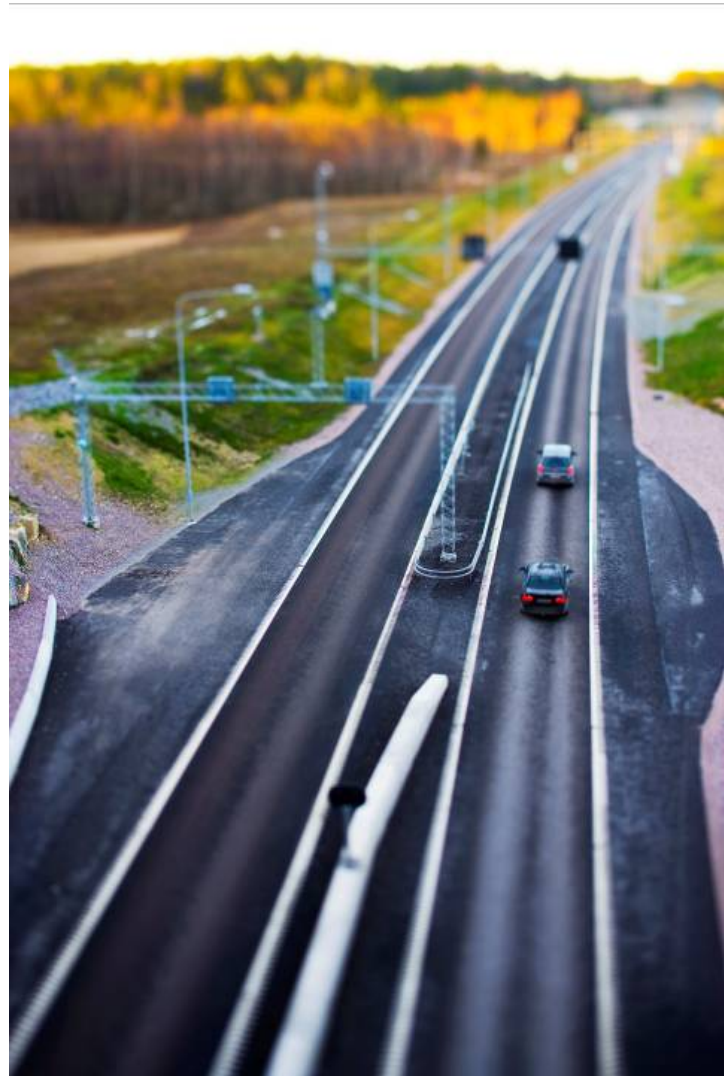


# DK3

## Totalentreprenader med funktionskrav



produkten:  
TRAFIKUTRYMME MED VISS FUNKTION



# Intet nytt.....

- **1893 Barber Asphalt Company:**

Medelhästen ramlar 1 gång per 585 miles på asfalterade vägar, jämfört med 1 gång/per 413 miles på övriga.

- **New York 1896:** kontrakt med 15 års garanti

2013-02-25

3

## Sen mycket spänningar-töjningar t.ex. Boussinesq (1885)

*Alexander Ljivick*

### APPLICATION DES POTENTIELS

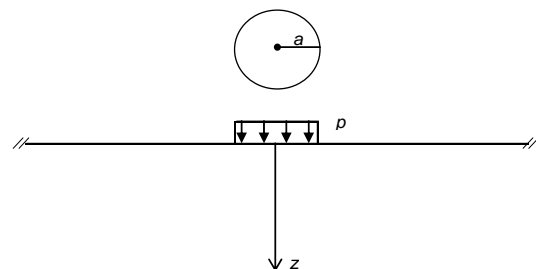
A L'ÉTUDE DE L'ÉQUILIBRE ET DU MOUVEMENT DES SOLIDES ÉLASTIQUES,

PRINCIPALEMENT AU CALCUL DES DÉFORMATIONS ET DES PRESSIONS  
QUE PRODUISENT, DANS CES SOLIDES,  
DES EFFORTS QUELCONQUES EXERCÉS SUR UNE PETITE PARTIE  
DE LEUR SURFACE OU DE LEUR INTÉRIEUR;

MÉMOIRE SUIVI DE NOTES ÉTENDUES SUR DIVERS POINTS  
DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE ET D'ANALYSE;

par M. J. BOUSSINESQ,

Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.



$$\sigma_z = p \left( 1 - \left( \frac{1}{1 + a^2/z^2} \right)^{3/2} \right)$$

PARIS,  
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE  
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,  
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,  
Quai des Augustins, 55.  
1885.

2013-02-25

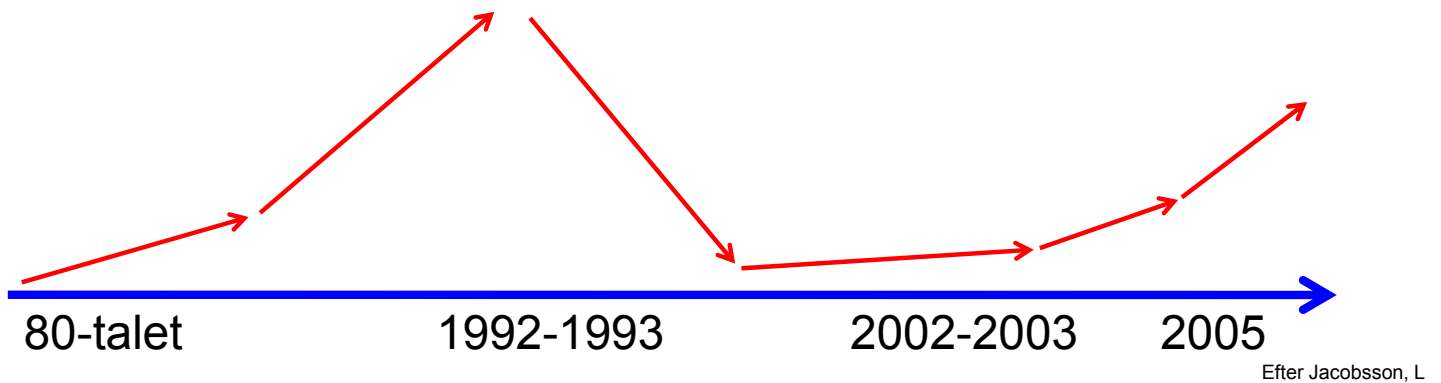
4

# Funktionsvägar, Sverige

Torsten Grennberg

något av portalfigur

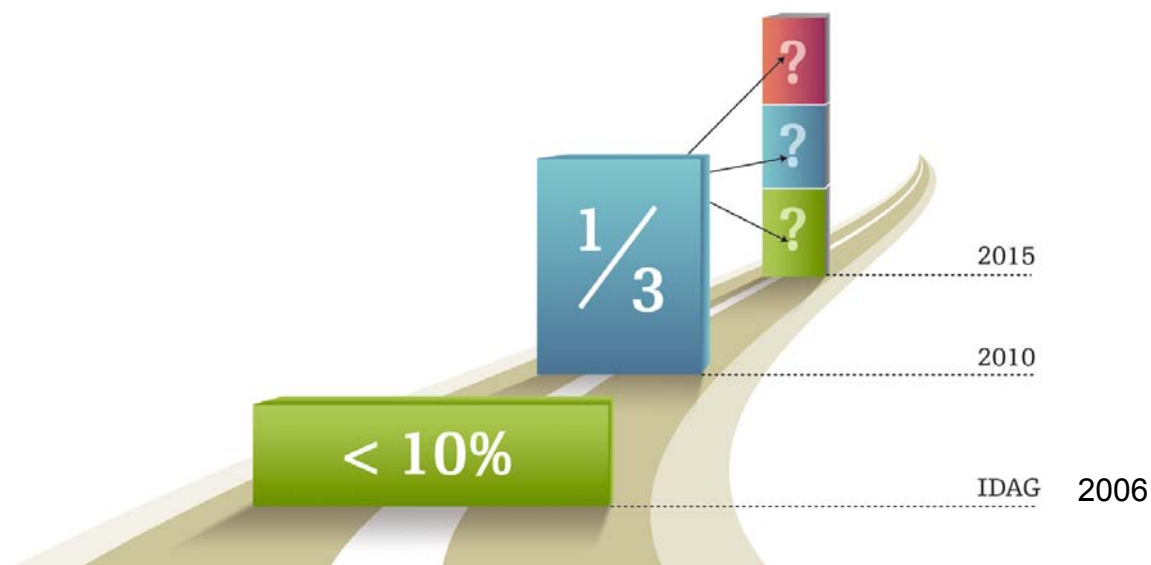
- E3 Vårgårda 1981: underhållsbeläggning
- E245 Tranviken 1985: ombyggnad



