

Thesis 390

Dimensioneringen av överbyggnader med PMS Objekt respektive ERAPAVE PP

Louai Mohammad

Trafik och Väg

Institutionen för Teknik och Samhälle

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet



Copyright © Louai Mohammad

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5357)/1-62/2024
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2024

Author: Louai Mohammad

Title: Dimensioneringen av överbyggnader med PMS Objekt respektive ERAPAVE PP

English title: Dimensioning of superstructures with PMS Object and ERAPAVE PP

Language: Svenska

Year: 2024

Keywords: PMS Objekt; ERAPAVE PP; Utmattnings sprickor; Överbyggnad; Livslängden;

Citation: Louai Mohammad, Dimensioneringen av överbyggnader med PMS Objekt respektive ERAPAVE PP. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2024. Thesis. 390

Abstract:

A road superstructure consists of different material layers with specific functions that together facilitate the fulfilment of requirements for safety, durability and service life. The dimensioning of superstructures is a process that aims to determine suitable and sufficient thicknesses of included material layers. This process takes place with help of dimensioning programs including ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) and PMS Object (Pavement Management System Object) and with regard to traffic load, climate, dimensioning period and the material that terrace is made up. The dimensioning of road superstructures must be carried out correctly because both oversizing and undersizing can negatively affect the function of the road and lead to undesirable consequences. The aim of this work is to investigate differences between PMS Object and ERAPAVE PP regarding to total permanent deformations and fatigue cracks. The investigation has been carried out by dimensioning superstructures for a high traffic, medium traffic and low traffic road in order to get a picture of how both programs differ from each other when the dimensioning is carried out for different road types. Investigation's results indicate that superstructures for high traffic roads have a shorter service life according to the ratio between ERAPAVE PP and PMS Object, while superstructures for low traffic roads have a longer service life according to ERAPAVE PP. Superstructures in climate zones 3 and 5 in Sweden have a better ability to resist fatigue cracks compared to superstructures in climate zone 1 because the majority of them have a protective layer.

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

Innehållsförteckning

Förord	1
Sammanfattning	3
Summary	5
Inledning.....	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte och Mål	7
1.3 Frågeställningar	7
1.4 Avgränsningar	8
2 Teori.....	10
2.1 Dimensionering av överbyggnader.....	10
2.1.1 Trafikbelastning	10
2.1.2 Klimat.....	11
2.1.3 Dimensioneringsperiod	14
2.1.4 Terrassmaterial	15
2.2 Vägkroppens uppbyggnad	16
2.3 Olika lager och dess funktioner	17
2.3.1 Slitlager	17
2.3.2 Bindlager.....	18
2.3.3 Bitumenbundet bärlager	18
2.3.4 Obundet bärlager	18
2.3.5 Förstärkningslager	18
2.3.6 Skyddslager.....	19
2.3.7 Terrass (undergrund)	19
2.4 Krav på en överbyggnad	19
2.5 Typer av överbyggnader	20
2.6 Dimensioneringsprinciper	22
2.6.1 Empiriska dimensioneringsmetoder.....	22
2.6.2 Analytisk dimensionering	22
2.6.3 Analytisk-empirisk dimensionering	22
2.7 Utmattningssprickor	23
2.8 Krackelering	23
2.9 Spårbildning.....	23

2.9.1 Ytligt slitage	24
2.9.2 Deformationer	24
2.10 PMS Objekt	24
2.10.1 Ingångsdata	24
2.11 ERAPAVE PP	25
2.11.1 Ingångsdata	25
2.12 Jämförelse mellan PMS Objekt och ERAPAVE PP.....	26
3 Metod	29
3.1 PMS Objekt	29
3.2 ERAPAVE PP	30
4 Resultat.....	34
4.1 Permanenta deformationer	34
4.2 Utmattningssprickor	39
5 Diskussion	44
6 Slutsats	47
6.1 Förslag till förbättringar och vidare studier	47
7 Referenser	49
8 Bilagor.....	52
Bilaga 1	52
Bilaga 2	53
Bilaga 3	54

Förord

Detta kandidatarbete omfattar 15 högskolepoäng och genomförs under våren 2024 som ett moment på civilingenjörsutbildning väg- och vattenbyggnad vid Lund Tekniska Högskola.

Jag vill tacka handledaren Sven Agardh för goda råd och tips under arbetsgång, samt att han alltid har funnits tillhands och gett stöd och goda förutsättningar.

Jag vill rikta ett stort tack till alla personal som har varit inblandade i arbete på något sätt.

Lund, april 2024

Sammanfattning

En överbyggnad är väggkroppens översta del som ligger ovanpå terrassytan och består av bundna och obundna materiallager. Huvuduppgiften är att fördela trafikbelastningen över en större yta när den förs ned i väggkroppen. De viktigaste faktorerna som påverkar dimensioneringen av en överbyggnad är tjäle, trafikbelastning, dimensioneringsperiod samt klimat. Arbetets syfte är att undersöka hur dimensioneringen av vägöverbyggnader med PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) och ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) skiljer sig från varandra med avseende på totala permanenta deformationer respektive utmattningssprickor. PMS Objekt är trafikverkets dimensioneringsprogram, medan ERAPAVE PP är VTIs dimensioneringsprogram. Båda program ger en del liknande funktioner bland annat värdet på dubbdäckslitage och tjällyft men ERAPAVE PP tillhandhåller några flera funktioner jämfört med PMS Objekt exempelvis hur utmattningssprickor och permanent deformation utvecklas i varje materiallager. Några gemensamma parametrar som har använts i båda programmen vid dimensioneringen är klimatzon, trafikmängd, terrassmaterial och andel tunga fordon.

Utmattningssprickor och permanenta deformationer orsakas i väggkonstruktionen i första hand av tung trafik och medför en försvagning av den. En effektiv åtgärd för att begränsa dem är att ha rätt dimensionering på överbyggnaden.

Resultaten visar att ERAPAVE PP ger en längre förväntad livslängd för lågtrafikerade vägar jämfört med PMS Objekt med avseende till totalt permanenta deformationer. Överbyggnadernas tekniska livslängd med hänsyn till inverkan av utmattningssprickor är längre i norra Sverige i förhållandet till södra enligt kvoten mellan ERAPAVE PP och PMS Objekt.

Summary

A superstructure is the top part of the road's body that lies on top of the terrace surface and consists of bound and unbound material layers. The main function is to distribute the traffic load over a larger surface when it is brought down into the road's body. The most important factors that influence the dimensioning of a superstructure are frost, traffic load, dimensioning period, and climate. The purpose of the work is to investigate how the dimensioning of road superstructures with PMS Object (Pavement Management System) and ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) differs from each other with regard to total permanent deformations and fatigue cracks. PMS Object is the Swedish Transport Administration's dimensioning program, while ERAPAVE PP is VTI's dimensioning program. Both programs provide some similar functions such as the value of studded tire's wear and frost lift, but ERAPAVE PP provides a few more function compared to PMS Object for example how fatigue cracks and permanent deformation develop in each material layer. Some common parameters that have been used in both software under dimensioning are climate zone, traffic volume, terrace material and proportion of heavy vehicles.

Fatigue cracks and permanent deformations weaken the road structure and are primarily caused by heavy traffic. An effective measure to limit both is to have right dimension on the superstructure.

The results show that ERAPAVE PP provides a longer service life for low traffic roads compared to PMS Object with regard to total permanent deformations. The technical service life of superstructures regarding to the impact of fatigue cracks is longer in north Sweden than south according to the ratio between ERAPAVE PP and PMS Object.

Inledning

1.1 Bakgrund

En vägöverbyggnad är en konstruktion som ligger ovanpå marken och fördelar trafikbelastningen nedåt i väggroppen. Den består av olika materiallager med olika tjocklekar och specifika funktioner som tillsammans säkerställer att vägen är bärig, beständig och säker. Dessutom uppfyller säkerhetskrav och önskade egenskaper under sin tekniska livslängd (Granhage, 2009). En korrekt överbyggnadsdimensionering är viktigt eftersom en underdimensionering kan resultera i ökade underhållskostnader, mindre förmåga att motverka deformationer och yttre påverkningar samt en snabb nedbrytning och slitage. En överdimensionering kan medföra onödiga extra konstruktionskostnader för vägobjektet och påverka vägens funktion (Agardh & Parhamifar, 2014).

PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) är Trafikverkets dimensionerings- och beräkningsverktyg som dimensioneringen och utformningen av överbyggnader sker med hjälp av. Programmet har begränsat stöd för beräkningar som genomförs i enlighet med TRVINFRA 00224 (Trafikverkets infrastrukturregelverket) (Trafikverket, 2022). Detta orsakar behovet av mer utvecklade program med nya och flera funktioner. Ett program som är under utvecklingsskede och ska tillhandhålla flera funktioner jämfört med PMS Objekt är ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions). I detta arbete studeras delar av hur ERAPAVE PP kommer att skilja sig från PMS Objekt.

1.2 Syfte och Mål

Det här arbetet syftar till att undersöka hur dimensioneringen av överbyggnader med PMS Objekt respektive ERAPAVE PP skiljer sig från varandra med hänsyn till totalt permanenta deformationer och utmattningssprickor när dimensioneringsförutsättningar är likadana.

1.3 Frågeställningar

Arbetet kommer att besvara följande frågor:

- Vad är bakgrunden till utvecklingen av ERAPAVE PP?
- Vilken indata krävs vid dimensioneringen med PMS Objekt respektive ERAPAVE PP?
- Vilka resultat ger båda dimensioneringsprogrammen med avseende på totalt permanenta deformationer samt utmattningssprickor?

1.4 Avgränsningar

Rapporten avgränsas genom att endast fokusera på överbyggnader av typ GBÖ (bergbitumenöverbyggnad) i Sverige. Detta innebär att alla överbyggnader som har dimensionerats under arbetets gång är anpassade till klimat- och markförhållanden som råder i Sverige. Dessutom har alla vägkonstruktioner dimensionerats i enlighet med TRVINFRA 00224 (Trafikverkets infrastukturegelverket) (Trafikverket, 2023b). Tre klimatzoner av fem behandlas i detta arbete, eftersom de anses vara tillräckliga för att täcka det mesta av Sveriges klimatkarta (se kapitel 2.1.2) och ge en bild om hur klimatfaktor påverkar dimensioneringen av överbyggnader.

2 Teori

2.1 Dimensionering av överbyggnader

Att dimensionera en vägöverbyggnad innebär att bestämma en tillräcklig tjocklek på ingående materiallager för att säkerställa en robust och hållbar överbyggnad (Agardh & Parhamifar, 2014). Dimensioneringen av överbyggnader sker med hjälp av olika programvaror liksom PMS objekt och ERAPAVE PP. Men det finns en rad faktorer som dimensioneringsprogram måste ta hänsyn till vid dimensioneringen vilka beskrivs med:

- Trafikbelastning
- Klimat
- Dimensioneringsperiod
- Terrassmaterial

2.1.1 Trafikbelastning

Trafiken som förväntas använda vägen anges ofta i form av årsdygntrafik (ÅDT) som beskriver total antal fordon som passerar ett körfält under ett år och ger en bild om antal tryckpåkänningar som vägen kommer att utsättas för under dimensioneringsperioden. När en överbyggnad dimensioneras måste hänsyn till tunga fordon tas i anspråk. Dels för att de orsakar en större och snabbare nedbrytning jämfört med personbilar och dels på grund av att dessa fordon påverkar materialen inuti väggroppen genom att orsaka stora tryck- och dragpåkänningar. Medan personbilar endast påverkar och sliter bort vägens översta skikt via dubbarna. Hur mycket varje tungt fordon påverkar nedbrytningen av en väg (standardaxellaster per tungt fordon, s.k. B-faktor) bestäms med hjälp av trafikprognoser och beräknas med fjärdepotensregel som beskriver sambandet mellan ekvivalent axellast och faktiskt last enligt följande samband (Agardh och Parhamifar, 2014):

$$N_{ekv} = N_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^4$$

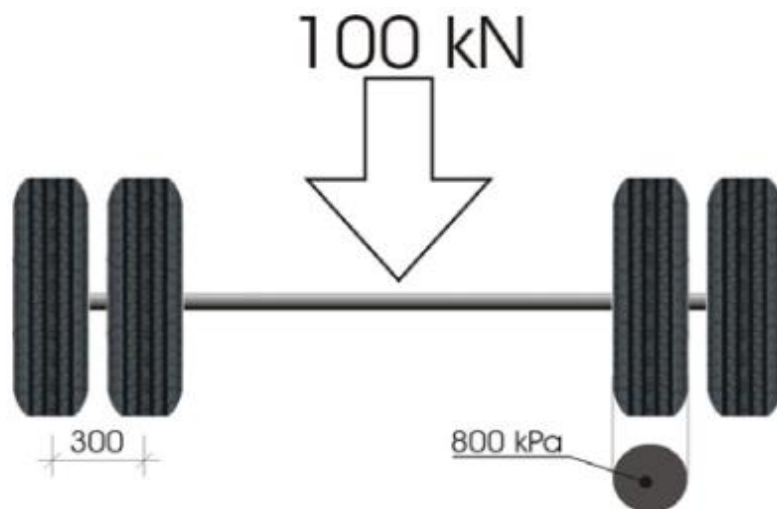
Där N_{ekv} är antalet ekvivalenta standardaxellaster

N_i beskriver antalet belastningar med axeltryck P_i

P_i anger aktuell axellast som ska räknas om till standardaxellast (ton)

P är standardaxellasten

Enligt Agardh och Parhamifar (2014) i Sverige definieras en standardaxellast som en lastbilaxel med 100 KN axellast jämnfördelat mellan hjulen vilket illustreras i Figur 1.



