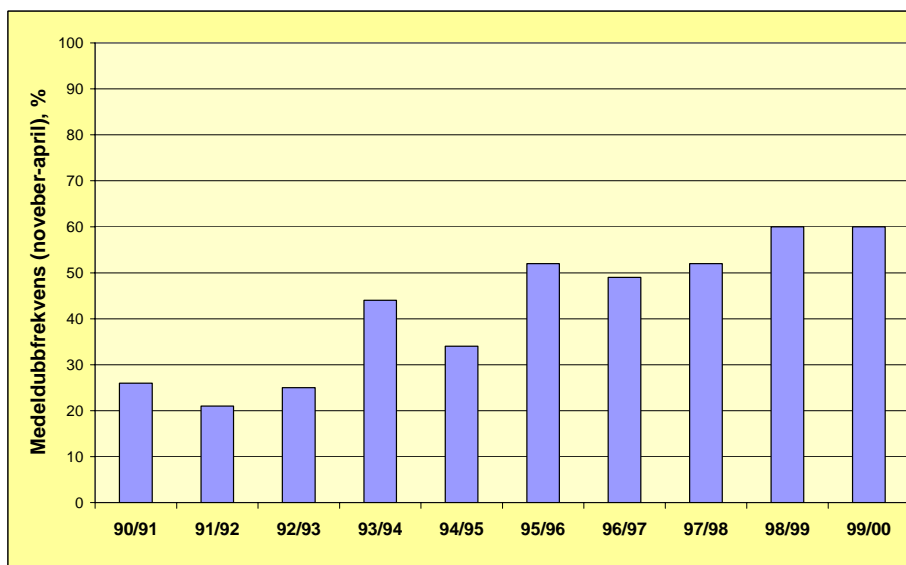
VTI:s årliga uppföljningar av provvägar och kontrollsträckor från 1990-talet visade att det relativa beläggningsslitaget (slitaget i gram per dubbat fordon, SPS-talet) från dubbade fordon successivt minskade under denna tid. Orsaken var dels att skelettasfalt med slitstark specialsten började användas på det högtrafikerade vägnätet, dels att de äldre ståldubbade däck ersattes med mer skonsamma däck med lättviktsdubbar. Effekterna av lättviktsdubbens införande framgår av *figur 1*. Det minskade spårslitaget innebar i många fall flerdubblad livslängd för slitlagerbelägningarna.



Figur 1 Utvecklingen av relativa slitaget på en skelettasfalt med kvartsit i Göteborg (E6) under 1990-talet.

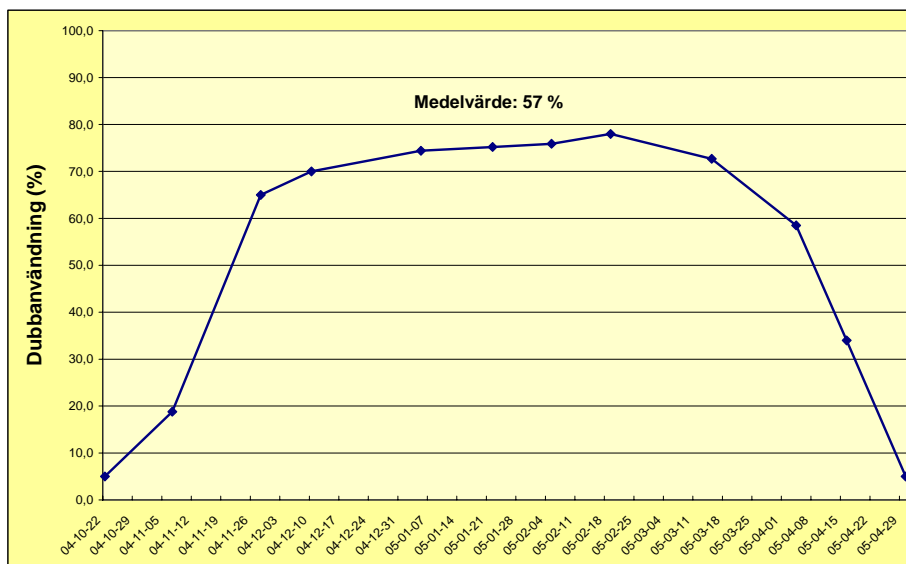
9.2 Dubbanvändning

Dubbanvändningen kan variera mellan vintrarna och även under vinterhalvåret. I *figur 2* ges ett exempel från Göteborg på hur dubbanvändningen utvecklades under 1990-talet. I *figur 3* redovisas dubbanvändningen i Stockholmsområdet vinter 2004/2005.



Figur 2 Andelen fordon med dubbade däck i Göteborgsområdet 1990–2000. Värdena avser dubbfrekvensen under november–april.

En korrekt dubbfrekvensmätning måste omfatta mätningar minst varannan vecka under vintern, speciellt under november/december och mars/april, om medeldubbfrekvensen skall kunna beräknas, vilket är nödvändigt för mer exakta studier. Cirka 200 fordon bör kontrolleras vid varje mätning



Figur 3 Andelen fordon med dubbade däck i Stockholm vintern 2004/2005. Medelvärde avser dubbfrekvensen under november–april.

9.3 Tillverkning av plattor

Efter proportionering enligt VÄG 94 tillverkades asfaltmassorna i en laboratorieblandare, typ tvångsblandare, fabrikat Kalottikone Kalm-50. Satsstorleken varierade mellan ca 9–18 kg beroende på beläggningstyp. Till varje provplatta behövdes ca 36 kg. Uppdelningen på mindre satser syftar till att minimera risken för separationer och inhomogen blandning, vilket lätt blir fallet om alltför stora satser hanteras. För att i möjligaste mån förhindra separation vid tömningen och fördelningen av massan i vältformen delades formen upp i flera fack med hjälp av ett löst plåtkors. En sats massa hålls i varje fack och fördelas ut inom facket. Vältformen har formatet 95*75 cm. Asfaltmassan vältades med en "gångbanevält", DYNAPAC CG11, på ca 1 700 kg med vibro och enligt ett förutbestämt vältschema. Plattan delades sedan till provningsformatet 47,5*75 cm. Tjockleken var 40 mm.

Plattornas skrymdensitet undersöktes genom vägning i luft och under vatten. Kompakt-densiteten beräknades utifrån blandningsrecepten och de ingående materialens kompakt-densitet. Kravet på packningsgrad, som är förhållandet mellan skrymdensiteten hos plattor och laboratoriepackade prov, har varit minst 97 % och har i de flesta fall uppnåtts.

9.4 Utläggning av plattor på vägen

Provplattorna har lagts ut på mer eller mindre högtrafikerade vägar med nytt slitlager. Det handlar om olika kategorier vägar med varierande hastighet. Innan provplattorna läggs ut mäts personbilarnas sidoläge på körbanan med hjälp av mätkablar. Utläggningen av provplattor går till enligt följande:

Med en fräsmaskin fräses ett 50 cm brett och 5 cm djupt spår. Efter noggrann justering av spårets botten och sågning av ändkanterna fixeras plattorna i nivå med omgivande beläggning. Plattorna gjuts fast med en cementplast. Fogarna mellan plattorna och angränsande beläggning tätas med en fogmassa.

I samband med plattornas "inplantering" i vägen monteras fixar för sex mätlinjer per platta i den intilliggande beläggningsytan. Fixarna som gjuts fast i beläggningsytan, ca 20 mm under beläggningsytan, består av mässingshylsor med plan botten som utgör referens för mätbalkens stödben. För att kunna jämföra slitaget på plattorna med slitaget på den befintliga slitlagerbeläggningsytan monteras även fixar för slitagemätningar direkt efter sista plattan i respektive provserie. För att kontrollera den dubbade trafikens placering och fördelning i vägens sidled förlängs den sista mätlinjen så att den omfattar hela körfältsbredden.

9.5 Slitagemätning – laserprofilometer

Dubbavnötningen har mätts med VTI:s laserprofilometer som är ett mätinstrument med god precision framtaget för noggranna profilmätningar. Vid mätningen placeras instrumentets ben i de fixar som gjutits in i beläggningsytan, *figur 4*. Mättekniken bygger på kontaktlös avståndsmätning mellan profilometern och vägytan. Slitaget (dubbavnötningen) beräknas ur skillnaden mellan nollmätningen och slutmätningen som görs på hösten respektive våren strax före och efter dubbssäsongen. Mätutrustningen har en precision på 0,01 mm.

Slitaget redovisas antingen som medelavnötningen (mm) tvärs provplattan eller maximala spårdjupet (mm) som beräknas från de punkter i respektive mätlinje som uppvisar det största slitaget. På varje platta finns 6 mätlinjer utplacerade.



Figur 4 VTI:s laserprofilometer för avnötningmätning.

9.6 VTI:s provvägsmaskin – allmän beskrivning

Provvägsmaskinen är en utrustning för accelererad provning av beläggningsresistens mot dubbade däck, se *figur 5*. Banans diameter är 5,25 m vilket ger en medellängd per

varv av 16,5 m. Provbanan rymmer sammanlagt 28 plattor, varav ett par alltid utgör referensprov. Hastigheten, klimatet, typ av dubbar är exempel på möjliga variabler i maskinen. Normalt har testerna gjorts vid 85 km/tim på fuktig bana och omkring noll grader men andra provningsbetingelser har också förekommit, t.ex. 60 km/tim, torr/våt bana och ståldubb/lättviktsdubb.

En körning omfattar drygt 300 000 varv, vilket i spår djup ungefär motsvarar två års slitage för högtrafikerade motorvägar i Stockholmstrakten (beror naturligtvis på antalet dubbade fordon). Slitaget i maskinen har visat ett mycket bra samband med slitaget på vägen och även bra repeterbarhet, vilket är viktigt vid jämförande studier. Avnötningen (tvärprofilen) mäts med laserprofilometern.



Figur 5 Provvägsmaskinen med laserprofilometern.