2013-02-25

5

# Trafikverket

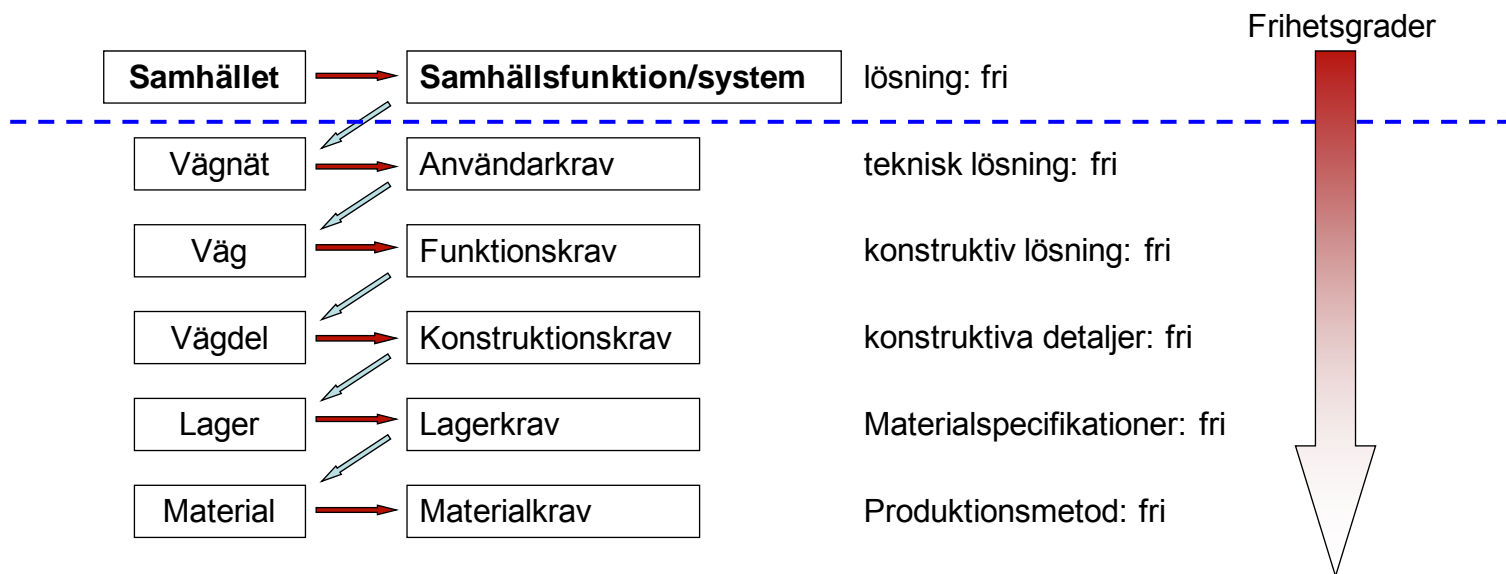


2013-02-25

6

# Funktionsparadigmet

(Korteweg, Van der Zwan, 2002)

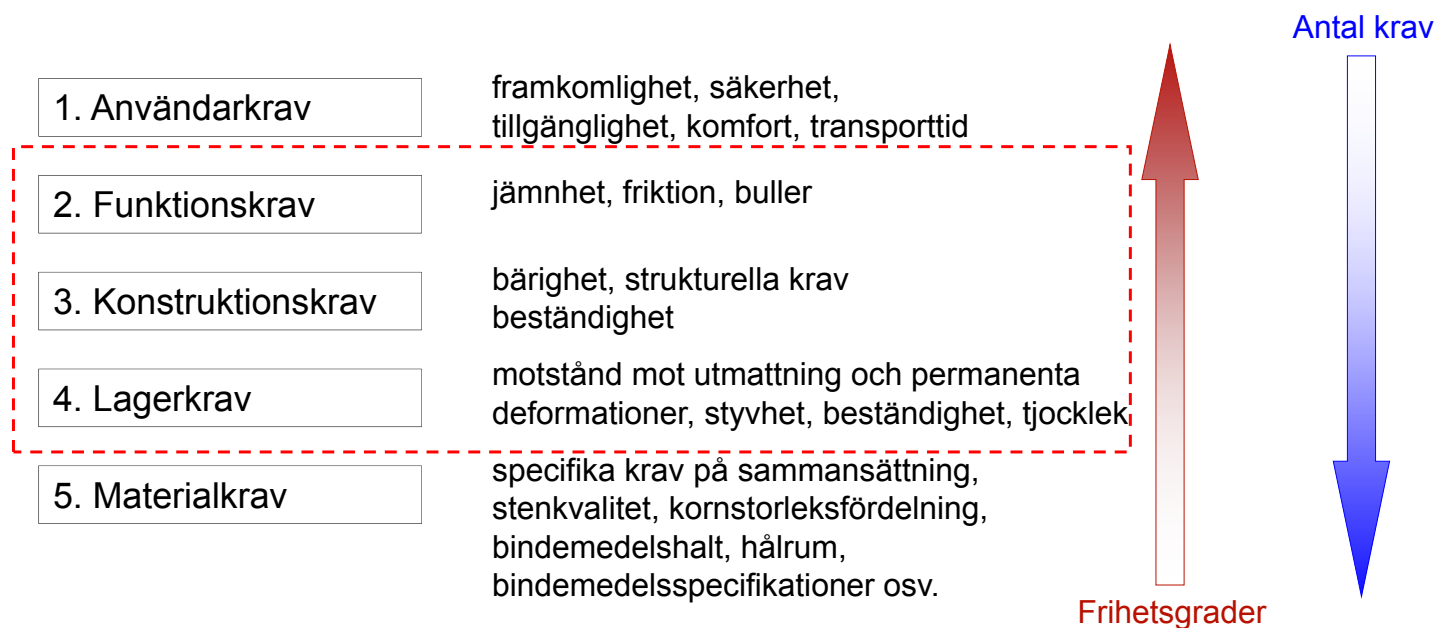


2013-02-25

7

## Nivåer för krav: exemplet vägar

### • Funktionskrav



2013-02-25

8

# Kravnivåer

- Varje krav på varje nivå försöker fånga något eller några krav högre upp i kravhierarkin.