Figur 1. En standardaxel som används vid dimensioneringen av en överbyggnad enligt Trafikverkets definition (Trafikverket, 2011)

2.1.2 Klimat

Klimatets inverkan på vägmateriel måste beaktas vid dimensioneringen för att säkerställa en robust och hållbar dimensionerad överbyggnad under dess livslängd. Temperaturändringar har direkt inverkan på asfaltbeläggningens egenskaper, där höga temperaturer minskar stabiliteten hos bitumenbundna material vilket bland annat kan orsaka spårbildning i asfaltbeläggningen (Agardh och Parhamifar, 2014).

Nederbörden påverkar också vägnätet speciellt i områden där mycket regn förekommer. En ökad regnmängd innebär en risk för bortspolning av vägar och vägmateriel (Naturvårdsverket, 2023). Granhage (2009) påpekar att nederbörden på vägytan ska samlas upp och ledas bort via ett avvattningsystem, medan avvattningen av undergrunden samt överbygganden ska ske med ett dräneringssystem. Syftet med avvattningen och dräneringen enligt Granhage (2009) är att öka trafiksäkerhet och förhindra vatten som tränger sig in i vägkonstruktionen att orsaka en sämre bärighet i de obundna materialen. Därmed minskas risken för deformationer och spårbildning i vägkroppen (Granhage, 2009). För att hantera skillnaderna i klimat i Sverige finns fem klimatzoner att beakta vid dimensioneringen (se Figur 2).



Figur 2. Sveriges klimatzoner (modifierad från Trafikverket, 2011)

Ytterligare en faktor som påverkar dimensioneringen av överbyggnader är tjäle eftersom den kan orsaka tjälskador. Tjälskador i vägkonstruktionen uppstår när vatten kommer in i väggroppen via hål, sprickor eller från grundvatten. Vid låga temperaturer fryser vatten till is och expanderar sin volym vilket medför sprickor på grund av att vägen lyfts ojämnt och utvidgas (se Figur 3). Vid tjällossningen återgår isen igen till vätskeform vilket leder till att marken sjunker och detta innebär en större risk för bärighetsskador då vägen trafikeras (Trafikverket, 2023a). Dimensionerande värde på tjäle bestäms av årstiden som ger största tjällyft (Trafikverket, 2011). Enligt Trafikverket (2023b) ska en vägkonstruktion utformas så att inga ojämna tjällyftningar uppstår för att undvika sprickor. Största tjällyftning vid ombyggnad och nybyggnad av en belagd väg baserat på sin referenshastighet framgår i Tabell 1 och 2. Jordarter delas in fyra tjälfarlighetklasser med hänsyn till deras tjällyftande egenskaper enligt Tabell 3.



Figur 3. Tjälskador i en vägkonstruktion (Foto: Sven Agardh)

Tabell 1. Största tillåtna tjällyftning vid nybyggnad av en belagd väg (Trafikverket, 2023b)

Referenshastighet VR	Tillåten tjällyftning (mm)
120 km/h	10
110 km/h i klimatzon 1-2	20
110 km/h i klimatzon 3-5	50
100 km/h	50
80 km/h	80
≤ 60 km/h	120

Tabell 2. Största tillåtna tjällyftning vid ombyggnad av en belagd väg (Trafikverket, 2023b)

Referenshastighet VR	Tillåten tjällyftning (mm)
120 km/h	20
110 km/h	50
100 km/h	100
≤ 90 km/h	140

Tabell 3. Tjälfarlighetsklass (Trafikverket, 2011)

Tjälfarlighetsklass	Beskrivning	Exempel på jordarter
1	Icke tjällyftande jordarter. Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjälningprocessen i regel är obetydlig. Klassen omfattar materialtyp 2 samt organiska jordarter med organisk halt > 20% (6B)	Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, Sa Mn, Pt
2	Något tjällyftande jordarter. Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjälningprocessen är liten. Klassen omfattar materialtyp 3A och B	siSa, siGr, siSa Mn, siGr Mn
3	Måttligt tjällyftande jordarter. Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjälningprocessen är måttlig. Klassen omfattar materialtyp 4A och B samt 6A.	Cl, ClMn, siMn, siS
4	Mycket tjällyftande jordarter. Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjälningprocessen är stor. Klassen omfattar materialtyp 5.	Si, clSi, siCl, SiMn

2.1.3 Dimensioneringsperiod

Dimensioneringsperioden beskriver den tekniska livslängden för en väg, vilket innebär den önskade tiden som en väg dimensioneras för. Dimensioneringsperioden för ett bundet bärlager av asfalt i överbyggnaden väljs ofta till 20 år medan för obundna material i överbyggnaden kan den variera mellan 30 och 40 år på grund av att dessa material har en längre livslängd jämfört med bundna material (Agardh och Parhamifar, 2014).

Det finns en rad faktorer som påverkar livslängden på vägar, bland annat beläggningstyp, dräneringssystem, klimat och trafikmängd. Enligt Trafikverket (2023c) kan en vägbeläggning på lågt trafikerade vägar hålla upp till 25 år medan livslängden på högt trafikerade vägar är mindre och kan variera mellan 5–10 år.

2.1.4 Terrassmaterial

Material i terrassen måste bestämmas och undersökas ned till utskiftningsdjupet, vilket är ett beräkningsmässigt frostfritt djup. Materialen som underbyggnaden är uppbyggd av får ej finnas nära den färdiga vägytan och före byggandet av någon överbyggnad måste beständighet, hållfasthet, bärighet och tjälfarlighet hos den befintliga undergrunden och underbyggnaden undersökas (Trafikverket, 2011). Berg och jorden i undergrunden delas in i olika materialtyper utifrån deras innehåll och tjälfarlighetsklass (se Tabell 4).

Tabell 4. Indelning av jord och berg i olika materialtyper (Trafikverket, 2011)

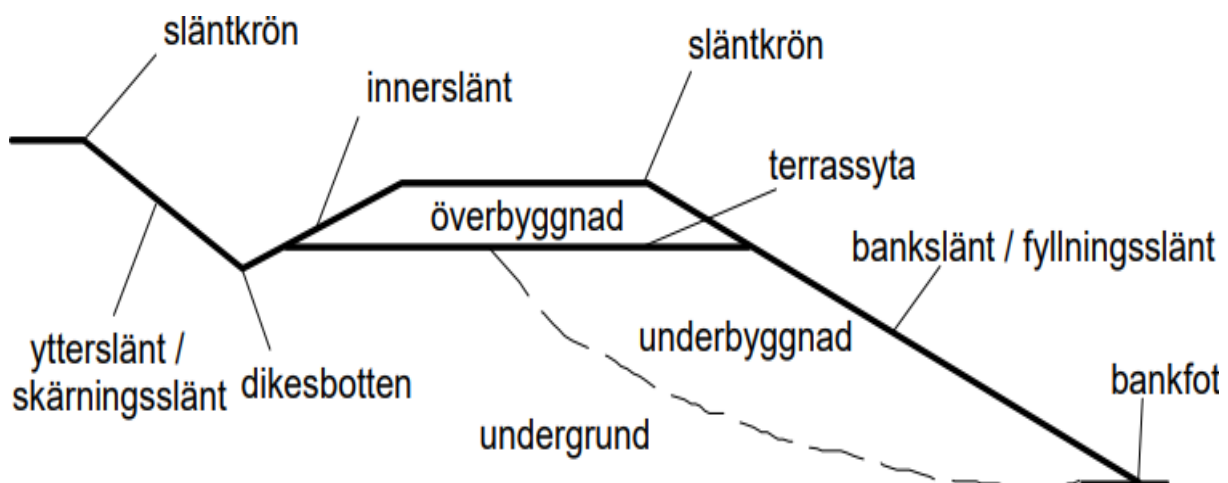
Materialtyp	Bergtyp	Kulkvarnsvärde	Halten av [vikts – %] x/y			Exempel på jordarter	Tjälfarlighetsklass
			Finjord 0,063/ 63 mm	Ler 0,002/0,0 63 mm	Organisk jord % /63 mm		
1	1 2	≤ 18 19-30	<10		≤ 2		1
2			≤ 15		≤ 2	Bo, Co, Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, SaMn	1
3A	3	> 30	≤ 30		≤ 2		2
3B			16-30		≤ 2	siSa, siGr, siSa Mn, siGr Mn	2
4A			30-40		≤ 2	clMn	3
4B*			> 40	> 40	≤ 2	Cl, ClMn	3
5A*			> 40	≤ 40	≤ 2	Si, clSi, siCl, SiMn	4
5B					3-6	gyCl, gySi	4
6A					7-20	clGy	3
6B					> 20	Pt, Gy	1
7	Övriga material, Enligt särskild utredning					Restprodukter, återvunna material mm	

2.2 Vägkroppens uppbyggnad

En väggkropp består av två delar, en överbyggnad och en underbyggnad och ytan mellan dessa två kallas terrass (se Figur 4). Vägkroppens uppgift är att bära upp trafikbelastningen.

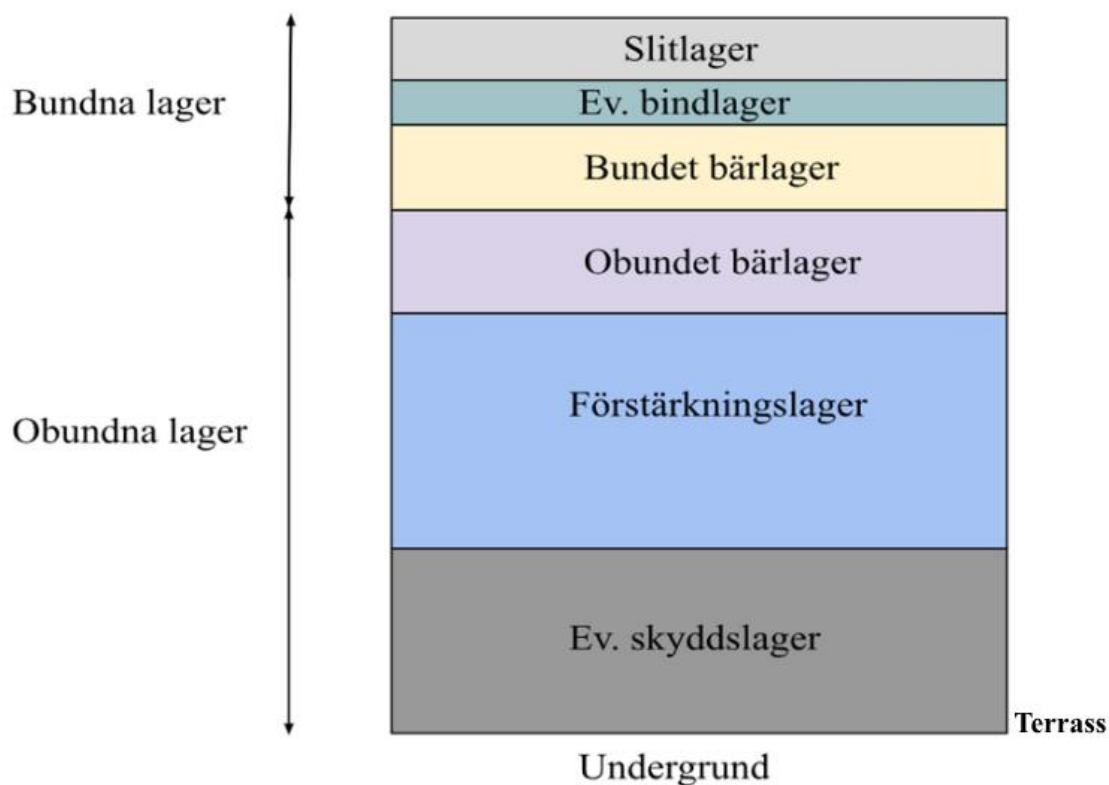
Överbyggnaden ligger ovanpå terrassytan och har uppgift att fördela lasten från trafiken över en större yta för att underbyggnaden inte ska utsättas för en större last än den klarar av medan underbyggnaden är den delen som ligger mellan terrassytan och undergrunden (Agardh och Parhamifar, 2014). En överbyggnad i en väggkropp har följande huvuduppgifter enligt Agardh och Parhamifar (2014):

- Leda bort vatten från väggkroppen och vägytan.
- Erbjuder en jämn yta i tvär- och längdled. Detta ger komfort till trafikanter.
- Föra ned lasten till underbyggnaden och motstå trafikbelastningen utan att stora deformationer uppstår i väggkroppen. Belastningen från trafiken delas in två typer vilka är:
 - Dynamiska belastningar: uppstår på körbanor med relativt höga hastigheter.
 - Statiska belastningar: uppstår vid busshållplatser, trafikljus samt på vägar med långsamgående tungtrafik.



