

Thesis 359

# Utvärdering av program för dimensionering av vägöverbyggnader

– En jämförelse mellan PMS objekt, PEDRO och SDSS

Benjamin Anderhorn

Trafik och Väg  
Institutionen för Teknik och Samhälle  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet





Copyright © Benjamin Anderhorn

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle  
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5326)/1-84/2021  
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet  
Lund 2021



Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5326)/1-84/2021

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,  
Institutionen för Teknik och samhälle,  
Trafik och väg, 359

ISSN 1653-1922

Author(s): Benjamin Anderhorn

Title: Utvärdering av program för dimensionering av vägöverbyggnader

English title: Evaluation of programs for dimensioning of roads

Language Svenska

Year: 2021

Keywords: Överbyggnad; Asfalt; Dimensionering; PEDRO; SDSS; PMS objekt

Citation: Benjamin Anderhorn, Utvärdering av dimensioneringsmetoder för överbyggnader. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2021. Thesis 359

#### Abstract:

The largest part of the Swedish state roads are today paved. With this in mind it therefore is demanded when the road in question is constructed respectively when a maintenance measure is taken place, that the dimensioning of the road from the start was done properly. Since a while back in Sweden it has been upon the Swedish Transport Administration to regulate with their document "TRVK Väg", now TRVINFRA how the Swedish state road network should be dimensioned. In correlation with this document the Swedish Transport Administration have instituted a dimensioning tool called PMS objekt. The advantages with this tool have been plenty including that the calculations done by the tool have been analytic-empirical and have considered both climate and frost heave when dimensioning. On the other hand though the method have neglected a critical part of an asphalt mixture, its bitumen rheology. Therefore this study aims to evaluate PMS objekt and two other tools adapted for the Swedish climate: PEDRO and SDSS, both methods conclude the type of bitumen into its calculations. Data from a real Highway found in Sweden was used as input data to the programs, as well as its asphalt concrete recipes. The results that followed concluded that SDSS didn't work appropriately, its function that let you input critical data from your various asphalt recipes didn't work, which forced one to use the standard mixtures implemented into the program. Conclusions to draw from the result was that the input data for PEDRO and SDSS was much more detailed than the input data for PMS objekt. This conclusion pitches the idea that if SDSS would work in the future and on top of that become verified, it could take the dimensioning of roads in Sweden a big step forward and truly let the materials involved being used the most efficient way.

Trafik och väg  
Institutionen för Teknik och samhälle  
Lunds Tekniska Högskola, LTH  
Lunds Universitet  
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads  
Department of Technology and Society  
Faculty of Engineering, LTH  
Lund University  
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

*”Rem tene, verba sequentor – behärskas ämnet så följer orden”*

(Cato the Elder, 234-149 f.Kr.)

# Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	2
1.2.1	Målformulering	2
1.3	Metodbeskrivning	2
1.4	Avgränsning	2
1.5	Rapportens disposition	2
1.6	Litteraturstudie	3
1.6.1	Sökschema/Sökning	3
1.7	Jämförelse mellan mjukvarorna	4
2	Litteraturstudie	6
2.1	Vägens historia & uppbyggnad	6
2.1.1	Överbyggnadens funktion & uppbyggnad	8
2.1.2	Underbyggnadens och undergrundens funktion	9
2.1.3	Materialtyper	10
2.2	Asfalt & Bitumen	11
2.3	Nedbrytning av vägar	13
2.3.1	Ytskador	13
2.3.2	Sprickor	13
2.3.3	Spårbildning	15
2.4	Dimensionering av överbyggnader	17
2.5	Dimensionering i Sverige	17
2.5.1	Dimensioneringsklasser 1, 2 & 3	17
2.5.2	Design av flexibel- och styv överbyggnad	19
2.6	Dimensioneringskriterier	22
2.6.1	Tjäle	22
2.6.2	Utmattning av terrassyta – spårbildning	23
2.6.3	Utmattning i underkant bundna lager – sprickbildning	23
2.6.4	Trycktöjning på terrass från extremlast	24
2.6.5	Dimensionering mot plastisk deformation	24
2.7	PMS objekt	25
2.7.1	B-faktorn	25

2.7.2	Elasticitetsmodul vid årstider	25
2.7.3	Indata	25
2.7.4	Utdata	27
2.7.5	Avancerade funktioner – Beläggningsslitage	27
2.7.6	Indata	28
2.7.7	Utdata	28
2.8	PEDRO - PERmanent Deformation of asphalt concrete layer for ROads	29
2.8.1	Modell för prognostisering av spårdjup	29
2.8.2	Indata	30
2.8.3	Utdata	31
2.9	Swedish Decision Support System	32
2.9.1	Dissipated creep strain energy limit & Fracture Energy	32
2.9.2	Indata	33
2.9.3	Trafik	36
2.9.4	Utdata	36
2.9.5	Standardbeläggning	37
3	Jämförelse mellan mjukvarorna	39
3.1	Val av indata	39
3.2	Väg E22 Linderöd	39
3.2.1	PMS objekt	40
3.2.2	Swedish DSS	40
3.2.3	PEDRO	41
4	Resultat	44
4.1	PMS objekt	44
4.1.1	Körfält 1	44
4.1.2	Körfält 2	46
4.2	Swedish DSS	47
4.2.1	Körfält 1	47
4.2.2	Körfält 2	48
4.3	PEDRO	49
4.3.1	Körfält 1	49
4.3.2	Körfält 2	50
4.4	Samlade resultat	51
5	Diskussion och slutsats	52



5.1	Resultatdiskussion	52
5.2	Metoddiskussion	55
5.3	Slutsatser	57
5.3.1	Rekommendationer	58
6	Referenser	59





# Förord

Mitt mastersarbete författades och kom till i Peab Asfalt laboratorium i Helsingborg under höstterminen 2020 i samarbete med LTH och Peab asfalt. Arbetets initiala idé och förfrågan om att genomföra den fick jag tilldelad tack vare kontakten mellan min mentor Ebrahim Parhamifar, LTH och Anders Gudmarsson, Peab. Utan Ebrahim hade inte arbetet skrivits av mig och förmodligen hade mitt särskilda intresse för asfalt och bitumen inte heller förelegat. Ett stort tack till denna herre som präglat mina senaste 2,5 år med sin oändliga passion för studenter och vägbyggnad.

Min huvudhandledare Pajtim skall ha ett ytterst stort tack för sitt engagemang och ständiga pushande, det är Pajtim som hela tiden fått mig att se vad jag kan förbättra med mitt arbete. Därtill har han även levererat värdefulla tips på hur man egentligen skall titta på ett mastersarbete.

Anders Gudmarsson och Peter Gustafsson Bruce på Peab skall dessutom ha varsitt tack för sitt stöd och deras flertal möten både virtuellt och fysiskt med mig. Ert stöd och er guidning i diverse frågor har hjälpt till att forma mig och mitt arbete.

Examinatorn Sven Agardh kan inte heller glömmas, Sven har med sina kurser på LTH under mina år där väckt delar av intresset jag har för vägbyggnad och har bidragit med sitt förtroende för mig till detta examensarbete.

På Peabs laboratorium i Helsingborg riktas tack till Martin Rydh och Olof Åkesson som inte bara stått ut med min eviga ström av frågor och prat utan också tilldelat en gemytlig plats att skriva mitt examensarbete på.

Slutligen skall min kollega och vän Emil Nilsson ha ett stort tack för att han studerat alla sena kvällar med mig och hjälpt mig förstå allt möjligt ifrån betong till grundvattenteknik.

Helsingborg, December 2020



# Sammanfattning

Största delen av det svenska vägnätet består idag av belagd väg. Med det i åtanke så krävs det därför att vägarna vid sin anläggning respektive när underhållsåtgärd sker blivit väl dimensionerade samt blivit korrekt utförda. Under en tid i Sverige har Trafikverket med sitt dokument TRVK väg numera TRVINFRA styrt hur de statliga vägarna skall dimensioneras med sina tre dimensioneringsklasser. I direkt samverkan med dokumentet har Trafikverket upprättat ett dimensioneringsverktyg PMS objekt. Fördelarna med detta program har varit flera, bland annat att verktyget utfört sina beräkningar grundat på tidigare erfarenhet samtidigt som den varit analytisk. Utöver detta har programmet tagit hänsyn till både tjäle och klimat vid dimensioneringen. Däremot finns de nackdelar med PMS objekt, exempelvis att mjukvaran inte tar hänsyn till de olika materialegenskaperna för det bitumen som använts, det vill säga bitumens inverkan på asfaltmassan som helhet. Något som helt styr asfaltens beteende vid påfrestningar, klimatinverkan et cetera. Rapporten COST 333 som upprättades 2000 av EU tog fasta på 13 frekvent förekommande sätt en väg går till brott på, PMS objekt dimensionerar för tre av dessa. Således återfinns ett stort utrymme för förbättring och där också att hänsyn tas till bitumens egenskaper för asfaltmassan. Två program som gör försök till att ta hänsyn till detta är SDSS – Swedish decision support system samt PEDRO – Permanent Deformation of asphalt concrete layer for ROads.

Mjukvarorna PEDRO samt SDSS skiljer sig bland annat från det konventionella dimensioneringsprogrammet PMS objekt genom att mer detaljerad data om materialens egenskaper kan anges i programmen. Detta ger förutsättningar till dimensioneringen eller prognostiseringen i PEDROs fall att närmare efterlikna verkligheten. I den här studien dimensioneras och prognosticeras ett verkligt projekt E22 Linderöd och då också körfält 1 samt 2. Med indata direkt från E22 Linderöd så används samtliga tre mjukvaror för att slutligen jämföra deras utdata i form av när makrospricka uppstår samt spårdjup över tid ifrån deformationer SDSS, spårdjup ifrån PEDRO samt om vägen håller i 20 års tid i enlighet med PMS objekt.

Resultaten som följde var att både PMS objekt samt PEDRO gav resultat som visade att vägen håller sin tekniska livslängd och uppfyller krav ställda ifrån Trafikverket på motorvägar av den här typen. Medan SDSS funktioner inte fungerade, vilket hade sin följd att endast standardbeläggningar ifrån mjukvaran kunde användas vilka inte överensstämde med de riktiga beläggningarna ifrån använt projekt. Därutöver fungerade inte prototypens finita elementmetod vilket gjorde att spårdjup inte heller gick att beräkna. Därför kunde inte resultaten jämföras på det sätt arbetet ämnade göra.

Slutsatser som kunde dras ifrån resultaten var bland annat att detaljrikedomen för PEDRO samt SDSS är på en högre nivå i jämförelse med PMS objekt. Om SDSS i framtiden fungerar och har blivit validerad kan mjukvaran eventuellt att komma till stor användning och föra dimensioneringstekniken för överbyggnader i Sverige ett stort steg framåt. Detta då materialegenskaper skulle kunna nyttjas mer än vad de gör idag exempelvis. Förutom detta drogs även slutsatsen att PEDRO när det validerats i framtiden skulle kunna ses som ett komplement till PMS objekt eftersom PEDRO prognosticerar spårdjup till följd av deformationer, vilket PMS objekt icke gör.



# Summary

The largest part of the Swedish state roads are today paved. With this in mind it is therefore demanded when a road in question is constructed respectively when a maintenance measure is taken place that the dimensioning of the road from the start was done properly. Since a while back in Sweden it has been upon the Swedish Transport Administration to regulate with their document “TRVK Väg”, now TRVINFRA how the Swedish state road network should be dimensioned. In correlation with this document the Swedish Transport Administration have instituted a dimensioning tool called PMS objekt. The advantages with this tool have been plenty, including that the calculations done by the tool have been analytic-empirical and have considered both climate and frost heave when dimensioning. On the other hand though the method have neglected a critical part of an asphalt mixture, its bitumen rheology. Something that controls the behavior of the asphalt concrete as a whole when it’s exposed to stresses, climate et cetera. The report COST 333 developed by the European Union stated that there exists 13 frequently occurring ways a road is broken down from, PMS object considers three of these. Thence there exists a large room for progression and opportunity to regard bitumen rheology in the design process. Two tools that does the latter is: SDSS – Swedish Decision Support System as well as PEDRO – Permanent Deformation of asphalt concrete layer for ROads.

The input data for both PEDRO and SDSS distinguishes itself from the input data for PMS objekt in a way that it demands much more details, such as either laboratory tests of the mixtures in question or in depth details of the mixture itself. This gives the conditions for the dimensioning process or in PEDROs case the predictions to go in line more with reality. In this study a state highway E22 Linderöd was chosen to be analyzed, the study analyzes both lanes. The input data is collected directly from this project and then used with the three softwares. The study aims to compare the different programs output data with each other to map differences and possibilities.

Both PMS objekt and PEDRO delivered results that was either in line with some demands from Trafikverket on this type of road or that the road was sufficient its whole service life. Other results found was that SDSS didn’t deliver in many of its function, which led to that the extensive data gathered from the highway project didn’t come to use in that regard that it was hoped for, instead SDSS standard mixtures was used. On top of this no rut depth results could be gathered from SDSS because that function didn’t work as well. Thenceforth no comparison between the rut results from PEDRO and SDSS could be done.

Conclusions to be drawn from the results were many even though the study didn’t work out as intended. For example the details of the input data were much greater for PEDRO and SDSS than PMS objekt than first was expected. If SDSS in the future work as envisioned and also is validated it could really push the dimensioning of roads in Sweden a big step forward, letting material properties in its whole from the asphalt mixtures for example be considered in the dimensioning process. Another conclusion drawn was that in the future when PEDRO has become validated it could be used as a complement to PMS objekt, because PMS objekt doesn’t predict rut.





# Begrepp och symboler

## Begrepp

Arbetsrecept	Specifikation för en viss typ av asfaltmassa
PEDRO	PERmanent DERformation of asphalt concrete layers for ROads
PMB	Polymermodifierat bitumen
PMS objekt	Dimensioneringsprogram för svenska förhållanden
Reologiska egenskaper	Materians deformations- och flytegenskaper.
SDSS	Swedish decision support system
Termoplastisk	Olika deformations- och flytegenskaper vid olika temperaturer
Tungt fordon	Fordon med bruttolast över 3,5 ton
Viskoelastisk	Innebär att materialet samtidigt deformeras elastiskt och visköst.
Viskositet	Ett mått på en vätskas motstånd mot att rinna
WIM	Weigh in motion
$\dot{A}DT_k$	Årsdygnstrafik per körfält
$\dot{A}DT$	Årsdygnstrafik





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Enligt Trafikverkets verksamhetsplan från år 2017 beräknades det att de årliga investeringskostnaderna samt vidmakthållandet av samtliga statliga vägar skulle för 2020 kosta 5 181 mkr respektive 14 228 mkr (Trafikverket, 2017).

Underhållskostnaderna beräknas alltså vara ungefär tre gånger högre än investeringskostnaderna för 2020. Dessa kostnader kan förklaras, bland annat av att det finns väldigt mycket väg i Sverige som kräver underhåll och/eller att vägarna från första början kan ha varit undermåligt dimensionerade i förhållande till vad de skulle klara av. I paritet till denna underhållskostnad borde idag därför större vikt läggas på dimensioneringen av överbyggnader, så att rätt material och rätt tjocklek på vägmaterialet används för att optimera kostnaderna för investering av nya vägar och därutöver minska underhållskostnader för dessa vägar i deras framtid. (Asfaltboken, 1999). En viktig aspekt vid dimensionering är hushållning av naturresurser (Agardh & Parhamifar, 2014).

Dimensionering av vägar utförs i Sverige ofta med PMS objekt, detta för att kunna dimensionera överbyggnader i enlighet med Trafikverkets regelverk. I programmet föreslås asfalt som bundet lager i vägkonstruktioner, ett material vars egenskaper att motstå trafikbelastningar påverkas av temperaturen i materialet, magnituden på lasten och varaktigheten av lasten (Birgisson, et al., 2012). En av fördelarna med PMS objekt är att mjukvaran tar hänsyn till variationer i klimatet, vilket möjliggör användandet av mjukvaran i hela Sverige (Trafikverket, 2016). Nackdelarna med PMS objekt är att mjukvaran inte tar hänsyn till varaktigheten av lasten på vägen samt att alla förmodade trafiklaster på vägen räknas om till en fiktiv last, s.k. standardaxel. Det kan även tilläggas att PMS objekt styrs av empiriska formler i mjukvaran som bara gäller för ett antal standardmassor av asfaltbetong och betong. Det går inte att på ett enkelt sätt ändra till någon annan speciell variant av asfaltmassa och sedan låta PMS objekt ta det i anspråk när man dimensionerar med PMS objekt (Rödin & Uhrdin Andersson, 2017; Birgisson, et al., 2012). Dessutom framkommer det i rapporten COST 333 att PMS objekt utgår endast ifrån tre av de vanligaste tolv nedbrytningsfaktorerna, nämligen tjälskador, deformation i obundna lager och sprickbildning i underkant av de bundna lagren (European Commission, 2000; Trafikverket, 2020). Detta skapar utrymme för en mjukvara som tar hänsyn till fler nedbrytningsfaktorer att utvecklas och ta anspråk vid dimensionering i Sverige.

För att bättre ta hänsyn till de reologiska egenskaperna hos asfalten samt även dimensionera mot dem permanenta deformationerna som uppstår, så behöver antingen PMS objekt modifieras och utvecklas eller att ett nytt program kan användas som komplement. Två program som försöker ta hänsyn till dessa egenskaper är ”SDSS – Swedish Decision Support System” och ”PEDRO - PErmanent Deformation of asphalt concrete layer for ROads”. Med ett nytt program som inte använder samma empiriska formler och standardmassor likt PMS objekt skulle kostnaden för nybyggnad kunna minskas samt att underhållsbehovet i regel skulle kunna reduceras. Detta hade i sin tur varit en samhällsvinst och i det långsiktiga perspektivet en vinst för miljön (Rödin & Uhrdin Andersson, 2017).

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att kartlägga skillnader mellan PMS objekt, PEDRO och SDSS. Därtill att studera möjligheter och avgränsningar för användandet av SDSS, samt jämföra med PMS objekt och PEDRO. Märk väl att PMS objekts avancerade funktion beläggningsslitage kommer nyttjas för att se om de finns eventuella liknelser med PEDRO respektive SDSS.

### 1.2.1 Målformulering

- Kartlägga skillnader i in- och utdata mellan PMS objekt, PEDRO och SDSS
- Studera hur förändringar i indata påverkar utdata

## 1.3 Metodbeskrivning

Mastersarbetet påbörjas utav en litteraturstudie med inriktning på dimensionering av överbyggnader i Sverige. Steg två i arbetet består av ansatser till dimensionering med mjukvarorna PMS objekt och SDSS samt prognostisering med PEDRO. Slutligen diskuteras samtliga funna resultat och slutsatser dras.

## 1.4 Avgränsning

Arbetet avgränsas utifrån att det är bara indata och utdata som kommer beaktas utefter frågeställningarna. Det finns flertal dimensioneringsverktyg tillgängliga på marknaden världen över, dock har det här examensarbetet begränsats till att kartlägga skillnader mellan dimensioneringsverktygen PMS objekt och SDSS samt modellen PEDRO. Fokusområdet är Sverige och valt projekt för jämförelse är en motorväg(E22) som återfinns vid Linderöd i Skåne där samtliga körfält det vill säga körfält 1 och 2 kommer dimensioneras.

## 1.5 Rapportens disposition

Mastersarbetet tar sin form till en början med att relevant bakgrundsinformation till dimensionering med PMS objekt och SDSS samt prognostisering med PEDRO tas upp och presenteras för att ge läsaren möjlighet att förstå mjukvarorna. Litteraturstudien hämtar information från avhandlingar, böcker, mastersarbeten och artiklar.

Dimensioneringskapitlet ger indata och beskriver hur dimensioneringarna samt prognostisering för respektive mjukvara går till. Resultatet presenteras sedan där direkta och indirekta skillnader introduceras och jämförs. De slutsatser som kan dras kring resultatet diskuteras sedan och förslag på fortsatta studier ges.

## 1.6 Litteraturstudie

Litteraturstudien bestod utav studerade avhandlingar, rapporter och litteratur som behandlade vägteknik och dimensionering av överbyggnader i Sverige. En Top-down metodik bejakades i litteraturstudierna, med detta menas att de initiala studierna omfattade väldigt mycket data som tillsammans bildade "en stor bild" med dess tillhörande komponenter. Med detta som grund kunde sedan djupare analys göras. Litteraturstudierna var en central del i arbetet för att förståelse skulle kunna bildas kring mjukvarorna för att sedan analys av dem skulle kunna ske.

### 1.6.1 Sökschema/Sökning

Samtliga sökningar genomfördes i följande databaser:

- LUBsearch
- Lovisa
- LUP
- DiVA
- VTI
- SBUF

Sökorden som sedan används för sökningarna återfinns här:

- Dimensionering\* Väg\*
- Dimensionering Överbyggnad
- PMS objekt
- PMS objekt utvärdering
- Vägbyggnad
- Vägskador
- PEDRO
- Top-down cracking
- Fracture mechanics

## 1.7 Jämförelse mellan mjukvarorna

Programmen/mjukvarorna som är tänkta att dimensioneras och prognosticeras med samt sedan jämförs sinsemellan med är:

- PMS objekt - version 5.0.1 släppt 28 september 2012
- PEDRO – version 1.0.7088.14866 släppt 2020
- SDSS – släppt 7 april 2020

PMS objekt version 5.0.1 och PEDRO är båda tillgängliga online för nedladdning ifrån Trafikverket respektive VTI. SDSS tilldelades från Peab Asphalt.

Utöver det finns en vilja att återspegla riktigt dimensionering, således användes ett riktigt projekt tilldelat ifrån Peab, projektet var en motorväg E22 Linderöd. Från projektet användes arbetsrecept på de ingående beläggningar som använts för att kunna svara mot de indata mjukvarorna krävde.