2013-02-25

9

## Mätmetoder ...

- Var ska vi vara i funktionsparadigmet?
- Till varje krav måste det finnas mätmetod som kan tillförlitligt kvantifiera det vi kravställer
- Till varje metod och bestämning hör mätfel eller mätosäkerhet

2013-02-25

10

# Mätmetoder: Nivå 1

## 1. Användarkrav

framkomlighet, säkerhet,  
tillgänglighet, komfort, transporttid

- Här saknar vi objektiva mätmetoder
- Notoriskt svårsmått
- I alla fall för skeptiska tekniker

# Mätmetoder: Nivå 2

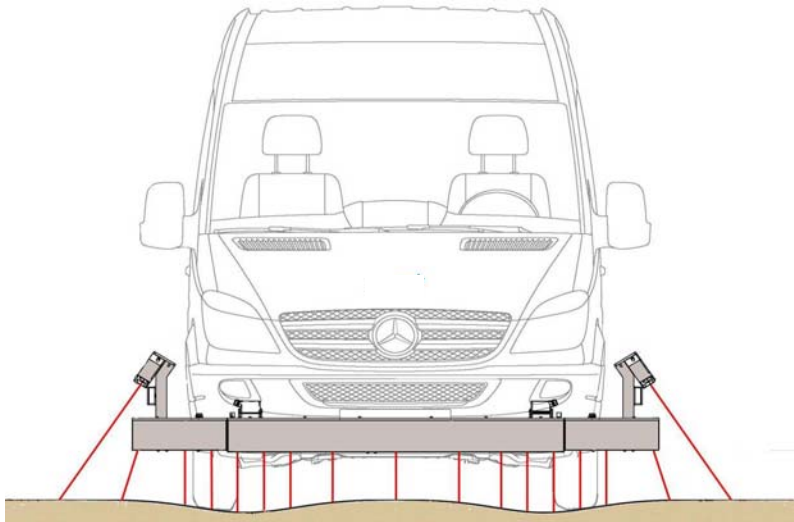
## 2. Funktionskrav

jämnhet, friktion, buller

- Krav på vägytan
- Bäring på något/några krav i nivå 1
  - Jämnhet (spårdjup, *IRI*)
  - Buller
  - Friktion

# Jämnhet

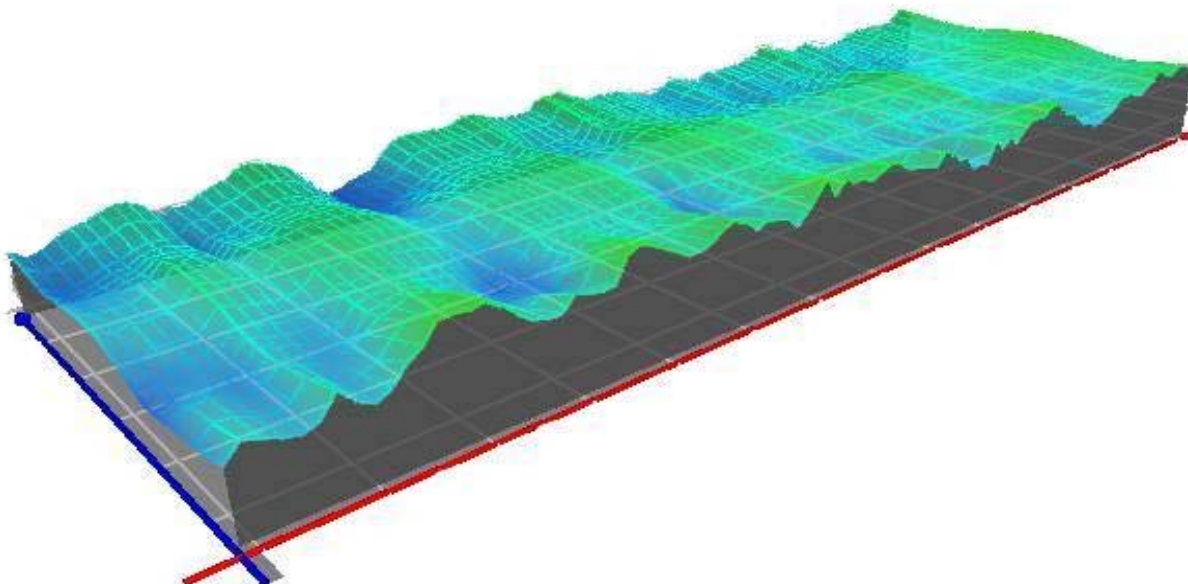
- I längs- och tvärled (*IRI* och spår djup)
- Vägytemätbil
- Tröghetsbaserade mätsystem



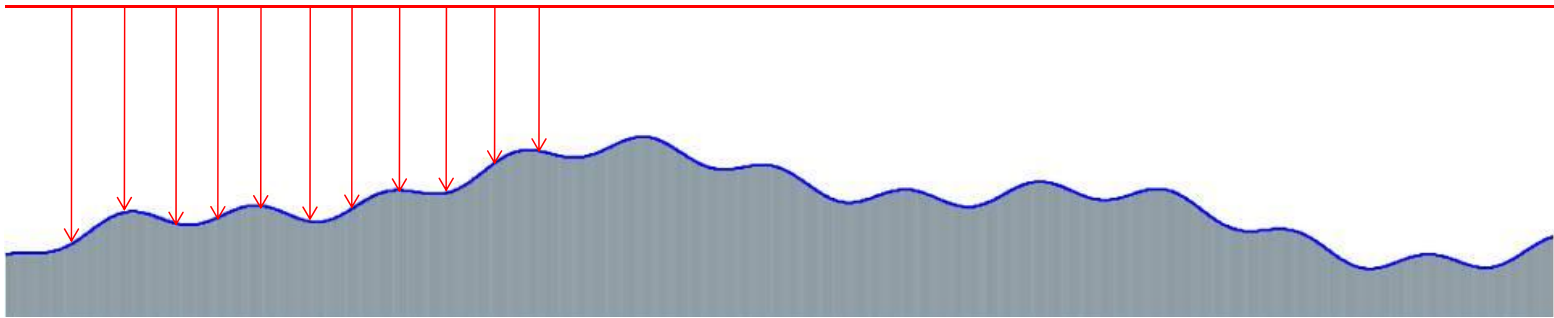
2013-02-25

13

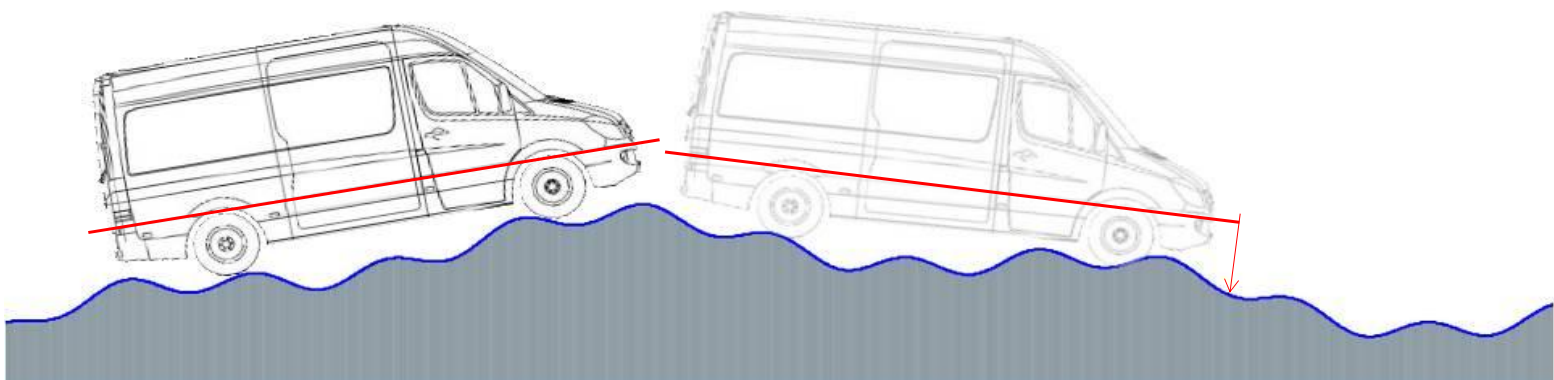
## Longitudinal and transversal profiles