Figur 4. Skiss över väggkroppens beståndsdelar (Trafikverket, 2011)

En överbyggnad består av flera materiallager som kan vara både bundna och obundna. Bundna lager omfattar slitlager, bindlager och bundet bärlager, medan obundna lager omfattar obundet bärlager, förstärkningslager och skyddslager. En överbyggnads uppbyggnad framgår i Figur 5:



Figur 5. En principiell uppbyggnad av en vägöverbyggnad.

För att säkerställa att trafikbelastningen fördelas på rätt sätt över tillräcklig stor yta när den förs ned i vägkonstruktionen behöver vid byggnation av en överbyggnad att alla materiallager vara homogena, samt att material med bra bärighet hamnar högst upp i vägkonstruktionen, eftersom lagerna högst upp utsätts för ett större tryck jämfört med lagerna längst ner. Detta beror på att tryckets inverkan avtar med djupet eftersom trycket fördels över en större yta desto längre ner i vägkonstruktionen det verkar (Agardh och Parhamifar, 2014).

2.3 Olika lager och dess funktioner

2.3.1 Slitlager

Slitlager är översta lager i en överbyggnad och har uppgiften att förse körbanan med egenskaper som underlättar uppfyllande av krav på komfort, transportekonomi och trafiksäkerhet. Oftast består det av varm asfaltbetong (AB) som blandats vid höga temperaturer på asfaltverket. På högtrafikerade vägar kan slitlager bestå av cementbetong eftersom den har hög hållfasthet, kan bära tunga belastningar och är motståndskraftig mot slitage (Agardh och Parhamifar, 2014). Enligt Granhage (2009) ställs det en del krav på detta lager vilka är:

- Friktion
- Nötningsresistens
- Hållfasthet

- Jämnhet
- Deformationsresistens

2.3.2 Bindlager

Bindlager finns mellan slitlager och bundet bärlager och är ett materiallager i grusbitumenöverbyggnad med bindlager (GBÖb). Detta lager används för högtrafikerade vägar där total antal tunga fordon per körfält under ett år $\text{ÅDT}_{k, \text{tung}} > 100$ f/d och på vägar där tillåtet antal standardaxlar är $\geq 5,0 \times 10^6$. Överbyggnader i korsningar och busshållplatser där det förekommer tung trafik med låg hastighet förses med bindlager i syftet att öka stabiliteten och förmågan att motverka sprickor (Trafikverket, 2011). Bindlagrets funktioner enligt Granhage (2009) är:

- Reducera sprick- och spårbildning i överbygganden orsakat av tung trafik.
- Vara ett övergångslager mellan slitlager och bundet bärlager.
- Jämna ut bärlagrets ojämnheter samt överföra spänningar som uppstår från trafiken till underliggande bärlager.

2.3.3 Bitumenbundet bärlager

Bitumenbundet bärlagers funktion är att fördela trafikbelastningen så att inga deformationer och stora påkänningar förekommer i de underliggande lagren (Agardh och Parhamifar, 2014). Några krav som ställs på detta lager enligt Agardh och Parhamifar (2014) är:

- Material som används i detta lager ska vara av hög kvalitet och styvhet i syftet att ge lagret tillräcklig styrka att motstå deformationer och utmattningen.
- Rätt packningsgrad och detta kan uppnås genom att trafikera lagret ett antal månader innan slitlager läggs på.
- Innehålla rätt halt av bindemedel.

2.3.4 Obundet bärlager

Obundet bärlager består av krossat sten eller grus och sin uppgift är att fördela lasten som kommer från trafiken till de underliggande lagren. Det är viktigt att detta lager packas ordentligt med vibrerande eller oscillerande vält för att kunna uppfylla sina förväntade och önskade egenskaper. Största acceptabel storlek på sten i detta lager är mellan 30–40 mm för att få en jämn yta som underlag för ovanliggande lager (Agardh och Parhamifar, 2014).

2.3.5 Förstärkningslager

Förstärkningslager är ofta den nedersta delen i en överbyggnad och är uppbyggt av krossat grus, bergkross eller sprängsten. Förstärkningslagrets uppgift är att fördela trafiklasten som kommer från det obundna grusbärlagret och föra den vidare till undergrunden. För att skydda överbyggnaden mot skador orsakat av vatten måste detta lager vara dränerade och kunna transportera bort vatten från vägkonstruktionen till vägens avvattningssystem. Största storlek på sten i förstärkningslager får ej överstiga halva lagertjockleken i syftet att material ska kunna läggas ut med jämn kvalitet (Agardh och Parhamifar, 2014). Trafikverket (2023b)

beskriver att tjockleken på en överbyggnad vid dimensioneringen med hänsyn till bärighet och tjällyftning kan regleras med hjälp av skyddslagrets tjocklek.

2.3.6 Skyddslager

Agardh och Parhamifar (2014) lyfter upp att skyddslager är ett lager som läggs direkt på en bearbetad undergrund vid behov. Vidare beskriver dem att anledningar till användningen av detta lager är:

- Att isolera ovanliggande materiallager från undergrunden och minska risk för tjällyftningar i områden med stor köldmängd och undergrund uppbyggd av tjälfarliga material.
- Fungerar som ett materialskiljande lager genom att förhindra material i undergrunden att komma upp i förstärkningslager.

Enligt Trafikverket (2023b) avgörs behovet av skyddslager vid dimensioneringen av en överbyggnad av terrassmaterialets tjälfarlighetsklass (se Tabell 3), bärighetskrav som ställs på vägen samt av den aktuella klimatzonen (se Figur 2).

2.3.7 Terrass (undergrund)

Terrassen är gränsen mellan över- och underbyggnad, utgör ytan som överbyggnaden utförs på och skapas genom att schakta bort marken eller genom utfyllnad med jord- eller bergmassor (Agardh och Parhamifar, 2014). Följande krav ställs på detta lager enligt Agardh och Parhamifar (2014):

- Terrassen måste vara jämn innan övriga materiallager byggs på, eftersom ojämnheter i det här lagret ger ojämn bärighet på vägen. Dessutom kan en ojämn terrass medföra en ojämn väggyta och större behov av mer material i förstärkningslager vid genomföringen av överbyggnaden.
- Ha rätt packningsgrad.
- Stabilitet.

2.4 Krav på en överbyggnad

En vägöverbyggnad förväntas uppfylla följande krav enligt Granhage (2009):

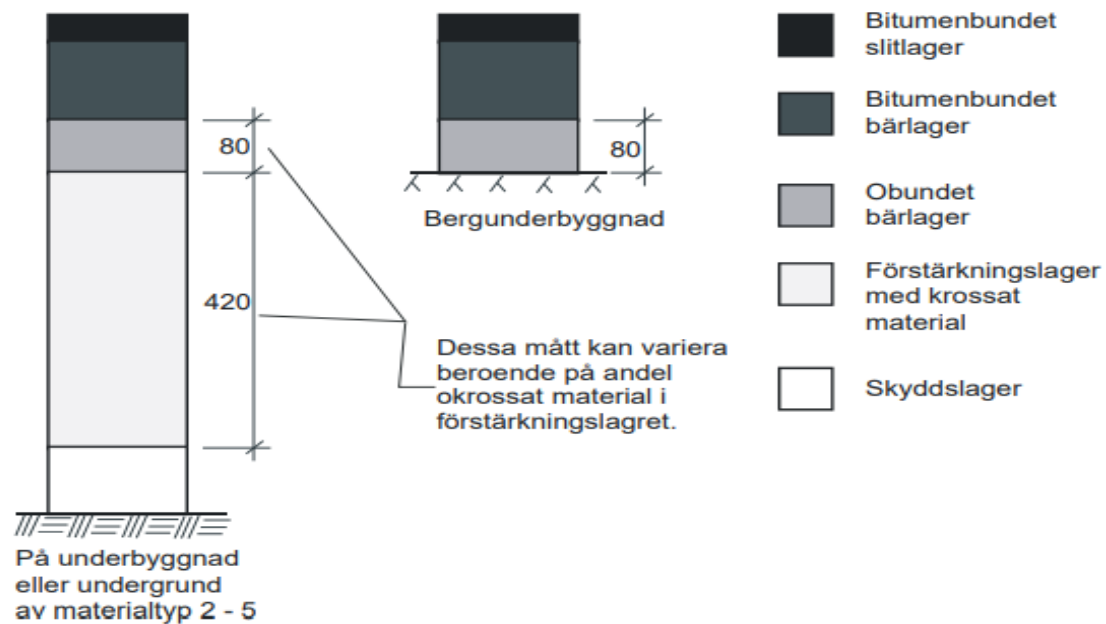
- Jämn yta för att ge komfort och trafiksäkerhet till trafikanter.
- Jämn lutning för att leda bort vatten från vägkroppen.
- Tillräcklig tjocklek på materiallager för att säkerställa en rätt fördelning av tryckpåkänningar från lasten över en tillräcklig stor yta på undergrunden.
- Lång livslängd.
- Ogenomsläpplig yta, eftersom vatten kan orsaka en nedsatt bärighet.
- Motverka alla typer av deformationer och påfrestningar.

2.5 Typer av överbyggnader

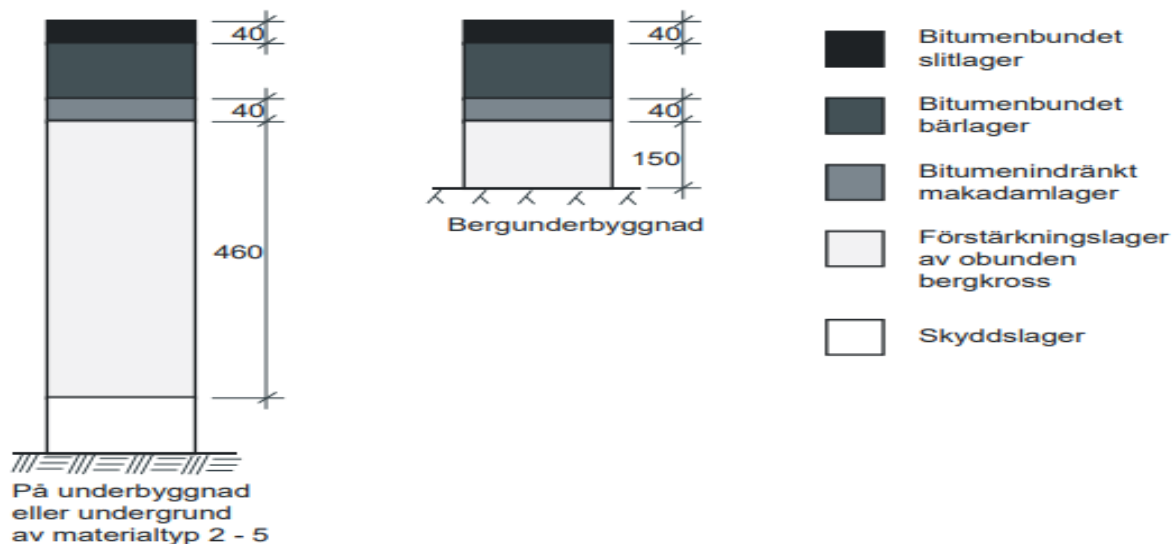
Agardh och Parhamifar (2014) påpekar att överbyggnader delas in i tre huvudtyper:

- Flexibla överbyggnader
- Styva överbyggnader
- Halvstyva överbyggnader

Flexibla överbyggnader har oftast ett bundet bärlager av asfaltgrus (AG) och olika grusmaterial som bärande obundna lager (Agardh och Parhamifar, 2014). De kan vara uppbyggda endast av obundna lager eller vara en kombination av både obundna och bitumenbundna lager (Trafikverket, 2011). Ett bitumenbundet lager är ett lager som består av stenmaterial som binds ihop med ett bituminöst bindemedel. Både grusbitumenöverbyggnad (GBÖ) och bergbitumenöverbyggnad (BBÖ) är flexibla överbyggnader och deras utformning och uppbyggnad framgår i Figur 6 och 7 (Agardh och Parhamifar, 2014).