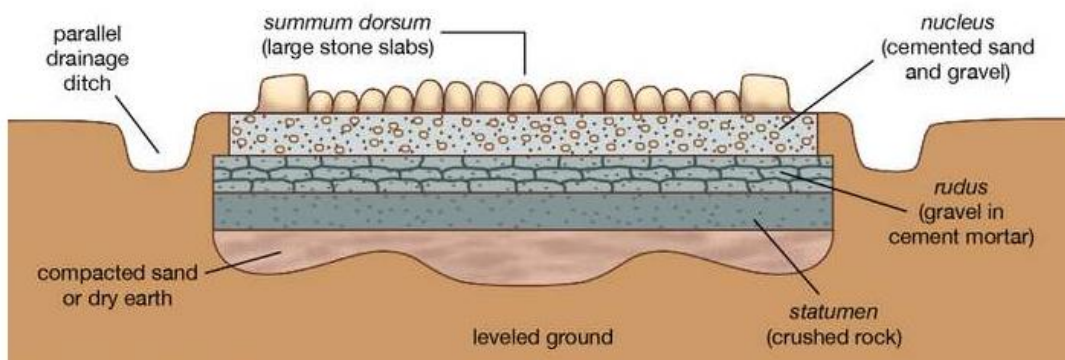


## 2 Litteraturstudie

### 2.1 Vägens historia & uppbyggnad

Vägar har använts till transport av gods, militär och personer i flera tusen år. Via Appia som lät byggas av censorn Appius Claudius 312 f. Kr var den troligtvis första vägen i världens första organiserade vägnätverk. Även om vägarna då inte belastades av trafik som vägar görs idag, så användes Via Appia för samma ändamål som vägarna fortfarande görs idag (Thorbjörnsson, 2016).

Via Appia bestod av flertalet lager likt dagens vägkroppar och var robust byggda. Det är troligtvis därför en del av de romerska vägarna fortfarande existerar än idag (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998). En typisk romersk väg, en så kallad "via munita" såg ofta ut likt Figur 2. Där översta lagret – *summum dorsum* bestod av huggen sten, lagret under – *nucleus* uppgjordes av grus och cementerad sand. Lagret därpå, tredje uppifrån och ner i Figur 1 – *rudus* bestod av grus med murbruk. Fjärde och sista lagret – *statumen* var gjort av stora stenblock. Därjämte kompakterade man marken och fyllde i de håligheter som fanns med sand eller jord så att marken skulle vara plan för lagren ovan (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998).



Figur 1 - Tvärsektion romersk väg. Källa: Britannica.com

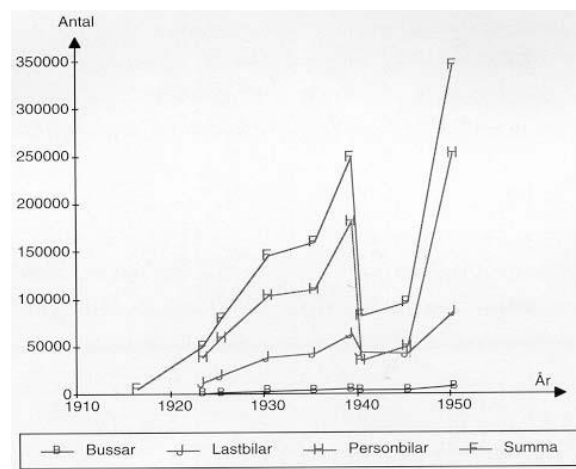
Värt att poängtera är att cementerad sand användes i romarnas vägar, det fanns alltså redan 312 f. Kr bundet material i vägkroppen (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998).

Idag ser vägkonstruktionerna till viss grad annorlunda ut, detta i form av vilka material som används, dock byggs de fortfarande i olika lager. Figur 2 på nästa sida illustrerar en vanlig typ av vägkonstruktion i Sverige och påvisar den lagerföljd som dagens vägkonstruktioner vanligtvis har (Asfaltboken, 1999).



Figur 2 - Principiellt utseende av dagens vägkonstruktion. Källa: asfaltboken.se

I Sverige startade den vägbyggandeprocess som lade grunden för dagens vägnät först i början av 1900-talet. Det var uppkomsten av allt fler bilar (Ford 1907, Volvo 1927) som ställde andra krav på vägkroppen som utgjorde detta behov. I mellankrigstiden från år 1918 till år 1930 ökade fordonsbeståndet i Sverige från 10 000 motorfordon till 145 000 motorfordon, Figur 3 illustrerar ökningen. Vid 1920-talet tillkom bilskatten, vilken kom till tack vare det ökade beståndet av bilar, sålunda krävdes ordentlig omsorg av vägarna som fanns och därmed finansiering (Asfaltboken, 1999).



Figur 3 - Fordonsbeståndets utveckling. Källa: asfaltboken.se

Strax före krigsutbrottet i Europa hade Sverige omkring 400 mil väg belagd med asfalt- eller tjärbeläggning. Asfalten lades vid skedet fortfarande ut för hand, vilket ändrades i slutet av 1940-talet. Detta tack vare att de första utläggnings-maskinerna kom till Sverige, dessa maskiner var producerade i USA. Dessa helt nya maskiner för tiden möjliggjorde följaktligen maskinell utföring av beläggning, som ökade produktionskapaciteten av väg markant i Sverige (Asfaltboken, 1999).

Introduktionen av ”asphalt” (bitumen på svenska) för människan gjordes någon gång år 6000 f. Kr. Sedan dess har människan använt bitumen till olika former av ändamål, allt

från vattentätning till smörjmedel. Den första riktiga vägen som lades av asfaltbetong, som vi känner det idag utfördes 1901 av Warren Brothers (Asphalt Institute, 2007).

När man talar om ”asphalt” i Nordamerika åsyftas det bindemedlet bitumen, i Europa när man samtalar om asfalt menar man just beläggningen asfalt som helhet. Det vill säga stenmaterial, filler och bindemedel (Shell Bitumen, 2003).

### 2.1.1 Överbyggnadens funktion & uppbyggnad

Överbyggnaden utgör samtliga lager ovanför undergrunden, se Figur 2. Dess funktion är bland annat att transportera bort vatten från ytan av vägen samt väggkroppen i övrigt. Därtill tåla belastningar under sin tekniska livslängd så att deformationer inte blir för betydande, dessutom skall överbyggnaden göra att vägytan förblir jämn både i tvär- och längdled (Agardh & Parhamifar, 2014).

En överbyggnad är normalt sett utformad så att materialen(lagren) högre upp i konstruktionen är av högre kvalitet än lagret under lagret ifråga (Agardh & Parhamifar, 2014). Detta samspelar även med de krav Trafikverkets TRVINFRA ställer och det är därmed högre krav på ett slitlager än exempelvis ett förstärkningslager, se Figur 2 (Trafikverket, 2020).

Som Figur 2 anvisar, ser en typ av en vanligt förekommande överbyggnad ut. För respektive lagers funktion och ingående material kommer de uppifrån och ner inunder. Lägg märke till att detta är för en sedvanlig grusbitumenöverbyggnad. Det finns också andra varianter såsom bergbitumenöverbyggnad(BBÖ) samt cementbitumenöverbyggnad(CBÖ)

- *Slitlager*

Slitlagret återfinns högst upp i väggkroppen och utgörs vanligtvis i Sverige av en varmverkblandad asfaltbetong. Slitlagrets huvuduppgift är att ge samtliga trafikanter på dess yta en jämn och trafiksäker yta att framföra sina fordon på. Slitlagret skall också leda bort vatten som hamnar på ytan, således krävs något dränerande effekt både på ytan och genom konstruktionen (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Bindlager*

Ett bindlager läggs enligt TRVINFRA på de vägar/körfält som är så pass trafikerade av tung trafik så att den tunga årsdygnstrafiken( $\dot{A}DT_{k,tung}$ ) överstiger 100 tunga fordon eller när antalet standardaxlar överstiger  $5 \cdot 10^5$  standardaxlar. Därtill förläggs bindlager även för att öka stabiliteten på platser där mycket tung trafik rör sig långsamt. Detta kan vara korsningar, busshållplatser eller cirkulationsplatser (Trafikverket, 2020).

Bindlagrets funktion är att fungera som ett övergångslager mellan slitlagret och det bundna bärlagret. Lagret överför då spänningar från slitlagret till det bundna bärlagret inunder (Asfaltboken, 1999).

- *Bundet bärlager*

Huvuduppgiften för det bundna bärlagret är att fördela trafikens påkänningar nedåt i konstruktionen så att inte för stora deformationer eller belastningar uppstår. Materialen i lagret bör ha hög kvalitet så att dessa kan stå emot utmattning och deformation. Vanligtvis beläggs detta lager med ett Asfaltgrus(AG), därför kallas lagret ofta i Sverige för AG-lager (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Obundet bärlager*

Krossat grus samt krossad sten utgör oftast det obundna bärlagret. Lagret har samma uppgift som sin bundna komponent, det vill säga att fördela lasterna till de underliggande delarna i konstruktionen. Kraven på materialet är fortfarande höga, även om materialet inte är bundet. Därtill bör lagret packas noggrant, så att eftersättningar ej uppstår. Största stenstorleken kan uppgå till 30-40 mm i ett obundet bärlager (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Förstärkningslager*

Kraven på ett förstärkningslager är betydligt lägre än ovanliggande lager, således tas gärna i den mån det går material från schaktning eller omkringliggande områden. Största stenfraktion hamnar mellan 60-130 mm. Dessutom så packas till viss grad även förstärkningslagret. Lagret skall ha en dränerande funktion. Den skall också fördela de påkänningar som kommer ifrån det obundna bärlagret ovan vidare ner till terrass och om det finns ett skyddslager till det (Isacsson, 2000).

- *Skyddslager*

De lägsta kraven i konstruktionen ställs på det eventuella skyddslagret. Skyddslagret läggs om området i fråga har stor köldmängd och undergrunden är av tjälfarligt material. Då gör skyddslagret att tjällyftningarna inte blir ojämna samt att det finkorniga materialet från undergrunden inte tränger in i förstärkningslagret (Asfaltboken, 1999).

Om dimensioneringen av vägen påvisar att ett tunt skyddslager behövs (<200) så ökar man normalt förstärkningslagrets tjocklek istället för att lägga ett skyddslager (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Justeringslager*

Vid underhållsåtgärd krävs ibland att ett justeringslager läggs för att ge en jämn yta åt exempelvis ett slitlager som skall ligga ovanpå. Justeringslagret uppgift är att justera ytan i alla de håligheter och deformationer som bildats till en jämn och fin yta för slitlagret att läggas och packas på (Asfaltboken, 1999).

## 2.1.2 Underbyggnadens och undergrundens funktion

Till underbyggnaden eller undergrunden räknas den del av vägkroppen som är belägen under överbyggnaden. Terrassytan är gränsen emellan överbygganden och undergrund-/underbyggnaden. Undergrund kallas det om vägkroppen är belägen i skärning, det vill säga "går" igenom marken. Underbyggnad innebär att vägkroppen är belägen på bank och är sålunda upphöjd utöver omkringliggande landskap (Asfaltboken, 1999).

Krav på att terrassytan är jämn och innehar rätt sidolutning som den färdigställda vägen skall ha ställs. En ojämn terrassyta fördelar bärighetsförmågan olika i överbyggnaden och det leder slutligen till ojämnheter i vägytan (Agardh & Parhamifar, 2014).

En underbyggnad/undergrund kan bestå utav massor av olika material och byggas på berg eller jord. I enlighet med TK Geo 13 finns flertalet tjälfarlighetsklasser som definieras utefter materialtypen i undergrund-/underbyggnaden. Normalt är att finkorniga material såsom silt och lera är av hög tjälfarlighetsklass - klass 4 och de grovkornigare materialen som berg, sand och grus av klass 1, det vill säga låg tjälfarlighetsklass (Trafikverket, 2013).

### 2.1.3 Materialtyper

Flertalet materialtyper återfinns i de svenska jordarna. Den mest frekvent förekommande jordarten i Sverige är moränen, som generellt är bra att anlägga och bygga på. Den materialtyp som är bäst att bygga på är berget. Det är tack vare dess styvhet, dock förekommer poröst berg vilket inte är stabilt att anlägga på (SGU, 2020).

Att bestämma rätt materialtyp att anlägga en väg på är av stor vikt för att dimensioneringen skall bli bra. Om terrassen är av tjälfarligt och finkornigt material förändrar det dimensioneringsförutsättningarna radikalt. Således behövs geologiska inspektioner och provtagning på befintlig mark göras innan dimensioneringen sätts igång. Trafikverkets dokument TK Geo bestämmer samtliga materialtyper och vad som definierar dessa var för sig. Där specificeras till exempel att en jordart definieras utav dess kornfördelningskurva och hur såsom lerhalt, organisk halt bestäms. Alla dessa egenskaper specificerar sedan tillsammans vilken typ av terrass vägen ifråga skall anläggas på (Trafikverket, 2013).

Materialtyp	Bergstyp	Kul-kvarns-värde	Halten av (vikts-%) x/y			Exempel på jordarter	Tjälfarlig-hets-klass
			Finjord 0,063/63 mm	Ler 0,002/ 0,063 mm	Organisk jord %/ 63 mm		
1	1 2	≤ 18 19-30	< 10		≤ 2		1
2			≤ 15		≤ 2	Bo, Co, Gr, Sa, saGr, grSa, GrTi, SaTi	1
3A	3	>30	≤ 30		≤ 2		2
3B			16-30		≤ 2	siSa, siGr, Ti	2
4A			31-40		≤ 2	clTi, siTi	3
4B			> 40	> 40	≤ 2	Cl, ClSi,	3
5A			> 40	≤ 40	≤ 2	Si, clSi, siCl, SiTi	4
5B					3-6	gyCl, gySi	4
6A					7-20	clGy, siDy	1-4
6B					> 20	Pt, Gy	1
7	Övriga material Enligt särskild utredning					Restprodukter återvunna material mm	

Figur 4 - Materialtyper enligt TK GEO

Figur 4 visar de materialtyper som finns Trafikverkets dokument TK GEO och TRVINFRA.

## 2.2 Asfalt & Bitumen

Asfalt är den mest frekvent använda beläggningen på det svenska vägnätet, statligt som kommunalt. Asfalt består av stenmaterial, bitumen och filler. Filler tillsammans med bitumen benämns asfaltsbruk. Bindemedlet, det vill säga bituminet i asfalten fungerar som kitt till stenmaterialet och ger även asfalten sin svarta färg (Agardh & Parhamifar, 2014; Granhage, 2009).

Asfalt är ett styvt material, alltså mycket hårt och besitter därför en hög styvhetsmodul cirka 4500-14500 MPa om man tittar på styvhetsmodulerna i TRVINFRA. Detta kan modifieras med bindemedlet på olika sätt (Agardh & Parhamifar, 2014).

Vidare är det även bindemedlet som ger asfalten sina speciella egenskaper i form av sina termoplastiska och viskoelastiska egenskaper. Detta betyder att en asfalt beter sig olika i form av deformationsegenskaper i olika temperaturer samt att en asfalt har en viss elastisk deformation och en viskös permanent deformation som uppstår vid belastning. Asfalten har alltså en förmåga att ofta återhämta sig ifrån nästintill all deformation efter en belastning. Kvar återfinns en liten deformation, men som övertid efter många passager av motorfordon växer och blir till en stor ackumulerad deformation. Asfalten kan därför forma sig efter rörelser ifrån trafik utan att gå till brott. Det är dessa egenskaper som gör asfalten unik och så väl använd på vägnät runt om i världen (Shell Bitumen, 2003).

Bindemedlet bitumen som gör asfalten viskoelastisk har en komplex reaktion på påfrestning. Bitumens materialegenskaper beror på temperatur och belastningstid (frekvens). Belastningstiden eller frekvensen är direkt relaterad till den hastighet fordonen håller. I en asfalt ger stenmaterialet upphov till de elastiska och plastiska egenskaperna medan då bituminet ger viskoelasticiteten (Shell Bitumen, 2003).

Det som ger bituminet olika viskoelastiska samt termoplastiska egenskaper är dess typ (sammansättning) och dess tillsatser. Med detta menas att det finns olika former av bitumen, de brukar benämnas utifrån sin hårdhet. Beroende om bitumentypen är hård eller mjuk beter sig bituminet därefter, detta innebär att de mjuka bitumen är mer elastiska än vad de hårdare är. Mjuka bitumen har lägre styvhet än vad de hårda har. Detta ger de olika bitumen som finns olika användningsområden (Shell Bitumen, 2003).

Vanliga bitumen så kallade penetrationsbitumen (pen-bitumen) klassificeras utefter deras penetrationstal vilket anges i tiondels-millimeter. Penetrationstalet anger hur djupt en 100 grams nål sjunker ner i ett visst bitumen under fem sekunder vid 25 °C. Ett hårt bitumen är ett 50/70 bitumen, medan ett mjukt bitumen är ett 160/220. 50/70 står då för att nålen nämnd tidigare sjunkit ned mellan 5-7 mm i bindemedlet under penetrationstestet. (Asphalt Institute, 2007; Agardh & Parhamifar, 2014).

En vanlig tillsats i bitumen idag är polymerer, dessa kallas i vardagligt tal för plaster. Att polymermodifiera ett bitumen ger flertalet fördelar till bindemedlets funktioner och ger också asfaltmassan som helhet olika förbättrade egenskaper. Ett polymermodifierat bitumen benämns PMB. Till skillnad från ett vanligt pen-bitumen bemärks PMB med dess mjukpunkt i märkningen. Således betyder 55/75-45 att bindemedlets mjukpunkt är 45 °C och penetrationstalet är 55/75.

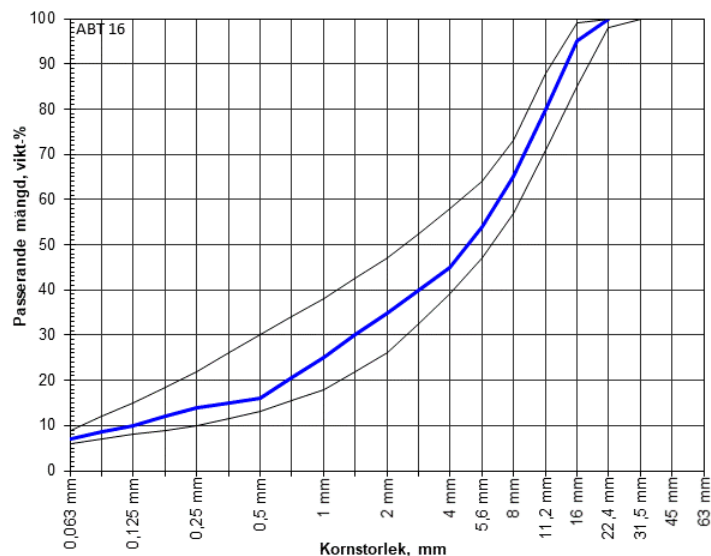
Förutom att modifiera bindemedlet i asfalten och välja olika bindemedel kan själva asfalten vara av olika sorter. Frekvent använda asfaltmassor i Sverige som förekommer beroende på kraven som asfalten skall stå emot är bland annat:

- ABS – Stenrik asfaltbetong
- ABT – Tät asfaltbetong

- AG – Asfaltsgrus
- ABb – Asfaltbetong bind

Beläggningstyperna används alla i olika delar i överbyggnaden, för att stå emot olika typer av trafik och kommer också alla med sina nackdelar och fördelar. Trafikverkets dokument TRVKB och ”val av beläggning” är till stor vägledning vid val av massatyper för olika trafiksituationer (Trafikverket, 2020).

Det som oftast särskiljer att olika asfaltblandningar heter olika och används för olika ändamål är de ingående stenfraktionerna, i andra ord kornfördelningskurvan. En kornfördelningskurva kan se ut likt Figur 5.



Figur 5 - Kornstorleksfördelningskurva ABT16. Källa: Trafikverket

Kornstorleksfördelningskurvan eller kornkurvan anger hur mycket av respektive fraktion som passerar en serie av siktar. Beroende på ingående stenfraktionerna får man olika typer av kurvor som används för olika typer av trafiksituationer och mot olika påfrestningar på vägen (Trafikverket, 2014).



## 2.3 Nedbrytning av vägar

En väg går inte sönder på det sätt som en del andra konstruktioner gör, utan en väg bryts ned långsamt över en lång tid och under denna tid förändras dessutom vägens tillstånd på olika sätt (Agardh & Parhamifar, 2014).

Vägens förändring kan synas som flertalet olika vägskador på dess yta, observera att i vissa fall uppvisas inga vägskador. Uppkomsterna till dessa varierande skador är olika beroende på vilken skada det rör sig om, vissa skador är dessutom en utveckling av en tidigare skada (Svenska Kommunförbundet, 2003).

### 2.3.1 Ytskador

Ytskador är skador som förekommer i vägytan på något eller några ställen.

- *Separation*

En separation syns okulärt i en lagd asfaltsmassa genom att de grövre stenfraktionerna ansamlats för sig och de finare fraktionerna för sig. Asfaltsmassans homogenitet är alltså annorlunda än vad den skall vara, detta problem uppstår speciellt för asfaltsmassor med en största stenfraktion >12 mm. Separation skapar svaga partier på ytan i vägen som inte innehar samma bärighet som övriga homogena asfaltsmassa. Om blandning av asfaltsmassan innan och/eller vid utläggning varit bristfällig kan problemet uppstå.

- *Blödande beläggning*

Att beläggningen blöder kan inträffa då bindemedelshalten är för stor i förhållande till vad asfaltsmassan skall stå emot för belastning. Detta innebär att bindemedlet mjukgörs och flyter eller pressas upp till ytan av beläggningen. Väl där bildar den ett halt underlag som kan åsamka trafikolyckor (Svenska Kommunförbundet, 2003).