## Longitudinal profile: static reference level



## Longitudinal profile: inertial reference



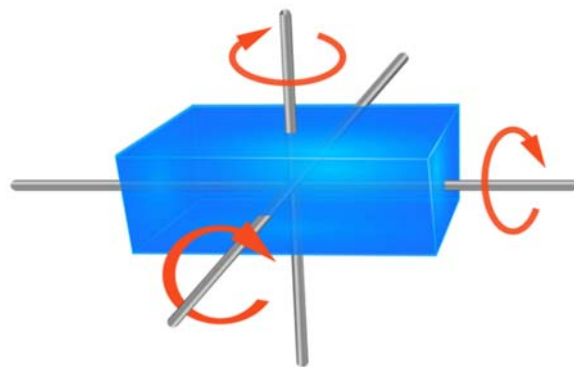
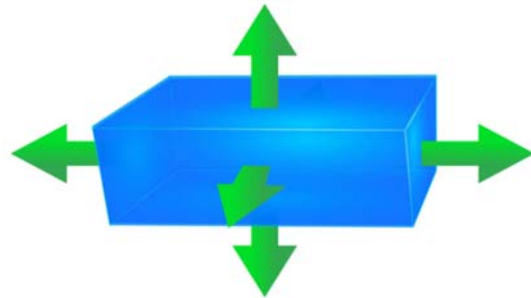


# Inertial system

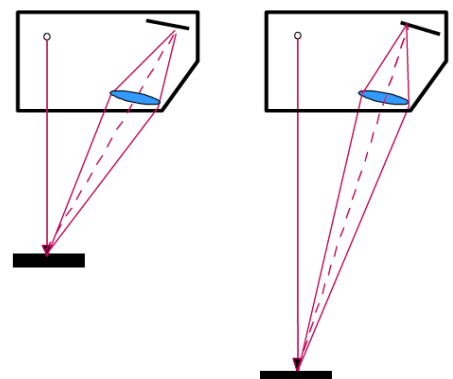
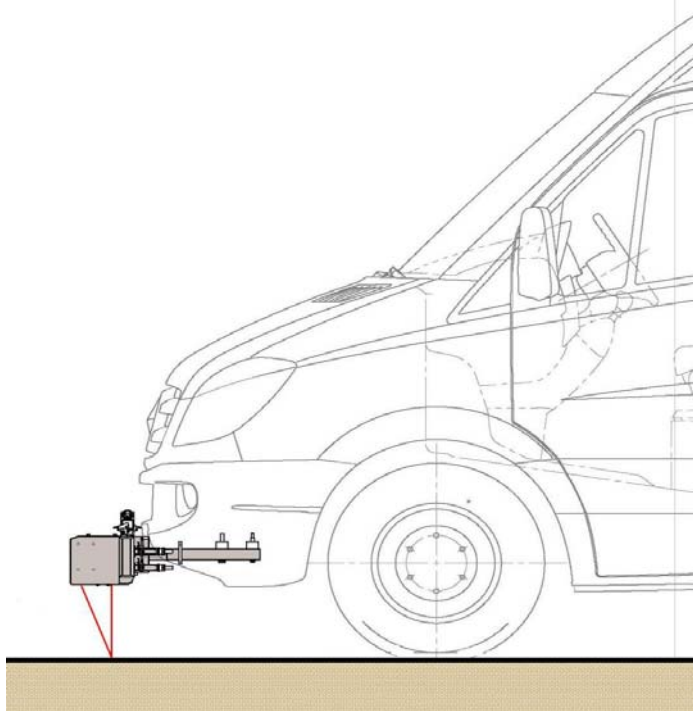
## 6 DOF

3 translation  
3 rotation

- 3 accelerometers
- 2 gyroscopes
- 2 extra lasers at the back
- odometer (distance traveled)



# Optical triangulation



# International Roughness Index

## IRI

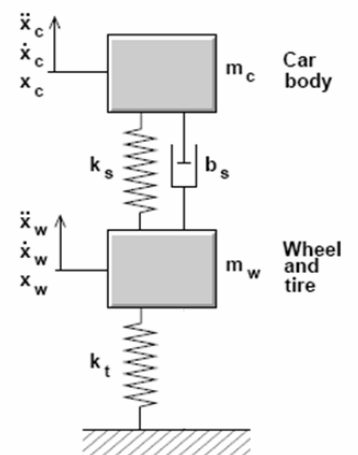
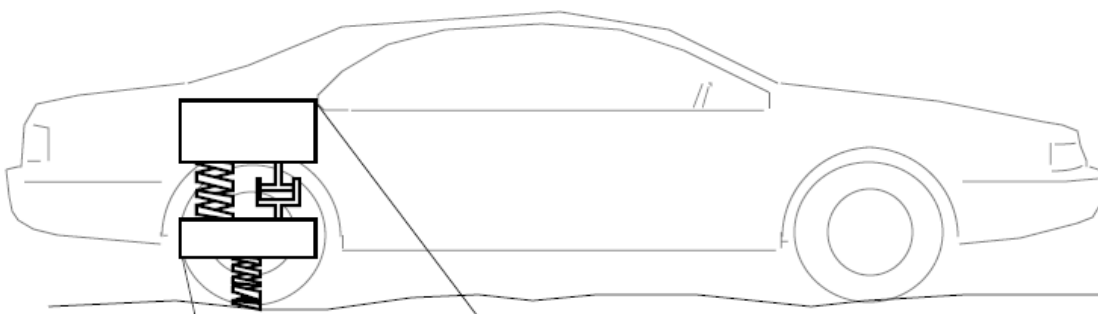
- Ojämnhet är avvikelser från en plan yta med egenskaper som påverkar fordonsdynamik, åkkvalitet, dynamiska (tröghets) laster.
  - Profilerung av vägar sedan början av 1900-talet
  - Tröghetsbaserade höghastighetssystem sedan början av 1960-talet
  - Arbete under 70-talet ledde fram till: Världsbankens försök i Brasilien 1982 som matematiskt formulerade kvartsbilen (**quarter-car**) en lätt modifiering av den tidigare Golden-car

2013-02-25

19

## Kvartsbil

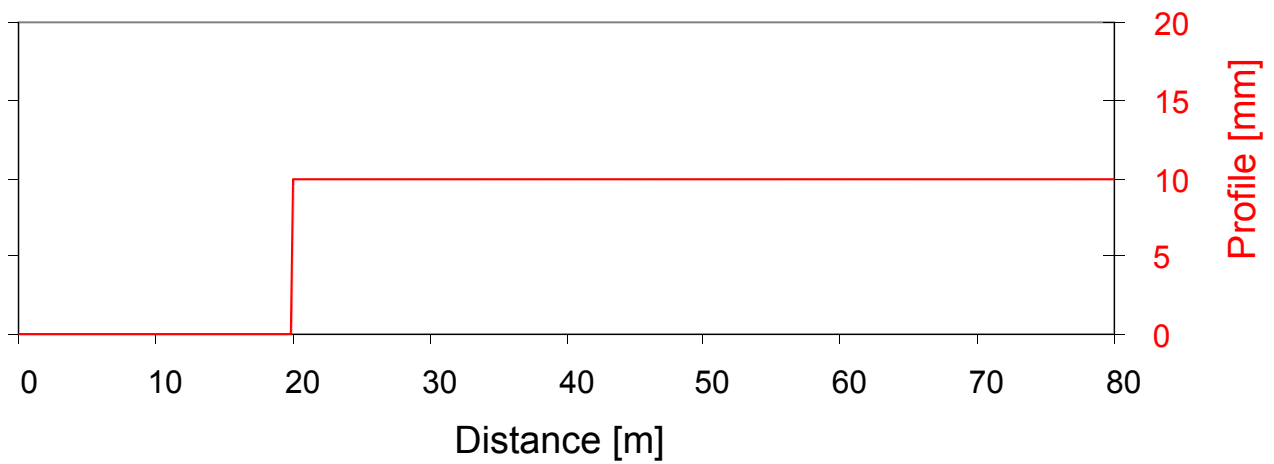
- Baseras på simulering av färd med kvartsbil i **80 km/h**
- Konstanter och beräkningsalgoritmer bestämda
- **IRI** är den summerade rörelsen hos stötdämparen dividerat med observationslängd