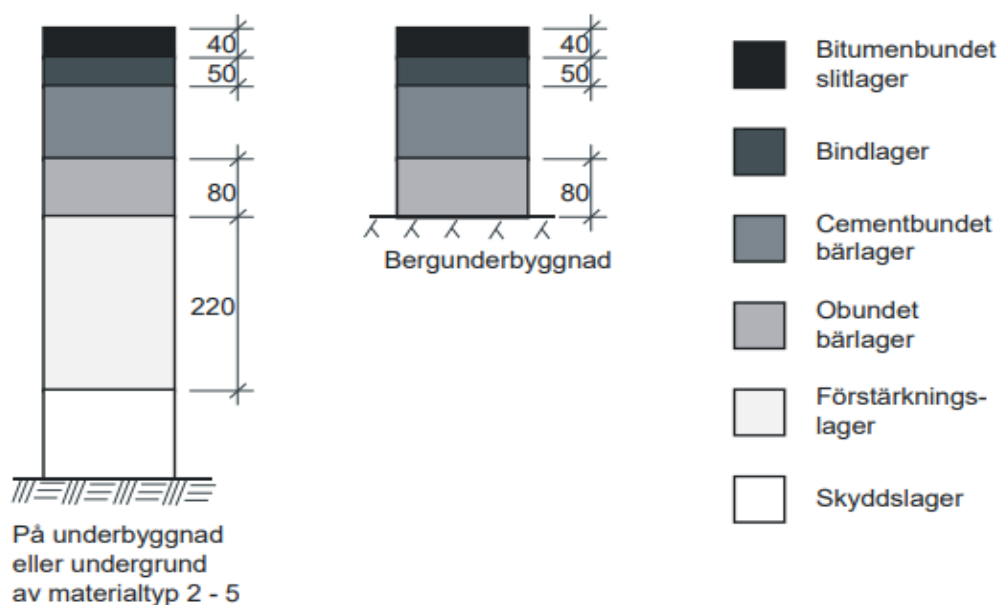


Figur 6. Utformningen av GBÖ (Trafikverket, 2011)



Figur 7. Utformningen av BBÖ (Trafikverket, 2011)

I styva överbyggnader utgörs det bundna bärlagret av cementbetong. Cementbitumenöverbyggnad (CBÖ) är exempel på en styv överbyggnad och dess utformning illustreras i Figur 8 (Agardh och Parhamifar, 2014).



Figur 8. Utformningen av CBÖ (Trafikverket, 2011)

Halvstyva överbyggnader är en kombination av flexibla och styva överbyggnader till exempel asfaltbeläggning på ett cementbundet bärlager (Wiman och Tholén, 1995).

2.6 Dimensioneringsprinciper

Enligt Agardh och Parhamifar (2014) delas in dimensioneringsprinciper i tre huvudgrupper vilka är:

- Empiriska metoder
- Analytiska metoder
- Analytisk- empiriska metoder

2.6.1 Empiriska dimensioneringsmetoder

Empiriska dimensioneringsmetoder bygger på erfarenhet och studier som har skaffats under lång tid via experiment och fältförsök. Många av dessa metoder baseras på AASHO Road test som genomfördes i USA. Syftet med försöket var att skaffa erfarenhet inom vägdimensioneringen, utveckla en dimensioneringsmetod samt kartlägga hur trafikflödet och fordonens axellast påverkar omfattningen på vägnedbrytningen. Fördelar med empiriska dimensioneringsmetoder är att de är enkla att använda och kräver ofta inga eller få beräkningar. Ofta kan tjockleken på en överbyggnad avläsas ur färdiga diagram eller tabeller genom att välja en standardöverbyggnad som liknar det undersökta fallet. En nackdel med empiriska metoder är de inte går att använda i geografiska område med klimat som avviker från klimatet i det geografiska stället där försöken som metoden baseras på genomfördes. Vidare går metodiken ej att tillämpa då förutsättningar på trafikbelastning, vägmaterial och axelkonfigurationer avviker från gränserna som erfarenheterna vilar på (Agardh och Parhamifar, 2014).

2.6.2 Analytisk dimensionering

Metoden går ut på att dimensionera en överbyggnad genom att utgå från beräkningar av deformationer, spänningar och påkänningar som orsakas av upprepade trafikbelastningar i en väggkropp. Dimensioneringen ska ske med hänsyn till att totala påkänningar som uppstår under vägens tekniska livslängd inte överstiger den tillåtna hållfastheten hos ingående material i en överbyggnad (Agardh och Parhamifar, 2014).

2.6.3 Analytisk-empirisk dimensionering

Agardh och Parhamifar (2014) beskriver att denna dimensioneringsprincip är en kombination av analytiska och empiriska metoder. De beskriver att i den analytiska delen beräknas spänningar och töjningar som kan uppstå i väggkroppen orsakat av upprepade trafikbelastningar. Medan i den empiriska delen behandlas kriterier för tillåtna värden på töjningar och spänningar. Det tar även upp att den analytiska dimensioneringsmetoden kan anpassas till olika förhållande till skillnad från empiriska dimensioneringsmetoder och indata som krävs för att göra en sådan dimensionering är följande:

- En beräkningsmetod som spänningar och töjningar i väggkropp kan bestämmas med.
- Undergrundens och överbyggnadsmaterialens mekaniska egenskaper.
- Kritiska tillåtna värde på spänningar och töjningar med hänsyn till väggkroppens bärlighet.

2.7 Utmattningsprickor

Belastningsrelaterade sprickor uppstår i beläggningsslagrets underkant på grund av dragtöjningar orsakat av tung trafik. Dessa sprickor är oftast längsgående och söker sig upp mot beläggningssyta. Dragtöjningar kan även uppstå i beläggningssytan på grund av att vägkonstruktionens dimensioneringsperiod har löpt ut eller för att vägkonstruktionen är underdimensionerad. Tung trafik har mindre och begränsad möjlighet att generera dragpåkänningar i konstruktioner med tjocka beläggningar (Wågberg, 2003). Möjliga åtgärder för att motverka och begränsa utmattningsprickor enligt Wågberg (2003) är att:

- Förstärka vägkonstruktionen genom påbyggnad av asfalt. Tjockleken på påbyggnaden avgörs av materialegenskaper samt hur mycket trafikbelastning förväntas belasta vägen i framtiden.
- Kontrollera vägens dräneringssystem för att säkerställa att den uppfyller sin förväntad funktion.

2.8 Krackelering

Krackelering är en serie av sprickor som syns på vägbeläggningssytan och förekommer till följd av utvecklingen av belastningsrelaterade sprickor som orsakas av tungtrafik. Den förekommer vanligtvis på vägar med relativt tunna beläggningsslag. Orsaker till krackeleringen är underdimensioneringen av överbyggnad, vatten i väggroppen och att tjäl- och vattenkänsliga material ligger för nära beläggningssytan. Några orsaker till är dålig dränering av vägkonstruktion och att beläggningsslagret är mycket styvt och kan ej klara av rörelser i den obundna lagren. Krackeleringen kan begränsas genom att förstärka väggroppen (Wågberg, 2003).

2.9 Spårbildning

Spårbildningen är en ojämnhets längs vägbanan som uppstår på grund av slitage eller deformationer i undergrunden eller i överbygganden orsakat av tung trafik. Förekommer mest i vägkonstruktioner med tunna asfaltlager, eftersom påkänningar på dessa lager blir relativt stora (Wågberg, 2003). Alm (1977) rapport beskriver att spårbildningen orsakas i första hand av dubbdäcktrafik på grund av slitage från dubbarna, men kan även orsakas av varm väderlek, instabilitet i material och på grund av att vägen har dåligt sidostöd. Några åtgärder för att minska och begränsa spårbildningen är att utrusta vägen med bindlager, samt att dimensionera överbygganden med tjockare asfaltlager för att minska påfrestningar på de obundna lagren enligt Wågberg (2003).

2.9.1 Ytligt slitage

Ytligt slitage på högtrafikerade vägar orsakas huvudsakligen av nötningen på grund av dubbdäck, medan på lågtrafikerade vägar uppstår den i huvudsak av effekter som beläggningens åldring resulterar i. Slitlagerbeläggningens förmåga att motstå slitage orsakat av dubbdäck kallas för nötningsresistens. Vilka krav ställs på vägens nötningsresistens beror på körhastighet, trafikmängd och dubbdäckanvändning. Ytligt slitage uppkommer på grund att dubbarna tar bort material från slitlager till följd av slag och repning som beläggningssytan utsätts för. Storleken på nötningen beror på klimatfaktorer och trafikförhållande. Denna typ av slitage kan begränsas genom att utforma beläggningssytan med god nötningsresistens. Slitage orsakat av åldringen av beläggningssyta beror på att bitumens egenskaper förändras över tid via oxidation med luften vilket medför att bitumen blir hårdare samt mindre elastisk (Wågberg, 2003).

2.9.2 Deformationer

Spårbildning på högtrafikerade vägar och gator kan uppkomma på grund av plastiska deformationer eller instabiliteten i ett eller flera beläggningsslager. Det som kännetecknar vissa deformationsskador är att de bildar dubbelspår på platser där tunga fordon boggihjul trycker på grund av att material trycks ihop. Dubbelspår är tydligare markerade desto närmare beläggningssytan ligger till det instabila lagret. Spårbildningen orsakat av plastiska deformationer förekommer mest i motlut med hög andel tungt fordon. Tvärgående plastiska deformationer uppstår ofta på plaster där tunga fordon stannar och startar på grund av omlagring av material i asfalt till exempel vid busshållplatser och trafikljus. Faktorer som påverkar uppkomsten och utvecklingen av deformationsspår är klimat, trafikbelastning samt bindemedelstyp (Wågberg, 2003).

2.10 PMS Objekt

PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) är en analytisk- empirisk dimensioneringsprogram som överbyggnader kan dimensioneras med hjälp av baserat på beräknade värde på spänningar och töjningar orsakade av trafikbelastningar. Överbygganden dimensioneras med hänsyn till tjäle, klimat och trafikbelastningar (Agardh och Parhamifar, 2014). Göransson (2004) rapport tar upp att programmet kan användas för dimensioneringen av vägarnas bärighet, underhåll och förstärkning samt att beräkna slitage orsakat av dubbdäck. Rapporten lyfter också upp att programmet ger möjligheten att analysera en vägs tjällyftning samt att beräkna antal ekvivalenta standardaxlar som den kommer att trafikeras av under sin tekniska livslängd. Vidare beskriver författaren i sin rapport att i PMS Objekt även finns en databas som innehåller E-moduler och materialparameter som kan uppdateras vid behov.

2.10.1 Ingångsdata

Uppgifterna som krävs för att dimensionera ett vägobjekt med hjälp av PMS Objekt är följande:

- Trafikmängd ÅDT och tunga fordon $\text{ÅDT}_{k,tung}$
- Terrassmaterial

- Referenshastighet
- Typ av överbyggnad
- B-faktor, ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon
- Trafikökning för tunga fordon per år i %
- Trafikökning för personbilar per år i %
- Dimensioneringsperiod
- Klimatzon

2.11 ERAPAVE PP

ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) är en mekanistisk/ empirisk dimensioneringsmetod för flexibla överbyggnader som predikterar och beräknar vägtillståndet (sprick- och spårutveckling) för en tänkt vägkonstruktion i ett visst klimat och med en given trafikmängd. Programmet ger även möjligheten att beräkna ett förväntat värde på tjällyft samt visar hur slitage orsakat av dubbdäck utvecklas under dimensioneringsperiod. ERAPAVE PP har tagits fram i samarbetet mellan VTI (statens väg- och transportforskningsinstitut), TRV (Trafikverket), statens vegvesen och NTNU (Norges teknisk-naturvetenskapliga universitet). Programmet är byggt av responsmodellen respektive prestandamodellen där med hjälp av responsmodellen beräknas värdet på spänningar och töjningar som orsakas av trafikbelastningar i en beläggningsstruktur, medan prestandamodellen ger förväntat värde på beläggnings prestanda och nedbrytning som en funktion av tiden. ERAPAVE PP beräknar det totala spårdjupet som uppstår på en beläggningsyta genom att lägga ihop bidragen för permanent deformation i varje lager i vägstrukturen. Dessutom ger programmet även värde på höjningar som orsakas av frost under vintertiden och kan utvärdera nötningen som uppstår på grund av dubbdäck (VTI, 2021).