Ytterligare en orsak till att en beläggning blöder sitt bindemedel kan vara att ett för mjukt bindemedel har använts i förhållande till det klimat som råder. Det vill säga att på sommaren kommer temperaturen för slitlagret upp i sådana temperaturer att bindemedlets mjukpunkt nås och de börjar flyta. Det krävs sedan inte mycket trafikbelastning för att bindemedlet ifråga skall infinna sig på ytan av beläggningen (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Slaghål*

Slaghål även kallat potthål kan uppkomma i beläggningens alla lager. De kan vara en följd till försummade krackeleringar eller sprickbildningar eller ha bildats för att vidhäftningen varit för dålig från slitlager till underliggande lager (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Stensläpp*

Förekomsten av stensläpp uppkommer utav exempelvis för låg bindemedelshalt, dålig blandning innan utläggning av beläggning eller att massan eventuellt haft för låg temperatur vid utläggning. Det sistnämnda gör att bituminet och/eller asfaltbruket inte binder ihop stenarna längre då det blivit för svalt. Vid trafikering släpper sedan stenar och kan då bilda stora partier av stensläpp (Svenska Kommunförbundet, 2003).

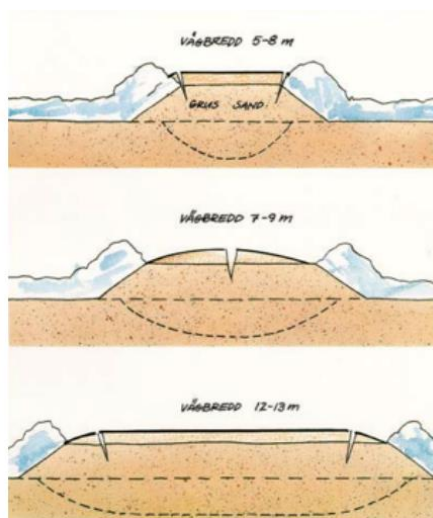
Stensläpp är en av de vägskador som senare ger upphov till andra skador såsom slaghål.

### 2.3.2 Sprickor

Sprickförekomst i asfaltmassor är av många olika typer samt anledningar. Det går inte bara att peka på en anledning av att sprickor förekommer, utan det finns alltid flertalet anledningar som kan ha inträffat. Därjämte ger dessa anledningar uppkomst till sin sorts sprickor (Svenska Kommunförbundet, 2003).

- *Tjälsprickor*

Likt längsgående sprickor syns tjälsprickorna. Deras uppkomst beror först och främst på förekomsten av tjäle i undergrunden som sedan gett upphov till tjällossning och tjäluppfrysning. Ojämnheterna i undergrunden övergår sedan till överbyggnaden och framkallar sedan så kallade tjälsprickor. Sprickornas utseende är både djupa och breda, beroende på vägens bredd infinnas de på olika ställen på vägens yta, se Figur 6 (Svenska Kommunförbundet, 2003).



Figur 6 – Tjälsprickor Källa: Bära eller Brista, 2019.

Sprickorna som uppkommer av tjäle kan vara väldigt framträdande på vinter-vår halvåret, medan samma sprickor på sommaren i princip inte syns alls (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Temperatursprickor*

På vintern kan asfalt krympa väldigt snabbt i likhet med andra material. I tvärriktning är detta inget problem, medan i längsgående riktning det blir ett problem. Tack vare att i längsriktning kan inte asfaltbetongen krympa, bildas det sprickor på grund av dessa krympningar. Krympningarna sker på grund av de snabba temperaturväxlingarna som sker på vintern. Bindemedelstypen spelar stor roll kring temperaturberoende sprickor, detta för ett mjukt bindemedel kan tillåta en viss krympning medan de hårdare bindemedlen inte tillåter det. (Asphalt Institute, 2007).

Likt tjälsprickor syns knappt temperatursprickorna på vintern (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Reflektionssprickor*

Typen av sprickor bildas som en reflektion i nyligen pålagd beläggning av underliggande lagers sprickor och fogar. Sådana här sprickor uppkommer i asfaltsbelagda vägar som beläggs ovanpå styva överbyggnader såsom betong- eller cementöverbyggnader (Agardh & Parhamifar, 2014).

Reflektionssprickor kan uppstå även på nyligen lagda styva lager som beläggs med asfaltlager ovanpå. Sprickor uppstår i de styva lagren på grund av exempelvis krympning, som sedan reflekteras upp i asfalten.

- *Bärighetssprickor - krackelering*

Bärighetssprickor börjar synas som små tunna sprickor, som med tiden växer och blir allt fler och grövre. Slutligen uppstår ett mönster som kallas krackelering, dessa sorters sprickor är ofta bärighetsberoende och har vanligen framkallats på grund av alla de upprepade trafikbelastningar vägen utsatts för. Orsaken till uppkomsten tenderar till att vara att den tekniska livslängden för vägen löpt ut, om vägen uppvisar partier med detta beteende före utlöp livslängd kan dessa partier vara dåligt utförda. Dessutom kan en möjlig orsak till krackeleringar innan tekniska livslängden löpt ut vara att vägen är underdimensionerad (Svenska Kommunförbundet, 2003).

Sprickor av denna typ kan även visas då dräneringen av vägkroppen inte är tillräcklig, detta försvagar de obundna lagren vilket möjliggör sprickbildningen (Svenska Kommunförbundet, 2003).

### 2.3.3 Spårbildning

Spårbildning likt andra vägsador har flertalet orsaker till uppkomst, just spårbildning i de bundna lagren räknas idag till en av de vanligaste orsakerna till att en bitumenbunden väg blir obrukbar eller i andra ord går till brott. Spårbildning i sig går med stor kostnad att åtgärda och blir därmed också en trafikfara då djupa spår gör så att motorfordon som rör sig i spåren kan få svårt att styra sina fordon, särskilt vid kraftigt regn (Said, et al., 2020).

- *Plastisk deformation*

Spår i asfalten kan uppkomma på grund av att den tunga trafiken plasticerar de bundna lagren i vägkroppen, se Figur 7. Det är alltså en långsam permanent deformation över tid som uppstår, detta tack vare upprepade belastningar av tung trafik. Plastisk deformation förekommer även där tung trafik färdas långsamt, exempelvis i cirkulationsplatser. Också på sträckor där tung trafik i linje färdas tenderar att plastiskt deformeras (Asfaltboken, 1999).



**Figur 7 - Plastisk deformation till följd av linjetrafik. Foto: Benjamin Anderhorn**

- *Bärighetsberoende spårbildning*

Den bärighetsberoende spårbildning som sker, sker som effekt av att de obundna lagren eller undergrunden deformeras. De deformeras i takt med att deras bärighet uppnås (Svenska Kommunförbundet, 2003).

- *Efterpackning*

Om en väg inte blivit fackmannamässigt utförd av olika anledningar, detta i form av otillräcklig packning så kan en viss efterpackning ske. Denna efterpackning görs av den tunga trafiken som färdas på vägen efter färdigställandet och bildar spår (Asfaltboken, 1999).

- *Dubbdäck*

En viss spårbildning bildas av nötningen ifrån dubbdäck på vägarna. Detta på grund av den mekaniska nötning som dubbarna på däcken ger upphov till, den mekaniska nötningen ”slipar” bort bituminet ifrån stenarna. Stenar lossnar sedan och slutligen efter en tid bildas spår från proceduren (Asfaltboken, 1999).

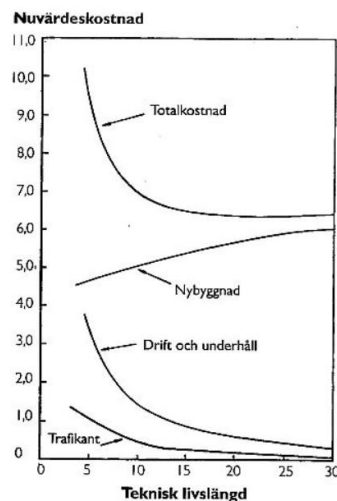
## 2.4 Dimensionering av överbyggnader

När en överbyggnad dimensioneras innebär det att erforderlig tjocklek samt rätt arbetsrecept för överbyggnaden bestäms utefter ett antal parametrar. Dessa parametrar varierar från land till land och mjukvara till mjukvara, dock behöver klimatet samt trafiklast i regel beaktas oavsett geografisk plats (Granhage, 2009). Tjockleken och materialvalet skall vara anpassat så överbyggnaden håller hela sin tekniska livslängd. Överbyggnaders tekniska livslängd är normalt 20 år för de bundna lagren och 40 år för de obundna lagren (Trafikverket, 2011).

Totalkostnaden för en väg som skall anläggas eller omläggas omfattar nyinvesteringskostnad, drift- och underhållskostnad och trafikantkostnad.

Trafikantkostnaden innebär de skador på bil och sig själva samt problem som trafikanter utsätts för när de färdas på vägen. Historiskt sätt har många vägprojekt haft som mål att ha så låg nybyggnadskostnad som praktiskt möjligt, vilket inte nödvändigtvis innebär att vägen i slutändan faktiskt blir byggd till den lägsta summan. Detta eftersom att snart kan ett underhåll behöva vara på plats, vilket givetvis kostar pengar (Asfaltboken, 1999).

Figur 8 påpekar att den lägsta nybyggnadskostnaden för ett vägobjekt inte behöver ge den lägsta totalkostnaden. Således kan en adekvat nybyggnation eller åtgärd ger mer för en mindre summa om man tar hänsyn till alla kostnader och hela den tekniska livslängden (Asfaltboken, 1999).



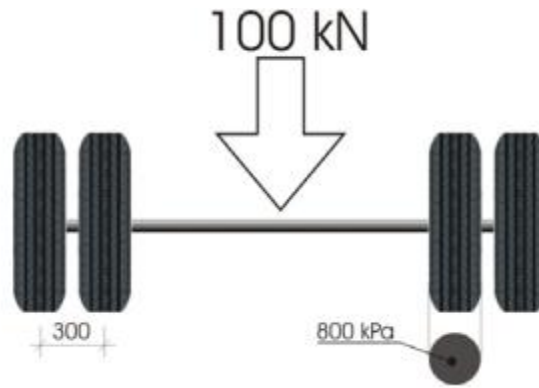
Figur 8 - Exempel nuvärdeskostnader för en nybyggd väg. Källa: asfaltboken.se

## 2.5 Dimensionering i Sverige

### 2.5.1 Dimensioneringsklasser 1, 2 & 3

I enlighet med TRVINFRA publicerat av trafikverket 2020 så finns tre olika dimensioneringsklasser(DK) som används vid dimensionering av överbyggnader. Dessa tre dimensioneringsklasser skiljer sig åt (Trafikverket, 2020).

DK 1 såväl som DK 2 dimensioneras med en standardaxel. Figur 9 illustrerar en standardaxel med dess last.



Figur 9 - Standardaxel enligt TRVINFRA.

Standardaxeln har ett kontaktryck mellan beläggning och däck på 800 kPa och en fördelad last om 100 kN på axeln. För att bestämma det ekvivalenta antalet standardaxlar  $N_{ekv}$  används formel given i TRVINFRA från 2020:

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B_{just} \cdot \sum_{j=1}^n \left(1 + \frac{k}{100}\right)^j = (1)$$

$$\text{Om } k = 0 \rightarrow N_{ekv} = \dot{A}DT_K \cdot 3,65 \cdot A \cdot B_{just} \cdot n \quad (2)$$

$$\text{Om } k \neq 0 \rightarrow N_{ekv} = \dot{A}DT_K \cdot 3,65 \cdot A \cdot B_{just} \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \quad (3)$$

Faktorn  $k$  är antagen trafikökning per år i % för tunga fordon,  $n$  är dimensionerande teknisk livslängd,  $A$  är andelen tung trafik i % och  $B_{just}$  förklaras inunder.

Ekvivalent antal standardaxlar företräder medelbelastningen från de tunga fordon som tänkt vägkonstruktion skall belastas av. Det är i sin tur dessa som används för att utföra beräkningarna som DK 1 och DK 2 innebär (Trafikverket, 2020).

Viktigt att belysa är  $B_{just}$  som är en justerad faktor som åsyftar att spegla hur många standardaxlar varje tungt fordon representerar. Följande formel från TRVINFRA 2020 justerar B-faktorn utefter trafikflödesmätningar eller om den är bedömd:

$$B_{just} = B \cdot f_a \cdot f_b \cdot f_c \quad (4)$$

Faktorerna  $f_a$ ,  $f_b$  och  $f_c$  återfinns också i TRVINFRA. Justeringsfaktorerna tar hänsyn till körfältsbredd ( $f_a$ ), vägtyp ( $f_b$ ) och hastighet ( $f_c$ ). Beräkning av  $B$  sker sedan via ytterligare två formler angivna denna gång i TRVR Väg 2011:

$$B_{fordon} = \sum_{i=1}^j \left(\frac{\text{axelvikt}_i}{\text{laglig last}_i}\right)^4 \quad (5)$$

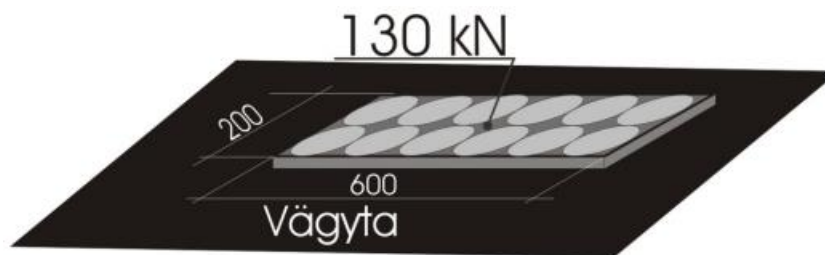
$$B = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_{fordon,j} \quad (6)$$

Laglig last innebär vilken max last vägen ifråga får utsättas för i enlighet med gällande lag. Detta är följaktligen olika beroende på vilken lag som styr just då. Observera att standardaxlarna som beräknas är för ett körfält. Således kan körfälten dimensioneras var

för sig i respons till den trafik dessa skall stå emot. Dock skall det understrykas att om vägen är en 1+1-väg skall vägen dimensioneras utefter största trafikbelastning oavsett i vilken riktning, detta gäller också vägrenen. Överbyggnadstjockleken skall då vara lika för hela vägbredden (Trafikverket, 2020).

DK 1 tages sedan fram via ytterligare TRVINFRA. Detta är en indexmetod (tabellmetod) och DK 1 lämpar sig till att användas då vägen är lågtrafikerad. Med detta menas när vägen ej belastas med mer än 500 000 standardaxlar (Vägverket, 2009).

I DK 2 måste det även tas hänsyn till en så kallad extremlast. Extremlasten används för att beräkna största vertikala tryckkraft på terrassen. Lastvärdet är 130 kN och skall vara jämnt fördelad över en yta med sidor på 600 respektive 200 mm. Se Figur 10.



Figur 10 - Extremlast enligt TRVINFRA 2020

Lasten uppskattas med de ovala ytorna som visas i Figur 10 och är 12 stycken till antalet, följaktligen bär varje oval yta 8,34 % av den totala lasten 130 kN (Trafikverket, 2020).

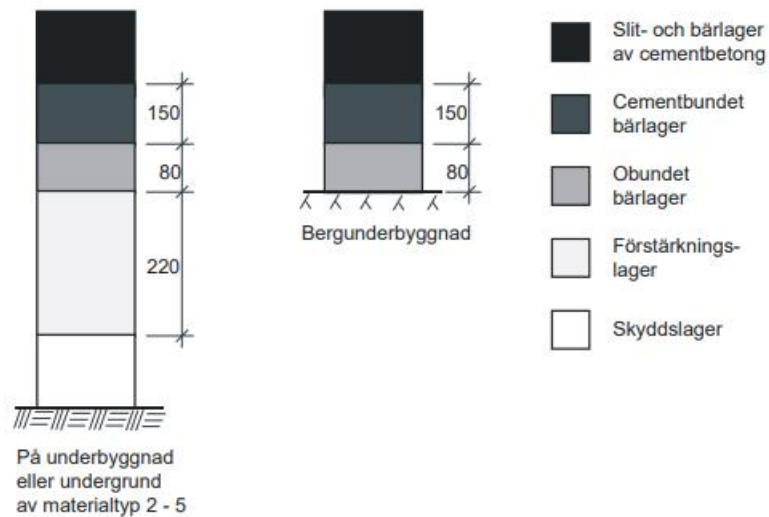
Ytterligare så finns det en dimensioneringsklass till DK 3. DK 3 är en avvikelser från DK 2 och innebär att man tillåts vid dimensionering att dimensionera på annat sätt än i enlighet med DK 2. Samtliga parametrar, materialmodeller, beräkningsgångar, antaganden och så vidare skall då redovisas i detalj och dokumenteras. Dessa måste även motiveras i enlighet med TRVINFRA 2020 (Trafikverket, 2020). Det är vid användning av DK 3 som andra mjukvaror än PMS objekt kan tänkas användas.

### 2.5.2 Design av flexibel- och styv överbyggnad

Två huvudtyper av överbyggnader återfinns i det svenska vägnätet, de flexibla samt de styva. Skillnaderna mellan dessa huvudtyper ger också grund för de krav som ställs på dem. Till de styva överbyggnaderna räknas de överbyggnader som har minst ett lager bundet hydrauliskt, till de flexibla räknas de överbyggnader som är helt obundna eller har lager som är bitumenbundna (Granhage, 2009). Den mest frekvent förekommande överbyggnaden i Sverige är den flexibla och den byggs oftast i form av grusbitumenöverbyggnad (GBÖ) (Agardh & Parhamifar, 2014).

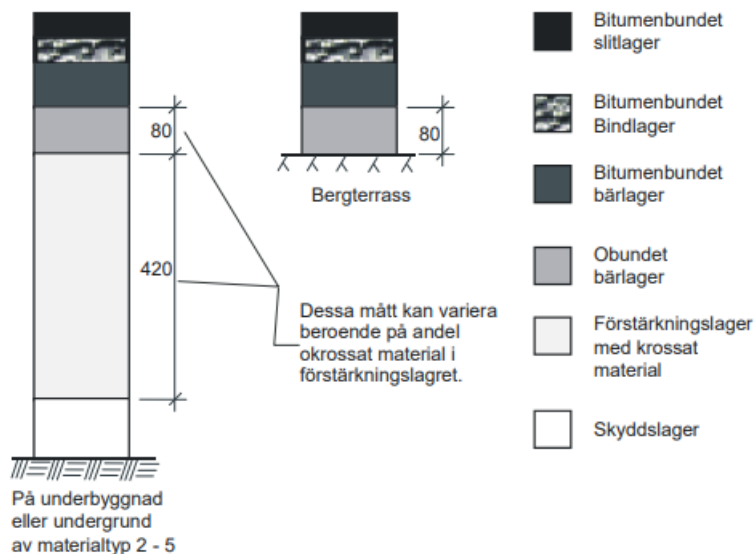
Styva överbyggnader används vid busshållplatser och andra platser där tung trafik står still eller färdas långsamt. Märkbart för de styva överbyggnaderna är att de står emot deformation väldigt effektivt, således är de bra mot spårbildning (Granhage, 2009).

Överbyggnadernas totala tjocklek varierar kraftigt med den typ av terrass de byggs på. När överbyggnader anläggs på bergsterrasser så minskar den totala tjockleken väldigt mycket i jämförelse med anläggning på terrass av jord. Detta gäller både för de styva och flexibla överbyggnaderna. Variationerna i tjocklek går att se i Figur 11 och Figur 12 (Trafikverket, 2020).



Figur 11 - Exempel på en styv överbyggnad från TRVINFRA 2020

I Figur 11 återfinns en styv överbyggnad, observera att sammanlagd tjocklek vid nybyggnad för de obundna lagren är 300 mm. Eftersom de styva överbyggnaderna har ett hydrauliskt bundet lager krävs att tjälen verkligen är tagen i anspråk så att sprickor i samband med tjällyftning inte sker. De flexibla överbyggnaderna är inte känsliga i samma utsträckning som de styva för tjäle, detta tack vare inga hydrauliskt bundna lager finns (Granhage, 2009).



Figur 12 - Exempel på en flexibel överbyggnad enligt TRVINFRA 2020

Figur 12 återspeglar en typ av flexibel överbyggnad. Nota bene att de obundna lagren i en flexibel överbyggnad måste vara minst 500 mm tjocka om de har en underbyggnad/undergrund av materialtyp 2-5. (Trafikverket, 2020).

Skillnaderna mellan en flexibel och styv överbyggnad medför även att bärigheten för respektive konstruktion verifieras med två olika metoder. Samtidigt beräknas spänningar för en styv överbyggnad via CBI rapport 2:90 – dimensionering av oarmerade betongvägar medan spänningarna i en flexibel överbyggnad skall beräknas av en linjärelastisk materialmodell (Trafikverket, 2020). Flexibla överbyggnader kan därför skötas med PMS objekt.



När en betongöverbyggnads (BÖ) bärlighet skall verifieras används följande ekvationer i enlighet med TRVINFRA 2020:

$$N_{till} \geq N_{ekv} \quad (7)$$

$$n_x = \frac{X}{100} \cdot N_{till} \quad (8)$$

$$\sum \frac{n_x}{N_x} \leq 1 \quad (9)$$

$$\frac{\sigma_{ct}}{f_{ct}} = 1 - 0,00685 \cdot (1 - R) \cdot \log N_x \quad (10)$$

Parametrarna  $\sigma_{ct}$ ,  $R$  och  $X$  beräknas ifrån CBI rapport 2:90.

En cementbitumenöverbyggnad verifieras via följande ekvationer från TRVINFRA 2020:

$$N_{till} \geq N_{ekv} \quad (11)$$

$$N_{till} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{cb,i}}} \quad (12)$$

$$N_{cb,i} = \frac{1,06 \cdot 10^{-10}}{\varepsilon_{cb,i}^{3,86}} \quad (13)$$

För de flexibla överbyggnaderna används två metoder en för att kontrollera utmattning av i underkant av de bitumenbundna lagren och en för att kontrollera utmattning av terrassen dessa båda också i enlighet med TRVINFRA 2020. Kontroll av extremlasten görs därtill (Trafikverket, 2020).