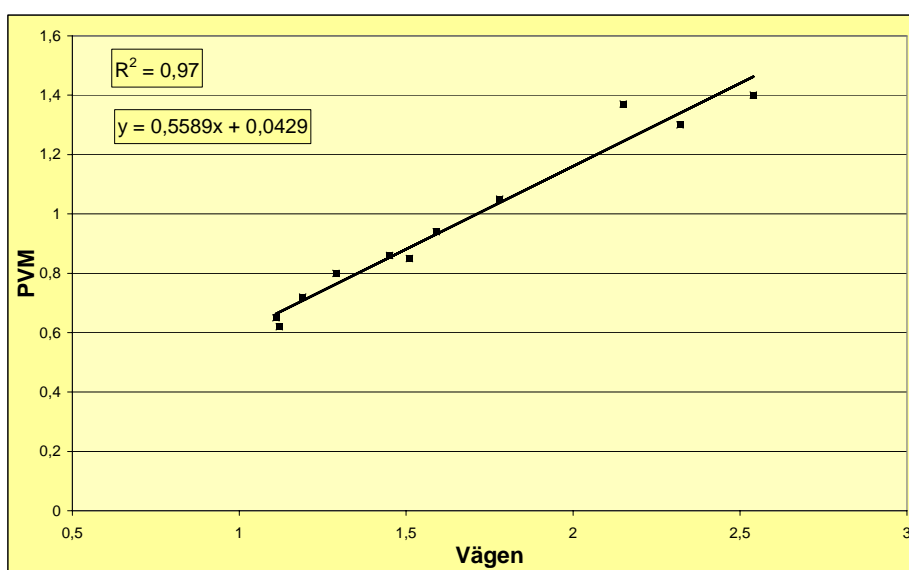
9.7 Samband mellan slitage i provvägsmaskinen (PVM) och slitage på vägen

En av målsättningarna med de inledande undersökningarna i PVM var att så långt som möjligt anpassa provningsproceduren till så verklighetsnära betingelser som möjligt, bl.a. i fråga om hastighet, däck, dubbtyp, temperatur och fukt. I *tabell 3* redovisas korrelationen mellan slitaget uppmätt i fält på provplattor (medelvärden från 10 olika vägobjekt) och resultaten från PVM. I *figur 6* redovisas korrelationen från en undersökning mellan plattor testade i fält och PVM. Sambandet har analyserats genom bestämning av regressionsekvationen (linjär) och korrelationskoefficienten, R och förklaringsgraden R^2 .

Ett mycket bra samband erhålls mellan beläggingsplattorna testade i PVM och i fält. Redan efter 45 000 varv är förklaringsgraden hög, $R^2 > 0,93$, och ökar ytterligare något efter 125 000–305 000 varv, $R^2 > 0,95$. Efter första vintern är korrelationen något lägre men det beror sannolikt på effekter av slitaget initialt innan provplattorna slitits in ordentligt. Undersökningarna omfattar beläggningstyperna ABT12–20 och ABS 8–20 mm.

Tabell 3 Förklaringsgraden, R^2 , mellan provplattor i PVM och vägen.

Antal varv	Plattor från 1988-års program		Plattor från 1990-års program	
	År 1	År 3	År 1	År 2
45 000	0,824	0,933	0,941	0,953
125 000	0,868	0,955	0,912	0,966
245 000	0,873	0,957	0,895	0,961
305 000	0,875	0,957	0,890	0,958

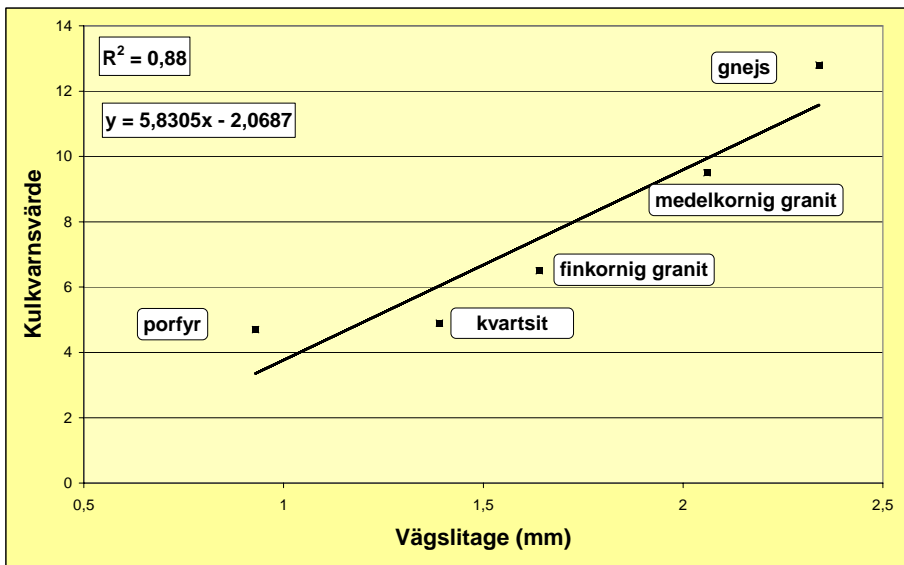


Figur 6 Förklaringsgraden, R^2 , (exempel) mellan plattor mätta i fält och i PVM.

9.8 Nötningsmetoder – Kulkvarn/Slipvärde/Prall

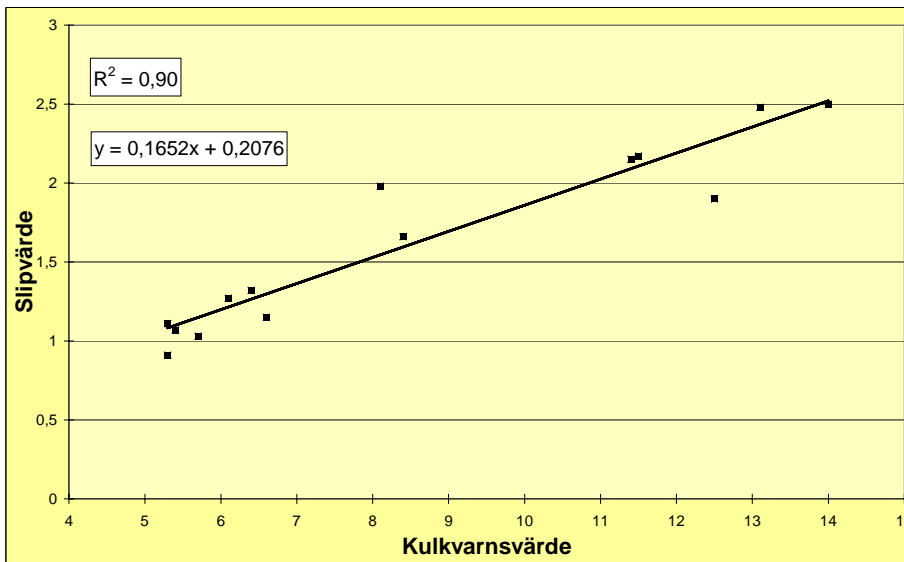
Tidigt fokuserades intresset till stenmaterialets kvalitet och provningsmetoder togs fram. Slipvärdet och senare kulkvarnsvärdet är exempel på normerade metoder för stenmaterialets slitstyrka. Kulkvarnsmetoden har också varit en nordisk metod på senare år och även föreslagits som Europametod i den pågående harmoniseringen av standarder inom Europa. I *figur 7* redovisas korrelationen mellan slitaget uppmätt i fält på provplattor och resultat från kulkvarnsvärde och i *figur 8* framgår korrelationen mellan slipvärde och kulkvarnsvärde. I *figur 9* redovisas korrelationen mellan Prallvärde och PVM.

Korrelation kulkvarnsvärde – vägslitage



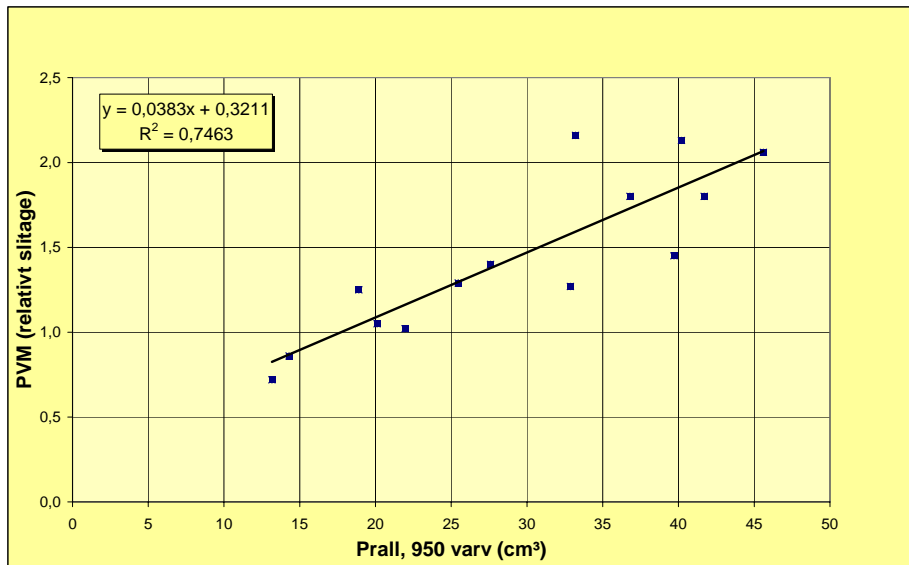
Figur 7 Förklaringsgrad, R^2 , och regressionsekvation mellan kulkvarnsvärde och vägslitage. Stenhalten var konstant mellan provbelägningarna.

Korrelation kulkvarnsvärde – slipvärde



Figur 8 Förklaringsgrad, R^2 , och regressionsekvation mellan kulkvarnsvärde och slipvärde.