2.11.1 Ingångsdata

Indata som behövs vid dimensioneringen med ERAPAVE PP är följande:

- Vägtyp och körfältsbredd
- Klimatzon
- Referenshastighet
- Trafikmängd ÅDT och tunga fordon $\text{ÅDT}_{k,tung}$
- Terrassmaterial
- Trafikändring per år i %
- Dimensioneringsperiod i år
- B, Standardaxlar per tungt fordon
- Konstruktionens uppbyggnad och materiallayers tjocklek från PMS Objekt

2.12 Jämförelse mellan PMS Objekt och ERAPAVE PP

Båda programvarorna kan användas för att dimensionera överbyggnader och beräkna värde på bärighet, tjällyft, dubbdäckslitage och ekvivalenta antal standardaxlar. PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) och ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) tar hänsyn till klimat, trafikbelastning och materialegenskaper och konstruktionsuppbyggnad vid dimensionering. Ytterligare i ERAPAVE PP och PMS Objekt finns möjlighet att redigera materiallayers tjocklek och styvhetsmoduler.

ERAPAVE PP till skillnad från PMS Objekt visar värdet på permanent deformation i varje materiallager i överbyggnaden. Dessutom ger programmet ERAPAVE PP även information om hur värdet på utmattningssprickor utvecklas under den dimensionerande perioden. PMS Objekt visar värdet på total ekvivalenta antal standardaxlar som asfalten kan klara av under dimensioneringsperioden, medan ERAPAVE PP visar hur slitage av asfalt utvecklas över tid i form av diagram. Jämfört med PMS Objekt krävs det indata om vägtyp samt körfältsbredd vid dimensionering med ERAPAVE PP.

I ERAPAVE PP finns det möjlighet att stoppa in detaljerade indata om trafikmängd och hur stor andel olika tunga fordon väger till skillnad från PMS Objekt där hur mycket varje tungt fordon väger antas till ett konstant värde på standardaxlar (B-faktor).

Enligt Agardh¹ den största anledningen som medför behov av ERAPAVE PP är att i PMS Objekt inte går att ställa krav på vägens ojämnheter samt spår- och sprickbildning till skillnad från ERAPAVE PP som ger denna möjlighet. Vidare påstår Agardh att behov av nya avancerade funktioner för att analysera totalt permanenta deformationer i olika materiallager är en annan orsak till att gå över till ERAPAVE PP i stället för PMS Objekt, eftersom PMS Objekt inte beräknar värdet på deformationer. PMS Objekt bygger på antagandet att om det finns stora påkänningar ned på terrassnivå kommer detta att resultera i stora töjningar, då kommer hela konstruktionen att deformeras.

¹ Sven Agardh, universitetslektor i trafik och väg, muntligt samtal, Lund Tekniska Högskola den 1 mars 2024.

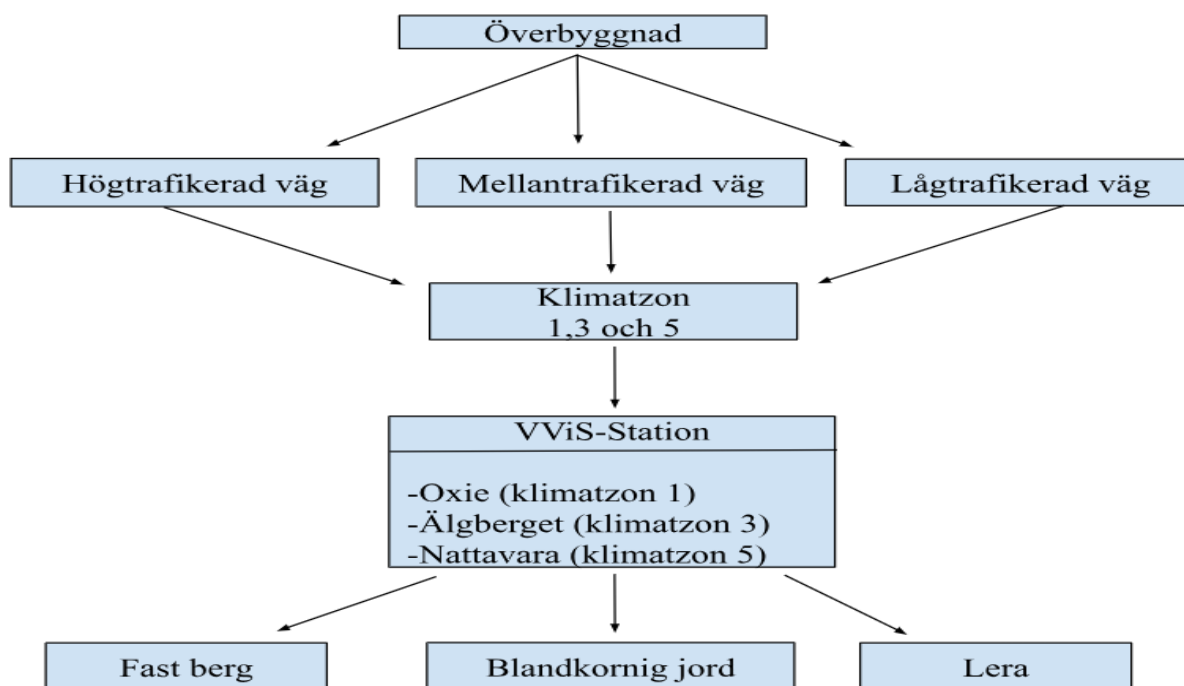
Tabell 5. Sammanställning över skillnaderna mellan PMS Objekt och ERAPAVE PP.

Funktion	PMS Objekt	ERAPAVE PP
Visar värdet på permanent deformation i varje materiallager	Nej	Ja
Visar hur utmattningssprickor utvecklas i varje materiallager under dimensioneringsperiod	Nej	Ja
Möjlighet att stoppa in detaljerade indata om trafikmängd och hur stor olika andel tunga fordon väger	Nej	Ja
Utvecklingen av slitage i asfalt under dimensioneringsperiod	Visar värdet på total antal standardaxlar som asfalten kan klara av	Ja
Möjlighet att ställa krav på vägens ojämnheter samt spår- och sprickbildning	Nej	Ja

3 Metod

3.1 PMS Objekt

Dimensioneringen av överbyggnader med PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) med versionsnummer 5.0.1 utfördes för tre olika typer av vägar vilka är högtrafikerad, mellantrafikerad och lågtrafikerad i tre olika klimatzoner och län (se Figur 9 och Tabell 6). Överbyggnaden för varje vägtyp inom samma klimatzon, län och VViS-station (vägväderinformationssystem- station tillhandhåller information om väderförhållanden längs vägnätet) dimensionerades 3 gånger på grund av ändringen av terrassmaterial varje gång (se Bilaga 1, 2 och 3). Terrassmaterial som undersöktes vid dimensioneringen är lera, fast berg och blandkornig jord $\leq 30\%$. Totalt antal överbyggnader som erhöles efter dimensioneringen är 27 stycken, 9 stycken för varje vägtyp. För låg- och mellantrafikerade vägar valdes överbyggnad av typ GBÖ (grusbitumenöverbyggnad), medan för högtrafikerade vägar valdes överbyggnad av typ GBÖb (grusbitumenöverbyggnad med bindlager), vilken är utrustad med bindlager. Vid dimensioneringen av överbyggnader på undergrunder av friktion- och kohesionsjordarter justerades styvhetsmoduler för förstärkningslager enligt TRVINFRA 00224 (Trafikverket, 2023b). Detta genomfördes i syftet att få rätt värde på tjällyft och töjningen samt kunna bestämma lämpliga och tillräckliga tjocklekar på förstärkningslagret. Värden som användes för styvhetsmoduler för förstärkningslager vid dimensioneringen presenteras i Tabell 7. Antagna förutsättningar vid dimensioneringen av överbyggnader med PMS Objekt redovisas i Tabell 6:



Figur 9. Karta över dimensioneringen med PMS Objekt.

Tabell 6. Dimensioneringsförutsättningar och antagna värde i PMS Objekt.

	Högtrafikerad väg	Mellantrafikerad väg	Lågtrafikerad väg
Klimatzon	1, 3 och 5	1, 3 och 5	1, 3 och 5
Referenshastighet (km/h)	90	90	90
Län	-Skåne -Dalarna -Norrbotten	-Skåne -Dalarna -Norrbotten	-Skåne -Dalarna -Norrbotten
VViS-station	-Oxie -Älgberget -Nattavara	-Oxie -Älgberget -Nattavara	-Oxie -Älgberget -Nattavara
Dimensioneringsperiod (år)	20	20	20
ÅDT (f/d per körfält)	15 000	2 000	500
Trafikändring i antal lastbilar per år (%)	1	1	1
Trafikändring i antal personbilar per år (%)	1	1	1
Andel tunga fordon (%)	10	10	10
Standardaxlar per tungt fordon (B)	1,3	1,3	1,3
Typ av överbyggnad	GBÖb	GBÖ	GBÖ
Terrassmaterial	-Fast berg (1a) -Blandkornigjord ≤30% (3b) -Lera (4b)	-Fast berg (1a) -Blandkornigjord ≤30% (3b) -Lera (4b)	-Fast berg (1a) -Blandkornigjord ≤30% (3b) -Lera (4b)

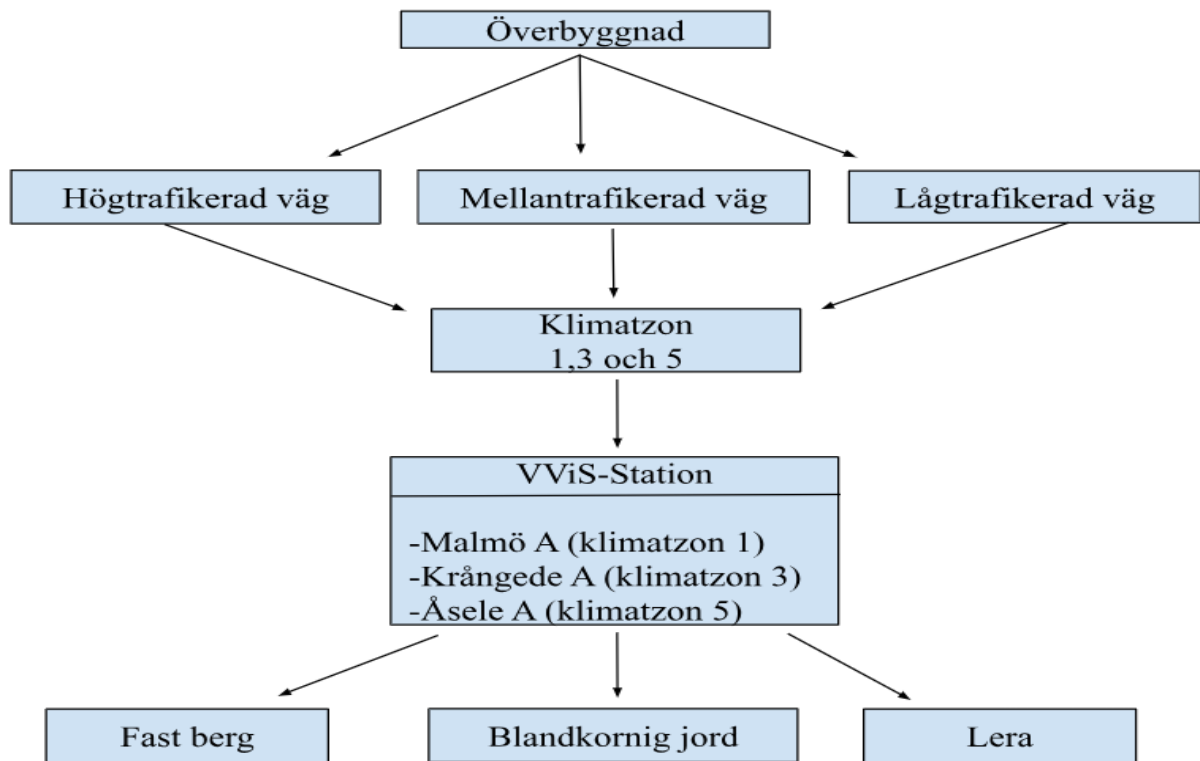
Tabell 7. Förstärkningslagers styvhetsmoduler då vägens undergrund är uppbyggt av friktions- och kohesionsjord enligt Trafikverket (2023b).

	Vinter (MPa)	Tjällossning (MPa)	Sommar (MPa)	Höst (MPa)
Förstärkningslager	1000	200	300	300

3.2 ERAPAVE PP

Överbyggnaden för högtrafikerad, mellantrafikerad och lågtrafikerade väg dimensionerades även med ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) med versionsnummer v0.96. Överbygganden för varje vägtyp dimensionerades 3 gånger inom samma klimatzon, region och VViS-station (vägväderinformationssystem station) på grund av provningen av tre olika material på terrassen (se Figur 10). Parametrar och terrassmaterial som användes vid dimensioneringen redovisas i Tabell 8. Tjocklekar på materiallager för de olika överbyggnader hämtades från PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) och användes i ERAPAVE PP vid genomförandet. Totala antal dimensionerade överbyggnader som erhöles med ERAPAVE PP är 27 stycken. Slitlager för högtrafikerade vägar valdes till stenrik asfaltbetong (ABS) 70/100 medan för låg- och mellantrafikerade vägar valdes till tät asfaltbetong (ABT) 70/100. Dimensioneringsperioden bestämdes till 100 år, för att undersöka

när totala permanenta deformationer respektive utmattningssprickor inträffar. Vägbredden valdes av typ 1+1 vilket betyder ett körfält i varje riktning.



