

Thesis 340

Funktionskrav på vägars bärighet

Laila Rashid

Trafik och Väg

Institutionen för Teknik och Samhälle

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet



Copyright © Laila Rashid

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5307)/1-63/2020
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2020

Examensarbete

**CODEN: LUTVDG/(TVTT-5307)/1-
63/2020**

**Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 340**

ISSN 1653-1922

Author(s): Laila Rashid

Title: Funktionskrav på vägars bärighet

English title: Demands on the load bearing capacity of roadways

Language: Swedish

Year: 2020

**Keywords: Bärförmåga; Fallvikt; SCI ; BCI; Ytmodul; Bärighetsklass;
Funktionsentreprenad; Funktionskrav**

**Citation: Laila Rashid, Vägar och dess framtida funktionskrav
bärighet. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för
Teknik och samhälle. Trafik och väg 2020. Thesis. 340**

**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

Innehållsförteckning	5
Förord	1
Sammanfattning	3
Summary	5
1. Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte och Mål	8
1.3 Avgränsning	8
2. Metod	11
2.1 Litteraturstudie	11
2.2 Studerade objekt	11
2.3 Intervju	12
3. Teori	14
3.1 Upphandlingsformer och regelverk	14
3.1.1 Utförandeentreprenad	14
3.1.2 Totalentreprenad	14
3.1.3 Funktionsentreprenad	15
3.1.4 Praktisk tillämpning av funktions- och totalentreprenader	15
3.1.5 Garantitid	16
3.2 Funktionskrav	16
3.3 Exempel funktionskrav	17
3.3.1 Ojämnheter i längsled och ojämnheter i tvärled	17
3.3.2 Bärighet	17
3.3.2.1 Bärighetsberäkning	18
3.4 Vägkonstruktion	18

3.5 Dimensionering	20
3.5.1 Analytisk vägdimensionering	20
3.5.3 Klimat	22
3.6 Utmattningskriterier	23
3.6.1 Töjning i underkant av asfalt	23
3.6.2 Töjning på terrassen	24
3.7 Fallvikt	25
3.7.1 Ytmodul och Undergrundsmodul	26
3.7.2 Surface Curvature Index (SCI)	28
3.7.3 Base Curvature Index (BCI)	28
3.7.4 Uppskattad asfalttöjning	28
3.7.5 Bärförmågeindex	29
3.7.6 Bärförmågeklass	29
4. Resultat	30
4.1 Sammanställning av intervjuer	30
4.1.2 Analys av intervjuer	34
4.2 Studerade objekt	35
Objekt 1: Ett långt vägavsnitt	35
Objekt 2: Ramper och avfarter	39
Objekt 3: Fallviktsmätning vid minusgrader	43
4.2.1 Analys av Objekt	46
5. Resultat	48
5.1 Resultatdiskussion	48
5.2 Metoddiskussion	49
5.3 Slutsatser	50
Rekommendationer	50
Referenser	52

Förord

Detta examensarbete inom vägteknik är sista moment för civilingenjörsutbildningen i Väg- och Vattenbyggnad, avdelning för vägteknik och samhälle. Arbetet startades av Trafikverket region Syd i samarbete med Ramböll RST. Under arbetets gång har jag fått stöd från många olika personer som jag personligen vill tacka.

Ett stort tack går till min handledare Sven Agardh på LTH för en god vägledning under arbetets gång. Jag vill dessutom tacka Ebrahim Parhamifar på LTH för att ha ställt upp som examinator. Även ett stort tack går till Per Viktorsson som är vägtekniker från Trafikverket Syd, för att ha dragit igång arbetet. Ett stort tack riktas även till Martin Wiström, min handledare från Ramböll, som på ett engagerande sätt alltid ställt upp.

Ett stort tack går till hela Ramböll Syd, speciellt RST-gruppen för sitt varma bemötande och som delade med sig av sin breda kunskap kring ämnet. Sist men inte minst vill jag tacka familj och vänner för det moraliska stödet.

Laila Rashid

Lund 2017



Sammanfattning

Trafikverket upphandlar funktionsentreprenader för att öka attraktiviteten hos anläggningsbranschen. I denna upphandlingsform har Trafikverket omvandlat tekniska lösningar till funktionskrav, som i sin tur tillåter entreprenören att komma på egna tekniska lösningar.