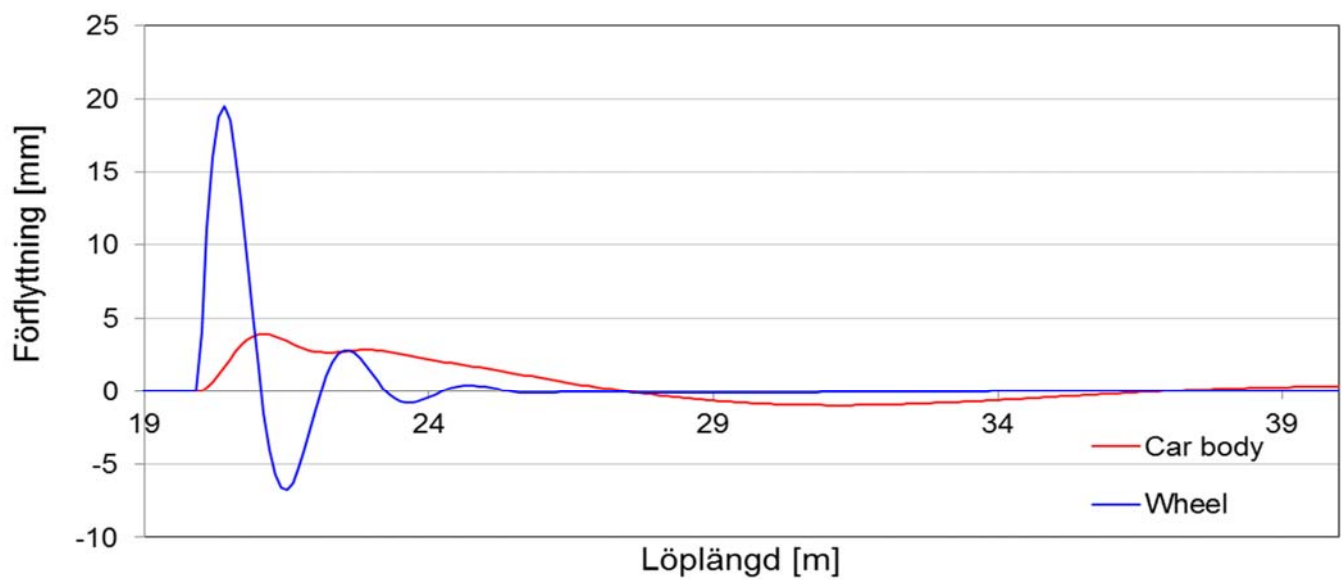
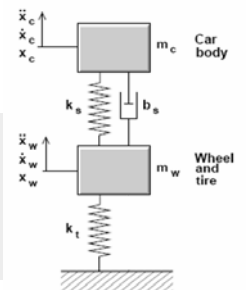
2013-02-25

20

## Exempel: 10 mm skarv

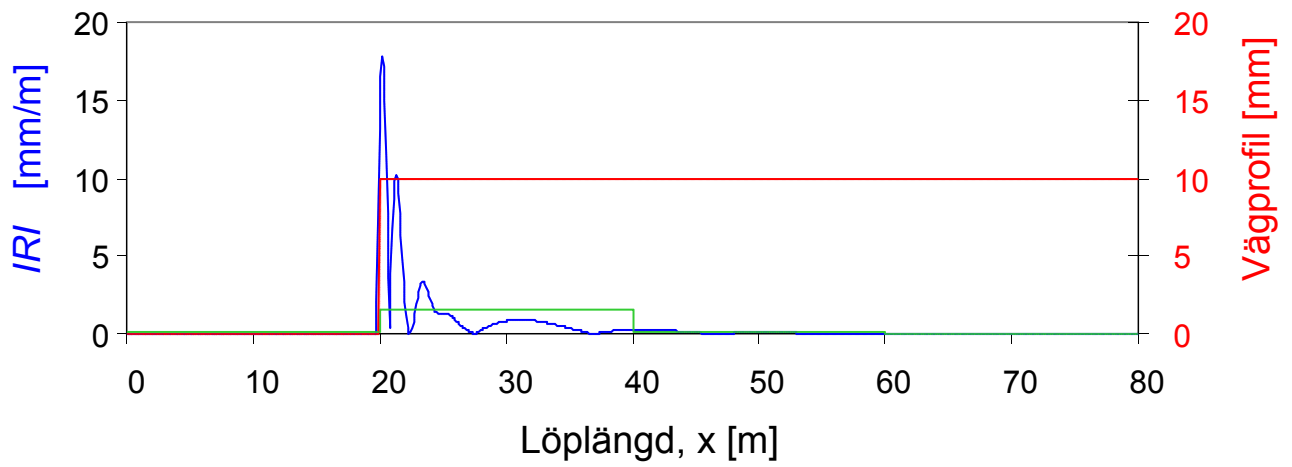


## Response of Quarter-car



# Exempel

Längsprofil	10 mm
$IRI_{0,1m}$	18 mm/m
$IRI_{20m}$	1,5 mm/m
$IRI_{400m}$	0,08 mm/m