Figur 10. Karta över dimensioneringen med ERAPAVE PP.

Tabell 8. Dimensioneringsförutsättningar och antagna värde i ERAPAVE PP.

	Högrafikerad väg	Mellantrafikerad väg	Lågrafikerad väg
Vägbredd	1+1 (Körfältsbredd 3,3 m)	1+1 (Körfältsbredd 3,3 m)	1+1 (Körfältsbredd 3,3 m)
Region	-Syd -Mitt -Norr	-Syd -Mitt -Norr	-Syd -Mitt -Norr
VViS-station	-Malmö A -Krångede A -Åsele A	-Malmö A -Krångede A -Åsele A	-Malmö A -Krångede A -Åsele A
Hastighet (km/h)	90	90	90
Dräneringsklass	välldränerad	välldränerad	välldränerad
Dimensioneringsperiod (år)	100	100	100
ÅDT (f/d per körfält)	15 000	2 000	500
Trafikökning i %	1	1	1
Andel tunga fordon (%)	10	10	10
Standardaxlar per tungt fordon (B)	1,3	1,3	1,3
Typ av överbyggnad	GBÖb	GBÖ	GBÖ
Terrassmaterial	-Fast berg (1a) -Blandkornigjord ≤30% (3b) -Lera (4b)	-Fast berg (1a) -Blandkornigjord ≤30% (3b) -Lera (4b)	-Fast berg (1a) -Blandkornigjord ≤30% (3b) -Lera (4b)

4 Resultat

4.1 Permanenta deformationer

Resultaten som har erhållits med PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) respektive ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) efter dimensioneringen av överbyggnaderna med avseende på totalt permanenta deformationer i olika klimatzoner presenteras i Tabeller 9, 10 och 11. I ERAPAVE PP är tillåtet gränsvärde på totala deformationer för högtrafikerade och mellantrafikerade vägar 11 mm medan för lågtrafikerade vägar är 15 mm.

Tabell 9. Förväntade livslängder för följande överbyggnader i klimatzon 1 innan totala permanenta deformationer överstiger tillåtet gränsvärde.

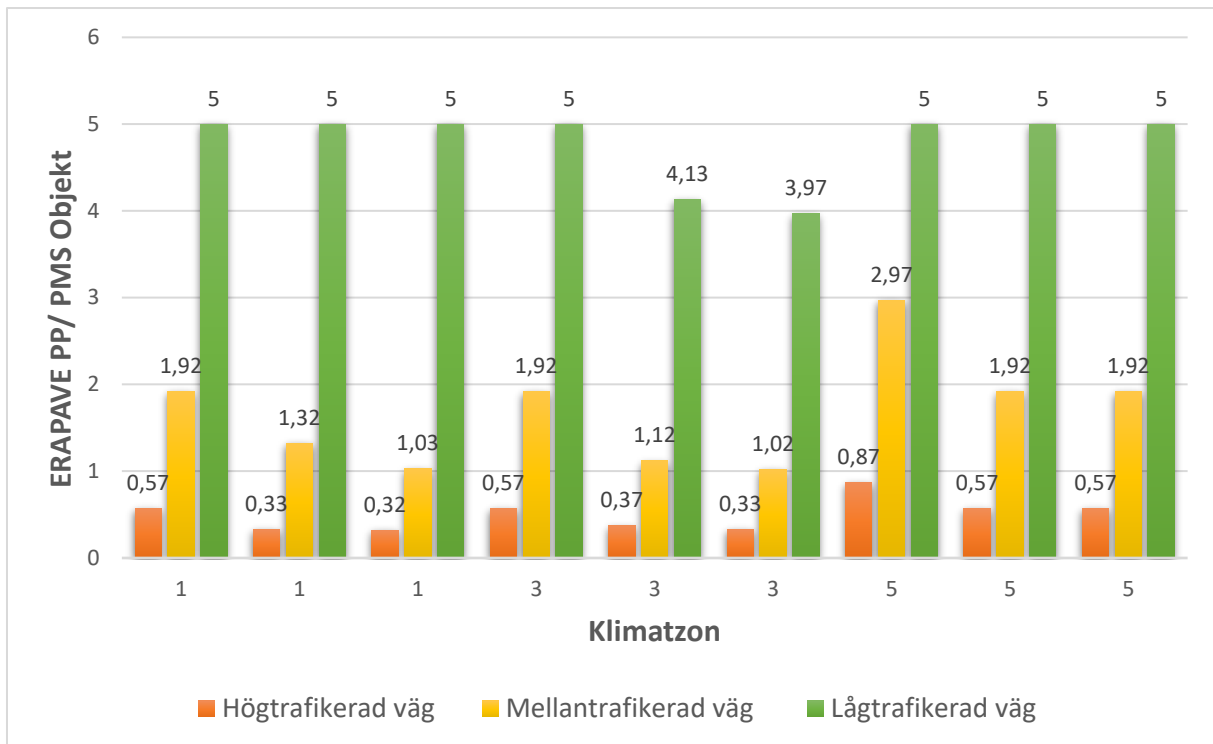
Klimatzon	Undergrund (terrass)	Vägtyp (ÅDT)	PMS Objekt (år)	ERAPAVE PP (år)	ERAPAVE PP/ PMS Objekt	Gränsvärde (mm)
1	Blandkornig jord ≤30%	Högtrafikerad väg (15000)	20	6,65	0,33	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	26,49	1,32	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	100	5	15
	Fast berg	Högtrafikerad väg (15000)	20	11,43	0,57	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	38,47	1,92	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	100	5	15
	Lera	Högtrafikerad väg (15000)	20	6,47	0,32	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	20,61	1,03	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	100	5	15

Tabell 10. Förväntade livslängder för följande överbyggnader i klimatzon 3 innan totala permanenta deformationer överstiger tillåtet gränsvärde.

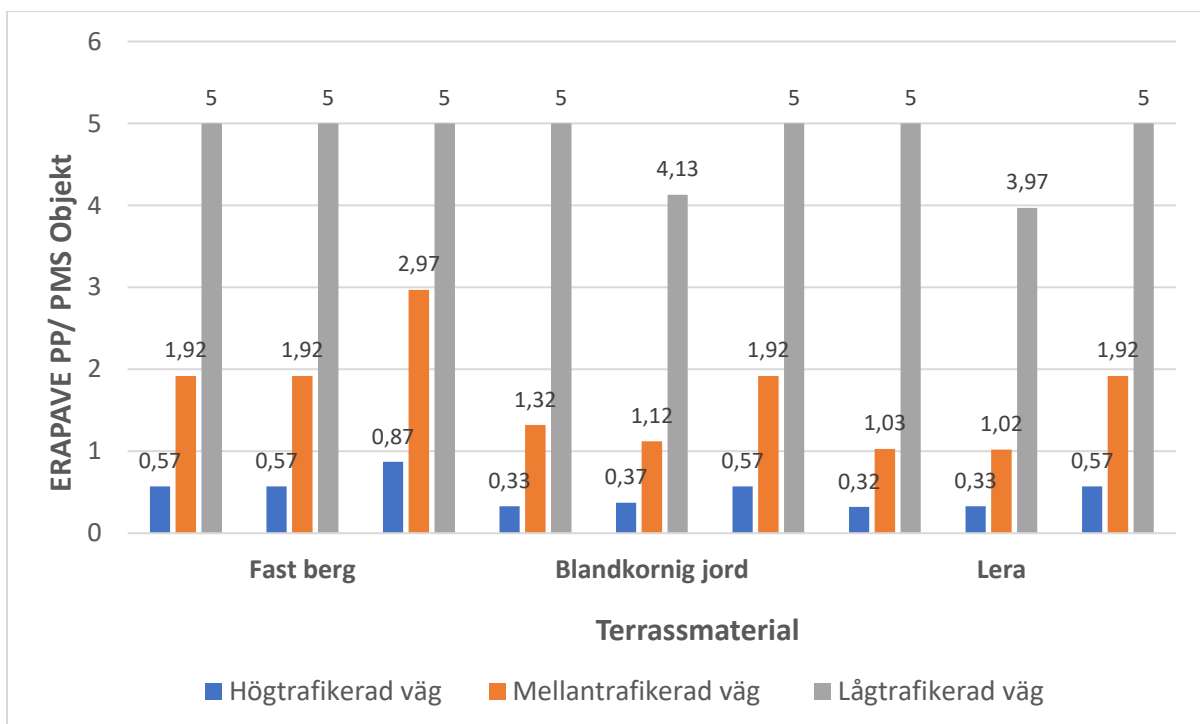
Klimatzon	Undergrund (terrass)	Vägtyp (ÅDT)	PMS Objekt (år)	ERAPAVE PP (år)	ERAPAVE PP/PMS Objekt	Gränsvärde (mm)
3	Blandkornig jord ≤30%	Högtrafikerad väg (15000)	20	7,49	0,37	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	22,49	1,12	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	82,57	4,13	15
	Fast berg	Högtrafikerad väg (15000)	20	11,49	0,57	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	38,49	1,92	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	100	5	15
	Lera	Högtrafikerad väg (15000)	20	6,57	0,33	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	20,34	1,02	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	79,47	3,97	15

Tabell 11. Förväntade livslängder för följande överbyggnader i klimatzon 5 innan totala permanenta deformationer överstiger tillåtet gränsvärde.

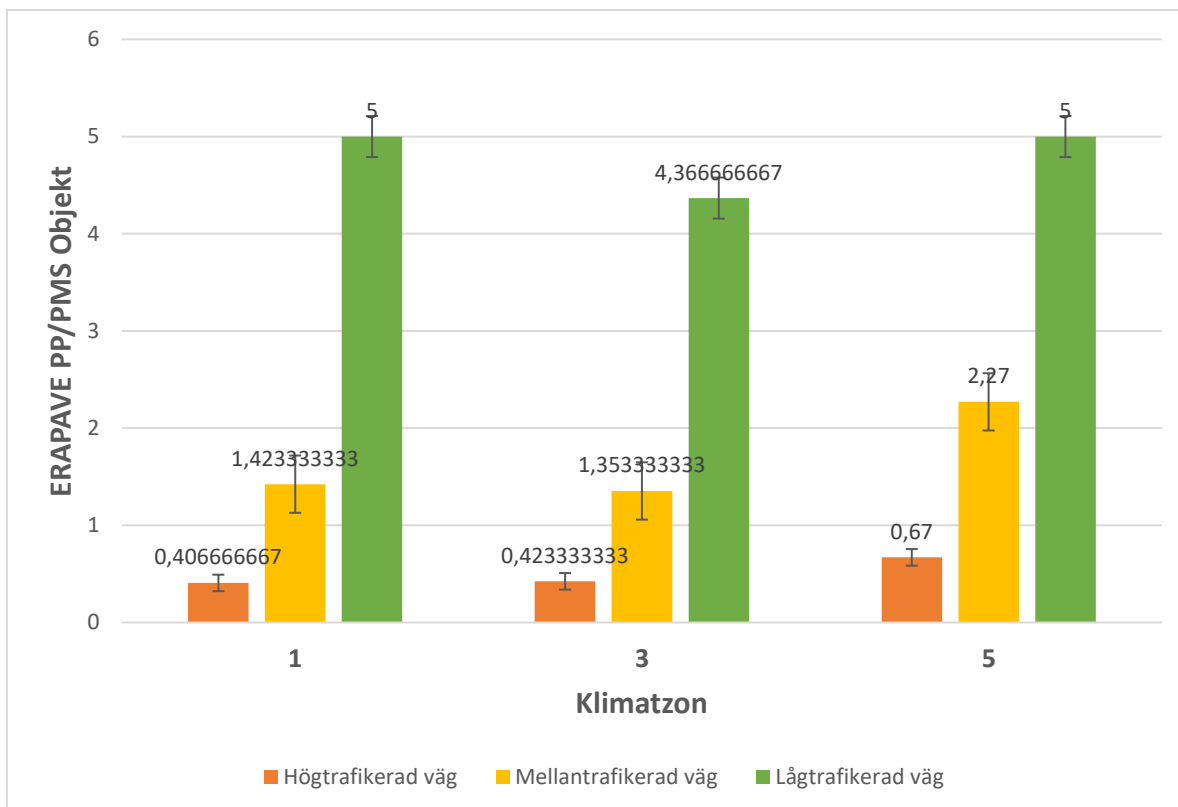
Klimatzon	Undergrund (terrass)	Vägtyp (ÅDT)	PMS Objekt (år)	ERAPAVE PP (år)	ERAPAVE PP/ PMS Objekt	Gränsvärde (mm)
5	Blandkornig jord ≤30%	Högtrafikerad väg (15000)	20	11,49	0,57	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	38,49	1,92	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	100	5	15
	Fast berg	Högtrafikerad väg (15000)	20	17,49	0,87	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	59,49	2,97	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	100	5	15
	Lera	Högtrafikerad väg (15000)	20	11,49	0,57	11
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	38,32	1,92	11
		Lågtrafikerad väg (500)	20	100	5	15