Korrelation Prall – vägslitage



Figur 9 Förklaringsgrad, R^2 , och regressionsekvation mellan Prallvärde och PVM. I diagrammet har endast beläggningstyper med relativa slitaget <2,5 enligt test i PVM tagits med. Korrelation blir högre om endast slitstarka beläggningar tas med.

9.9 Beläggningstyper och stenmaterial

Det är viktigt att komma ihåg att datamaterialet till modellen är hämtat från en rad olika undersökningar (uppdrag) med varierande syfte och önskemål varför antalet beläggningstyper och stenmaterial inte är heltäckande för samtliga variabler. Antalet beläggningstyper med största stenstorleken 8 och 20 mm är exempelvis begränsat. När det handlar om specialsten, typ porfyr eller kvartsit, ingår de i de grövre stenmaterialfraktionerna, >4 (vanligaste) eller >8 mm. Finandelen och fillret utgörs av lokala material. I stenrik asfaltbetong ingår också vanligen cellulosafiber, i några fall dock mineralfiber.

Beläggningstyper

- ABS8, ABS11, ABS16, ABS20
- ABT11, ABT16, ABT20.

Stenmaterial

- högkvalitativa material, typ porfyr, kvartsit, leptit
- ortens material, typ glimmerrik gnejs, diabas, granit, gnejs, gnejsgranit.

Bindemedel

- konventionella, typ B85 (70/100), B180 (160/220)
- modifierade, typ Bitulastic, Caribit, Nelastic, olika varianter av PMB20, Polybilt, Styrelf.

I tabell 4 framgår hur fördelningen är mellan beläggningstyper, stenmaterial och största stenstorleken.

Tabell 4 Förteckning över de beläggningstyper som utgör underlag till slitagemodellen.

Stenmaterial	ABT11	ABT16	ABT22	ABS8	ABS11	ABS16	ABS22
Högkvalitativa mtrl	4	7	2	7	11	20	1
Ortens mtrl	4	5	–	2	8	8	1
Högkvalitativa mtrl:							
Porfyr, Älvdalen	X	X	X	X	X	X	X
Porfyr, Adelöv	–	–	–	X	–	X	–
Kvartsit, Råsjö	X	X	–	X	X	X	–
Kvartsit, Dalbo	–	–	–	–	X	X	–
Kvartsit, Kärr	X	X	–	X	X	X	–
Kvartsit, Järpås	–	–	–	–	X	X	–
Leptit, X-100	X	X	–	X	X	X	–
Ortens material:							
Diabas, Fors.	X	X	–	X	X	X	–
Naturgrus, Bål.	–	–	–	–	–	X	–
Granit, Skärl.	X	X	–	–	–	X	–
Granit, Styv.	X	X	–	–	–	X	–
Gnejs, Rutvik	X	X	–	–	–	–	–
Gnejs, Hällevadsh.	–	–	–	–	X	–	–
Gnejsgranit, Porsen	–	–	–	–	X	–	–
Leptit, Bollsby	–	–	–	X	X	–	–
Gnejs, Järpås	–	–	–	–	X	–	–
Gnejsgranit, Borås	–	–	–	–	X	–	–
Gnejs, Källered	–	–	–	–	X	–	–
Gnejsgranit, Karls.	–	–	–	–	X	–	–

Porfyreerna från Älvdalen utgörs av naturgrus. Kvartsiterna och leptiten är bergkross. Samtliga ortens material utgörs av bergkross utom naturgrus från Bålsta. I några fall har materialen kubiserats genom centrifugalkrossning.

Stenmaterialkvalitet

Det grövre stenmaterialalets kvalitet framgår av *tabell 5, tabell 6, tabell 7 och figur 10.*

Tabell 5 Stenmaterialkvalitet, högkvalitativa material.

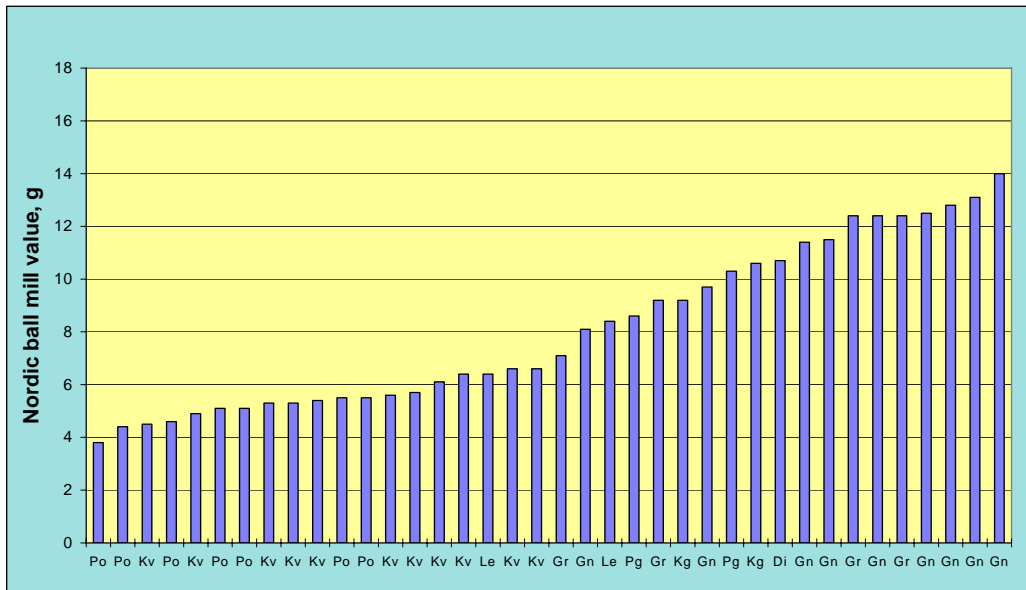
Stenmaterial	Komp.dens	Flisighet	Sprödhet	Slipvärde	Kulkvarn
Porfyr, Älvdalen	2,61	1,36	37	1,29	5,1
Porfyr, Älvdalen	2,63	1,32	43	1,34	5,5
Porfyr, Älvdalen	2,63	1,32	35	1,25	4,4
Porfyr, Älvdalen	2,61	1,31	34	1,43	4,6
Porfyr, Adelöv, kub	2,65	1,34	35	1,01	3,8
Porfyr, Adelöv, ej kub	2,65	1,44	49	1,19	5,5
Kvartsit, Råsjö	2,64	1,33	43	1,07	4,5
Kvartsit, Råsjö	2,64	1,24	44	1,14	4,9
Kvartsit, Kärr	2,62	1,37	44	1,47	6,6
Kvartsit, Kärr	2,63	1,36	43	1,27	6,1
Kvartsit, Kärr	2,62	1,36	42	1,32	6,4
Kvartsit, Järpås	2,62	1,29	34	0,91	5,3
Kvartsit, Råsjö	2,65	1,37	46	1,15	6,6
Kvartsit, Råsjö	2,65	1,36	47	1,07	5,4
Kvartsit, Kärr	2,63	1,32	37	1,11	5,3
Kvartsit, Dalbo	2,64	1,38	47	1,03	5,7
Leptit, X-100	2,72	1,41	34	1,54	6,4

Tabell 6 Stenmaterialkvalitet, ortens material.

Stenmaterial	Komp.dens	Flisighet	Sprödhet	Slipvärde	Kulkvarn
Diabas, Forserum	2,88	1,44	39	2,17	10,7
Granit, Skärlunda	2,64	1,34	34	1,86	7,1
Granit, Styvinge	2,74	1,30	48	2,13	9,2
Granit, Styvinge	2,70	1,32	42	1,85	12,4
Naturgrus, Bålsta, kub	2,69	1,40	40	1,92	9,7
Naturgrus, Bålsta, ej kub	2,68	1,50	54	2,03	12,4
Gnejs, Rutvik	2,72	1,35	40	2,41	12,8
Gnejs, Hällevadsholm	2,67	1,34	43	2,17	11,5
Gnejsgranit, Porsen	2,71	1,33	44	2,15	11,4
Leptit, Bollsby	2,66	1,31	37	1,66	8,4
Gnejs, Järpås	2,68	1,36	44	2,48	13,1
Gnejsgranit, Borås	2,67	1,25	42	2,50	14,0
Gnejs, Kålleröd	2,78	1,29	33	1,90	12,5
Gnejsgranit, Karlstad	2,68	1,32	43	1,98	8,1

Tabell 7 Stenmaterialkvalitet, blandningar mellan bra och ortens material.

Stenmaterial	Slipvärde	Kulkvarn	Mod. slipvärde
100 % granit, Styvinge	1,75	12,4	–
70 % granit, Styv.+30 % kvartsit, Råsjö	1,35	10,6	1,50
50 % granit Styv.+50 % kvartsit, Råsjö	1,24	9,2	1,34
100 % kvartsit, Råsjö	0,92	5,6	–
70 % granit Styv.+30 % porfyr, Älvdalen	1,44	10,3	1,56
50 % granit Styv.+50 % porfyr, Älvdalen	1,42	8,6	1,44
100 % porfyr, Älvdalen	1,12	5,1	–

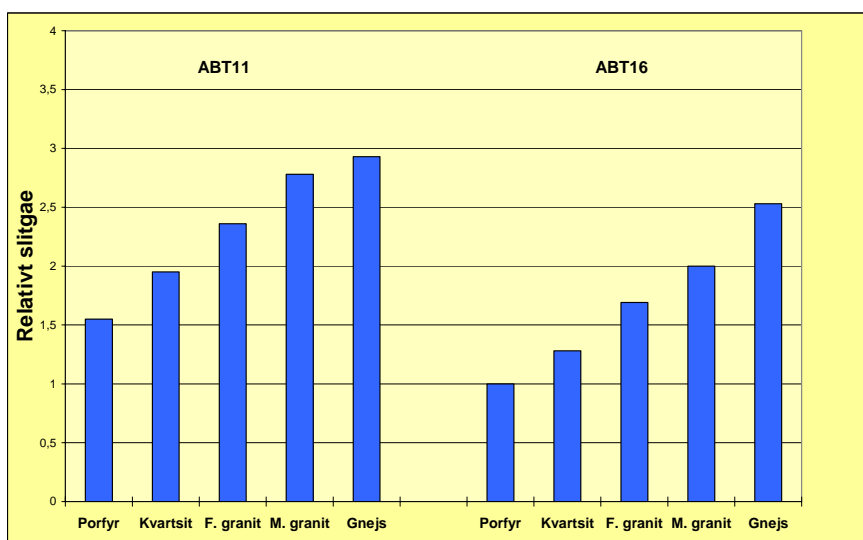


Figur 10 Sammanställning över kulkvarnsvärden.