Trafikverket som beställare behöver veta kvalitén på vägen som levereras i slutet av garantitiden. Kvalitén kan undersökas genom bland annat bärighetskontroll. I detta examensarbete används begreppet bärighet för att beskriva vägkonstruktionens förmåga att ta emot laster från trafiken innan den bryts ner.

Beställaren har tagit fram kontrollkrav på bärighet för att undersöka om vägen kommer att hålla under hela den beräknade livslängden. Kontrollkraven är i form av fallviktsmätningar som utförs under garantitiden. Krav på genomförande finns idag men uppföljning av mätresultaten saknas, det finns alltså ingen kravgräns som kontrollen skall uppfylla. I detta arbete undersöks förutsättningar- och konsekvenser av att använda bärighet som ett funktionskrav. Bör krav ställas på bärighet i totalentreprenader? Vilka bärighetsmått bör i så fall användas? Arbetet har genomförts genom analys av tre olika studieobjekt för att undersöka om fallviktsmätningar är tillämpbara för alla sorters vägar. Intervjuer har även utförts för att få en djupare förståelse kring problematiken.

Slutsatsen är att funktionskrav på bärighet är det enda sättet att kontrollera om vägen kommer att hålla under hela dimensioneringsperioden, vilket medför att krav på bärighet borde ställas på funktionsentreprenader. Utförs mätningen enligt metodbeskrivningen borde det inte finnas osäkerheter i mätresultaten. Studieobjekten visar att kontrollkrav med fallviktsmätning går att använda vid alla typer av vägar men att metoden behöver justeras vid kortare sträckor. Mått som är fördelaktiga att använda vid redovisning av mätkontrollen för att beskriva bärighet är SCI, BCI och undergrundsmodul. SCI används för att kontrollera överdelen av vägkonstruktionen, BCI för att kontrollera underdelen av konstruktionen och undergrundsmodul för att kontrollera terrassen. Med dessa slutsatser har också några rekommendationer för fortsatt arbete föreslagits.



Summary

The Swedish Transport Administration procures performance contracts to increase the attractiveness of the construction industry. In this procurement, The Swedish Transport Administration has transformed technical solutions into functional requirements. This allows the contractor to develop his own technical solutions.

As a customer, The Swedish Transport Administration needs to find out the quality of the product that is delivered. The quality can be investigated through a load bearing capacity control. In this master's thesis, the concept of load bearing capacity is used to describe the road structure's ability to receive loads from traffic before failure.

The client has developed a test of bearing capacity to determine whether the road will last during its entire lifespan. The control requirements are in the form of a falling weight deflectometer performed during the minimum guaranteed instruction period. Implementation requirements exist today, however the monitoring of the measurement results are missing since there is no required limit to be met by the control.

In this thesis, the conditions and consequences of using traditional Falling Weight Deflectometer (FWD) as a functional requirement is investigated. Should demands be made on the bearing capacity in a design, construct and maintain contract? In this case, what kind of measurement should be used?

The thesis has been carried out by analyzing three different study objects to evaluate if FWD measurements are applicable to all different types of roads. Interviews have also been conducted to get a deeper understanding on the subject and problem area.

The conclusions that can be drawn are; Demands on the load bearing capacity should be made because performance requirements on load bearing capacity is the only way to check if the delivered road will last the entire design period. If the measurement is performed according to the method description, there should be no uncertainties in the measurement results. The study objects show that control requirements with a Falling Weight Deflectometer (FWD) measurement can be used on all types of roads, but the method needs to be adjusted for roads with shorter distances. Measurements that are beneficial to use in reporting/documenting load bearing capacity are SCI, BCI and subgrade modulus. The SCI to be used to control the surface course and binder course, BCI to control the structure of the base course and sub-base course and the subgrade modulus to control the structure of the terrace. With the conclusions above recommendations have also been made to follow up the work.