Kontroll för överbyggnad:

$$N_{till} \geq N_{ekv} \quad (14)$$

$$N_{till} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \quad (15)$$

$$N_{bb,i} = f_s \cdot \frac{2,37 \cdot 10^{-12} \cdot 1,16^{(1,8 \cdot T_i + 32)}}{\varepsilon_{bb,i}^4} \quad (16)$$

Observera att vid nybyggnad sätts  $f_s = 1,0$  i enlighet med TRVINFRA 2020.

Kontroll för terrass:

$$N_{till} \geq 2 \cdot N_{ekv} \quad (17)$$

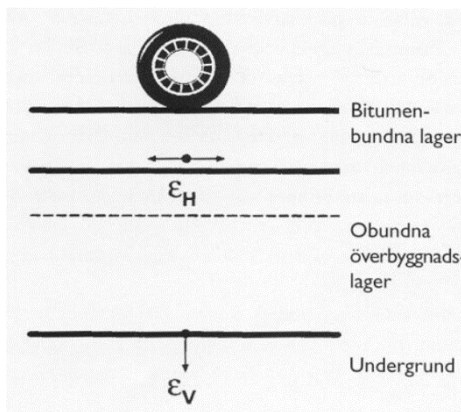
$$N_{till} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{te,i}}} \quad (18)$$

$$N_{te,i} = f_d \cdot \frac{8,06 \cdot 10^{-8}}{\varepsilon_{te,i}^4} \quad (19)$$

Extremlasten kontrolleras också för en flexibel överbyggnad, detta genom att beräknad vertikal töjning jämförs med tabellvärden som återfinns i TRVINFRA 2020.

## 2.6 Dimensioneringskriterier

En väg skall motstå flertalet påfrestningar under sin livstid, dessa påfrestningar ger upphov till olika skador och måste adresseras med olika åtgärder vid nybyggnad eller underhåll. Detta måste dessutom ske i paritet till de krav som ställs på vägen och vilken trafiksituation vägen kommer befinna sig i (Trafikverket, 2014).



Figur 13 - Kritiska töjningar i överbyggnaden. Källa: Asfaltboken.se

Figur 13 förevisar de påfrestningar på en bitumenbunden väg som i Sverige och i många andra dimensioneringsmetoder ses som kritiska. Den första kritiska påfrestningen är horisontell och föreligger just under de bitumenbundna lagren. Den orsakas av dragkrafter och uppkommer i form av dragtöjningar ( $\epsilon_H$ ). Den andra kritiska belastningen är vertikal och föreligger under vägkonstruktionen gentemot undergrund/underbyggnaden. Denna töjning ( $\epsilon_V$ ) åsamkas av tryckkrafter och ger således tryckdeformation (Asfaltboken, 1999; Agardh & Parhamifar, 2014). Dessa två töjningar behandlas i DK2 i TRVINFRA 2020.

I Sverige tas hänsyn till fyra kriterier när man dimensionerar i enlighet med TRVINFRA 2020:

- Tjäle
- Utmattning av terrassyta
- Utmattning i underkant bundna lager
- Extremlast

### 2.6.1 Tjäle

Tjäle beror främst på klimatet och jordarten som utgör marken i områdena kring och under vägen ifråga. Detta för att tjäle är kapillärt stigat och sedan fryst vatten i jorden samt vägkroppen (Asfaltboken, 1999).

En överbyggnad måste stå emot tjäluppfrysning så ojämnheter och sprickbildning inte bildas under dess tekniska livslängd. Tjäle tas hänsyn till genom att där tjäluppfrysningen är stor, så förläggs oftast ett skyddslager. I vissa fall kan isolering i form av cellplast förläggas underst i vägkroppen (Granhage, 2009).

Vid mycket rörelser i marken, alltså märk väl vid kallare klimat kan även mjukare versioner av bindemedel med fördel brukas för att låta beläggningen klara markrörelserna och inte spricka upp under vintern (Asphalt Institute, 2007).

Vid dimensionering mot tjäle går det dessutom att sänka grundvattenytan vid vägen genom att låta gräva erforderliga diken, vilka medför sänkt grundvattenyta. Därtill för att öka avståndet ifrån vägytan till grundvattenytan ytterligare kan skyddslager beläggas. Åtgärderna gör om rätt utförda och rätt beräknat ett bra sätt att skydda mot tjäle (Asfaltboken, 1999).

### 2.6.2 Utmattning av terrassyta – spårbildning

Om terrassytan utmattas bildas plastisk deformation i vägkonstruktionen, dessa kan synas i vägytan som spår (Asfaltboken, 1999).

Utmattning av terrassytan tas först och främst hänsyn till i dimensioneringsprocessen genom att tjockleken på vägkonstruktionen är så pass tjock att de vertikala krafter som uppstår gentemot terrassytan är försumbara (Asfaltboken, 1999). Detta görs via arbetsgången i DK 2 i TRVINFRA 2020. Dessa vertikala krafter deformeras således inte undergrunden utan sprids jämt ut över terrassen.

### 2.6.3 Utmattning i underkant bundna lager – sprickbildning

Utmattning är antalet standardaxlar en väg kan låta passera innan vägens bärlighet är förbrukad och stora sprickbildningar förväntas uppstå (Trafikverket, 2020).

Sprickbildning till följd av utmattning anses ofta ha sitt ursprung i underkanten av det bundna lagret, se Figur 13. Sprickbildning uppkommer i olika former till följd av utmattning och då också på olika ställen i beläggningen. (Trafikverket, 2020). Därför är de viktiga att dimensioneringen likt nämnt tidigare blir väl utförd. Detta genom att exempelvis ingående data som används i dimensioneringen är så nära det verkliga scenariot man dimensionerar för som möjligt. Exempelvis om det är en nyanlagd väg krävs det att trafikprognoser för hur många standardaxlar som faktiskt skall belasta vägen stämmer överens någorlunda med den verklighet vägen kommer in befinna sig i. Nota bene att särskild roll spelar den andel tunga trafik som skall belasta vägen. Om en trafikprognos underskattas, kan vägen som dimensioneras direkt ifrån anläggning vara underdimensionerad i förhållande till vad som krävs (Agardh & Parhamifar, 2014).

Sprickor till följd av utmattning kan också uppkomma för att utförandet av vägen varit undermåligt, detta kan dock inte påverkas i dimensioneringen. Däremot ställs krav från beställare på kontroll av anlagd väg så att denna initialt inte blivit felanlagd eller omfattat fel arbetsrecept exempelvis (Trafikverket, 2020).

Även valet och kvalet av bindemedelstyp kan påverka risken för sprickor. Ett mjukt bindemedel lämpar sig bättre för ett kallt klimat än ett hårt. Detta för att ett mjukt bitumen är mer elastiskt och tillåter större krymptöjningar i längsgående led än ett hårt bitumen (Asphalt Institute, 2007). Det är värt att poängtera att detta följaktligen inte är en konsekvens av utmattning (Agardh & Parhamifar, 2014).

## 2.6.4 Trycktöjning på terrass från extremlast

Kriteriet beaktas i beräkningarna angivna i TRVINFRA 2020. Extremlasten tas hänsyn till via DK 2 och därmed även när man dimensionerar med PMS Objekt. En extremlast kan uppkomma på en väg vid exempelvis en trafikolycka då en tung lastbil står still. Därför är det viktigt att väggroppen kan stå emot sådana laster så att den vertikala tryckkraften beträffande undergrunden inte blir för påtaglig och tillåter sättning av vägen.

I TRVINFRA konstateras det hur stora de maximala töjningarna som får lov att förekomma i terassytan får lov att vara som följd till den definierade extrema lasten se Figur 10. De tillåtna töjningarna är uppdelade efter den materialtyp som terrassmaterialet består av. För värden se Tabell 1 och Tabell 2 nedan.

**Tabell 1 - Maximal töjning på terassytan av materialtyp 2, 3 och 4A. Källa: TRVINFRA 2020**

Klimatzon	1	2	3	4	5
Töjning	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0021

**Tabell 2 - Maximal töjning på terassytan av materialtyp 4B, 4C, 4D, 4E, 4F och 5. Källa: TRVINFRA 2020**

Klimatzon	1	2	3	4	5
Töjning	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	0,0010

## 2.6.5 Dimensionering mot plastisk deformation

Plastisk deformation kan tas i åtanke vid dimensionering genom att flertalet åtgärder kan användas. Ett PMB kan användas istället för ett vanligt pen-bitumen, något som ökar resiliensen hos beläggningen. Således bildas inte spårdjup i samma utsträckning eftersom den viskösa delen i bituminet tillåter mindre deformation (Shell Bitumen, 2003).

Det går också att använda ett hårdare pen-bitumen i de klimatzoner där detta kan göras. Med det menas ett 50/70 eller 70/100 bitumen. Dessa bitumen står emot plastisk deformation bättre, eftersom de är styvare än 160/220 (Asphalt Institute, 2007).

Bindlager kan användas för att ge ytterligare deformationsresistens mot spårbildning till följd av plastisk deformation. Bindlagrets fungerar som en ytterligare lastfördelare och fångar upp deformationer och fördelar dem ner i resterande del av konstruktionen. Lastspridningen blir på så sätt större och deformationer jämnas ut bättre (Trafikverket, 2014).

## 2.7 PMS objekt

PMS objekt är ett analytiskt-empiriskt dimensioneringsverktyg som beräknar med linjär-elastisk teori. Det betyder att verktyget bygger på att beräkna töjningar och spänningar från trafikbelastningar i överbyggnaden. Töjningarna samt spänningarna används sedan för att beräkna livslängden. Fördelen med denna typ av verktyg är att den är lättare att anpassa till olika förhållanden eftersom den är flexibel (Agardh & Parhamifar, 2014). Nackdelar identifierade med PMS objekt är att bland annat att mjukvaran inte är kopplad till de reologiska egenskaperna för bindemedlet som används, det gör att fördelarna med exempelvis ett PMB inte tas i anspråk av programmet vid dimensionering. Vidare kan inte mjukvaran ta hänsyn till om de ingående materialen i överbyggnaden har bättre elasticitetsmoduler än de som är givna av DK2 i PMS objekt, ändrar man dessa elasticitetsmoduler så frångår man DK2 och går över till DK3 (Birgisson, et al., 2012).

### 2.7.1 B-faktorn

B-faktorn ( $B_{just}$ ) i PMS objekt är samma sorts faktor som är beskriven i kapitel 2.5.1 och som beräknas när man använder DK2. Denna är inarbetad i PMS objekt och justerar antalet standardaxlar per tungt fordon. Justeringen sker utefter körfältsbredd, vägtyp och referenshastighet (Trafikverket, 2020).

### 2.7.2 Elasticitetsmodul vid årstider

PMS objekt varierar E-modulerna enligt tabell utefter vilka årstider och vilken klimatzon det dimensioneras utefter. E-modulen varierar också utefter vilket lager det rör sig om, exempelvis om det är ett förstärkningslager eller bindlager, lager som är bundet har generellt sätt betydligt högre styvhetsmodul än obundet. Beroende på klimatzon samt årstid på året är styvhetsmodulen sedan högre eller lägre, detta eftersom bitumen blir generellt sätt mjukare på sommaren och hårdare på vintern (Trafikverket, 2020).

### 2.7.3 Indata

PMS objekt dimensionerar i enlighet med DK 2 enligt TRVINFRA och kräver därför en del indata för att kunna användas på mest träffsäkra sätt:

- Trafikmängd,  $\dot{A}DT_k$  samt andel tunga fordon
- Klimatzon, enligt TRVINFRA
- Terrassmaterial
- Vilken typ av överbyggnad det rör sig om
- Teknisk livslängd, dimensioneringsperiod
- *Trafikmängd,  $\dot{A}DT_k$*

Beroende på antal körfält så behövs indata för dessa respektive körfält. Då gäller det att  $\dot{A}DT_k$  samt andel tunga fordon för varje körfält behövs för att få så adekvat indata som möjligt. Tunga fordon är fordon med bruttovikt över 3,5 ton (Agardh & Parhamifar, 2014).

Dessutom är det tänkbart att delar av sträckan trafikeras av olika mängder fordon. Således krävs eventuellt inte samma tjocklek på överbyggnaden under hela sträckan (Trafikverket, 2014).

Utöver dessa indata behövs även körfältsbredd, vägtyp och referenshastigheten som indata (Trafikverket, 2020).

- *Klimatzon*

Klimatzoner finns definierade i TRVINFRA och i TRVR väg finns råd kring oklarheter om valet av klimatzon. Där råds det att välja den klimatzon närmast högre om oklarhet finns (Trafikverket, 2011).



Figur 14 - Klimatzoner för Sverige. Källa: TRVINFRA 2020

Antalet klimatzoner som är fem till antalet och deras utbredning återfinns i Figur 14.

- *Terrassmaterial*

De olika materialtyperna som kan finnas i Sverige går att läsa om i kapitel 2.1.3. Det återstår dock att det är viktigt att veta vilket material terrassen man skall anlägga ovanpå är av. Detta så att man kan veta vilken typ av bärighet marken har och då också hämta information om förstärkningsåtgärd exempelvis måste göras (Granhage, 2009).

Är terrassen under den väg man skall lägga av olika typer av material beroende på vilken del av sträckan. Så skall sträckan delas in homogena delsträckor. Överbyggnaden kan nämligen se olika ut beroende på materialtypen i terrassen (Trafikverket, 2011).

- *Typ av överbyggnad*

Vilken typ av överbyggnad som avses styv eller flexibel. Detta bestäms utifrån  $\text{ÅDT}_{tung}$  och  $\text{ÅDT}$ . Valen till typ av överbyggnad kan göras med hjälp av Trafikverkets dokument: Val av beläggning samt TRVR Väg. Det är viktigt att rätt överbyggnadstyp bestäms från början så att denna används i PMS objekt på ett korrekt sätt.

- *Teknisk livslängd*

Tekniska livslängden för bitumenbundna lager är 20 år i Sverige samt 40 år för de obundna lagren. Därtill dimensioneras förstärkningar av undergrund för 80 år (Trafikverket, 2020).

## 2.7.4 Utdata

- *Trafikberäkning*

En funktion i PMS objekt möjliggör beräkning av den trafik som vägen kommer belastas av under sin livslängd, mjukvaran räknar alltså om all trafik till antalet ekvivalenta standardaxlar, efter exakt samma metod som kapitel 2.5.1. Istället för att enbart ange antalet standardaxlar så måste i detta fall lite mer indata användas:

- Årsdygnstrafik per körfält ( $\dot{A}DT_k$ )
- Antagen trafikförändring per år av lastbilar(%)
- Antagen trafikförändring personbilar per år(%)

- *Bärighetsberäkning*

PMS objekts utdata för bärighetsberäkningen levereras likt Figur 15.

The screenshot shows the 'Bärighetsberäkning' window with the following data:

Korrigeringsfaktor för fukt och väta i terrassmaterial			
Korrigeringsfaktor fct:	1,0		
Antal axellaster, ackumulerat avseende			
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill_bb 9 762 870	Nekv 6 037 769	<input checked="" type="checkbox"/>
Töjning i terrassytan	Ntill_te 40 735 550	Nekv * 2 12 075 538	<input checked="" type="checkbox"/>
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna 0,002500	Beräknad 0,000603	<input checked="" type="checkbox"/>
Beräkna överbyggnaden som en			
<input checked="" type="radio"/> Flexibel överbyggnad	<input type="radio"/> Styv överbyggnad		
<input checked="" type="radio"/> GBO/BBO	<input type="radio"/> CBO		
<input type="radio"/> Egen	<input type="radio"/> BO		

Figur 15 - PMS Objekt utdata

Utdata från bärighetsberäkningen klargör om tjocklekar för överbyggnaden håller under den tekniska livslängden för den beräknade trafiklasten, aktuella terrassen och klimatzonen samt andelen tung trafik vägen måste kunna stå emot. Ifall den är beräknad utefter PMS objekt att klara av aktuella töjningar med god marginal visas grönt ljus likt Figur 15. Skulle det vara på gränsen till att klara av töjningarna visas gult ljus och skulle överbyggnaden inte klara sitt ändamål visas rött ljus.

- *Tjälberäkning*

Tjälberäkning görs även för de projekt där det är aktuellt. Denna funktion kräver ingångsdata i form av val av lokal väderstation, således krävs geografisk lokalisering av vart vägen skall byggas eller är byggd.

## 2.7.5 Avancerade funktioner – Beläggningsslitage

I PMS objekt finns det flertalet avancerade funktioner, en av dessa funktioner är en slitagemodell för toppbeläggningen, det vill säga slitlagret. Funktionen beräknar utefter angivna parametrar maximalt slitage över den tekniska livslängden. Detta skall inte misstas för att inkludera deformationen ifrån tung trafik och så vidare, utan detta beräknar enbart

spår djupet ifrån slitaget från däck, där andel dubbdäck spelar stor roll (Jacobson & Wågberg, 2007).

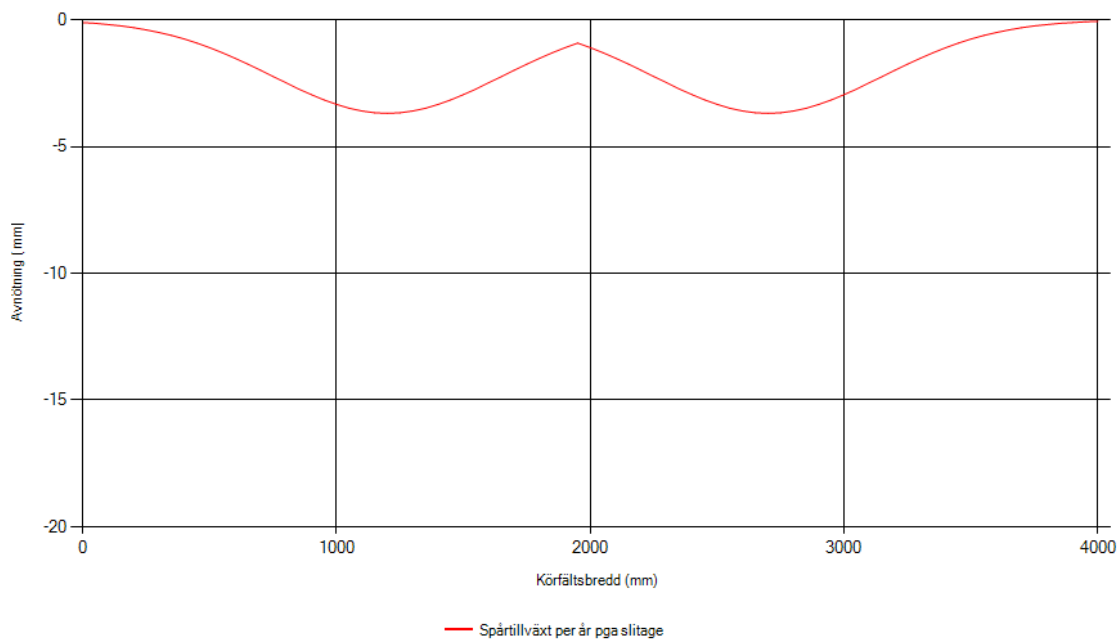
### 2.7.6 Indata

De indata som krävs för att beräkna slitaget ifrån däcken över den tekniska livslängden omfattar bland annat:

- Kulkvarnsvärde
- Årsdygnstrafik per körfält  $\dot{A}DT_k$
- Antal vinterdygn, hämtas från TRVINFRA 2020.
- Andel dubbdäck
- Slitlagertjocklek
- Typ av slitlager
- Största stenstorlek
- Andel mängd sten över 4 mm i stenstorlek

### 2.7.7 Utdata

Utdata ifrån den avancerade funktionen i PMS objekt hämtas i form av en slitageprofil likt Figur 16 och en livslängd tillsammans med ett maximalt spår djup.



**Figur 16 – Slitageprofil ifrån den avancerade funktionen beläggningsslitage i PMS objekt.**



## 2.8 PEDRO - PERmanent Deformation of asphalt concrete layer for ROads

PEDRO är ett program utvecklat av VTI, som är framtaget för att beräkna spår bildning till följd av efterpackning och ombildning av asfaltlagren. Med andra ord de bundna lagren i en överbyggnad. Verket är baserat på en linjär viskoelastisk modell som tar hänsyn till viskositeten hos de bitumenbundna lagren, alltså de tas de reologiska egenskaperna för de bundna lagren i beaktning. Märk väl att detta görs därför att en linjär viskoelastisk modell beskriver asfaltmassors egenskaper bättre än en linjärelastisk modell. Därtill kan åldrandet av beläggningen tas med i beräkningarna, något som spelar in (Said, et al., 2011; Said, et al., 2020; Safwat, et al., 2018).

Mjukvaran är tänkt att kunna brukas på ett enkelt sätt och finns därför både i webbversion och som program. Detta möjliggör större spridning av programmet (Said, et al., 2020). En av fördelarna för PEDRO som poängteras av skaparna är det analytiska sättet att modellera upphävandet samt nedsänkningen av spåren som blir till följd av hjul (Safwat, et al., 2018).

En av nackdelarna som kan åskådliggöras ifrån PEDRO är bland annat att programmet inte prognostiserar gentemot annat än spår djup, detta innebär att sprickor och tjäle inte tas i beaktning. Således behöver inte ett visst spår djup inträffa eftersom vägpartiet ifråga kan gå till brott på annat sätt än spår djupet påträffas. Vidare så kan inte asfaltlagren som helhet tas i anspråk av programmet, således beräknar programmet spår djupet utifrån vart ett av programmen och sammanställer sedan dem i resultatform som totalt spår djup (Said, et al., 2020).