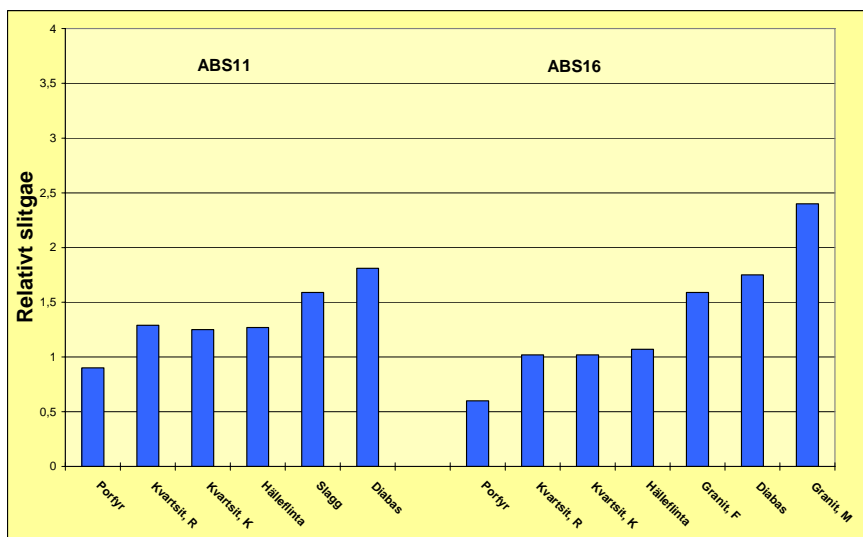
10 Inverkande faktorer

10.1 Inverkan av stenmaterialkvalitet

Ett flertal undersökningar har behandlat stenmaterialets kvalitet (främst slitstyrkan) och hur det påverkar slitageegenskaperna hos asfaltbeläggningsen. En översikt ges i *figurerna 11 och 12*. Skillnaden mellan de bästa och sämsta stenmaterialen kan vara en faktor 4 om beläggningstyp och största stenstorlek är densamma (gäller ABS16). De stenmaterial som ingår är normala ballastmaterial till asfalttillverkning.



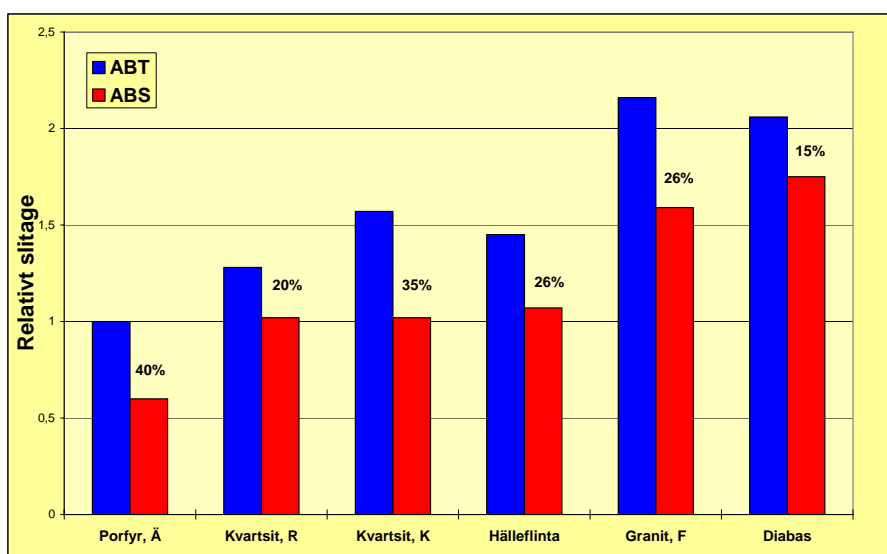
Figur 11 Inverkan av stenmaterialkvalitet. ABT11 och ABT16 mm.



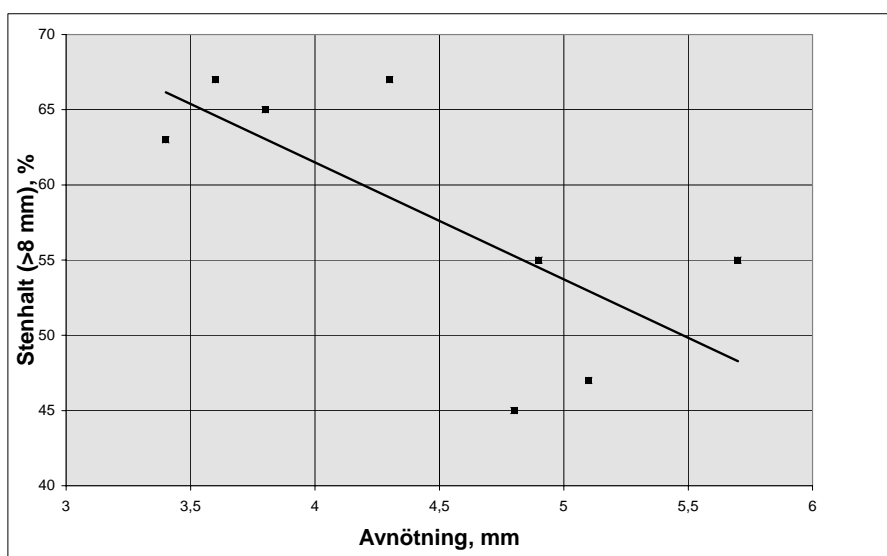
Figur 12 Inverkan av stenmaterialkvalitet. ABS11 och ABS16 mm.

10.2 Inverkan av andelen grovt stenmaterial

Den största skillnaden mellan olika beläggningstyper är stenmaterialets sammansättning. Skelettasfalt innehåller cirka 60–70 vikt-% stenmaterial större än 8 mm medan tät asfaltbetong innehåller cirka 30 vikt-% grövre material. Stenhalten eller fördelningen mellan de grövre fraktionerna (förhållandet mellan fraktionerna 4–8, 8–12 och 12–16 mm) kan också vara stor mellan olika varianter av stenrik asfaltbetong (t.ex. Viacotop, Stabinor, ABS), vilket har betydelse för slitstyrkan. Försöken har visat att andelen grovt material (stenhalten) i beläggningen har en mycket stor inverkan på dubbavnötningen. I princip ökar beläggningens resistens mot dubbade däck med ökad stenhalt. Det innebär att skelettasfalt har betydligt bättre slitageresistens än tät asfaltbetong. I *figur 13* jämförs stenrik och tät asfaltbetong, typ ABS16 och ABT16 mm. Stenhaltens betydelse för dubbavnötningen framgår också av *figur 14*.



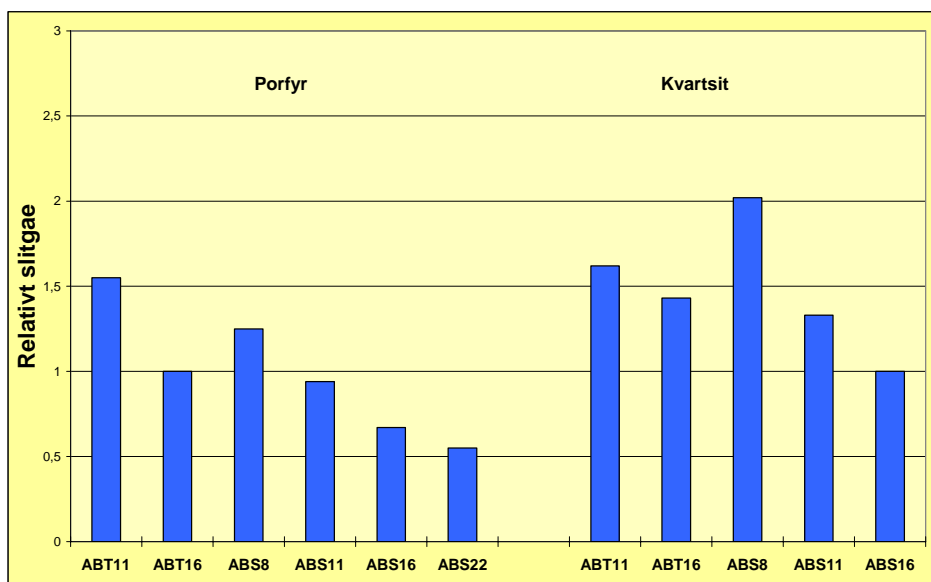
Figur 13 Inverkan av beläggningstyp, ABT16–ABS16 mm. Specialsten och ortens material. Försök i PVM.



Figur 14 Inverkan av stenhalt. Skelettasfalt med porfyr. Plattor på vägen.

10.3 Inverkan av största stenstorleken

Stenstorleken är en annan faktor som har stor inverkan på dubbavnötningen. I *figur 15* redovisas skelett- och tät asfaltbetong med varierande stenstorlek. Stenmaterialen utgörs av porfyr och kvartsit. ABS16 slits ungefär hälften mot ABS8 med samma stenmaterial. Skillnaden mellan ABS11 och ABS16 är ca 35 %.