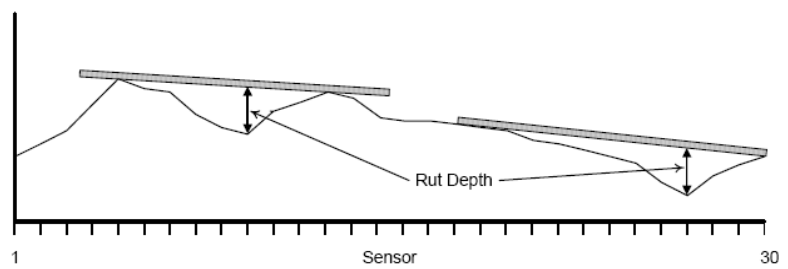


2013-02-25

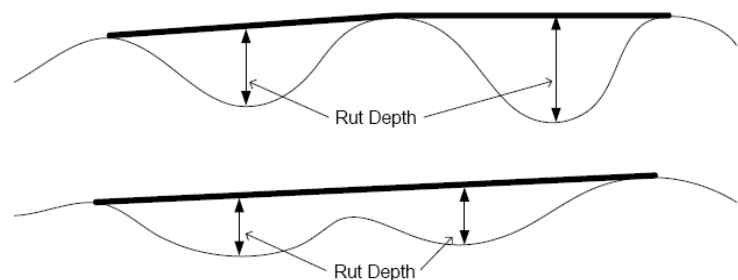
23

# Spårdjup

- Rättskivemodell



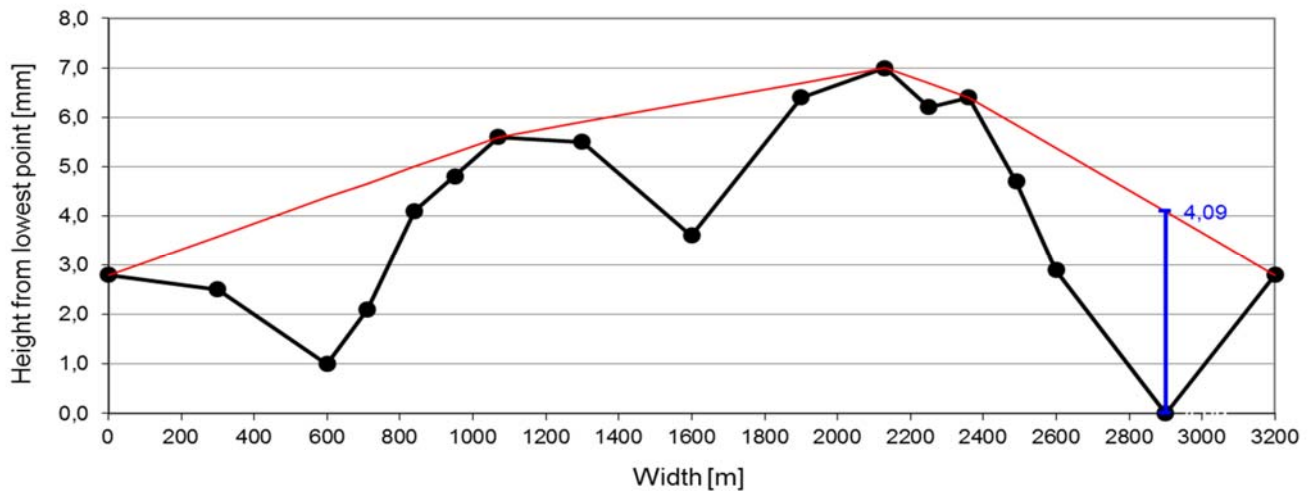
- Trådmodell



2013-02-25

24

# Trådmodell



## Funktionskrav: Vägyta

Kriterium	Nivå
<b>A1 Ojämnhet i längsled</b>	1. Ojämnhet får maximalt vara 2,5 mm/m som medelvärde över 20 m
<b>A2 Ojämnhet i tvärlä</b>	1. Ojämnhet får maximalt vara 15 mm som medelvärde över 20 m, för 95 % av sträckan. 2. Ojämnhet får ej överstiga 18 mm som medelvärde över 20 m.
<b>A3 Tvärfalls avvikelse</b>	1. Tvärfall får maximalt avvika 1,5 % från projekterade värden som medelvärde över 20 m. 2. Resultanten mellan längs- och tvärlutning får aldrig understiga 0,5 %.

# Funktionskrav: Vägyta

## A4 Tjällyftning på ytvägar

1. Nivåskillnad får ej överstiga 160 mm

## A5 Tjällyftning i trafikutrymme (tunnel)

1. Tjällyftning får ej inskränka på fri höjd eller medföra att fordonsrörelser inskränker på fri höjd

## A6 Friktion vid barmarks förhållande

1. Medelvärde av friktionskoefficienten/talet på en 20 m sträcka skall överstiga 0,5.

2. SRT-värdet på en 20 m sträcka skall överstiga 50

## A7 Deformation/sättning i längsled

1. Totalsättning från projekterad profil får ej överstiga 0,3 m

2013-02-25

27

# Senaste större nybyggnader

## Trafiköppning

## Underhållstid

Tvärled

$P_{95} \leq 3,0$  mm

$P_{90} \leq 11,0$  mm

Maxvärde 15 mm

Max. lutning 1 mm/år

Längsled

$P_{95} \leq 1,2$  mm/m

$P_{90} \leq 2,1$  mm/m

Max. lutning 0,075 mm/m/år

2013-02-25

28

# Funktionskrav vid trafiköppning

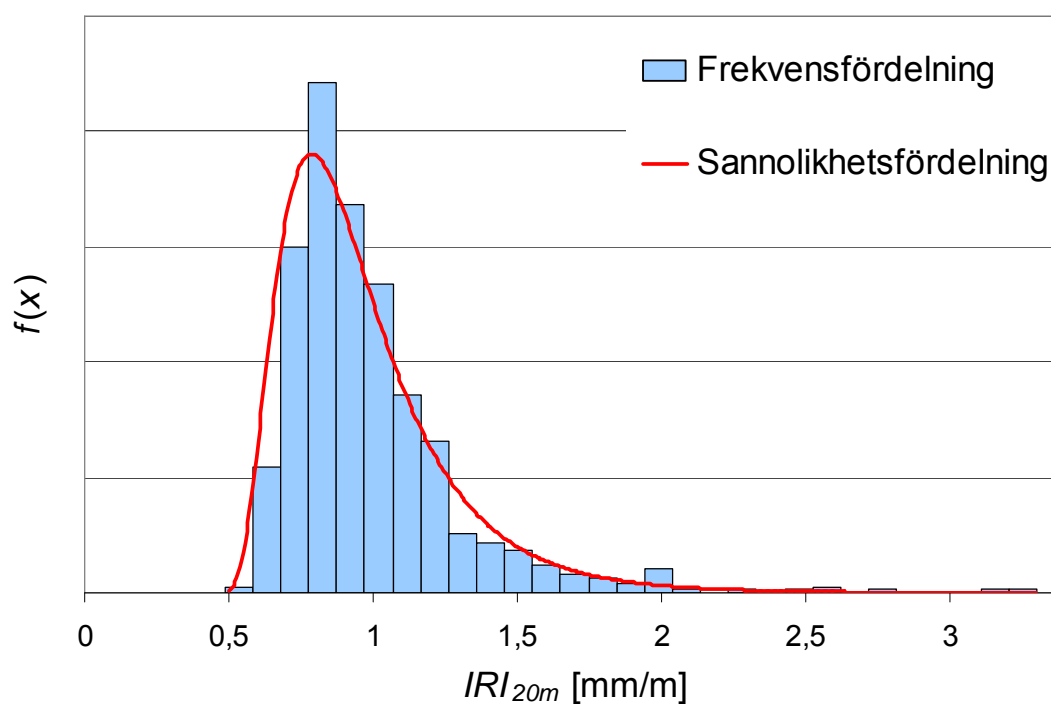
- $IRI_{20m}$ :  $P_{95} \leq 1,2 \text{ mm/m}$   
(dvs. 95 % av sträckan skall ha IRI lägre än 1,2 mm/m)
- Spårdjup:  $P_{95} \leq 3 \text{ mm}$