### 2.8.1 Modell för prognostisering av spår djup

Modellen som ligger bakom prognostiseringen av spår djupet är framtagen av (Said, et al., 2011) och har sin form likt:

$$\epsilon_p = \frac{\sigma_0(1 - 2\nu)}{V \cdot \eta_p} \cdot \operatorname{Re} \left[ \sqrt{(z + ix)^2 + a^2} - (z + ix) \right] + \frac{\sigma_0 z}{V \cdot \eta_p} \operatorname{Re} \left[ 1 - \frac{z + ix}{\sqrt{(z + ix)^2 + a^2}} \right] \quad (20)$$

Där  $\epsilon_p$  är permanent töjning,  $\sigma_0$  är kontaktryck,  $\nu$  är Poissons tal,  $x$  och  $z$  är koordinater i det Kartesiska koordinatsystemet,  $\eta_p$  är viskositeten vid största fasvinkeln,  $V$  är hastigheten (km/h),  $a$  är radien av kontaktytan (m) och slutligen är  $i$  det imaginära talet ( $\sqrt{-1}$ ).

Poissons tal beräknas ifrån PEDRO själv enligt (Said, et al., 2020) istället för att den sätts till ett värde likt föregående beskrivningar. Detta innebär att en speciell formel används av PEDRO för att göra dessa beräkningar:

$$\nu = \nu_{min} + \frac{\nu_{span}}{1 + \exp(-\lambda \cdot (T - x_{shift}))} \quad (21)$$

Där  $T$  är temperaturen i °C och resterande parametrar är konstanter presenterade i xx nedan.

	Konstanter för asfaltbetong			
	$\nu_{min}$	$\nu_{span}$	$\lambda$	$x_{shift}$
<b>Standardvärde</b>	0.16	0.35	0.08	15.18

Viskositeten tar PEDRO hänsyn till genom tillämpning i mjukvaran i form av följande formel:

$$\eta = 10^{(a_1 T^2 + a_2 T + a_3)} \quad (22)$$

Där  $a_1$ ,  $a_2$  och  $a_3$  är materialkonstanter som bestäms via ett frekvensbaserat skjuvdynamiskt tvärkraftstest (Said, et al., 2020).

Utöver detta så har PEDRO en inkorporerad modell ursprungligen framtagen av Trafikverket 2005 som tar hänsyn till att asfaltmassan åldras över den tekniska livslängden. Materialparametern som beaktas är styvheten och modellen har sin form likt:

$$S_{t_2} = S_{t_1} \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^n \quad (23)$$

Där  $S_{t_1}$  är styvheten vid tiden  $t_1$  i MPa,  $S_{t_2}$  är styvheten vid tiden  $t_2$  i MPa,  $t_1$  och  $t_2$  är tiden i dagar,  $n$  är en materialkonstant  $n=0$  när ålder av asfaltmassan ej beaktas och har  $n=0,08$  när ålder beaktas. (Said, et al., 2020).

## 2.8.2 Indata

Mjukvaran kräver en del indata för att kunna brukas på korrekt sätt.

- *Överbyggnadsdata*

Information kring överbyggnadens olika lagars tjocklekar måste användas (Said, et al., 2020).

- *Viskositet & materialkonstanter*

Till indata krävs att tester likt beskrivna i 2.8.1 utförts så materialkonstanterna  $a_1$ ,  $a_2$  och  $a_3$  är kända för de asfaltmassor som skall användas i prognostisering. Värt att poängtera är att en ABT 50/70 och ABT 70/100 inte har samma materialkonstanter då bindemedlet påverkar viskositeten och därför samtliga materialkonstanter (Rödin & Uhrdin Andersson, 2017; Said, et al., 2020).

- *Axellastkonfiguration*

En in-parameter som går att använda för PEDRO är axellastkonfigurationen. I programmet finns flertalet standardkonfigurationer för tunga fordon inlagda, finns vetskap om fördelningar så kan dessa brukas och mer exakta spårdjup går således att beräkna (Said, et al., 2020).

- *Klimatdata*

Klimat tas hänsyn till i mjukvaran i form av att regionaldata, egen klimatdata eller månadsvis genomsnittlig klimatdata kan användas. Sålunda kan precisionen av även dessa data ökas genom att mätningar på plats kan göras och sedan inkorporeras (Said, et al., 2020).

- *Vandring av fordon*

Motorfordon som trafikerar vägar kör inte på samma ”yta” i en rak linje längs hela vägen utan ”vandrar” över en viss yta under sin färd. Detta spelar stor roll för spårdjupet, eftersom att en smalare ”vandringsyta” innebär djupare spårdjup eftersom däckkontakten blir samma för alla fordon och sprids icke ut över större yta. PEDRO tar hänsyn till detta genom att begära ”Traffic Wander Standard Deviation” som inputparameter. Observera att parametern är standardavvikelsen från standardpositionen på vägbanan (Said, et al., 2020; McGarvey, 2016). Ett lågt värde är ca 0,20 m och ett högt värde är ca 0,40 m (McGarvey, 2016).

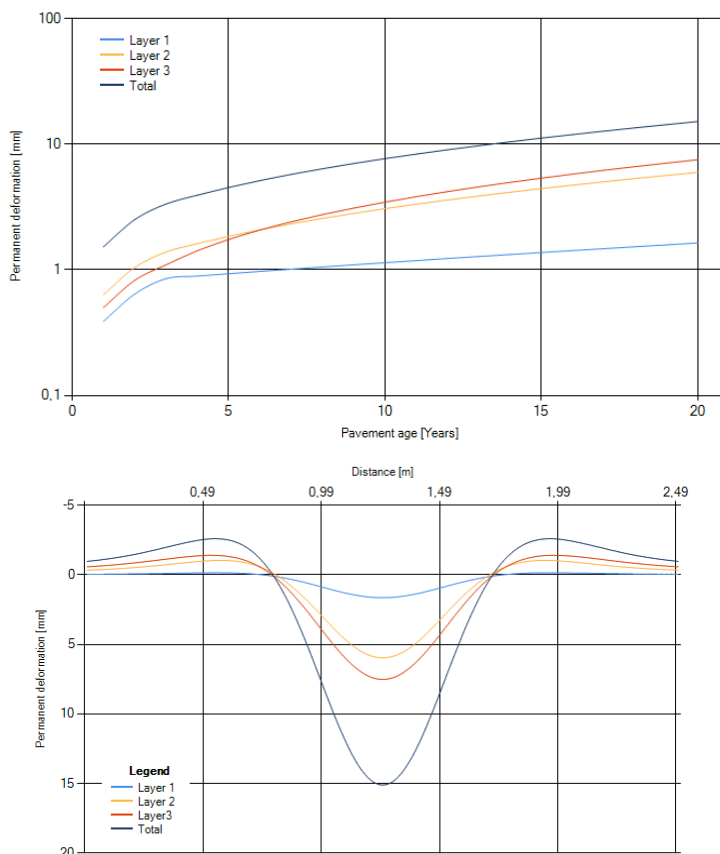
- *Trafik*

Hastigheten på vägen ifråga är en inputparameter som är viktig för PEDRO då mjukvaran tar hänsyn till frekvensen av belastningar på vägen. Således spelar det roll om en väg är en 50-väg eller en 110-väg (Said, et al., 2020).

Antalet standardaxlar beräknas utefter hur många tunga fordon som rör sig per dag på vägen alltså  $\dot{A}DT_{k,tung}$ , tillsammans med årlig trafiktillväxt och dimensioneringsperioden tas hänsyn till trafik i PEDRO. Utöver detta kan även WIM-data från lokala stationer användas eller egen WIM-data (Said, et al., 2020).

### 2.8.3 Utdata

Spårdjupet ges i mm för varje lager för varje år över dimensioneringsperioden. Det skall på så sätt gå att använda programmet till att förutse om ett visst givet spårdjup kommer påträffas under dimensioneringsperioden (VTI, 2020). Utdata kommer i form likt Figur 17, där den nedre delen av figuren visar hur spårprofilen kan tänkas se ut efter 20 år.



**Figur 17 – Utdata i form av spårdjup ifrån PEDRO, de 4 graferna representerar olika lager.**

## 2.9 Swedish Decision Support System

SDSS – Swedish Decision Support System är en prototyp till ett nytt dimensioneringsprogram för överbyggnader som utvecklats för svenska förhållanden under ett antal år. Runt 2008-2010 gjorde Trafikverket tillsammans med Kungliga Tekniska Högskolan en stor satsning för att tillsammans ta fram ett nytt eller kompletterande dimensioneringsverktyg för att använda i Sverige (Birgisson, et al., 2012; Dinegdae, et al., 2018). Arbetet har till idag lett fram till en prototyp som bygger på dels nya parametrar och därtill implementation av de volymetriska egenskaperna för asfaltbetongen och därjämte bindemedlets reologiska egenskaper (Dinegdae, et al., 2015).

### 2.9.1 Dissipated creep strain energy limit & Fracture Energy

Mjukvaran i sig har sin grund i en annan brottsmekanism än exempelvis PMS objekt som bland annat bygger på ackumulerat antal standardaxlar till utmattning(brott) (Trafikverket, 2020). Istället så har SDSS en annan brottsmekanism implementerad som ålägger sin grund i ”Dissipated creep strain energy limit -  $DCSE_{lim} (kJ/m^3)$ ” och Fracture Energy -  $FE$ . Dissipated creep strain energy limit bygger på ackumulerad kryptöjning från flertalet upprepade axellaster som är sådana att dragkrafterna de ger upphov till är signifikant under dragkapaciteten för asfalten, som när den uppnås leder till att en makrospricka utvecklas i

asfalten som därtill icke är läkbar. Mekanismen kallas av forskarna för ”HMA – fracture mechanics”. SDSS använder detta koncept som också tar anspråk på att alla mikrosprickor som uppstår under att  $DCSE_{lim}$  uppnåts läks övertid av sig själva. Dessa sprickor som då bildas är mikrosprickor och är enligt forskarna fullt läkbara. Uppnås  $DCSE_{lim}$  däremot bildas makrosprickor ifrån toppen av asfalten som ej är läkbara, om inte mikrosprickor existerar vid tidpunkten för då kommer makrosprickorna utvecklas från dessa istället (Birgisson, et al., 2012; Lin, 2011). Alltså gäller:  $DCSE_{lim} > DCSE_{min}$  i enlighet med detta. Forskarna argumenterar för att en makrospricka då aldrig uppstår ifall  $DCSE_{lim}$  inte uppnås. (Dinegdae, et al., 2018)

$DCSE_{min}$  har ett unikt värde för varje asfaltblandning och behöver bestämmas utifrån vilken blandning som använts.  $DCSE_{min}$  är den minsta energi som en asfaltsmassa bör bestå av för att svara väl mot de påfrestningar den skall utstå. Följande formler går att beräkna  $DCSE_{min}$  ur:

$$DCSE_{min} = \frac{m^{2,98} \cdot D_1}{f(S_t, \sigma_{max})} \quad (24)$$

$$f(S_t, \sigma_{max}) = \frac{6.36 - S_t}{33,44 \cdot (145,0377 \cdot \sigma_{max})^{3,1}} + 2,46 \cdot 10^{-8} \quad (25)$$

$$DCSE_{lim} = \frac{S_t \cdot m \cdot D_1}{10^{3(m-1)}} \cdot 6,9 \cdot 10^7 \quad (26)$$

Därstädes  $S_t$  är dragkraftskapaciteten för asfaltsmixen ifråga,  $\sigma_{max}$  är dragspänningarna i botten på asfaltslagren,  $D_1$  och  $m$  värdena är faktorer som påvisar hur eftergiven asfaltsmassan är för krypning. På engelska kallas faktorerna ”creep compliance power law parameters”. (Lin, 2011; Gullberg, et al., 2012)

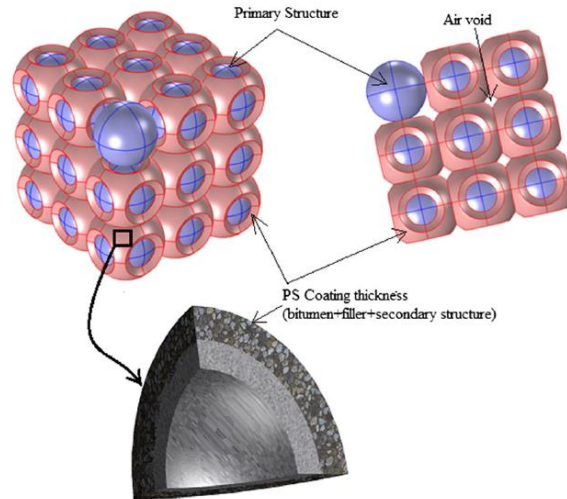
Det andra sättet för en makrospricka att uppstå är när ”FE – Fracture Energy” gränsen uppnås. Denna uppnås ifall en enstaka last som uppkommer i belastningscykeln gå över detta gränssnitt, då utvecklas en makrospricka. FE är den energi som uppstår i beläggningen vid pålastningen av en last. Med andra ord uppvisar alla laster som belastar vägen en viss FE (Lin, 2011).

## 2.9.2 Indata

För att kunna använda mjukvaran SDSS – Swedish decision support system ifråga behövs en rad indata. Indata för SDSS både skiljer sig och liknar indata till PMS objekt.. SDSS tar hänsyn till de reologiska egenskaperna, detta genom att använda parametrar såsom: ”PS – coating thickness” (Dinegdae, et al., 2015).

- *PS – coating thickness*

PS står för primary structure och ”coating thickness” åsyftar asfaltbruket och de övriga mindre fraktionerna som inte är lastbärande som däremot bidrar till stabiliteten till de större partiklarna PS. Med coating thickness avses med andra ord hur väl täckta de lastbärande grövre kornen är av asfaltbruk och övriga fraktioner (Kumar Das, et al., 2013).



**Figur 18 - Illustration av PS Coating Thickness. Källa: Materials and Structures (2015) 48:987–1000**

Figur 18 visar hur de grövre fraktionerna täcks utav asfaltbruk och mindre fraktioner så att en stabilitet bildas och de grövre fraktionerna kan ta upp laster (Kumar Das, et al., 2013).

- *Asfaltrecept & volymetriska egenskaper*

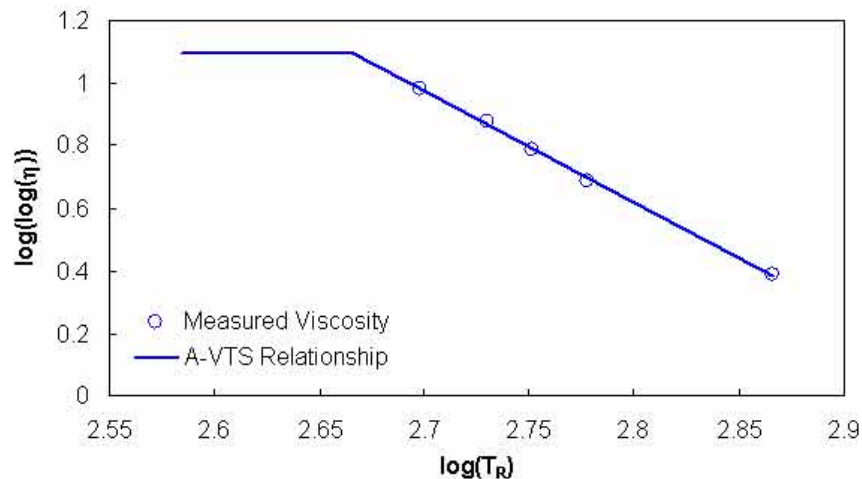
Egna asfaltmassor kan användas i programmet, dock finns ett antal standardinställda svenska konventionella blandningar. Om det väljs att definiera egna asfaltblandningar i ”user defined mixture” behövs egenskaper som kornkurva, volymetriska mått på asfaltblandningen och bindemedlets egenskaper anges som indata. De volymetriska måtten som behövs är följande:

- $G_{mm}$  – maximal teoretisk specifik gravitation för asfaltmassan ifråga beräknas genom:  $G_{mm} = \frac{\rho_{asfaltmassa}}{\rho_{vatten}}$  (Euromixers, 2020)
- $G_b$  – Bituminets specifika gravitation beräknas via:  $G_b = \frac{\rho_{bitumen}}{\rho_{vatten}}$  (Euromixers, 2020)
- $G_{sb}$  – Kornfraktionernas specifika gravitation beräknas genom:  $G_{sb} = \frac{\rho_{korn densitet}}{\rho_{vatten}}$  (Pavement Interactive, 2020)
- $P_{ba}$  eller  $V_{ba}$  – Andel absorberat bitumen (%) beräknas från:  $P_{ba} = \left( \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \right) \cdot G_b \cdot 100$  (Pavement Interactive, 2020)
- $P_b$  – Andel bitumen (%), är ett krav från TRVINFRA och avläses från arbetsrecept
- $P_{av}$  – Andel hålrum (%), är ett krav från TRVINFRA och avläses från arbetsrecept
- $VFA$  – Hålrum fyllt med bitumen kan beräknas igenom:  $VFA = \frac{V_{be}}{V_{be} + V_V} \cdot 100$  (Pavement Interactive, 2020)

- *VMA* – Hålrum i kornfraktionerna beräknas ifrån:  $VMA = \left(1 - \frac{G_{mb} \cdot (1 - P_b)}{G_{sb}}\right) \cdot 100$  (Pavement Interactive, 2020)

Bindemedlets egenskaper i form av:

- *A* – skärningspunkten för förhållandet för temperaturkänsligheten se Figur 19
- *VTS* – lutningen på förhållandet för temperaturkänsligheten se Figur 19



Figur 19 - A-VTS förhållandet. Källa: FHWA, USA

Parametrarna *A* respektive *VTS* bygger på transformation av viskositeten ( $\eta$ ) och temperaturen ( $T$ ). Transformation behövs då sambandet mellan viskositet och temperatur är icke-linjärt, vilket gör att slutsatser och beräkningar är svåra att göra. Således görs en transformation för att få ett linjärt samband likt figur 19. (FHA, 2011).

Samtliga parametrar skall samla nödvändiga egenskaper för asfaltmassan för att kunna dimensionera med hänsyn till asfaltens reologiska egenskaper (Dinegdae, et al., 2015).

Vidare kommer i mastersarbetet standardvärden för parametrarna *A* och *VTS* att användas. Dessa värden är hämtade från *Guide for Mechanistic-Empirical Design* och återges i Tabell 3. De väljs utefter penetrationstalet på bindemedlet (NCHRP, 2004).

Tabell 3 - Värden för *A* och *VTS*. Källa: NCHRP

<b>Penetration vid 25°C</b>	<b>A</b>	<b>VTS</b>
40-50	10.5254	-3.5047
60-70	10.6508	-3.5537
85-100	11.8232	-3.6210
120-150	11.0897	-3.7252
200-300	11.8107	-4.0068

- *Överbyggnads tjocklekar*

Överbyggnadens initiala tjocklekar, Poissons tal och E-modulerna för de obundna lagren behövs till indata (Dinegdae, et al., 2015). Poissons tal brukar sättas till 0,35 (Agardh & Parhamifar, 2014).

- *Klimatdata*

Flertalet val finns till klimatdata, bland annat att egen klimatdata kan laddas upp. För svenska förhållanden gäller samma klimatdata som vid dimensionering med DK2 eller PMS objekt (Dinegdae, et al., 2015).

### 2.9.3 Trafik

Trafikdata såsom ÅDT, andel tung trafik och trafikökning per år behövs för att göra beräkningar ifrån programmets sida till hur många standardaxlar överbyggnaden ifråga skall bli dimensionerad för under sin livslängd. Dimensioneringsperioden för vägen behövs också, det vill säga den tekniska livslängden. (Dinegdae, et al., 2015).

Förutom dessa indata tillämpar SDSS även en körfältsfördelningsfaktor och en riktningsfördelningsfaktor. Dessa kan tas hänsyn till på olika sätt, allt beror på vilken typ av ÅDT man väljer som indata. Exempelvis används  $\dot{A}DT_K$  så gäller ÅDT för just det körfältet och hänsyn till riktningsfördelning och körfältsfördelning behöver ej tagas.

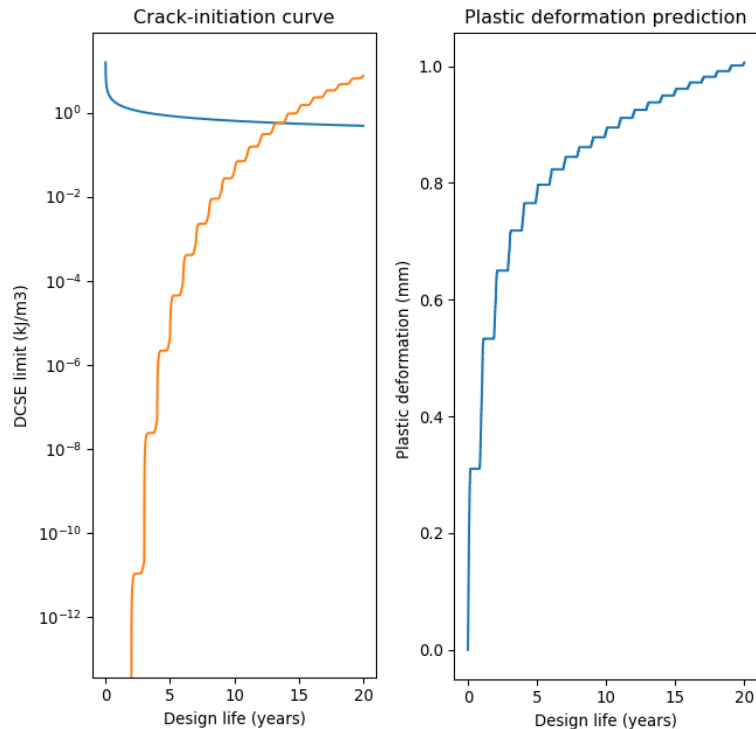
### 2.9.4 Utdata

Mjukvaran tillåter två typer av analys att göras på överbyggnaden. En linjärelastisk analys och en finit element analys.

- *Modeller*

Den linjärelastiska modellen beräknar efter hur många år överbyggnaden kommer uppvisa makrosprickorna som programmet i denna modell dimensionerar för. (Dinegdae, et al., 2018)





Figur 20 - Utdata SDSS, linjärelastisk modell vänster och finit element modell höger.