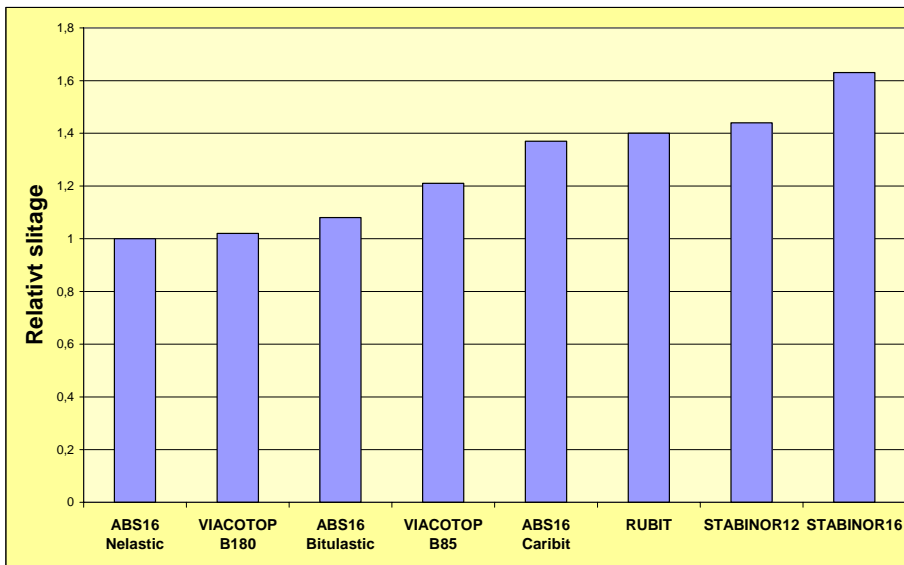
Figur 15 Inverkan av största stenstorleken, 8–22 mm. Stenmaterialen större än 4 mm utgörs av porfyr eller kvartsit.

10.4 Inverkan av bindemedelstyp – modifierat bindemedel

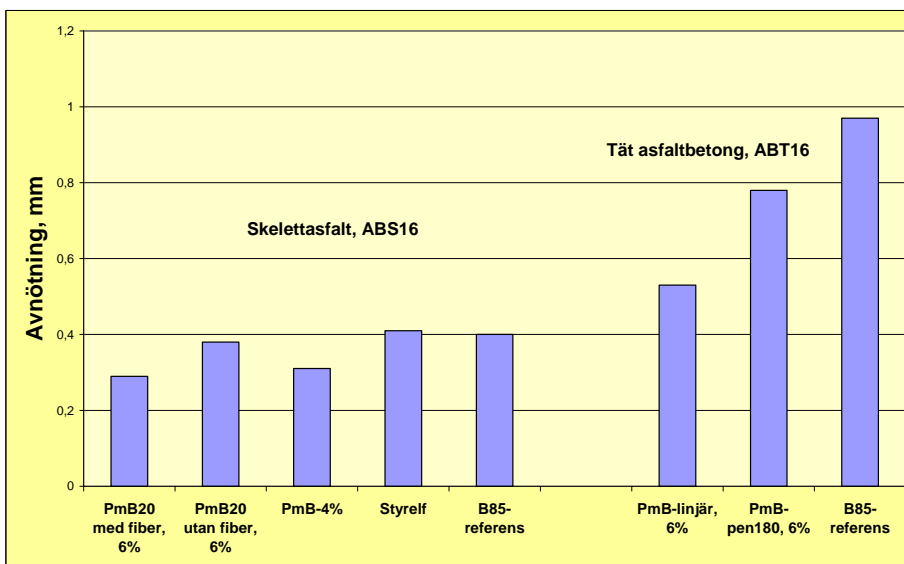
Modifierade bindemedel anses i vissa fall förbättra egenskaperna hos asfalt, bland annat avseende elasticitet och stabilitet vid låga resp. höga temperaturer samt hållbarhet genom att känsligheten mot vatten och åldring blir mindre. Inom plattförsöken har kombinationen modifierade bindemedel och skelettasfalt testats genom plattor på vägen. Modifierade bindemedel har också undersökts genom fullskaliga provvägsförsök. Vid den här typen av försök är det viktigt att uppföljningen sker under en längre tidsperiod så att de faktorer som är kopplade till beläggningens åldring (klimat och trafik) ges ordentlig tid att verka.

Av *figur 16* framgår att polymermodifierade bindemedel i detta fall inte verkar ha reducerat avnötningen nämnvärt. Skelettasfalt med konventionellt bindemedel erhåller ungefär samma avnötning som motsvarande ABS-varianter med polymermodifierade bindemedel. Dubbavnötningen omfattade fyra vintrar. De skillnader som finns i slitstyrka mellan de olika ABS-varianterna visade sig bero på varierande halt grovt stenmaterial (porfyr) i beläggningen.

I *figur 17* framgår resultatet från ett fullskaligt provvägsförsök på E18/E20 utanför Örebro med modifierade bindemedel (PMB) i både tät och stenrik asfaltbetong. Avnötningen avser tredje vintern. Stenrik asfalt har hittills (efter sex år) inte påverkats av typen av bindemedel, vilket däremot tät asfaltbetong gör. Polymermodifierad (SBS) tät asfaltbetong erhåller 20–45 % reducerat slitaget jämfört med samma typ av beläggning innehållande konventionellt bindemedel, B85. Andra typer av modifierade tillsatser kan naturligtvis påverka slitstyrkan i varierande grad och då främst tät asfaltbetong som har en stor andel bruk i ytan.



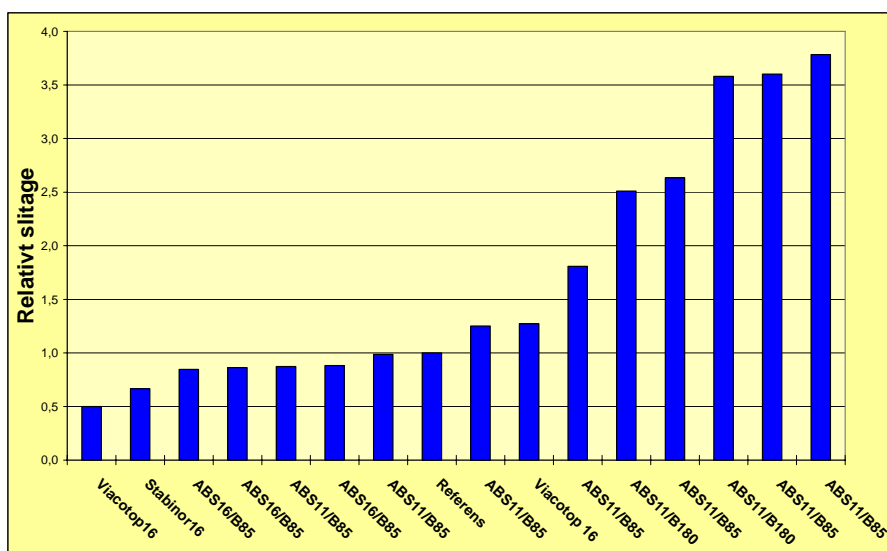
Figur 16 Inverkan av modifierade bindemedel på stenrik asfaltbetong. Skillnaden i slitstyrka mellan de olika massatyperna beror på varierande stenhalt (se figur 13).



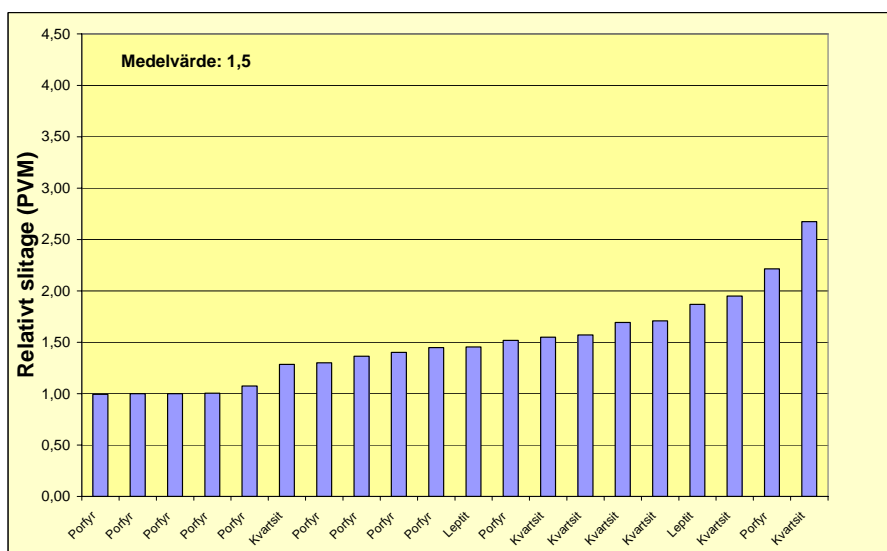
Figur 17 Inverkan av modifierade bindemedel på stenrik och tät asfaltbetong, typ ABS16 och ABT16. Stenmaterialet utgörs av kvartsit från Dalsland.

10.5 Inverkan av beläggningstyp

Vad som främst skiljer olika beläggningstyper åt är stenmaterialets sammansättning och slitstyrka, största nominella stenstorleken samt typen och halten av bindemedel. I figurerna 18 och 19 ges en sammanställning över hur slitstyrkan kan variera mellan olika beläggningstyper. I undersökningarna ingår konventionella beläggningstyper från sydvästra Sverige. Skillnaden i slitstyrka mellan bästa och sämsta beläggning kan vara upp till åtta gånger.



Figur 18 Inverkan av beläggningstyp. Enbart skelettasfalt 11 och 16 mm ingår i denna studie. Stenmaterialets slitstyrka varierar mellan mycket bra och dåligt.