1. Inledning

1.1 Bakgrund

Traditionellt har beställaren Trafikverket beskrivit vad som skall byggas, på vilket sätt det skall utföras samt i vilken mängd produktionen ska omfatta. Anbudsgivarens roll har varit att beräkna projektets totalkostnad. Utifrån detaljerande upphandlingar har beställaren angett strikta kravlinjer, där restriktioner medfört att anbudsgivaren fått en låg frihetsgrad i kreativitet och innovation. Denna typ av upphandlingsform benämns som utförandeentreprenad. För några år sedan beslöt Trafikverket att ändra upphandlingsformen i syfte om att berika anläggningsbranschen (Karlsson & Wennström, 2012).

För att öka attraktiviteten inom anläggningsbranschen, ge entreprenörer en ökad frihetsgrad och öka satsningarna på forskning har Trafikverket bestämt att upphandla fler totalentreprenader. Vid upphandling av totalentreprenader ställer Trafikverket funktionskrav och entreprenören får ta fram egna förslag på hur projekten skall utformas. Entreprenören får stå för vägens drift och underhåll under en garantitid. (Karlsson & Wennström, 2012).

I förfrågningsunderlaget för totalentreprenader ingår Objektspecifika Tekniska Beskrivningar (OTB). I detta dokument finns funktionskrav såsom krav på jämnhet och spårdjup som entreprenören skall uppnå vid dimensionering av en väg. Förutom funktionskraven finns det en rubrik kallad Kontroll, som är en beskrivning av kontrollmetoder och i vissa fall även en bestämd tidpunkt för när kontrollen skall ske.

Trafikverket har en mall för hur en OTB kan se ut (Trafikverket, 2017). För varje projekt bestämmer Trafikverket vilka punkter som skall ingå i dokumentet vid upphandling av entreprenör. OTB-mallen innehåller bestämmelser om att fallviktsmätning skall utföras för att kontrollera om kraven uppnåtts för vägkonstruktionens funktioner och de olika lagrens livslängder. Däremot varierar antalet mätningar och tidpunkt från projekt till projekt, se exempeltext nedan;

Exempel: I OTB väganläggning E6.01 Trafikplats Spillepengen och anslutning till Spillepengsgatan står det följande under rubrikkontroll (Trafikverket, 2013):

“Kontrollen är avsedd att verifiera krav på vägkonstruktionens funktioner samt att kraven på de olika lagrens tekniska livslängder kommer att uppnås.

Provning och besiktning av vägbanan ska ske vid tidpunkter som anges i tabell (DB1).8, som illustreras i figuren 1.1 nedan. Dock gäller att tvärfall kontrolleras endast vid mätning 1 samt att fallviktsmätning ska göras i anslutning till trafiköppning eller inom 1 månad från trafiköppning samt i anslutning till garantibesiktning.”

I tabell DB1.8 i OTB Spillepengen står det följande:

Mätning 1	Vid trafiköppning eller inom 1 månad från trafiköppning
Mätning 2	År 3 "
Mätning 3	Vid garantibesiktning

Figur 1. 1 Exempel på krav på fallviktsmätningar (Trafikverket, 2013)

En problematik uppstår i och med att det är stor variation på kraven på fallviktsmätningar mellan olika objekt. Detta medför att det inte finns en klar och tydlig mall för hur kontrollkraven och mätningarna redovisas. I vissa fall leder det till att kontrollkraven av fallviktningsmätning utesluts när vägen väl är byggd (Wiström, 2017).

I vissa fall har ansvarige projektledare i samråd med konsulter tagit bort kontrollkravet av fallviktsmätning. I andra fall har det som stått i OTB-mallen inte anpassats för det specifika projektet och kravkontroll på fallviktsmätning har då ställts på objekt som inte är tillämpade för just den typen av kontroll (Wiström, 2017).

En annan stor problematik är att det finns en oklar mottagare av mätresultaten på Trafikverket. Trafikverket är indelat i fem olika affärsområden, bland annat "Investering" och "Drift och Underhåll". Totalentreprenader faller under Investeringsenheten under hela byggtiden fram till slutbesiktningen (Mätning 1). Efter slutbesiktningen faller projektet på en ny projektledare på enheten för Drift och Underhåll (DoU). Resterande mätningar (mätning 2, mätning 3) som skall utföras kommer sedan att skickas till en oklar mottagare på DoU, eftersom inga tydliga krav finns på fallviktsmätningen. Fallviktsmätningen har ett tydligt syfte: att se om vägen uppnår dimensionerad livslängd. Utan en existerande kravgräns kan inte den mottagande projektledare från DoU se om vägen är "godkänd eller icke godkänd" (Wiström, 2017). Detta examensarbete behandlar problematiken som finns med i ett kontrollkrav för bärighetsmätning med hjälp av en fallvikt.