Som utdata plottas ett diagram. Figur 20 visar efter hur många år en makrospricka kan förväntas att bildas se högra diagrammet, där den orangea växande kurvan återspeglar  $DCSE_{min}$  och den blå kurvan avspeglar  $DCSE_{lim}$ . Det högra diagrammet återger spårillväxten över den tekniska livslängden.

Verktygets finita element modell tillåter beräkning av spårbildning och ger utdata i form av spårbildningstillväxt över dimensioneringsperioden. I Figur 20 så uppvisar den högra grafen denna förväntade spårillväxt för en teoretisk väg (Dinegdae, et al., 2018).

### 2.9.5 Standardbeläggning

SDSS har några standardbeläggningar: AG22, ABT11 och ABb16 inlagda i mjukvaran samt två bindemedel 70/100 och 160/220. Detta tillsammans med att direkt ange antalet standardaxlar tillåter en avsevärd förenkling av beräkningarna och indata. Dock skall det tilläggas att det då krävs att någon av dessa standardbeläggningar och bindemedel används i den verkliga konstruktionen som är tänkt att byggas. Annars måste all indata som är beskriven i kapitel 2.9.2 anges.



## 3 Jämförelse mellan mjukvarorna

I kapitlet presenteras samtlig indata för alla mjukvarorna, det redogörs även för var indata är hämtad.

### 3.1 Val av indata

Grundtanken med val av indata var att spegla skillnaderna mellan mjukvarorna samt att ta projekt som faktiskt existerar, detta för att få en viss anknytning till verkligheten. Projektet är en motorväg E22 Linderöd med hastighet 110 km/h.

### 3.2 Väg E22 Linderöd

Tabell 4 - Indata körfält 1 och 2.

Körfält 1 (K1)		Körfält 2 (K2)	
Parameter	Värde	Parameter	Värde
Klimatzon	1	Klimatzon	1
$\dot{A}DT_K$	4 567	$\dot{A}DT_K$	1 142
Andel tung trafik	14,8 %	Andel tung trafik	10,4 %
$\dot{A}DT_{K,tung}$	676	$\dot{A}DT_{K,tung}$	119
Trafikförändring	2,5 %	Trafikförändring	2,5 %
Antal Standardaxlar	9 044 646	Antal Standardaxlar	1 592 179
$B_{just}$ - truck factor	1,40	$B_{just}$ - truck factor	1,40
Terrass	3b	Terrass	3b

Tabell 5 - Teoretisk överbyggnadstjocklek för körfält 1 och 2.

Körfält 1 (K1)		Körfält 2 (K2)	
Lager	Tjocklekar (mm)	Lager	Tjocklekar (mm)
Slitlager	36	Slitlager	36
Bindlager	50	Bindlager	0
Bärlager	63	Bärlager	62
Obundet Bärlager	64	Obundet Bärlager	115
Förstärkningslager	436	Förstärkningslager	436
Skyddslager	0	Skyddslager	0

### 3.2.1 PMS objekt

PMS objekts styvhetsmoduler är förinställda, vilket gör att dessa ingalunda behöver väljas. Därutöver anges all andra indata för att få så korrekt bild som möjligt. Konstruktionen som dimensioneras i PMS objekt är en GBÖb – grusbitumenöverbyggnad med bindlager, samtliga lager korrigeras sedan, utefter tabell 5.

För PMS objekts avancerade funktion beläggningsslitage hittas mycket av indata i arbetsreceptet för slitlagret. Inte tidigare nämnd indata anges nedan och är hämtat ifrån arbetsreceptet ifrån bilaga 3, detta gäller inte dubbandelen som är hämtad ifrån publikation 2017:184 utgiven av Trafikverket. Vidare är slitageperioden 180 dagar hämtade från publikation VTI notat 7-2007. Observera att skillnaden mellan körfält 1 och 2 är  $\text{ÅDT}_k$  enbart, se Tabell 6.

**Tabell 6 - Indata för slitagemodellen i PMS objekt.**

<b>Indata för PMS objekts slitagemodell</b>	
Andel dubbdäck (%)	47
Slitageperiod(vinterdygn)	180
Stenhalt >4 mm (%)	72
Kulkvarnsvärde	7,0

### 3.2.2 Swedish DSS

Kornkurvorna för respektive körfält ett och två återges i bilaga 1, 2 och 3. Nedan i Tabell 7 återges i tabellform andel passerat material genom svensk sikt och Tabell 8 återger samma material fast passerat genom en amerikansk sikt, detta på grund av att mjukvaran kräver indata i form av det. Tabell 9 återger ytterligare indata för SDSS.

**Tabell 7 - Stenmaterial passerat genom svensk siktserie.**

Siktstorlek (mm)	<b>ABS 16 50/70</b>	<b>ABb 22 50/70</b>	<b>AG 22 70/100</b>	<b>Andel passerat material i Sv. sikt %</b>
31,5	100	100	100	
22,4	100	97	98	
16	97	79	75	
11,2	67	65	64	
8	40	48	54	
5,6	30	36	46	
4	28	30	40	
2	24	22	24	
1	20	18	18	
0,5	17	14	14	
0,25	14	11	10	
0,125	11	8	8	
0,063	9	5	6	

**Tabell 8 - Stenmaterial passerat genom amerikansk siktserie, interpolerade värden.**

Siktstorlek (mm)	ABS 16 50/70	ABb 22 50/70	AG 22 70/100	Andel passerat material i Am. sikt %
19	98,41	87,44	85,78	
12,5	75,13	68,79	66,98	
9,5	52,66	55,97	58,69	
4,75	28,94	32,81	42,81	
2,36	24,72	23,44	26,88	
1,18	20,72	18,72	19,08	
0,6	17,60	14,80	14,80	
0,3	14,60	11,60	10,80	
0,15	11,60	8,60	8,40	
0,075	9,39	5,58	6,39	

**Tabell 9 - Indata till Swedish DSS.**

Parameter	Typ av asfaltmassa		
	ABS 16 50/70	ABb 22 50/70	AG 22 70/100
$G_{mm}$	2,45	2,49	2,47
$G_b$	1,02	1,02	1,02
$P_b$ (%)	6,20	5,00	4,90
$G_{sb}$	2,66	2,66	2,66
$P_{ba}$ (%)	0,48	0,40	0,15
$P_{av}$ (%)	2,50	2,60	4,40
VFA (%)	85,10	81,90	52,69
VMA (%)	5,61	4,62	4,52
A	10,6508	10,6508	11,8232
VTS	-3,5537	-3,5537	-3,6210

Styvhetsmodulerna för de obundna materialen behöver bestämmas för indata till SDSS. I detta fall väljs sommarens styvhetsmoduler från TRVINFRA 2020 och används sedan i SDSS. Tabell 10 redovisar dessa elasticitetsmoduler.

**Tabell 10 – Elasticitetsmoduler sommar för obundna lager. Källa: TRVINFRA 2020**

Lager	Styvhet(MPa)
Obundet Bärlager	450
Förstärkningslager	300
Terrass	100

Vidare ställs SDSS även in på att använda en standardaxel likt PEDRO och PMS objekt, en standardaxel med 800 kPa kontakttryck samt ett centrumavstånd mellan hjulen på 0,3 m.

### 3.2.3 PEDRO

Eftersom PEDRO bland annat behöver indata som vandring av fordon och annan klimatdata än SDSS och PMS objekt så hämtades bland annat vandring av tunga fordon ifrån (McGarvey, 2016) och bestämdes därifrån till 0,234 m som är ett medelvärde från 3

olika motorvägar. Detta värde kan ses som standard i enlighet med (Said, et al., 2020). Gällande klimatdata sätts den till de regionala data som är närmast Linderöd, i detta fall Kristianstad. I övrigt används data för samtliga bundna lager som redan är beskrivna i Tabell 5.

Antalet tunga fordon för respektive körfält används här istället för ekvivalent antal standardaxlar(ESALs).

Ytterligare indata i form av materialkonstanterna ( $a_1, a_2, a_3$ ) hämtas ifrån (Said, et al., 2020) där indata presenteras nedan i tabellform, observera att samtliga data är tagna i paritet för att passa Linderödsprojektet:

**Tabell 11 - Materialkonstanter asfaltmassor. Källa: VTI, 2020**

Asfaltsmassa	Materialkonstanter			
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$n$
ABS16 50/70	$3,81 \cdot 10^{-4}$	-0,132	5,772	0,08
ABb22 50/70	$3,81 \cdot 10^{-4}$	-0,132	5,842	0,08
AG22 160/220	$3,81 \cdot 10^{-4}$	-0,132	5,028	0,08

Notera i Tabell 11 att AG22 70/100 här är satt till AG22 160/220 eftersom indata inte fanns på den förstnämnde.



## 4 Resultat

I kapitlet presenteras PMS objekt, SDSS och PEDROs utdata i dess respektive form. Utdata skiljer sig beroende på program. Urklipp från samtliga programs interface finns med som figurer i figurerna visas även beräknad utdata.

### 4.1 PMS objekt

Figur 21 respektive 23 visar olika parametrar som är närmare förklarade i kapitel 2.5.1, samt färgkod för ifall vägkonstruktionen håller eller inte. Tre olika färger visas i PMS objekt:

- Grönt – Vägkonstruktionen håller för belastningen ifråga med marginal
- Gult – Vägkonstruktionen håller med knapp marginal
- Rött – Vägkonstruktionen håller inte sagd livslängd för belastningen den skall motstå

Figur 22 och figur 24 visar resultat ifrån slitagemodellen ifrån PMS objekt.

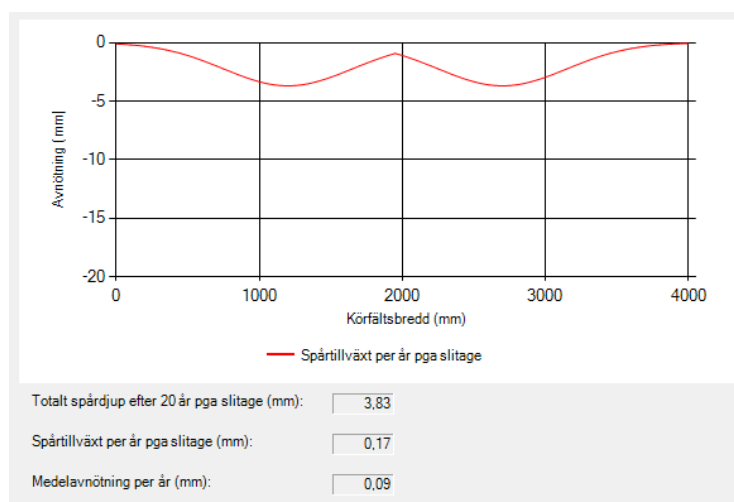
#### 4.1.1 Körfält 1

Antal axellaster, ackumulerat avseende			
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill.bb 11 380 305	Nekv 9 044 646	
Töjning i terrassytan	Ntill.te 35 769 643	Nekv * 2 18 089 292	
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna 0,002500	Beräknad 0,000734	
Tjällyft Beräknat lyft [mm]:	Max tillåtet lyft [mm]:	Korrigerat tjäldjup, utskiftningsdjup [mm]	Korrektionsfaktor för utskiftningsdjup
9	20	670	1,00

Figur 21 – Urklipp från PMS objekts interface på samtlig utdata för körfält 1.

Körfält 1 beräknas klara samtliga krav enligt PMS objekt då grönt ljus syns för samtliga belastningsscenario PMS objekt räknar på, se Figur 21 ovan. Konstruktionen är beräknad att hålla för 11 380 305 passager av standardaxlar och klarar då av kraven för maximal töjning i underkant av de bitumenbundna lagren. Också töjningen i terrassytan klarar konstruktionen av då den är beräknad att klara av 35 769 643 passager av standaraxlar. Vidare skall också konstruktionen hålla för det maximala tjällyftet på 20 mm då tjällyftet beräknas till 9 mm.





**Figur 22 – Spårprofil för körfält 1 från beläggningsslitagemodell ifrån PMS objekt.**

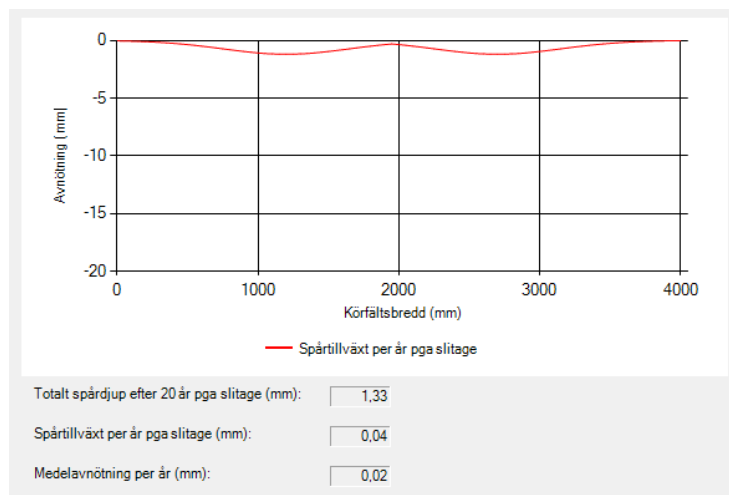
PMS objekts slitagemodellsberäkningar för körfält 1 beräknar ett spår djup ifrån slitage på 3,83 mm med en medelavnötning på 0,09 mm per år.

#### 4.1.2 Körfält 2

Antal axellaster, ackumulerat avseende				
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill,bb	Nekv	<input type="text" value="1 839 201"/>	<input type="text" value="1 592 179"/>
Töjning i terrassytan	Ntill,te	Nekv * 2	<input type="text" value="19 295 477"/>	<input type="text" value="3 184 358"/>
Vertikala trycktöjningar, enstaka last				
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna	Beräknad	<input type="text" value="0,002500"/>	<input type="text" value="0,000904"/>
Tjällyft		Korrigerat tjäldjup, utskiftningsdjup [mm]	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="20"/>
Beräknat lyft [mm]:	Max tillåtet lyft [mm]:		<input type="text" value="659"/>	Korrektionsfaktor för utskiftningsdjup
				<input type="text" value="1,00"/>

Figur 23 - Urklipp från PMS objekts interface på samtlig utdata för körfält 2.

Körfält 2 skall klara alla krav enligt PMS objekt då grönt ljus ges för samtliga krav. Exempelvis klarar konstruktionen av 1 839 201 passager av standardaxlar innan töjningen blir kritisk i underkant av de bitumenbundna lagren, lasten som de bitumenbundna lagren beräknas behöva motstå under dimensioneringsperioden är 1 592 179 standardaxlar, således god marginal. Vidare klarar även terrassytan av belastningen den skall stå emot på 3 184 358 standardaxlar eftersom den beräknas kunna motstå 19 295 477 standardaxlar. Tjällyft som vägen kan beräknas utsättas för ligger på 8 mm och har då också god marginal för det maximala tillåtna tjällyftet på 20 mm.



Figur 24 - Spårprofil för körfält 2 från beläggningsslitagemodell ifrån PMS objekt.

Figur 24 redovisar spår djupet som uppkommer tack vare slitaget av däck, detta hamnar enligt prognoseringen på 1,33 mm för körfält 2. Det går sedan att avläsa att ca 0,04 mm spår tillkommer per år till följd av detta slitage.

## 4.2 Swedish DSS

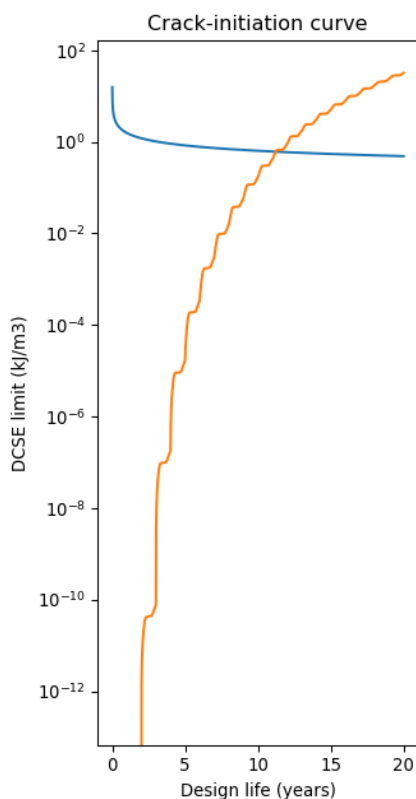
Vid användandet av ”user defined mixture” i SDSS fungerade inte prototypen, följaktligen gick det inte i mjukvarans dåvarande tillstånd att dimensionera utefter andra asfaltmassor än de förinställda som är beskrivna i 2.9.5. Konsekvensen av detta blev att dimensioneringen skedde med de förinställda massorna, därför valdes följande överbyggnadstyper från standardmassorna:

- ABT 11 70/100 - slitlager
- ABb 16 70/100 - bindlager
- AG 22 160/220 - bärlager

Alla andra indata förblev konstant.

Utöver detta fungerade det inte heller att använda mjukvarans finita elementfunktion som beräknade spår djup. Således kan inte dessa resultat presenteras heller.

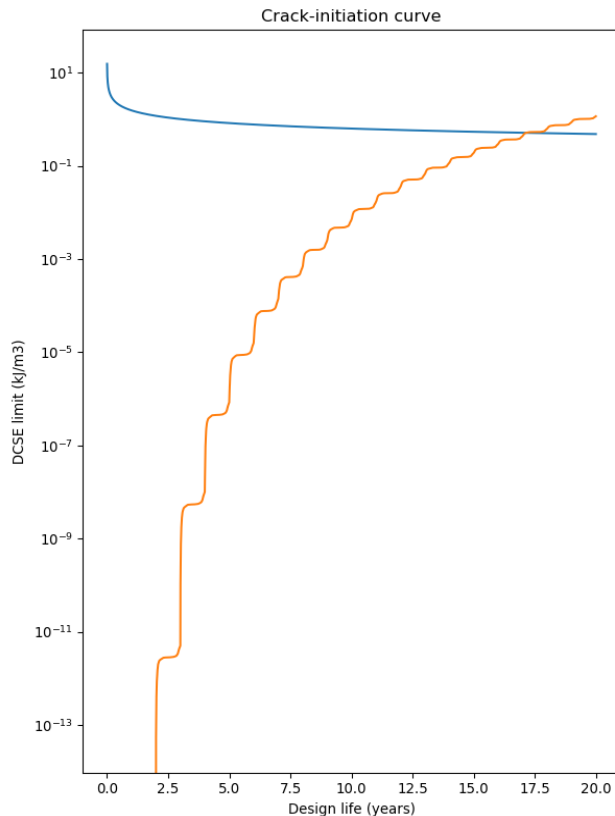
### 4.2.1 Körfält 1



**Figur 25 - Urklipp från SDSS interface på utdata för när makrospricka skall uppstå för körfält 1.**

Enligt SDSS beräkningar för bildning av makrosprickor skall en makrospricka i beläggningen uppstå i körfält 1 efter 11,2 år. Detta avläses av programmet och syns även okulärt i figur 25 där orange kurva skär blå kurva.

## 4.2.2 Körfält 2



**Figur 26 - Urklipp från SDSS interface på utdata för när makrospricka skall uppstå för körfält 2.**

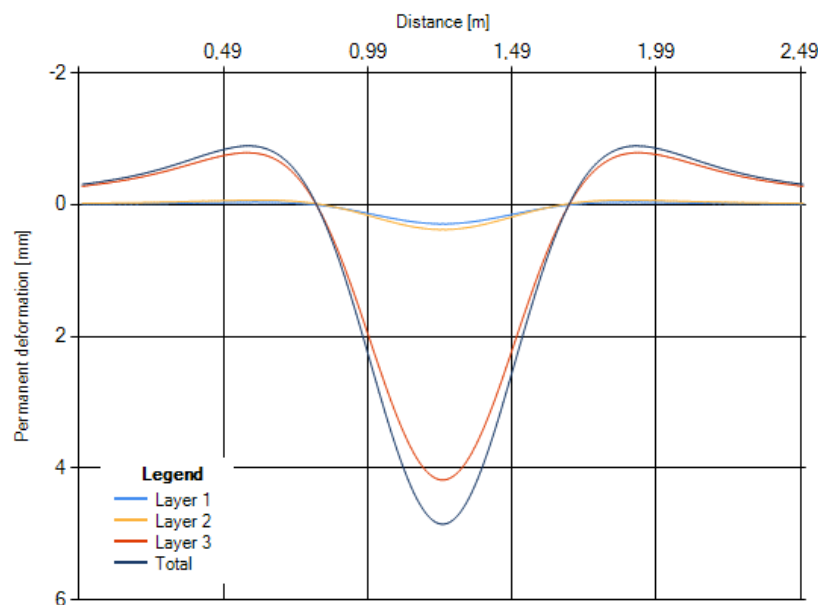
Enligt SDSS beräkningar för bildning av makrosprickor skall en makrospricka i beläggningen uppstå i körfält 2 efter 17,4 år, se figur 26. 17,4 år representeras av skärningen mellan orange och blå kurva i figur 26.

Resultat för körfält 1 samt körfält 2 skiljer sig stort åt från när en makrospricka kan komma att initieras. Detta kan eventuellt förklaras med den enormt mycket högre belastning körfält 1 skall stå emot 9 044 646 standardaxlar gentemot de 1 582 179 standardaxlar körfält 2 skall klara av att stå emot. Utöver det kan eventuellt även att inget av körfälten klarar av den tekniska livslängden förklaras med att de riktiga beläggningarna ifråga inte kunde brukas och därför tas i anspråk av mjukvaran. Därför håller inget av körfälten för sagd belastning.