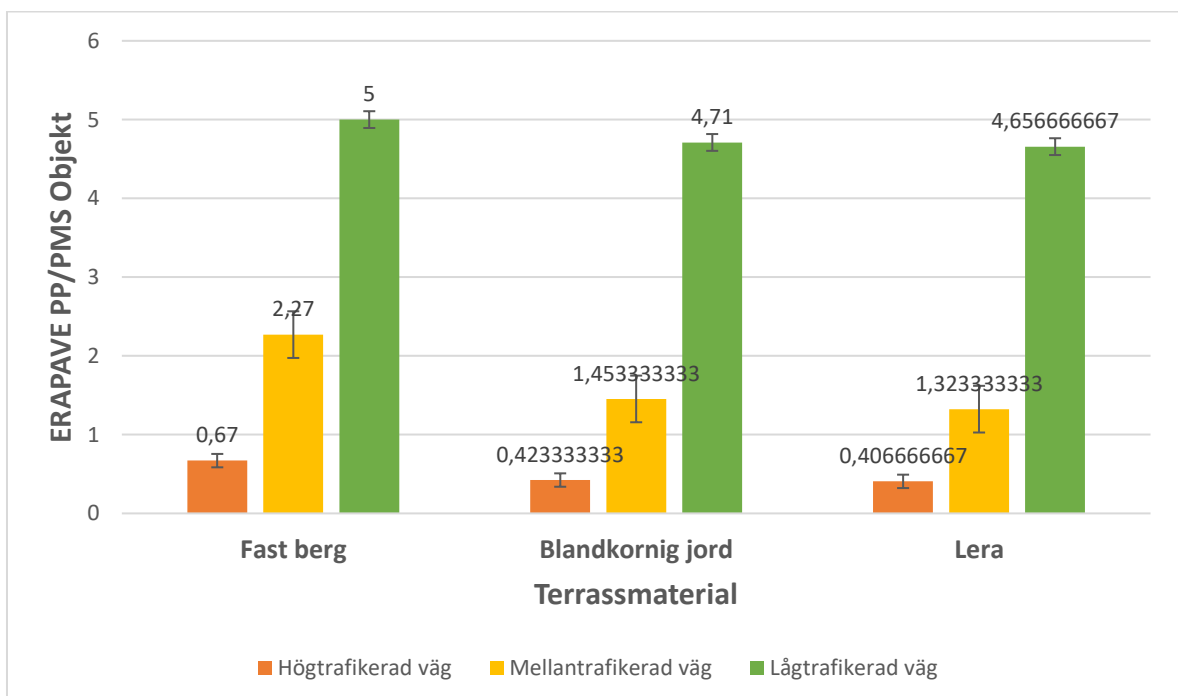
Figur 11. Förväntade livslängder som ERAPAVE PP ger i förhållandet till PMS Objekt i olika klimatzoner med avseende på totala permanenta deformationer.



Figur 12. Förväntade livslängder som ERAPAVE PP ger i förhållandet till PMS Objekt med avseende på totala permanenta deformationer beroende på materialtyp på terrassen.



Figur 13. Medellivslängder och standardavvikelse som ERAPAVE PP ger i förhållandet till PMS Objekt i olika klimatzoner med avseende på totala permanenta deformationer.



Figur 14. Medellivslängder och standardavvikelse som ERAPAVE PP ger i förhållandet till PMS Objekt med avseende på totala permanenta deformationer beroende på materialtyp på terrassen.

4.2 Utmattningsprickor

Max tillåtet värde i ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) med avseende på utmattningsprickor är 0,5 mm. ERAPAVE PP ger efter dimensioneringen av olika överbyggnader följande resultat på utmattningsprickor (se Tabell 12, 13 och 14).

Tabell 12. Förväntade livslängder som följande överbyggnader kan klara av i klimatzon 1 innan utmattningsprickor överstiger tillåtet gränsvärde.

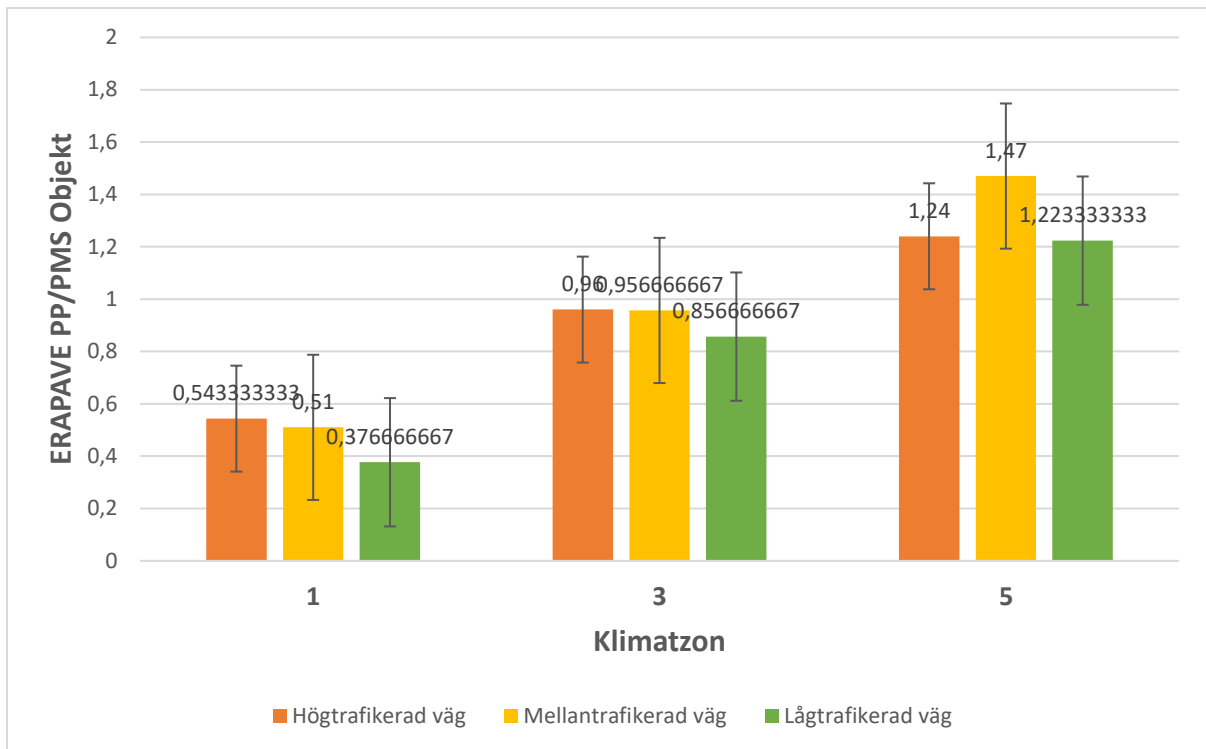
Klimatzon	Undergrund (terrass)	Vägtyp (ÅDT)	PMS Objekt (år)	ERAPAVE PP (år)	ERAPAVE PP/ PMS Objekt	Gränsvärde (mm)
1	Blandkornig jord $\leq 30\%$	Högtrafikerad väg (15000)	20	7,57	0,38	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	8,65	0,43	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	9,61	0,48	0,5
	Fast berg	Högtrafikerad väg (15000)	20	15,61	0,78	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	6,57	0,33	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	5,61	0,28	0,5
	Lera	Högtrafikerad väg (15000)	20	9,47	0,47	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	15,45	0,77	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	7,39	0,37	0,5

Tabell 13. Förväntade livslängder som följande överbyggnader kan klara av i klimatzon 3 innan utmattningssprickor överstiger tillåtet gränsvärde.

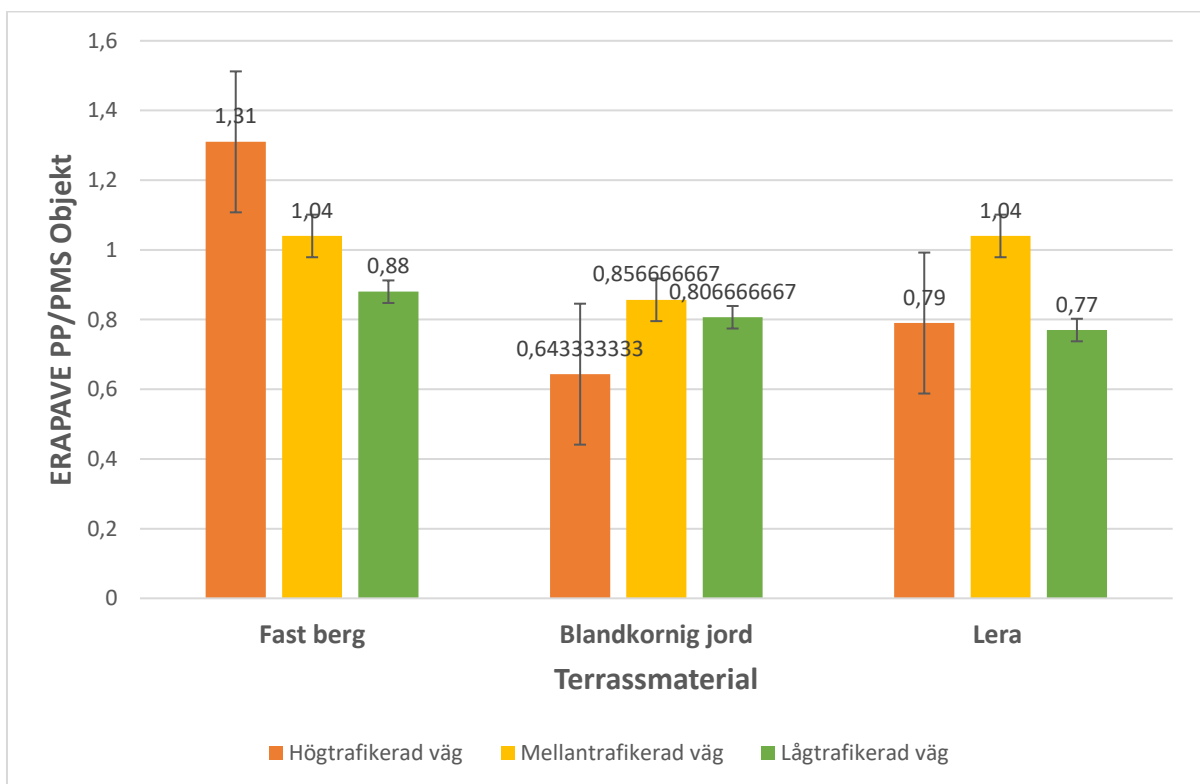
Klimatzon	Undergrund (terrass)	Vägtyp (ÅDT)	PMS Objekt (år)	ERAPAVE PP (år)	ERAPAVE PP/ PMS Objekt	Gränsvärde (mm)
3	Blandkornig jord ≤30%	Högtrafikerad väg (15000)	20	13,41	0,67	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	15,47	0,77	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	16,49	0,82	0,5
	Fast berg	Högtrafikerad väg (15000)	20	23,57	1,18	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	22,47	1,12	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	18,57	0,93	0,5
	Lera	Högtrafikerad väg (15000)	20	20,56	1,03	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	19,53	0,98	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	16,38	0,82	0,5

Tabell 14. Förväntade livslängder som följande överbyggnader kan klara av i klimatzon 5 innan utmattningssprickor överstiger tillåtet gränsvärde.

Klimatzon	Undergrund (terrass)	Vägtyp (ÅDT)	PMS Objekt (år)	ERAPAVE PP (år)	ERAPVE PP/PMS Objekt	Gränsvärde (mm)
5	Blandkornig jord ≤30%	Högtrafikerad väg (15000)	20	17,53	0,88	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	27,45	1,37	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	22,45	1,12	0,5
	Fast berg	Högtrafikerad väg (15000)	20	39,49	1,97	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	33,30	1,67	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	28,57	1,43	0,5
	Lera	Högtrafikerad väg (15000)	20	17,49	0,87	0,5
		Mellantrafikerad väg (2000)	20	27,32	1,37	0,5
		Lågtrafikerad väg (500)	20	22,38	1,12	0,5



Figur 15. Medellivslängder och standardavvikelse som ERAPAVE PP ger i förhållandet till PMS Objekt i olika klimatzoner med avseende på utmattningsprickor.