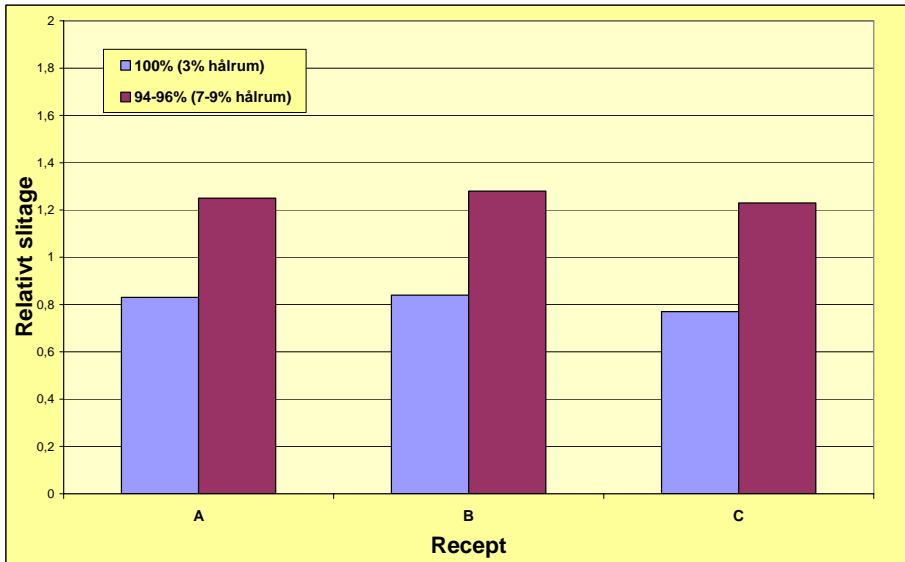
Figur 19 Inverkan av beläggningstyp. Enbart ABT11–22 med högkvalitativt stenmaterial.

10.6 Inverkan av packningsgrad – hålrumshalt

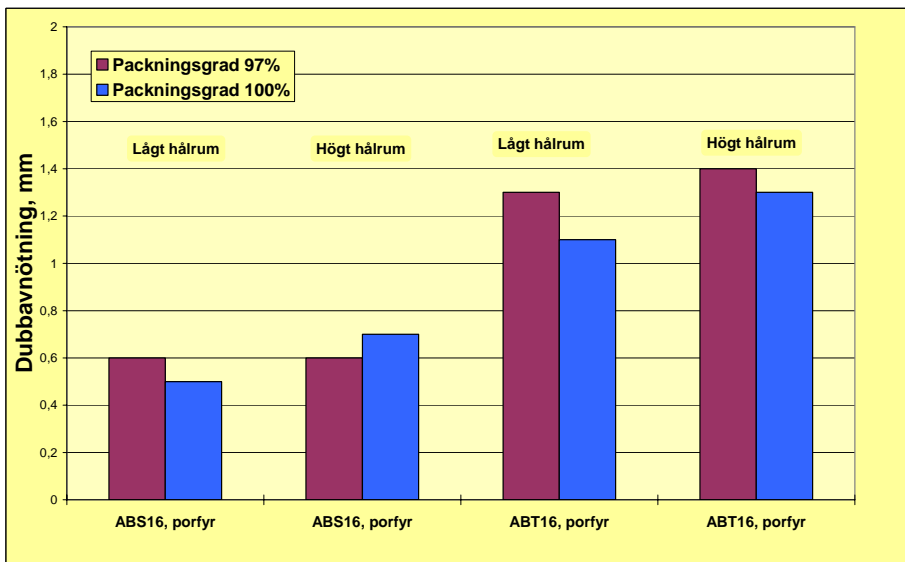
Packningsgradens/hålrummets inverkan på slitstyrkan hos asfaltbeläggningar har undersökts genom plattor i PVM och fält. I figur 20 redovisas plattor testade i fält med tät asfaltbetong, typ ABT11/B180, vilka packats in med låg resp. hög packningsgrad. Efter första vintern erhöll plattorna med låg packningsgrad markant högre slitage (50 %) jämfört med hög packningsgrad. Skillnaden mellan plattorna blev dock betydligt mindre följande år när plattorna (ytan) blivit ordentligt inslitna och bruksytan packats till av trafiken. Dålig packningsgrad kan på längre sikt medföra sämre hållbarhet genom ökade åldring och vattenpåkänning och större spårbildning genom efterpackning.

I figur 21 redovisas betydelsen av packningsgraden på ABT16 och ABS16. De sämre packade plattorna har packningsgraden 97 % och de bättre 100 %. Massorna är proportionerade med lågt resp. högt hålrum, dock inom kraven i VÄG 94. I tre av fyra

fall erhåller plattorna med den lägre (sämre) packningsgraden större slitage även om skillnaden inte är påtaglig. Massorna proportionerade med det högre hålrummet erhåller generellt något större slitage än de med mindre hålrum. Undersökningen visar att packningsgraden/hålrumshalten kan ha en viss inverkan på beläggningens slitstyrka. De största effekterna på slitstyrkan fås sannolikt indirekt genom att hållbarheten på sikt försämras vid alltför dåliga packningsgrader eller om massan från början har för högt hålrum genom felproportionering.



Figur 20 Inverkan av packningsgraden. ABT11/B180 med ortens material.

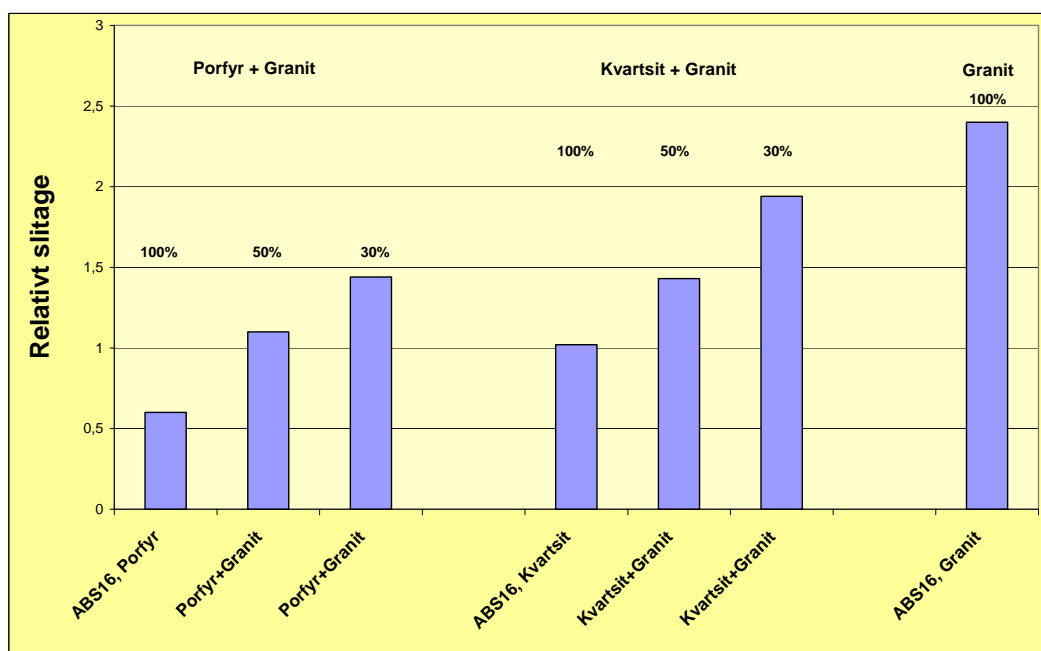


Figur 21 Inverkan av packningsgraden. ABS16/B85 och ABT16/B85. Det grövre stenmaterialet utgörs av porfyr från Älvdalen.

10.7 Inverkan av inblandning av högkvalitativa stenmaterial

För att uppnå fastställda krav på slipvärde eller kulkvarnsvärde inblandas ibland högkvalitativ sten till ortens material. Inblandningen görs i sorteringarna 8–11 och/eller 11–16 mm. En frågeställning har varit hur den här typen av blandmaterial fungerat på vägen och en annan fråga om provningsmetoderna, slipvärde eller kulkvarn, på ett

relevant sätt beskriver detta. Vid slipvärdesprovningen kan t.ex. de starkare stenarna skydda de svagare. I *figur 22* redovisas en undersökning från PVM där 30 resp. 50 % högkvalitativ sten blandats med ortens material. De högkvalitativa stenmaterialen utgjordes av porfyr och kvartsit medan ortens material bestod av granit med måttlig kvalitet. Resultatet visar att beläggningens slitstyrka förbättras i proportion till andelen inblandat högkvalitativt stenmaterial. Kulvarnsvärdet för de olika blandningarna visade bra överensstämmelse med avnötningen på vägen medan slipvärdet gav ett felaktigt resultat.



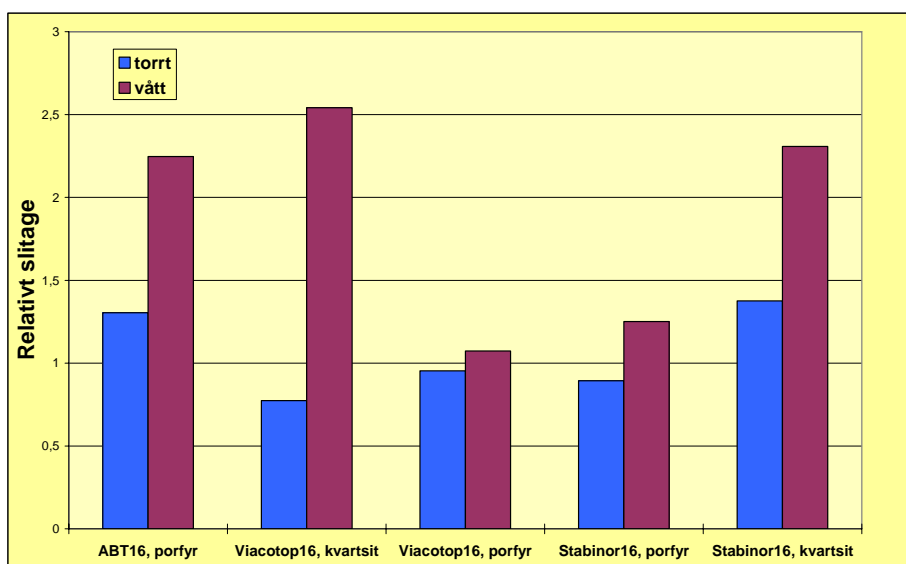
Figur 22 Inblandning av högkvalitativ sten i ortens material, ABS16.