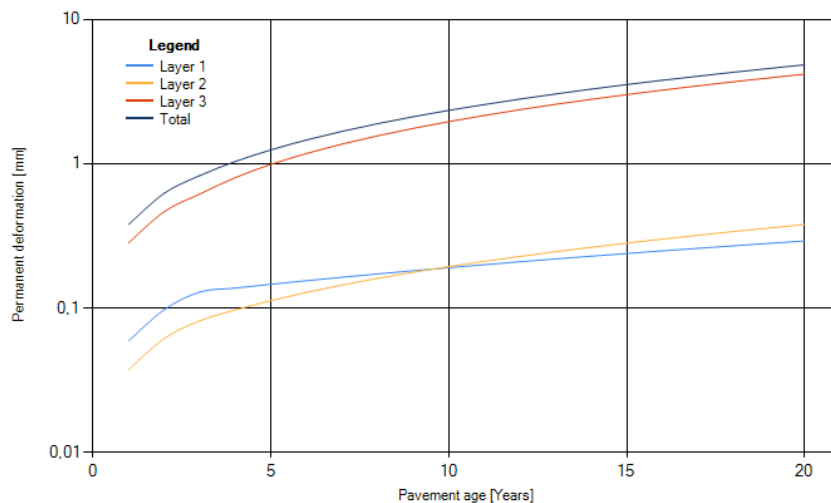
## 4.3 PEDRO

Figur 27 samt figur 29 visar en prognostiserad profil på hur spårbildning kan ta form efter 20 års belastning enligt indata. Mörkblå graf visar i båda figurer total deformation. Figur 28 och figur 30 påvisar båda för sitt respektive körfält hur stor ackumulerad deformation i de bundna lagren som kan förväntas påträffas under den tekniska livslängden och hur deformation ökar under åren. I figurerna påvisas också deformation för varje enskilt bundet lager, se blå, gul och röd graf beroende på figur. Graferna återger respektive lager där blå graf är slitlagret, gul graf är bindlagret i figur 27 och figur 29 medan gul graf är det bundna bärlagret i figur 29 respektive 30. I figur 27 samt figur 28 är sedan rött lager bundet bärlager.

### 4.3.1 Körfält 1



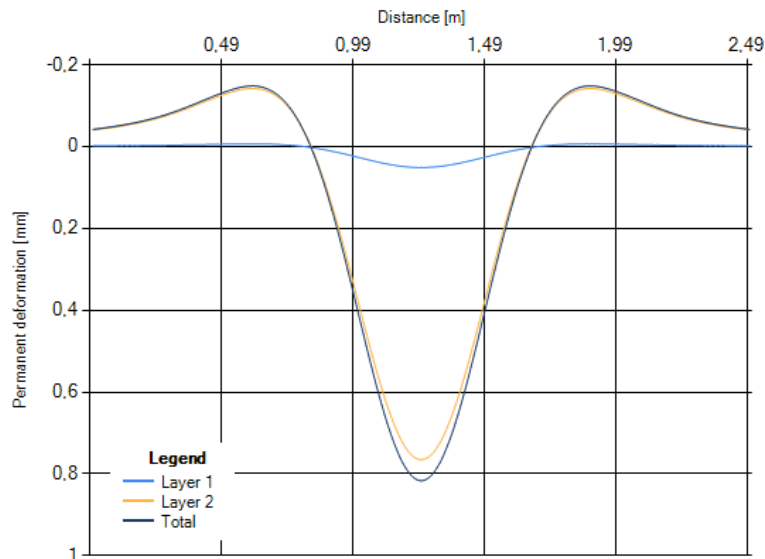
Figur 27 - Urklipp från PEDROs interface på utdata på spårprofil för körfält 1.



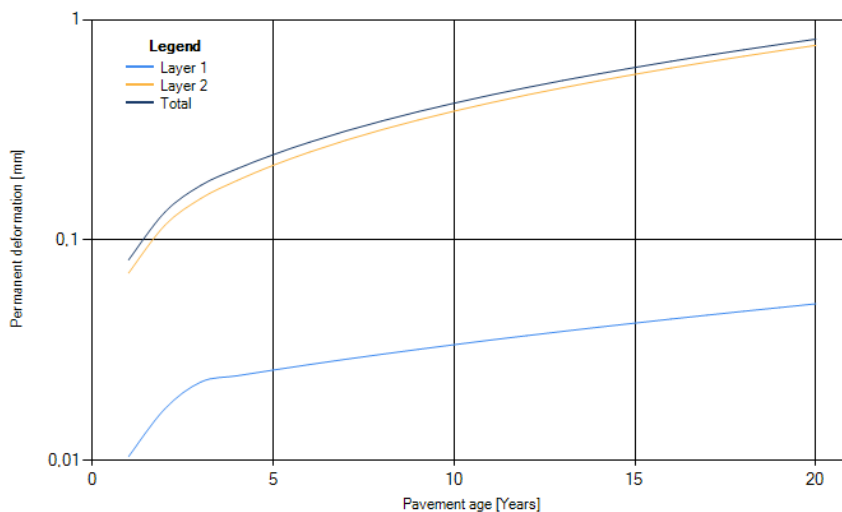
Figur 28 - Urklipp från PEDROs interface på utdata för ackumulerad spårbildning över den tekniska livslängden för körfält 1.

Figur 27 och figur 28 visar hur spårbildningen utvecklas under den tekniska livslängden och hur den maximalt skall nå ett djup på 4,86 mm, där spårbildningens utveckling dominerar i det bundna bärlagret, likt röd graf visar.

#### 4.3.2 Körfält 2



**Figur 29 - Urklipp från PEDROs interface på utdata på spårprofil för körfält 2.**



**Figur 30 - Urklipp från PEDROs interface på utdata för ackumulerad spårbildning över den tekniska livslängden för körfält 2.**

Figur 29 och figur 30 visar hur spårbildningen utvecklas under den tekniska livslängden och hur den maximalt skall nå ett djup på 0,80 mm för körfält 2, där spårbildningens utveckling är flerfaldigt större för bärlagret som för slitlagret, se figur 30.

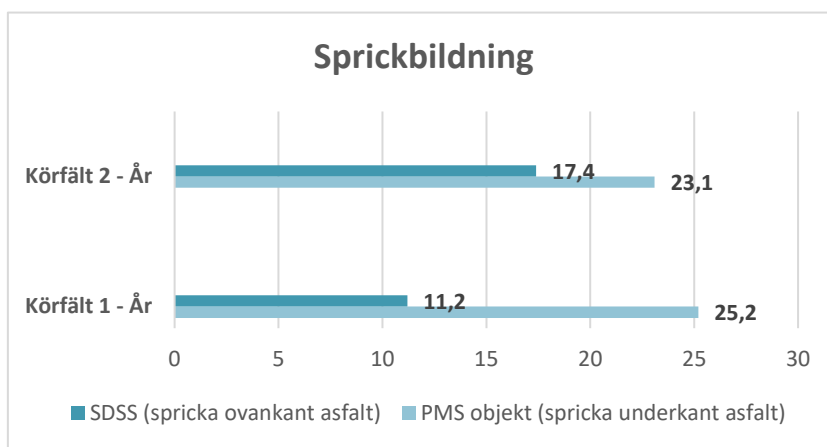
Resultaten skiljer sig gentemot respektive körfält. Troligtvis beror detta på att den tunga trafiken är ungefär 6 gånger så hög på körfält 1 som på körfält 2. 676 tunga fordon

gentemot 119 tunga fordon, detta ger upphov till den flera gånger större deformationen hos de bundna lagren för körfält 1. Att störst deformation sker i det bundna bärlagret för båda körfälten är förväntat, då materialkonstanterna som användes vid prognostiseringen i PEDRO var lägst för bärlagret, se tabell 11.

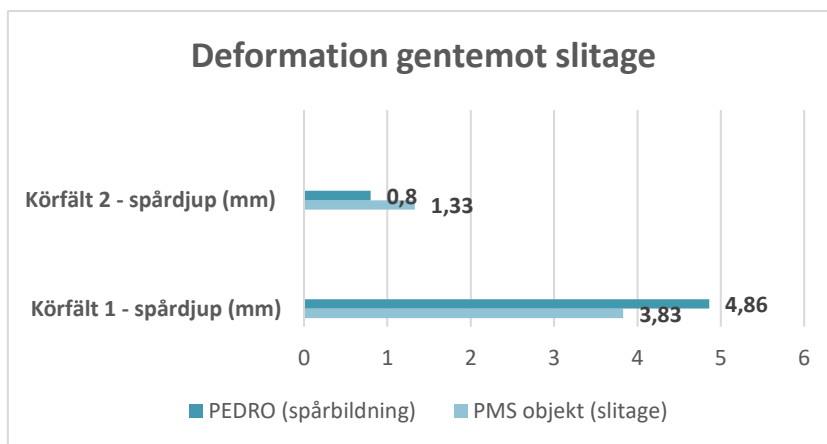
## 4.4 Samlade resultat

Tabell 12 - Samlade resultat för PMS objekt, SDSS samt PEDRO.

	PMS objekt	SDSS	PMS objekt - slitage	PEDRO
<b>Körfält 1</b>	11 380 305 sa – 25,2 år	11,2 år	3,83 mm	4,86 mm
<b>Körfält 2</b>	1 839 201 sa – 23,1 år	17,4 år	0,80 mm	0,80 mm



Figur 32 - Diagram för sprickbildning från modellerna PMS objekt och SDSS.



Figur 31 - Diagram för spårbildning från modellerna PEDRO och PMS objekt.

## 5 Diskussion och slutsats

I denna del diskuteras resultaten från studien gentemot frågeställningen som studien bygger på. Metoden diskuteras och för- samt nackdelar kartläggs för att identifiera brister med studien, därutöver också studiens styrkor.

### 5.1 Resultatdiskussion

Skillnaderna i utdata från respektive mjukvara var olika dock med utgångspunkten att varje program påvisade hur mycket vägen skulle tåla eller skadas under en 20 års period. PMS objekt pekar på hur många standardaxlar vägen klarar av innan vägen blir utmattad på olika vis, medan SDSS påvisar när en makrospricka uppstår samt har funktionen att beräkna spår djup under samma dimensioneringsperiod och PEDRO prognostiserar spårbildning.

Vid kartläggningen av indata särskiljer sig programmen, där PMS objekt har lägst detaljnivå kontra SDSS samt PEDRO. En av PEDROs fördelar eller i en del fall nackdelar när ej detaljerad data finns, är att programmet vid inmatning av indata kan tillgodose sig detaljrik data på den tunga trafiken, exempelvis axelkonfigurationer och dylikt. Utöver detta så kan med fördel via laborietestning även de reologiska egenskaperna för asfaltmassan som helhet också nyttjas, detta gäller även SDSS. SDSS kräver indata på detaljnivå kring bitumen samt asfaltens ingående kornfraktioner och uppnår då sin detaljnivå medan PMS objekt inte kräver något av ovanstående. Således kan ett polymermodifierat bitumen(PMB) verkligen nyttjas i dimensioneringen med SDSS och prognosteringen med PEDRO. Utöver det skulle SDSS kunna ta anspråk på en polymermodifierad asfalt(PMA) alternativt bättre uppmätta E-moduler för terrassen eller bärlagren. Fördelarna med att använda ett PMB är många beroende på situation och typ av PMB, men att kunna ta ett PMBs egenskaper i anspråk vid dimensionering skapar andra sorters fördelar. Fördelar som eventuellt skulle kunna föreligga är att tunnare konstruktioner skulle nyttjas än vad TRVINFRA anvisar, något som hade kunnat spara material vilket är positivt för miljön samt möjligen pressat ner priser vid upphandlingar för att tunnare konstruktioner hade kunnat spara ekonomi. Idag föreligger ett utvecklingsprojekt ifrån SBUF som redogör för och undersöker om PMB i vägkonstruktioner medger tunnare vägöverbyggnader. Detta är intressant i paritet till ovanstående, eftersom PMB möjliggör tunnare konstruktioner tack vare exempelvis ökad styvhet(se TRVR 7.1.5.2) men frågan är hur mycket tunnare konstruktioner som kan fungera. Tar man hänsyn till detta är fördelarna stora gentemot PMS objekt. En viktig ytterligare poäng i förhållande till bindemedel och skillnader i programmen är att PMS objekt räknar utifrån att programmets bundna bärlager är av typen AG 160/220 och dess slitlager av typen AB 160/220. Detta är en stor skillnad gentemot SDSS och PEDRO som båda tar hänsyn till vilka bindemedel som används i respektive lager som ingår i konstruktionen.

Samtliga modeller tar hänsyn till klimatdata och då även klimatdata för respektive säsong. Utöver det har också alla program former av beräkningar av antalet standardaxlar över dimensioneringsperioden också, samtidigt går det att ange för PMS objekt samt SDSS



exakt det antal standardaxlar som vägen skall klara av. PEDRO kräver istället antalet tunga fordon exempelvis och gör sedan sina egna beräkningar för ekvivalent antal standardaxlar.

En aspekt som också fordrar beaktas här är tjäle, detta eftersom SDSS inte tar hänsyn till denna. Följaktligen skulle inte SDSS kunna ersätta PMS objekt i de norra regionerna i Sverige, det tack vare att tjälen i dessa regioner leder till sprickbildning eller spårbildning före vägen går till brott så som SDSS beräknar. Märk väl att tjälen i dessa regioner blir dimensionerande tack vare detta. I sådana här utfall skulle i sådana fall SDSS mer ses som ett komplement och som en viss validering av PMS objekt istället. Värt att framföra i paritet till detta är att medvetna val att just välja projekt i södra delen av Sverige gjordes, detta för att kunna jämföra samtliga andra funktioner hos mjukvarorna än just tjäle eftersom varken SDSS eller PEDRO behandlar just tjäle.

SDSS och PMS objekt har båda en modell för att beräkna antalet ekvivalenta standardaxlar som troligtvis var snarlik, detta då vid inmatning och beräkning skiljde sig resultaten åt med några få standardaxlar. Således bedöms modellerna vara snarlika även om man i SDSS kunde ange indata som: "Lane Distribution Factor". Sattes denna faktor till ett värde av 1 drogs konklusionen att trafikmodellen var ungefär samma som för PMS objekt. Modellerna för trafikberäkning, med betoning på tung trafik var annorlunda i PEDRO, där flertalet modeller återfanns. Beräkningarna kunde göras från specifikt den tunga trafiken, men också egen eller standardinställd regional WIM data kunde användas, därutöver inkluderades "vandring av motorfordon" som nämnts tidigare och som visats av (Safwat, et al., 2018) starkt påverka spårbildning i de bundna lagren.

Gemensam indata för PEDRO och SDSS var Poissons tal och lagertjocklekar, vilket visar på att dessa modeller tar hänsyn till tvärkontraktionen som sker när beläggningen belastas av diverse krafter. Asfaltmassan blandas till en homogen och anisotrop massa innan utläggning men kommer deformeras olika tack vare krafternas position och riktning, att ta hänsyn till detta i ingående modeller är därför kritiskt. PEDROs modell för Poissons tal skiljde ut sig, då den andra mjukvaran istället enbart krävde att Poissons tal angavs så beräknade PEDRO ett eget Poissons tal utefter modellen enligt ekvation (21).

PMS objekt resultat pekar på att vägen ifråga kommer hålla sin livslängd utifrån samtliga givna indata. Utmattning i underkant av asfaltlager eller i överkant av terrass skall inte förekomma inom ramen för dimensioneringsperioden, det vill säga under de 20 år som vägen är dimensionerad för.

Prototypen SDSS påtalar att en makrospricka skall uppstå i överkant av asfalten efter 11,2 år respektive 17,2 år i körfält 1 och körfält 2. Resultatet skiljer sig stort från PMS objekt som påtalar att sprickor först uppkommer efter mer än 20 års tid för båda körfälten. Dessutom skiljer sig resultaten från SDSS med varandra för körfälten med 6 år. Detta bör till viss del kunna förklaras med att körfält 1 är betydligt mer belastat än körfält 2, 11 380 305 standardaxlar gentemot 1 839 201 standardaxlar, vilket då ger en tidigare beräknad spricka. Att resultaten skiljer sig som de gör för programmen kan också ha sin grund i att SDSS funktion inte helt fungerar, det kan tolkas så eftersom prototypens andra funktioner har brustit i sin funktionalitet, således då kan denna funktion också ha brister och därför generera ett felaktigt svar. Vidare användes inte heller de rätta ingångsparametrarna för SDSS i form av materialegenskaperna eftersom den funktionen ej fungera, en kan spekulera om vad som hade hänt ifall rätt parametrar hade kunnat nyttjas vid denna dimensionering och om makrosprickorna då hade påträffats senare. Utöver detta bör resultatet verifieras ytterligare med fler studier med standardbeläggningarna så att resultatet här inte är unikt för just denna jämförelse. Eftersom detta också är en jämförelse med endast 2 körfält så skall inte heller för stora slutsatser dras.

PEDRO gav ett spår djup om 4,86 mm och 0,80 mm för körfält 1 respektive körfält 2 som möjligen kan stämma, eftersom (Asphalt Institute, 2007; Safwat, et al., 2018) menar på att plastisk deformation i vägar beror till stor del på den tunga trafik motorvägen ifråga belastas av. Studeras sedan indata, ska inte vägen vara särskilt belastad utav tung trafik, 676 respektive 119 tunga fordon för körfält 1 och körfält 2. Detta styrker resultatet på de låga spår djupen. Vidare säger (Trafikverket, 2012) att kraven på spår djup för en motorväg med skyltad hastighet på 110 km/h är 13 mm för körfält 1 respektive 15 mm för körfält 2. Detta regleras av  $\dot{A}DT_k$ . Kraven på spår djup i proportion till de prognostiserade spår djupen av PEDRO pekar på att spår djupen som bildas över den tekniska livslängden inte är i närheten av utvecklas till de spår djup Trafikverket ställer på en motorväg. Dock måste man väga in likt det är beskrivet i kapitel 2.3.3 att spår bildas inte bara av omlagringen från den tunga trafiken, samt efterpackningen som PEDRO prognostiserar gentemot. Utan nötning ifrån däck och slitage därtill spelar en roll. Därför kan resultaten läggas ihop för PEDRO respektive från Slitagemodellen i PMS objekt, spår djupen som fås hamnar då på 8,69 mm samt 2,13 mm för körfält 1 samt körfält 2. Vilket antagligen för oss ett steg närmare det verkliga scenariot eftersom fler parametrar vägs in. Skillnaden mellan kraven samt det beräknade spår djupet för körfält 2 är fortfarande väldigt stora  $\sim 13$  mm och kan eventuellt stämma eftersom likt benämnt tidigare körfält 2 är inte särskilt belastat av så mycket tung trafik eller mycket trafik överhuvudtaget jämfört med körfält 1. Körfält 1 däremot som är betydligt mer belastat påvisar större spår djup från samtliga modeller vilket ligger i linje med vad körfält 2s resultat visar. Poängen är att resultaten från PMS objekt samt PEDRO för båda körfälten samspelar med varandra och det gör även körfältsresultaten sinsemellan, något som väger in lite för detta resultat.

Det är viktigt att påpeka denna kompatibilitet som användes ovan med PMS objekt tillsammans PEDRO, detta då om kompatibiliteten ytterligare bestyrkes kan föra dimensioneringstekniken för vägöverbyggnader ytterligare ett steg framåt i Sverige. Föregående på grund av att mjukvarorna i symbios dimensionerar mot fyra av de tolv mest frekvent förekommande skador som COST 333 redovisade.

Samtliga resultat från PEDRO och PMS objekt visar på att vägen ifråga kommer hålla gentemot alla de krav ställda ifrån Trafikverket, det gäller både spår djup och de kraven ifrån TRVINFRA. Detta gäller även likt diskuterat ovan, när somliga resultat läggs ihop. Resultaten från PMS objekt anses som pålitliga eftersom att PMS objekt är välansvänt i Sverige och har även blivit verifierat, bland annat år 2004 (Göransson, 2004). PEDROs resultat i sin tur bedöms även som pålitliga även om PEDRO är ett relativt nytt program som bör verifieras ytterligare. Det bedöms som pålitligt eftersom resultaten faller i linje med den förväntan som fanns på resultaten, både tillsammans med PMS objekt och ensamt. Detta då körfält 1 och körfält 2 beräknas få spår djup som samspelar med en trafikbelastning körfälten skall belastas gentemot. Samtidigt som dessa spår djup inte blir vidare djupa enligt PEDRO så visar exempelvis PMS objekt slitagemodell på att körfält 2s spår djup formas av nötning till störst del och hamnar på 1,33 mm. Detta kan anses som rimligt med tanke på trafiken som belastar körfält 2, alltså  $\dot{A}DT_k$  och studerar indata till slitagemodellen, slitagemodellen tar hänsyn till  $\dot{A}DT_k$  som i detta fall är flertalet gånger större än  $\dot{A}DT_{k,tung}$ , 1 142 fordon kontra 119 tunga fordon. Detta är viktigt att poängtera eftersom att slitagemodellen förmodligen tack vare dessa indata påvisar större spår djup än vad därför PEDRO gör för plastisk deformation.

En företeelse hos PEDRO som upptäcktes när indata studerades var att materialkonstanterna ( $a_1, a_2, a_3$ ) för asfaltbetongen som användes ifråga skiljde sig mycket från projekt till projekt då inräknat samma ”typ” av asfaltbetong. Direkt ifrån rapporten ”Prediction of rutting in asphalt concrete pavements – the PEDRO model” så hämtades dessa materialkonstanter och dessa kunde skilja sig ifrån varandra. Detta kan till viss grad förklaras på grund av de olika provens/projektens ålder, något som PEDRO tar hänsyn till i

sin egen modell, dock gav det stor spridning i utfallet för spårdjupet. Följaktligen är det svårt att veta vilka intervall för materialkonstanterna som är okej och inte, detta gör att man eventuellt kan över- eller underprognosticera eftersom man fått väldigt bra respektive dåliga materialkonstanter. Svårigheterna försökte överkommas genom att materialkonstanter valdes så att de skulle likna Linderödsprojektet så väl som möjligt, exempelvis togs det projekt med prover som var ett år gamla. Motiveringen till valet var att likna en nybyggnads materialegenskaper så väl som möjligt. Vad som skulle gjorts utöver detta borde varit att slå samman samtliga projekts asfaltmassor och ta ut ett medelvärde samt en median, därutöver ett mått på spridningen. En statistik undersökning av konstanterna kunde gjorts för att höjt kvaliteten för PEDROs resultat i denna studie. Detta hade ökat värdet i rapporten som helhet. Tillägg till detta är att PEDRO är ett nytt program som fortfarande verifieras. Således är spårdjupet efter 20 års tid osäkert eftersom det inte är belagt med empiri. Laboratiemetoderna för att ta fram materialkonstanterna har utvecklats av VTI själva och tas fram i VTIs laboratorier, detta gör VTI är de enda som besitter nödvändig kunskap för att göra korrekt provning. Använder någon som inte är lika insatt i dessa metoder dem, kan exempelvis resultat på materialkonstanterna som avviker komma att ej upptäckas eftersom kunskap kring detta inte besitts av personer utifrån. Detta begränsar PEDROs användningsområde eftersom att det blir de facto sådant att bara insatta personer kan ta fram materialkonstanterna på ett korrekt sätt (Said, et al., 2020).