Figur 16. Medellivslängder och standardavvikelse som ERAPAVE PP ger i förhållandet till PMS Objekt med avseende på utmattningsprickor beroende på materialtyp på terrassen.

5 Diskussion

Kvoten mellan ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) och PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) beskriver skillnaden i beräkning av livslängden mellan de två programmen. Ifall kvoten är större än 1 då enligt ERAPAVE PP har den studerade överbyggnaden en längre livslängd jämfört med PMS Objekt, medan om kvoten är mindre än 1 då gäller motsatsen.

Utifrån Figur 13 och 14 kan det konstateras att ERAPAVE PP ger lägre värden på den förväntade livslängden för högtrafikerade vägar jämfört med PMS Objekt med avseende på permanenta deformationer oavsett terrassmaterial och klimatzon. Anledningen till detta kan vara att värdet på ÅDT som stoppas in i programmen vid dimensioneringen verkar ha en större effekt med ERAPAVE PP än PMS Objekt. Det verkar finnas ett samband mellan ÅDT och resultat som ERAPAVE PP ger, där ju högre värde på ÅDT desto lägre förväntad livslängd erhålls.

Figur 13 och 14 visar även att alla lågtrafikerade vägar förväntas ha en längre livslängd i alla klimatzoner enligt ERAPAVE PP. Detta skulle kunna förklaras med att vid dimensioneringen med PMS Objekt ställs det krav på minimitjocklek på förstärkningslager samt obundet bärlager 420 mm respektive 80 mm. Kanske behöver lågtrafikerade vägar inte ha så stor tjocklek på dessa lager för att klara sig under den dimensioneringsperioden. Då är konstruktioner som erhålls med PMS Objekt för denna vägtyp överdimensionerade och för starka och därför ger ERAPAVE PP långa livslängder för dem.

Det noteras i Figur 11 och 12 att resultaten som ERAPAVE PP och PMS Objekt ger för den förväntade livslängden för mellantrafikerade vägar i klimatzon 1 och 3 med hänsyn till totalt permanenta deformationer avviker från varandra med värden mellan 1,02 och 1,92 då undergrunden är uppbyggd av blandkornig jord samt lera. Denna variation skulle motiveras med att ERAPAVE PP ger i stort sett liknande resultat som PMS Objekt för vägar som är medeltrafikerade och har en mjuk undergrund med medelbra material.

Livslängden för alla tre vägtyper baserat på förhållandet mellan ERAPAVE PP och PMS Objekt och med betraktande av utmattningssprickor ökar med förflyttningen norrut i Sverige enligt Figur 15. En möjlig orsak till detta är existensen av skyddslager i de flesta överbyggnader i klimatzon 5 och 3 skyddar vägkonstruktionen och ger bättre stöd mot utmattningssprickor. Ju bättre och starkare underlag desto bättre möjlighet får överbyggnaden att motverka utmattningssprickor.

Enligt Figur 15 ger ERAPAVE PP lägre värden på överbyggnadernas livslängd jämfört med PMS Objekt med avseende på utmattningssprickor i klimatzon 1. Anledningen till detta skulle kunna vara att PMS Objekt ger för svaga vägkonstruktioner i denna klimatzon vid dimensioneringen och därför kommer överbyggnader enligt ERAPAVE PP att hålla kortare tid än vad PMS Objekt anger.

VViS-stationer (vägväderinformationssystem stationer) som valdes vid dimensioneringen av överbyggnader med ERAPAVE PP skiljer sig från VViS-stationer som valdes i PMS Objekt, eftersom samma VViS-stationer inte finns i ERAPAVE PP. Detta kan ha påverkat resultaten men eftersom stationerna ligger inom samma klimatzon bör påverkan vara liten.

6 Slutsats

Slutsatser som kan dras utifrån arbetet är följande:

- Resultaten som ERAPAVE PP PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) och PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) på förväntade livslängder för överbyggnader med avseende på totala permanenta deformationer samt utmattningssprickor avviker från varandra.
- Lågtrafikerade vägar förväntas ha en längre livslängd enligt ERAPAVE PP jämfört med PMS Objekt med avseende på totalt permanenta deformationer.
- Överbyggnader i norra Sverige har bättre motståndskraft mot utmattningssprickor jämfört med södra enligt förhållandet mellan ERAPAVE PP och PMS Objekt.

6.1 Förslag till förbättringar och vidare studier

Vissa förslag på hur arbetet kan förbättras är att prova dimensionera överbyggnader med andra undergrunder än de som är redovisat i rapporten, till exempel silt. Syftet med detta är att få kunskaper om hur resultateten som PMS Objekt (Pavement Management System Objekt) och ERAPAVE PP (Elastic Response Analysis of PAVement-Performance Predictions) ger skiljer sig från varandra då terrassen består av denna jordart.

Ett förslag till är att dimensionerna alla överbyggnader en gång till med ERAPAVE PP efter att programmet blivit officiellt, eftersom gränsvärde och kraven i programmet fortfarande är preliminära och kommer att ändras och förbättras efterhand. Då kanske kommer ERAPAVE PP inte att ge samma resultat även om det används samma indata och dimensioneringsförutsättningar. Ändringen av kraven i programmet kan även påverka tillåtna värde på utmattningssprickor respektive totalt permanenta deformationer och medföra en ändring av dem.

7 Referenser

Agardh, S. & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. 1 uppl., Stockholm, Liber AB.

Alm, L-O. (1977). *Spårbildning i vägbeläggningar*. Statens väg- och trafikinstitut (VTI). <https://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:674330/FULLTEXT01.pdf>.

Granhage, L. (2009). *Kompendium i vägbyggnad*. Chalmers Tekniska Högskola.

Göransson, N-G. (2004). *Validering av PMS Objekt*. Vägverket. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670201/FULLTEXT01.pdf>.

Naturvårdsverket (2023). *Konsekvenser för teknisk infrastruktur*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/klimatet-i-framtiden/effekter-i-sverige/konsekvenser-for-teknisk-infrastruktur/>. [2024-01-19]

Trafikverket (2011). *TRVK Väg*. <https://www.upplandsvasby.se/download/18.59ded50b17dbbf5ad55d10/1641810720059/TDO K%202011;264.pdf>.

Trafikverket (2022). *PMS-objekt*. <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Vagteknik/PMS-Objekt/>. [2024-01-30]

Trafikverket (2023a). *Tjällossning, tjälskador och potthål*. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skotervi-vagar/vintervaghallning/tjallossning-tjalskador-och-potthal/>. [2024-01-20]

Trafikverket (2023b). *Överbyggnad väg, Dimensionering och Utformning*, TRVINFRA-00224. https://puben.trafikverket.se/dpub/api/v1/Dokument/DownloadDokument?id=5561b138-1389-4b16-b550-6e341985f6b8&dokumentName=Krav%20TRVINFRA-00224%20Everbyggnad%20vaeg,%20Dim%20v4_0.pdf.

Trafikverket (2023c). *Underhåll av belagda vägar*. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skotervi-vagar/underhall-av-belagda-vagar/>. [2024-01-20]

VTI (2021). *ERAPAVE PP*. <https://www.vti.se/en/research/highway-engineering-and-maintenance/pavement-technology/project-erapave-pp>. [2024-01-30]

Wiman, L. & Tholén, O. (1995). *Vägens uppbyggnad*. I Hilliges, F. (red.) FAS Asfaltbok. Föreningen för Asfaltbeläggning i Sverige, s. 59-84

Wågberg, L-G. (2003). *Bära eller brista. Handbok i tillståndsbedömning av belagda gator och vägar*. Svenska Kommunförbundet.

8 Bilagor

Bilaga 1

Dimensioneringen av en högtrafikerad väg med terrassmaterial blandkornig jord $\leq 30\%$ inom Skåne och i klimatzon 1.

Avsnittsegenskaper

Allmänt Geometri Vagnätsanknytning Kommentarer

Dimensioneringsmetod

Analytisk Tabell

Allmän avsnittsinformation

Nybyggnad Underhåll/förstärkning

Avsnittsnamn: Högtrafikerad väg med blandkornig jord

Vägnummer: 10

Klimatzon: Klimatzon 1

Län: Skåne

Referenshastighet: 90 km/h

Dimensioneringsperiod: 20

OK Hjälp Avbryt

Konstruktionens uppbyggnad

Terrass och överbyggnadstyp Tjocklek och styvhetmoduler Övriga egenskaper

Material	Tjocklek [mm]	Vinter [MPa]	Tjäl.vinter [MPa]	Tjällossning [MPa]	Servår [MPa]	Somm
1 Bitumenbundet slitlager	40	14500	13000	13000	11000	
2 Bindlager	40	15000	15000	10000	10000	
3 Bitumenbundet bärlager	110	11500	10000	10000	8000	
4 Obundet bärlager	80	1000	150	300	450	
5 F-lager ny modul	420	1000	1000	200	300	
6 Skyddslager	0	1000	1000	70	85	
T 3b - Blandkornig jord <= 30%	0	1000	1000	35	50	

Total tjocklek bunda lager: 190 mm Total tjocklek ovan övre terrassyta: 690 mm

Lägg till material... Byt ut... Flytta upp

Lägg till undergrund... Ange terrassyta... Ta bort Flytta ner

Spar material Förändrad överbyggnadstyp - för att kunna återanvändas till annat avsnitt måste den sparas! OK Avbryt

Bilaga 2

Dimensioneringen av en högratifierad väg med terrassmaterial fast berg inom Skåne och i klimatzon 1.

Avsnittsegenskaper

Allmänt Geometri Vagnätsanknytning Kommentarer

Dimensioneringsmetod

Analytisk Tabell

Allmän avsnittsinformation

Nybyggnad Underhåll/förstärkning

Avsnittsnamn: Högratifierad väg med fast berg

Vägnummer: 10

Klimatzon: Klimatzon 1 Karta...

Län: Skåne

Referenshastighet: 90 km/h

Dimensioneringsperiod: 20

OK Hjälp Avbryt

Konstruktionens uppbyggnad

Terrass och överbyggnadstyp Tjocklek och styvhetmoduler Övriga egenskaper

Material	Tjocklek [mm]	Vinter [MPa]	Tjäl.vinter [MPa]	Tjällossning [MPa]	Senvår [MPa]	Somm
1 Bitumenbundet slitlager	40	14500	13000	13000	11000	
2 Bindlager	65	15000	15000	10000	10000	
3 Bitumenbundet bärlager	80	12500	10500	10500	9000	
4 Obundet bärlager	80	1000	150	300	450	
T Krossat förstärkningslager t berg	200	450	450	450	450	
6 1a - Fast berg	0	1000	1000	1000	1000	

Total tjocklek bunda lager: 185 mm Total tjocklek ovan övre terrassyta: 265 mm

Lägg till material... Byt ut... Flytta upp

Lägg till undergrund... Ange terrassyta... Ta bort Flytta ner

Spar material OK Avbryt

Bilaga 3

Dimensioneringen av en högtrafikerad väg med terrassmaterial lera inom Skåne och i klimatzon 1.

Avsnittsegenskaper

Allmänt Geometri Vagnätsanknytning Kommentarer

Dimensioneringsmetod

Analytisk Tabell

Allmän avsnittsinformation

Nybyggnad Underhåll/förstärkning

Avsnittsnamn: Högtrafikerad väg med lera

Vägnummer: 10

Klimatzon: Klimatzon 1 Karta...

Län: Skåne

Referenshastighet: 90 km/h

Dimensioneringsperiod: 20

OK Hjälp Avbryt

Konstruktionens uppbyggnad

Terrass och överbyggnadstyp Tjocklek och styvhetmoduler Övriga egenskaper

Material	Tjocklek [mm]	Vinter [MPa]	Tjäl.vinter [MPa]	Tjällossning [MPa]	Servär [MPa]	Somm
1 Bitumenbundet slitlager	40	14500	13000	13000	11000	
2 Bindlager	40	15000	15000	10000	10000	
3 Bitumenbundet bärlager	120	11500	10000	10000	8000	
4 Obundet bärlager	80	1000	150	300	450	
5 F-lager ny modul	420	1000	1000	200	300	
6 Skyddslager	130	1000	1000	70	85	
T 4b - Lera	0	1000	1000	30	40	

Total tjocklek bunda lager: 200 mm Total tjocklek ovan övre terrassyta: 830 mm

Lägg till material... Byt ut... Flytta upp

Lägg till undergrund... Ange terrassyta... Ta bort Flytta ner

Spar material Förändrad överbyggnadstyp - för att kunna återanvändas till annat avsnitt måste den sparas! OK Avbryt