## Krav på fördelningen av mätta värden

2013-02-25

29

## Typisk fördelning: IRI

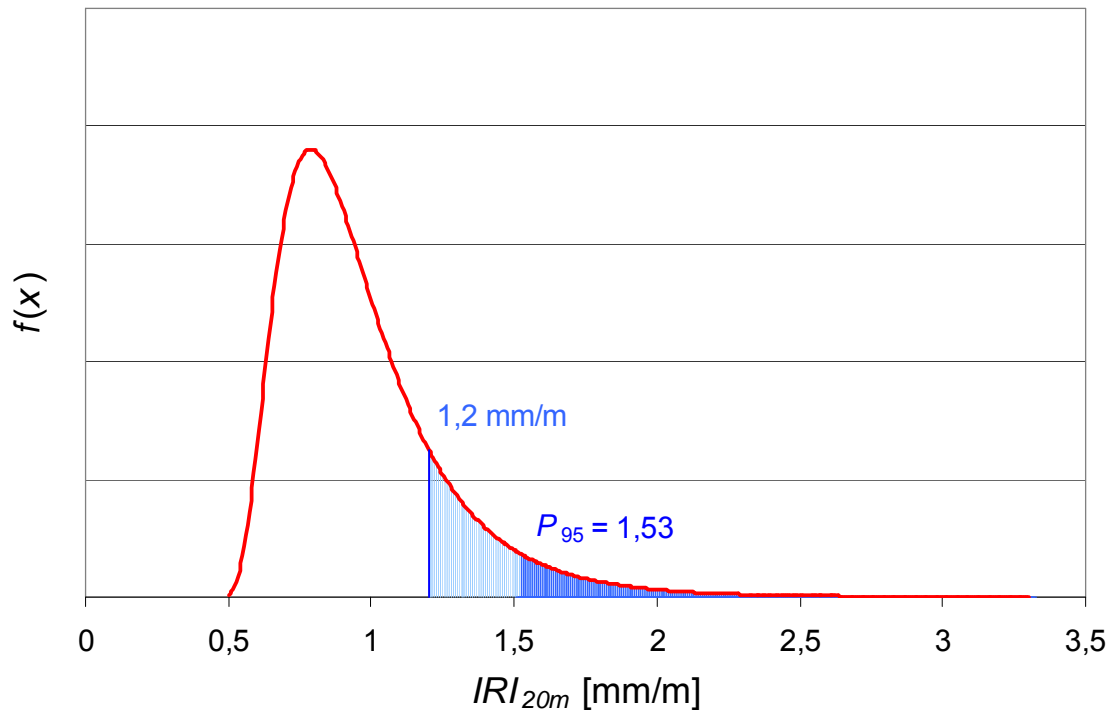


- Lognormal

2013-02-25

30

# Svansen!



2013-02-25

31

## Exempel på verktyg

- **ME-PDG** (AASHTO 2002 Design guide)  
Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide
- **MMOPP 2007**  
Mathematical Modelling of Pavement Performance  
Danish design guide

### Svenska verktyg

- **VTI:s slitagemodell**
- **Prognosmodell för spårutveckling orsakad av tung trafik**  
(VTI notat 2-2007)