## 5.2 Metoddiskussion

Litteratursökningen och valen av läst litteratur är grunden för att förstå respektive programs indata. Den valda metoden och dess litteratur är således essentiell för arbetet och dess form, vilket gör att inget annat sätt än utbildning direkt från de personerna involverade i respektive mjukvaras framfart hade kunnat ersätta litteraturstudierna.

Hade dock utbildning respektive intervjustudie ersatt metoden jag använde mig av, så hade detta eventuellt gett mastersarbetet i sig ett djupare tekniskt perspektiv och samtlig indata hade kunnat få en mer detaljrik förklaring. Kanske hade också avvikelser jag icke upptäckt i indata särskilt för PEDRO och SDSS upptäckts och korrigerats. Det skall dock understrykas att jag varit i kontakt med insatta för att stämma av PEDROs resultat. Därtill anser jag att för min målgrupp hade en ytterligare teknisk djupdykning kanske blivit för djup och snarare minskat intresse för icke insatta än ökat intresse.

Användandet av endast ett projekt ses från mitt perspektiv som en svaghet, dock kan det i viss utsträckning ses som en styrka. Beroende på om det är en svaghet eller styrka måste det vägas in att även om fler vägar eller projekt hade använts skulle resultaten som getts bara kunnat jämföras med de enskilda mjukvarornas resultat, något som i praktiken enbart gett upphov till utvärdering av mjukvarornas resultat gentemot sig själva och såklart i viss grad varandra. Detta hade emellertid kunnat ge upphov till att upptäcka hur variationer i indata påverkade utdata för respektive program på ett djupare sätt, vilket är mer eller mindre betydelsefullt beroende på hur det avvägs. Det som hade behövts för att verkligen verifiera samtliga program dock hade enligt min åsikt inte varit fler vägar att dimensionera utan, att ett referensprojekt hade lagts i samband med dimensioneringen. Dessa skulle sedan kunna följas upp och utvärdera modellerna var för sig under en kortare samt längre tid, för att få helhetsperspektiv samt förfina modellerna. Självfallet omfattar detta en enorm studie, något som inte hinns med på ett mastersarbete, men det hade behövts för att styrka samtliga modeller. Jag anser därför att eftersom arbetet ej har fler projekt som det behandlar inte behövs se som en svaghet nödvändigtvis.

Eftersom flertalet funktioner hos SDSS inte fungerade så kunde inte utdata-variationerna studeras på samma sätt som PMS objekt och PEDRO kunde. Istället bör den delen av examensarbete ses mer som en funktionalitetsutvärdering av SDSS och inte en djupgående analys av utdata. Indata till SDSS studerades dock flitigt, något som går att utläsa i examensarbetet och förståelse för magnituden av programmets bakgrundsdata har kartlagts, detta skapar trots allt en sorts grund för när någon i framtiden utvärderar en nyare version av SDSS att läsa studera utdata.

För att minska antalet felkällor och dra eventuellt resultat så nära verkligheten som möjligt så var grundtanken från första början i arbetet att använda riktiga projekt, såsom E22 Linderöd. Detta då eventuella resultat skulle kunnat valideras mot något som återfanns i verkligheten. Detta blev inte fallet eftersom resultat saknas ifrån SDSS. Resultatet att SDSS inte fungerade gör att en jämförelse mellan spårdjup från deformationer inte går att göra. Sålunda kan inte heller slutsatser dras från resultatet från PEDRO mer än att programmet tillät beräkning av ett visst spårdjup. En jämförelse mellan de båda programmen hade varit utav mycket mer betydande karaktär, då en stor skillnad i spårdjup eller initialt spårdjup första året exempelvis hade tillåtit många analyser i olika form att äga rum.

Utöver att använda ett riktigt projekt, användes därtill arbetsrecept från asfaltsmassor för att beräkna samtliga parametrar till SDSS. Detta skall i min mening ses som en styrka, då det hade styrkt resultatet som SDSS hade kunnat beräkna i och med att recepten faktiskt använts och existerar ute i vägar. Sålunda hade efter ett par år någon form av examensarbete eller dylikt som gjorde en jämförelse kunnat göras mellan SDSS resultatet och verkliga utfallet.

Detaljnivån för den indata som används till SDSS är mycket hög, vilket måste poängteras eftersom en sådan här detaljnivå med snabbare beräkningstider, verkligen kan ta dimensioneringen inte minst i Sverige ett markant steg framåt i rätt riktning. Detta eftersom funktionen "user defined mixture" verkligen tillåter dimensioneringen på detaljnivå att ta anspråk på bitumens reologiska egenskaper och hur asfaltmassan som helhet beter sig.

Att inte "user defined mixture" gick att använda i SDSS gör att inte heller exakt asfaltmassa specificeras och därför kunde ingen rättvis jämförelse med PMS objekt och PEDRO göras för resultaten. Hade däremot prototypen fungerat som den skulle, hade den kunnat påvisa när sprickor skulle uppstå i körfält 1 och 2 och dessa hade i sin tur kunnat jämföras gentemot resultat från PMS objekt. Ytterligare att då kunna använda just denna funktion hade fått asfaltmassorna använda i dimensioneringen att likna verkligheten så mycket som möjligt, vilket ökar träffsäkerheten för en dimensionering.

Resultatet från PMS objekt stämmer förmodligen mer med verkligheten än SDSS, dels eftersom SDSS har en del funktioner som inte fungerar som de skall, men också för att de standardbeläggningarna som användes i SDSS förmodligen skiljer sig stort från de beläggningar som skulle använts. Jag anser detta eftersom dessa standardbeläggningar från SDSS var annorlunda både till typen ABT11 gentemot den faktiska asfalten ABS16 som slitlager, men också till bindemedel 70/100 istället för 50/70. Samtliga andra lager skiljde också, i min analys blir därför det orättvist att säga att SDSS stämmer överens med verkligheten lika mycket som PMS objekt, det eftersom SDSS inte används som mjukvaran är tänkt att användas. Det finns alltså inte möjlighet för SDSS att ta tillvara på alla de egenskaper programmet egentligen kan, vilket om det hade funkat antagligen hade gett bättre hållfasthet och egenskaper för asfalten vilket förmodligen hade givit andra resultat dessutom. Ytterligare belägg för detta är att PMS objekt påvisade att samtliga vägöverbyggnader verkligen skulle hålla, vilket inte SDSS gjorde. Därtill likt nämnt

tidigare så används PMS objekt i hela Sverige och har flertalet referensobjekt, detta styrker mitt påstående i början av stycket.

Något som samtliga program levererade i en viss utsträckning var användarvänlighet, dock skall det understrykas att speciellt SDSS och PEDRO kräver att bakgrundskunskap finns kring hur man tar fram parametrar såsom specifik gravitation för asfaltmassan (SDSS) och materialkonstanterna  $a_1, a_2, a_3$  (PEDRO). Men trots detta är de enkelt att använda och hitta i samtliga programs interface, detta är viktigt för icke insatta skall, skall programmen förstås och användas av flertalet så behövs användbarheten ökas, ett sätt att göra det är likt VTI gjort med PEDRO, låt mjukvaran finnas i webläsarform.

Dock skall det att tack vare att inget spårdjup kunde beräknas ifrån SDSS, så lämnar det ingenting från SDSS att ta till jämförelse gentemot PEDRO, vilket hade varit en ytterst intressant aspekt till arbetet i sin helhet. Då detta hade kunnat verifiera resultaten ytterligare ifrån PEDRO, PMS objekt samt SDSS. Exempelvis hade då programmet så vitt jag kunnat förstå i all bakgrundsdata jag läst tagit hänsyn till både spårbildning av tung trafik samt nötning. Detta hade då kunnat jämföras med sammanlagda resultat och också de enskilda resultaten från PMS objekt och SDSS.

## 5.3 Slutsatser

Slutsatserna som kan dras från mastersarbetet är:

- En av de första och viktigaste slutsatserna är att prototypen SDSS inte fungerar i sin nuvarande form. De funktioner som brast i SDSS var bland annat:
  - Den finita elementanalysen fungerar inte när ytterligare lager läggs till eller andra ändringar görs, detta resulterar i att inga spårdjup går att få som resultat.
  - Ändringar av däckbredd ändrar tid innan makrospricka uppstår med några år, vid ytterligare ändring stannar antalet år på samma år även om däckbredd minskas eller ökas.
  - ”User defined mixture” funktionen fungerar inte, programmet stannar sin analys på 0 %.
  - Ställa in tjocklek på ”Subgrade” det vill säga terrassen påverkar inte beräkningarna.
  - Prototypen SDSS är långsam i förhållande till beräkningarna ifrån PMS objekt och PEDRO. Ser man på tiden det tog till att låta prototypen försöka göra beräkningar med sitt finita element analys så är prototypen flera minuter långsammare.
  - ”Compute mixture properties” fungerar inte för ”user defined mixture”.
  - Funktionen ”generate report” funkar inte.
  - Görs beräkningar först med linjärfunktionen och sedan med finita elementmetoden så ändras antalet år till en makrospricka skall uppstå.
- Med ovanstående nämnt är det viktigt att poängtera det vakuum av potential som SDSS lämnar efter sig eftersom det inte fungerar, denna slutsats kan dras tack vare den djupdykning i indata till SDSS som gjorts. Slutsatsen som dras är att en

fungerande version av mjukvaran verkligen hade kunnat föra oss framåt en bra bit i Sverige kring hur vi dimensionerar överbyggnader.

- I paritet till ovan dras följande slutsats: använda en fungerande version av SDSS tillsammans med PMS objekt hade kunnat fungera mycket väl då tillsammans hade programmen dimensionerat för 4 av de 13 brottmekanismer som rapporten COST 333 påvisar.
- PEDRO skulle kunna ses när modellen blivit validerad i framtiden, som ett komplement till PMS objekt, som fyller i där PMS objekt saknar. Exempelvis skulle då eventuellt väldigt stora spår djup indikera på att vägen kanske är underdimensionerad även om PMS objekt anvisar att vägen håller.
- Ytterligare slutsats är vikten på korrekt indata, då detta påverkar resultatet mycket för alla program, med betoning på materialkonstanterna för PEDRO.

### 5.3.1 Rekommendationer

Då arbetet inte föreföll innehålla de resultat som på något vis hade förväntats, så följer rekommendationer för den intresserade på fortsatta studier:

- En framtida studie rekommenderas när en ny funktionell version av SDSS infinner sig. Så skulle samtliga programvaror kunna utvärderas mot ett projekt som har ett par år på nacken och därtill kompletteras med fältförsök.
- En studie hade kunnat genomföras på befintliga vägar i olika åldrar, där underhåll ännu ej har skett där spår djup mäts, laboratorieprovning sker och PEDRO används och försök till validering görs av PEDRO. Intressant hade varit att kartlägga hur väl PEDRO förespår den initiala deformationen vid påsläpp av trafik de första åren.
- Ad extremum så kan materialkonstanter till PEDRO studeras genom att flertalet vägar provtages och laborationstestas. Därefter jämförs de och deras påverkan på spår djup beräknat av PEDRO utvärderas. Parallellt med detta kan prover göras av så att jämförelse mellan resultaten på materialkonstanterna kan göras.

## 6 Referenser

Agardh, S. & Parhamifar, E., 2014. *Vägbyggnad*. 1 red. Stockholm: Liber AB.

Asfaltboken, 1999. *Asfaltboken*. [Online]  
Available at: <https://asfaltboken.se/inledning-och-historik/#1.2>  
[Använd 15 09 2020].

Asphalt Institute, 2007. *The asphalt handbook*. 7:e red. USA: Asphalt Institute.

Birgisson, B., Jelagin, D. & Gullberg, D., 2012. Evaluation of a novel calibrated-mechanistic model to design against fracture under Swedish conditions. *Road Materials and Pavement Design*, 13(1), pp. 48-66.

Dinegdae, Y. H., Onifade, I., Jelagin, D. & Birgisson, B., 2015. *Mechanics-based top-down fatigue cracking initiation prediction framework for asphalt pavements*, Stockholm: Road Materials and Pavement Design, 16:4, 907-927, DOI: 10.1080/14680629.2015.1055335.

Dinegdae, Y., Onifade, I. & Birgisson, B., 2018. *Implementation of the unified mechanics-based analysis and design framework for Swedish conditions*, College Station, Texas: Yared Dinegdae, Ibrahim Onifade and Bjorn Birgisson.

Euromixers, 2020. *Euromixers.se*. [Online]  
Available at: [https://www.euromixers.se/specifik-gravitation/#:~:text=Specifik%20gravitation%20\(SG\)%20%C3%A4r%20f%C3%B6rh%C3%A5llandet,maximala%20densitet%20p%C3%A5%201g%20%2F%20cm3.](https://www.euromixers.se/specifik-gravitation/#:~:text=Specifik%20gravitation%20(SG)%20%C3%A4r%20f%C3%B6rh%C3%A5llandet,maximala%20densitet%20p%C3%A5%201g%20%2F%20cm3.)  
[Använd 20 Oktober 2020].

European Commission, 2000. *Cost 333 - Development of New Bituminous Pavement Design Method*, Bryssel: European Commission.

FHA, 2011. *LTPP Computed Parameter: Dynamic Modulus*, FHWA-HRT-10-035, Unknown, USA: Federal Highway Administration Research and Technology.

Granhage, L., 2009. *Kompendium i vägbyggnad*, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Gullberg, D., Birgisson, B. & Jelagin, D., 2012. *Evaluation of predictive material models used in the new Swedish mechanistic-empirical design module*, Stockholm: Road Materials and Pavement Design.

Göransson, N.-G., 2004. *Validering av PMS Objekt, 80568*, Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet.

Isacsson, U., 2000. *Drift och underhåll av vägar och gator*. 1:a red. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Jacobson, T. & Wågberg, L.-G., 2007. *Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan faktorer*, Linköping: VTI.

Kumar Das, P., Birgisson, B., Jelagin, D. & Kringos, N., 2013. *Investigation of the asphalt mixture morphology influence on its ageing susceptibility*; DOI 10.1617/s11527-013-0209-z, Stockholm: Rilem.

- Lin, S., 2011. *Evaluation of HMA Fracture Mechanics-Based Thermal Cracking Model*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- McGarvey, T., 2016. *Vehicle lateral position depending on road type and lane width - VTI rapport 892A*, Linköping: VTI.
- NCHRP, 2004. *Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures. Part2. Design inputs, Chapter 2. Material Characterization*, Champaign, Illinois: NCHRP.
- Pavement Interactive, 2020. *pavementinteractive.org*. [Online] Available at: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/mix-design/hma-weight-volume-terms-and-relationships/> [Använd 20 Oktober 2020].
- Rödin, A. & Uhrdin Andersson, E., 2017. *Implementation of the permanent deformation model PEDRO for pavement structures*, Göteborg: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- Safwat, S., Jelagin, D., Abubeker, A. & Xiaohu, L., 2018. *Asphalt layer rutting performance prediction tools - VTI rapport 968A*, Linköping: VTI.
- Said, S. o.a., 2020. *Prediction of rutting in asphalt concrete pavements – the PEDRO model (VTI rapport 1016A)*, Linköping: VTI.
- Said, S. F., Hakim, H., Hjort, M. & Oscarsson, E., 2011. *Prediction of flow rutting in asphalt concrete layers*, Linköping: International Journal of Pavement Engineering.
- SGU, 2020. *SGU*. [Online] Available at: <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/inlandsisen/moran-spar-av-inlandsisen/#:~:text=En%20jordart%20med%20v%C3%A4xlande%20sammans%C3%A4tning&text=I%20stora%20delar%20av%20Sverige,i%20terr%C3%A4ngens%20h%C3%B6gst%20bel%C3%A4gna%20partie> [Använd 24 September 2020].
- Shell Bitumen, 2003. *The Shell Bitumen Handbook*. Fifth Edition red. Cambridge: Shell.
- Svenska Kommunförbundet, 2003. *Bära eller brista*. Andra upplagan red. Stockholm: Svenska Kommunförbundet.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998. *Britannica*. [Online] Available at: <https://www.britannica.com/technology/road> [Använd 22 September 2020].
- Thorbjörnsson, H., 2016. *so-rummet*. [Online] Available at: <https://www.so-rummet.se/fakta-artiklar/vagar-i-romarriket> [Använd 15 09 2020].
- Trafikverket, 2011. *TRVR Väg - Trafikverkets tekniska råd Vägkonstruktion, TRV 2011:073, TDOK 2011:267*, Stockholm: Trafikverket.
- Trafikverket, 2012. *Underhållsstandard belagd väg 2011, Publ. 2012:049*, Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2013. *Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner TK Geo 13*, Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2014. *Val av beläggning Kunskapsdokument, 2014:173*, Borlänge: Trafikverket.



Trafikverket, 2016. *PMS objekt.* [Online]  
Available at: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Vagteknik/PMS-Objekt/>  
[Använd 31 08 2020].

Trafikverket, 2017. *Trafikverkets verksamhetsplan 2018-2020*, Stockholm: Trafikverket.

Trafikverket, 2020. *Bitumenbundna lager TDOK 2013:0529 Version 4.0*, Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2020. *KRAV TRVINFRA-00224 Version 1.0*, Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2020. *Trafikverket.se*, Borlänge: Trafikverket.

VTI, 2020. <https://pedro.vti.se/>. [Online]  
Available at: <https://pedro.vti.se/>  
[Använd 01 Oktober 2020].

Vägverket, 2009. *Dimensionering av lågtrafikerade vägar - DK1*, Stockholm: Vägverket.

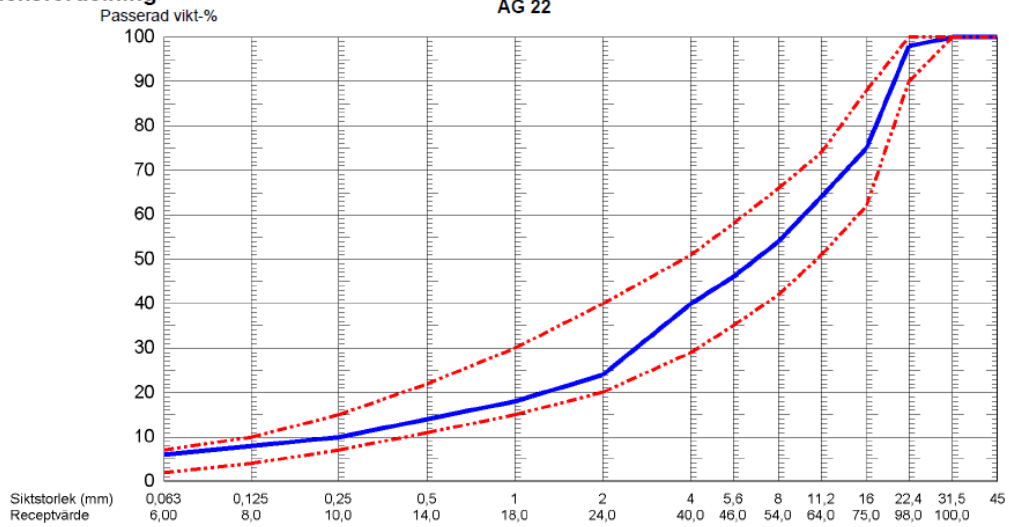


# Bilaga / bilagor

## Bilaga 1

### Kornstorleksfördelning

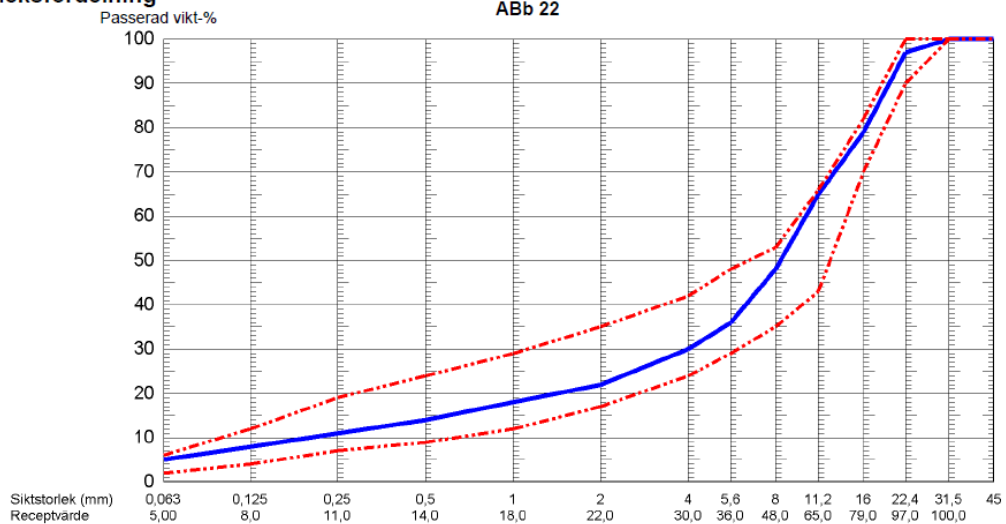
Gränslinje  
AG 22



## Bilaga 2

### Kornstorleksfördelning

Gränslinje  
ABb 22



Bilaga 3

Kornstorleksfördelning

Gränslinje  
ABS 16