10.8 Inverkan av klimat (geografiska läget)

Inverkan av klimatet har studerats genom plattor utplacerade i olika regioner inom Sverige. Någon signifikant skillnad kunde inte konstateras mellan plattor i Väster-norrland, Östergötland eller Göteborg under de 2–3 år som undersökningen varade. Vintrarna var dock under denna period extremt milda. Vid tidigare studier på VTI från 1970-talet förelåg dock en markant skillnad mellan provsträckor i Dalarna och Bohuslän. Undersökningar från Norrbotten har antytt att slitaget under stränga vintrar kan bli avsevärt mycket högre än vad slitagemodellen beräknar.

10.9 Inverkan av våt – torrsitage

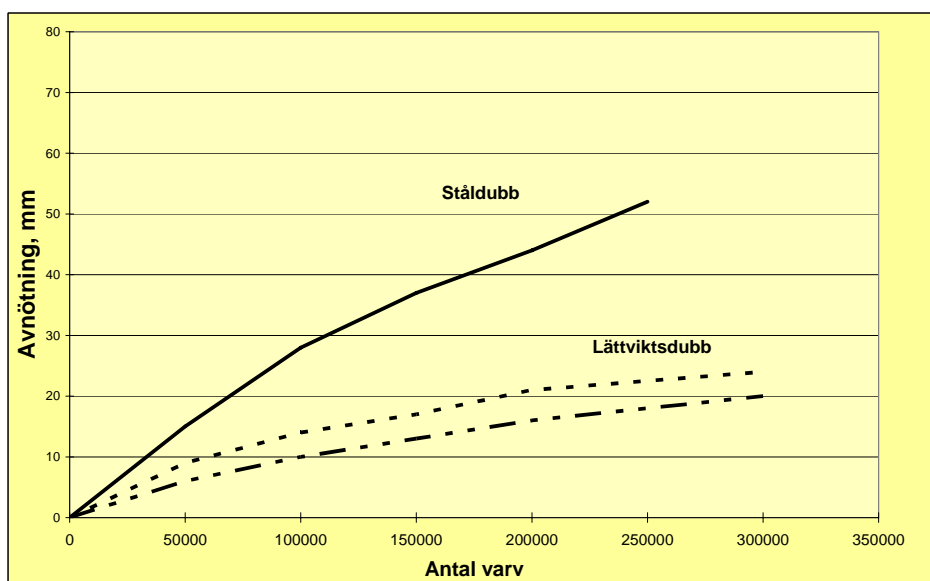
Normalt är provbanan befuktad vid standardförsöken i PVM. Vid ett tillfälle har även slitstyrkan på torr bana undersökts och resultaten visade att våt vägbana slits mera, ibland markant, än torr, dock starkt beroende av stenmaterialtyp. I *figur 23* redovisas resultaten från försöken. Halkbekämpning genom saltning bör medföra ett ökat slitage eftersom vägbanan i större utsträckning än t.ex. vid sandning hålls fuktig.



Figur 23 Inverkan av torr-våt slitage i PVM.

10.10 Inverkan av dubbtyp och dubbkraft

Dubbens inverkan på slitagets storlek har undersökts genom flera försök i PVM (Kent Gustafson). Resultaten visar (VTI rapport 377) att både dubbens vikt och kraft markant påverkar hur mycket material som slits bort från beläggningen. I figur 24 ges ett exempel från dessa undersökningar.

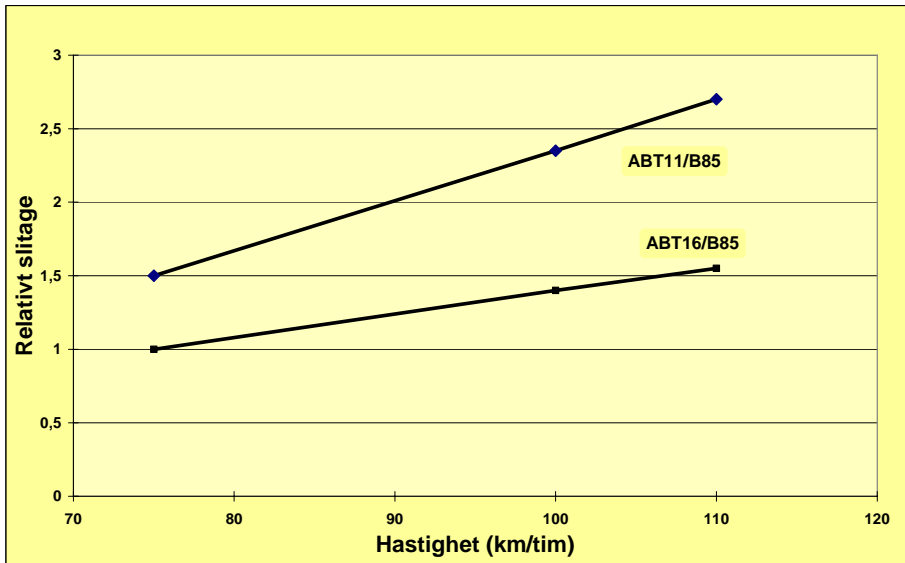


Figur 24 Inverkan av dubbtyp (VTI rapport 377). ABT16/B85 med granit från Skärlunda. Dubbstiftet utgörs i båda fallen av hårdmetall medan höljet varierar mellan plast/ lättmetall och stål.

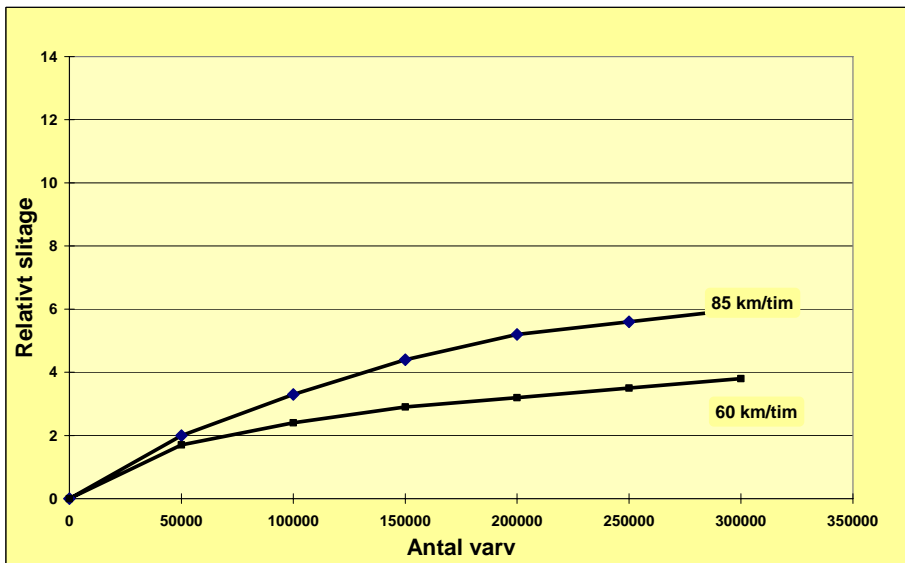
10.11 Inverkan av hastighet

Inverkan av trafikens hastighet på slitaget har undersökts genom provplattor i fält. I PVM har också en del studier gjorts där hastigheten på hjulen varierats. Samtliga

undersökningar visar att hastigheten har en stor betydelse för slitageutvecklingen. I figurerna 25 och 26 ges exempel från olika undersökningar.



Figur 25 Inverkan av trafikens hastighet på ABT11/B85 och ABT16/B85. Fem olika stenmaterial ingår per beläggningstyp (porfyr, kvartsit, finkornig granit, medelkornig granit, glimmerrik gnejs).



Figur 26 Inverkan av hastigheten på ABT16/B85 med porfyr. Försök i PVM.

10.12 Relativt slitage – försök i PVM

Relativa slitaget är förhållandet mellan provplattorna och referensplattorna (2 st.) som består av ABT16/B85 med porfyr från Älvdalen. Samma belägningsreferens har funnits med från början av "plattförsöket", både på vägen, i laboratoriet eller vid vägförsök. I *tabell 8* redovisas relativa slitaget för de beläggningstyper som ligger till grund för modellutvecklingen.

Tabell 8 Relativa slitaget, PVM.