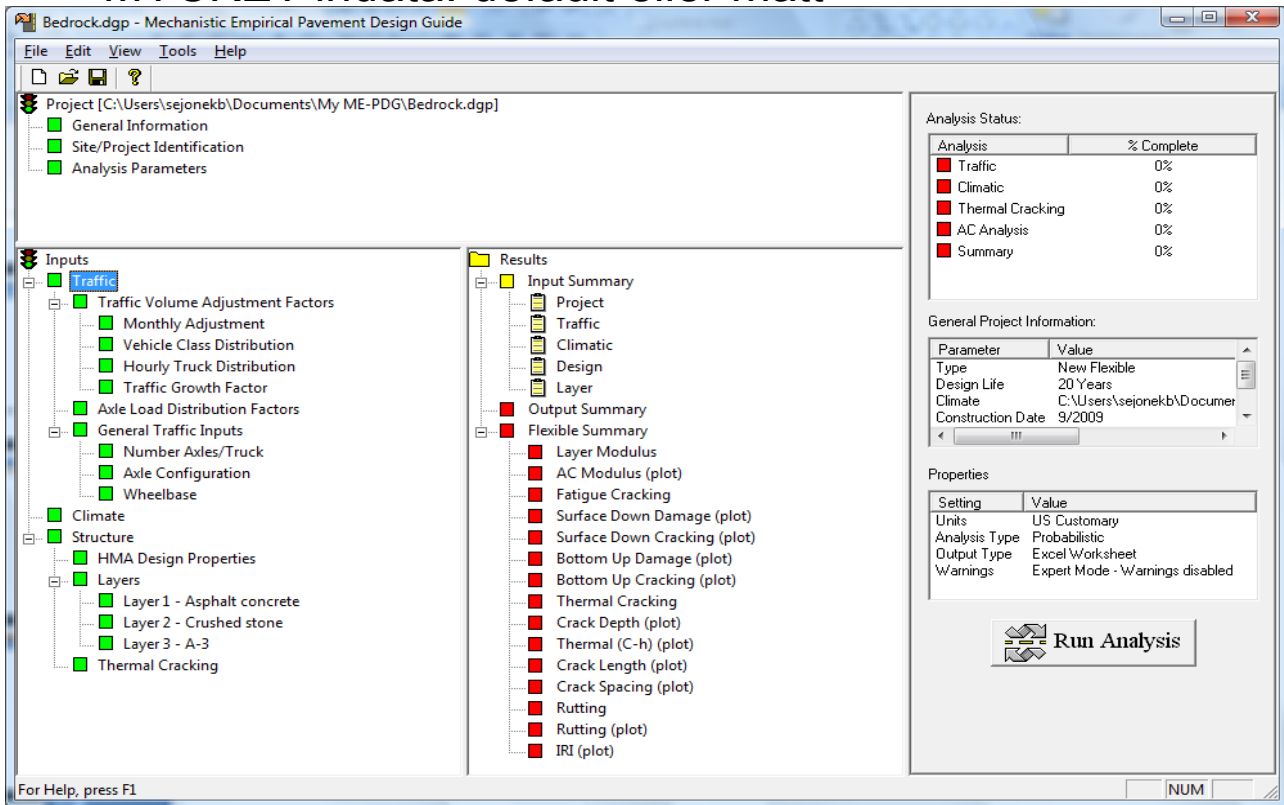
2013-02-25

32



# ME-PDG

- MYCKET indata: default eller mätt



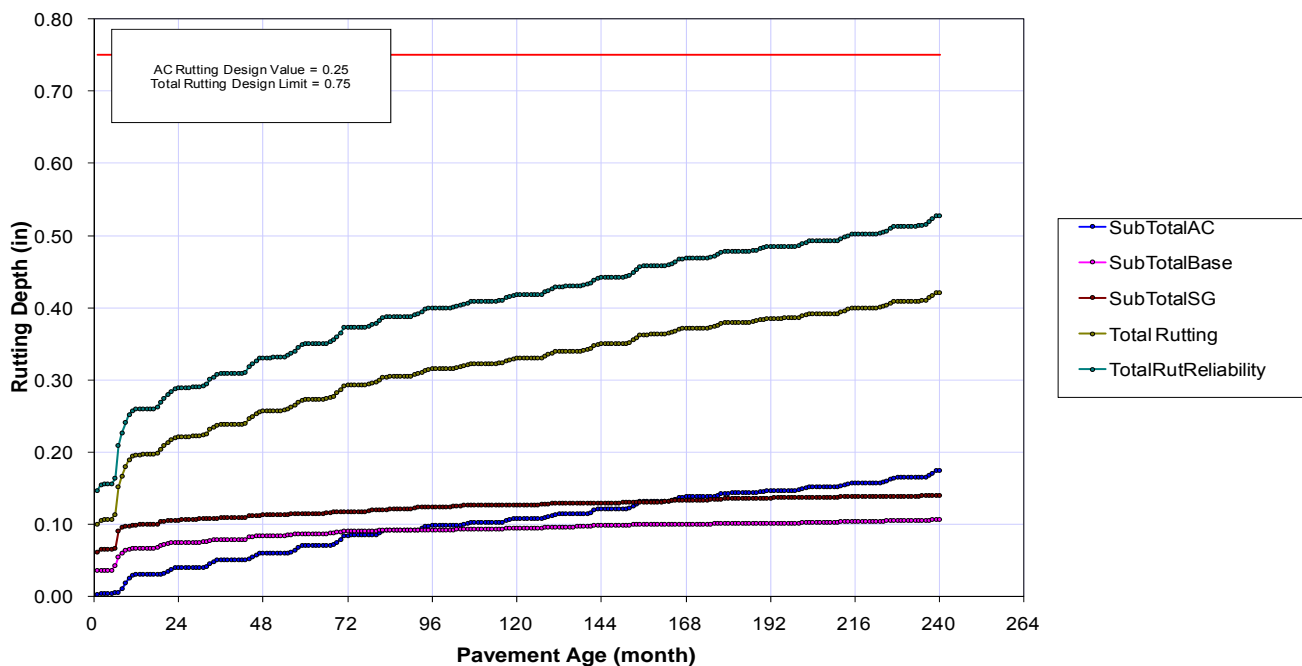
2013-02-25

33

## ME-PDG: 30 minuter senare

- Stort antal beräkningar och summeringar

Permanent Deformation: Rutting



- Viktigt att kunna teori och empiri bakom modeller

2013-02-25

34

# MMOPP 2007

**Input parametre**

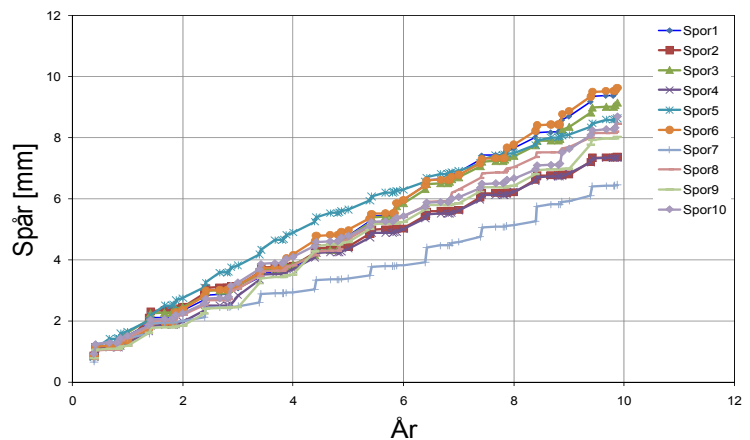
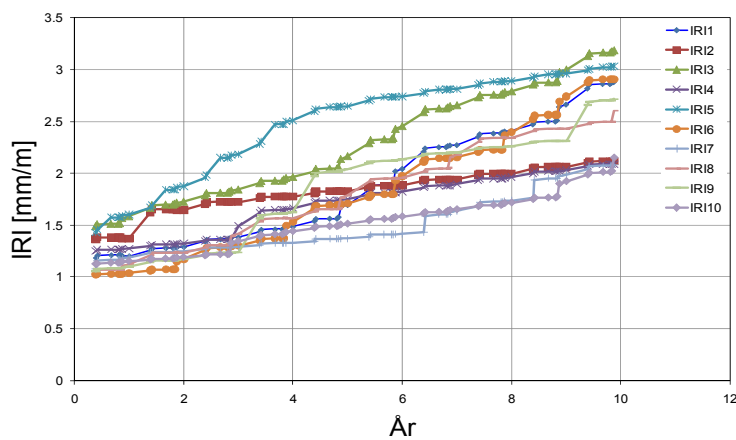
Materiale	Tykkelse	E-værdi	
Nyt lag			Gem
40 AB 40/60 50 ABB 40/60 GAB 0 40/60	147	3566	Start
SG	230	300	Slut
Bundsikring	335	100	Analytisk
Frostvivlsom		40	Optimer
Navn Kongens by	Længde	30	Leveltid, år
Hjul 1			Standard E
Antal pr. år 180000			
Vækst, % 0			Total.xls
Min hastighed 60	Max hastighed 80	Start årstid 5	Grafik.xls
År i simulering/dimensionering 10	Antal simuleringer 10		Data.xls
Lag			Vis resultater
Avanceret			

2013-02-25

35

## MMOPP: Simulering

- Simulerar spår och IRI



- Viktigt att kunna teori och empiri bakom simuleringar

2013-02-25

36

# VTI:s Slitagemodell

- **Materialdel** som uttrycker spårdjup som funktion av materialegenskaper

## kopplas med

- **Trafikdel** som beskriver mängd personbilar och hur trafiken och därmed spårdjupet fördelas över körfältet
- Finns implementerad i PMS Objekt

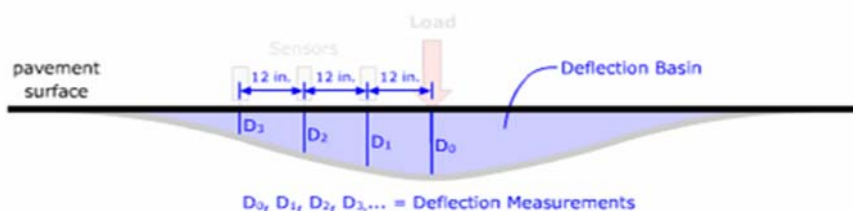
2013-02-25

37

## Prognosmodell för spårutveckling orsakad av tung trafik

VTI notat 2-2007, Nils-Gunnar Göransson

- Fallviktsmätningar på nybyggd konstruktion
- Spårdjup från vägytemätbil
- VTI:s LTPP-sträckor (Long-Term-Pavement-Performance)
- **Spår** som funktion av **SCI300** (Surface Curvature Index 300 mm) och **N** (antal standardaxlar)



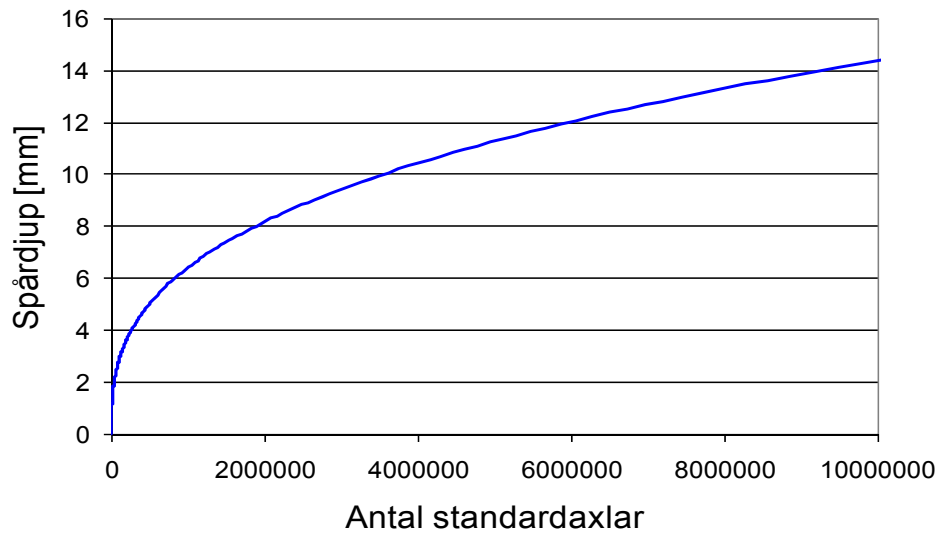
$$\left( \frac{\text{LOG}_{10} \left( 0,9533 * N * a^{\frac{1}{b}} \right)}{\frac{1}{b} + 0,0209} \right)$$

SPÅR = 10

2013-02-25

38

# Prognosmodell för spårutveckling orsakad av tung trafik: exempel



- Viktigt att kunna teori och empiri bakom modeller

## Sammanfattning

- DK1 och DK2 vanligast (än så länge)
- Funktion mest vägyta
- DK3-Traditionella verktyg lite trubbiga