Platta nr	Prov nr	Körning	Belägn. typ	Stenmat. typ	Max. sten.	Stenhalt <4 mm	Stenhalt <8 mm	Kul-kvarn	Hål-rum	Pack grad	Mod. bit.	Rel. sl. slut
8	1	1	ABT11	porfyr, Älv	11	58,2	79,7	4,7	2,5	98,5	nej	1,55
16	2	1	ABT11	kvart, Da	11	58,5	80,5	4,9	2,1	99,7	nej	1,95
10	3	1	ABT11	gran, Sk	11	59,6	80,5	6,5	2,7	99,2	nej	2,36
22	4	1	ABT11	granit, Sty	11	58,5	80,4	11,5	2,0	100,0	nej	2,78
12	5	1	ABT11	gnejs, Rut	11	57,0	80	12,8	2,0	100,0	nej	2,93
4	6	1	ABT16	porfyr, Älv	16	49,2	65,1	4,7	2,0	100,0	nej	1,00
18	7	1	ABT16	kvart, Da	16	48,1	64,7	4,9	2,0	100,6	nej	1,28
66	8	1	ABT16	gran, Sk	16	48,3	64,4	6,5	2,7	100,3	nej	1,69
20	9	1	ABT16	granit, Sty	16	48,2	64,6	11,5	2,0	101,3	nej	2,00
14	10	1	ABT16	gnejs, Rut	16	47,6	65,1	12,8	2,0	100,3	nej	2,53
72	11	1	ABT16	porfyr, Älv	16	50,0	64,0	5,1	1,9	100,0	nej	1,00
88	12	1	ABS22	porfyr, Älv	22	29,0	33,0	5,1	2,4	99,0	nej	0,55
108	13	1	ABS16	porfyr, Älv	16	25,0	40,0	5,1	3,2	97,0	ja	0,65
112	14	1	ABS8	porfyr, Älv	8	30,0	94,0	5,1	2,8	98,0	ja	1,25
100	15	1	ABS16	porfyr, Ad	16	25,0	40,0	3,8	2,5	99,0	nej	0,91
104	16	1	ABS16	porfyr, Ad	16	27,0	40,0	5,5	2,8	96,0	nej	1,22
92	17	1	ABS16	grus, Bå	16	25,0	33,0	9,7	1,9	98,0	nej	1,36
96	18	1	ABS16	grus, Bå	16	26,0	34,0	12,4	2,1	98,0	nej	1,55
84	19	1	ABS16	granit, Sk	16	28,0	33,0	7,1	3,6	99,0	nej	1,59
80	20	1	ABT16	granit, Sk	16	50,0	64,0	7,1	2,7	101,0	nej	2,16
62	23	2	ABS16	porfyr, Älv	16	30,0	35,0	4,4	4,3	99,3	ja	0,72
54	24	2	ABS16	porfyr, Älv	16	33,0	37,0	4,4	3,5	99,3	ja	0,65
42	25	2	ABS11	porfyr, Älv	11	29,0	53,0	4,4	2,6	98,4	nej	0,94
40	26	2	ABS16	porfyr, Älv	16	26,0	45,0	4,4	2,5	98,2	nej	1,05
64	27	2	ABS16	porfyr, Älv	16	27,0	55,0	4,4	2,9	99,0	ja	0,86
34	28	2	ABS16	porfyr, Älv	16	30,0	45,0	4,4	3,1	101,2	ja	0,85
32	29	2	ABS16	porfyr, Älv	16	25,0	33,0	4,4	3,9	100,2	nej	0,80
30	30	2	ABS16	porfyr, Älv	16	25,0	33,0	4,4	3,0	100,6	nej	0,62
48	31	2	ABT16	porfyr, Älv	16	48,0	65,0	4,4	2,0	98,4	nej	1,40
157	32	3	ABS8	kvartsit, Da	8	34,0	99,0	5,6	3,4	95,8	nej	2,27
129	33	3	ABS11	kvartsit, Da	11	29,0	45,0	5,6	2,6	97,4	nej	1,29
125	34	3	ABS16	kvartsit, Da	16	26,0	33,0	5,6	2,2	97,9	nej	1,02

Platta nr	Prov nr	Körning	Belägg. typ	Stenmat. typ	Max. sten.	Stenhalt <4 mm	Stenhalt <8 mm	Kul- kvarn	Hål- rum	Pack grad	Mod. bit.	Rel. sl. slut
121	35	3	ABS16	porfyr, Älv	16	27,0	33,0	5,1	2,6	97,7	nej	0,60
147	36	3	ABS16	granit, St	16	27,0	32,0	12,4	1,9	97,3	nej	2,40
167	37	3	ABS16	30po,70st	16	26,0	33,0	10,3	2,4	98,3	nej	1,44
159	38	3	ABS16	30kv,70st	16	27,0	35,0	10,6	1,7	96,7	nej	1,94
139	39	3	ABS16	50po,50st	16	26,0	33,0	8,6	2,1	97,5	nej	1,10
143	40	3	ABS16	50kv,50st	16	27,0	34,0	9,2	1,7	98,1	nej	1,43
117	41	3	ABT16	porfyr, Älv	16	48,0	65,0	5,1	1,9	100,1	nej	1,00
275	42	5	ABS16	Kärrkv.	16	29,8	38,2	6,1	3,3	99,0	nej	0,97
273	43	5	ABS11	Kärrkv.	11	33,1	48,9	6,1	3,0	99,0	nej	1,36
277	44	5	ABS11	Ortens	11	28,8	37,8	11,5	3,8	99,0	nej	1,88
271	45	5	ABS8	Kärrkv.	8	28,9	91,0	6,1	3,1	95,0	nej	2,18
323	46	5	ABS16	Kärrkvart.	16	22,1	26,2	6,4	3,2	98,0	nej	1,13
317	47	5	ABS11	Ortens	11	29,1	38,0	11,4	3,5	99,0	nej	2,05
315	48	5	ABS8	Kärrkv.	8	36,8	94,6	11,4	4,0	98,0	nej	1,91
295	49	5	ABS11	Ortens	12	32,5	43,6	8,4	2,6	100,0	nej	1,35
293	50	5	ABS8	Ortens	8	38,5	94,3	8,4	4,9	99,0	nej	2,06
327	51	5	ABS11	Järpåskv.	11	26,9	47,1	5,3	4,4	99,0	nej	1,07
325	52	5	ABS11	Ortens	11	29,2	56,1	13,1	4,4	99,0	nej	2,23
329	53	5	ABS16	Järpåskv.	16	24,7	40,9	5,3	3,8	99,0	nej	0,78
313	54	5	ABS11	Ortens	11	27,2	41,6	14	3,4	100,0	nej	2,35
311	55	5	ABS16	Råsjökv.	16	19,7	24,2	5,3	3,7	99,0	nej	1,02
305	56	5	ABS16	Råsjökv.	16	24,6	33,6	5,3	5,1	100,0	nej	1,03
309	57	5	ABS11	Råsjökv.	11	26,1	42,4	5,3	5,5	99,0	nej	1,51
303	58	5	ABS11	Ortens	11	24,3	54,0	12,5	4,3	97,0	nej	2,11
301	59	5	ABS8	Råsjökv.	8	32,4	80,9	5,3	6,6	99,0	nej	1,72
299	60	5	ABS16	Dalbokv.	16	26,8	37,6	5,7	2,5	98,0	nej	1,07
281	61	5	ABS11	Dalbokv.	11	26,6	40,5	5,7	2,7	97,0	nej	1,48
297	62	5	ABS11	Ortens	11	26,9	44,4	8,1	3,1	97,0	nej	1,82
267	63	6	ABT11	Diabas, Fo	11	60,4	83,2	10,7	1,6	95,0	nej	2,21
265	64	6	ABT16	Diabas, Fo	16	52,4	69,3	10,7	1,0	98,0	nej	2,06
255	65	6	ABS8	Diabas, Fo	8	38,8	96,7	10,7	3,0	95,0	nej	2,56
257	66	6	ABS11	Diabas, Fo	11	30,4	47,8	10,7	2,6	96,0	nej	1,81
259	67	6	ABS16	Diabas, Fo	16	25,7	33,4	10,7	1,6	97,0	nej	1,75
269	68	6	ABT11	X-100	11	58,9	81,9	6,4	1,9	95,0	nej	1,87
283	69	6	ABT16	X-100	16	52,6	69,6	6,4	1,6	97,0	nej	1,45
287	79	6	ABS8	X-100	8	35,0	92,6	6,4	4,9	96,0	nej	1,96
249	71	6	ABS11	X-100	11	28,3	42,8	6,4	3,6	96,0	nej	1,27
289	72	6	ABS16	X-100	16	26,2	33,7	6,4	2,7	96,0	nej	1,07

Platta nr	Prov nr	Körning	Belägg. typ	Stenmat. typ	Max. sten.	Stenhalt <4 mm	Stenhalt <8 mm	Kul-kvarn	Hål-rum	Pack grad	Mod. bit.	Rel. sl. slut
261	73	6	ABT11	Kvart, Kä	11	58,5	81,6	6,6	1,6	96,0	nej	1,69
263	74	6	ABT16	Kvart, Kä	16	51,1	68,1	6,6	1,0	97,0	nej	1,57
251	75	6	ABS8	Kvart, Kä	8	35,7	91,2	6,6	2,6	98,0	nej	1,41
253	76	6	ABS11	Kvart, Kä	11	29,7	43,3	6,6	2,5	99,0	nej	1,25
291	77	6	ABS16	Kvart, Kä	16	26,5	33,5	6,6	2,0	97,0	nej	1,02
285	78	6	ABS11	Porfyr, Äl	11	30,3	42,4	5,1	2,7	98,0	nej	0,90
234	79	6	ABT16	Porfyr, Äl	16	49,9	64,4	5,1	2,4	99,0	nej	1,07
235	80	6	ABT16	Porfyr, Äl	16	49,9	64,4	5,1	2,4	100,0	nej	0,92

Litteratur

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: **Asfaltbelägningars nötningsresistens. Provplattor 1990.** VTI notat V162, 1991.

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

Jacobson Torbjörn: **Avnötningsmätningar på provplattor 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: **Asfaltbelägningars nötningssegenskaper. Försök i VTIs provvägsmaskin och laboratorieprovning enligt Tröger och PWR.** VTI notat V197, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Avnötningsmätningar på provplattor vintern 1991/92.** VTI notat V198, 1992.

Jacobson Torbjörn: **Undersökning av slitlagerbelägningars resistens 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 slitlagerbelägningars resistens 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 ljusreflexionsmätningar.** 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 borrhärnor.** VTI meddelande 766, 1995.

Jacobson Torbjörn och Hornwall Fredrik: **Provvägsförsök med skelettasfalt. E6, Kallebäck-Åbro, 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 VTI:s 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: **Avnötningmätningar på beläggingsplattor i E-län och O-län 1989/90.** VTI notat V131, 1990.

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

Wågberg Lars-Göran och Torbjörn Jacobson: **Avnötningmätningar 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.

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

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



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE

LINKÖPING

POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING

TEL +46 (0)13 20 40 00

www.vti.se

BORLÄNGE

POST/MAIL BOX 760

SE-781 27 BORLÄNGE

TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM

POST/MAIL BOX 6056

SE-171 06 SOLNA

TEL +46 (0)8 555 77 020

GÖTEBORG

POST/MAIL BOX 8077

SE-402 78 GÖTEBORG

TEL +46 (0)31 750 26 00