1.2 Frågeställning

I detta arbete undersöks förutsättningar och konsekvenser av att använda bärighet som ett funktionskrav.

- Bör krav ställas på bärighet i totalentreprenader?
- Vilka bärighetsmått bör i så fall användas?

1.3 Avgränsning

Detta arbete fokuserar på kravet om bärighet som ett funktionskrav. Det finns många olika bärighetsmått som kan tas fram från fallviktsmätningar. I denna studie ingår fem av dessa olika mått för att beskriva bärighet. Måtten som kommer att tas upp är ytmodul, undergrundsmodul, SCI, BDI och bärförmågeindex. Dessa mått, med undantag av undergrundsmodulen, finns med i Trafikverket (2012a) som är ett dokument som ger stöd vid bearbetning av fallviktsdata. Kravgränser kommer inte att tas upp i detta arbete på grund av avsaknad av tillräcklig mängd data i form av fallviktsmätningar för att kunna ge rimliga värden. Hur Trafikverkets olika affärsområden fungerar och hur mottagning av

mätresultaten hanteras kommer inte att undersökas mer än det som är beskrivet i bakgrunden. Tre vägobjekt har studerats för att möjliggöra en jämförelse av resultaten från fallviktsmätningarna. Vägarna som studerats är högtrafikerade och nybyggda. Objekt 1 är en lång vägsträcka. Objekt 2 är en sammansättning av små delsträckor. Objekt 3 visar hur fallviktsmätresultat kan se ut när det är utfört under bristande väderförhållanden.



2. Metod

Insamling av data har utförts på tre olika sätt i detta examensarbete. Den första metoden är en litteraturstudie. Den andra metoden är en insamling av fallviktsmätningarsdata. Insamling av fallviktsdata gjordes genom att ta kontakt (via mail) med personer i branschen som har tillgång till datan. Bara fallviktsmätningar för tre objekt har använts i studien. Då det är av intresse att undersöka bärighetskraven för totalentreprenader, har det varit relevant att se hur vägarna som är byggda av totalentreprenader med funktionskrav beter sig. Det är många vägar som har byggts av totalentreprenader men eftersom det är brist på uppföljning efter en sådan mätning, har det visat sig vara svårt att få tag på data. Den tredje metoden har varit att intervjua olika personer inom anläggningsbranschen för att få en nyanserad åsikt angående bestämning av bärighetskrav och mått.

2.1 Litteraturstudie

För att få en djupgående förståelse för olika termer som används i detta arbete har en litteraturstudie utförts. I kapitel 3 Teori kan resultat från litteraturstudien avläsas. Insamling av data har utförts från följande sökmotorer:

- Google scholar
- LUBSearch
- Trafikverkets databas

2.2 Studerade objekt

Tre vägobjekt analyseras i detta arbete för att visa om och hur bärighet kan användas som funktionskrav. Objekten är anonymiserade för att skydda entreprenörens integritet. Objekt 1 är en lång vägsträcka där mätning har skett i båda riktningar. Objekt 2 är en väg som har många ramper och avfarter. I detta fallet medför det att fallviktsmätning utförts på korta delsträckor. Objekt 3 är en väg som har kontrollerats då det har varit ogynnsamt klimat.

Dessa objekt har valts för att visa styrkor och svagheter hos kontrollmetoden för fallvikt och för att undersöka om funktionskravet bärighet kan vara aktuell för alla vägobjekt.

Analys och tolkning av fallviktsdata

Utifrån fallviktsmätning från varje studerat objekt erhöles bland annat rådata för deflektionen, beläggningstemperatur och pålastad kraft. Dessa deflektioner användes för att beräkna ytmodul, undergrundsmodul, SCI, BCI och bärförmågeindex enligt Trafikverkets (2012a) metodbeskrivning.

För att beräkna bärförmågeklass har trafikdata från respektive objekt använts. Sedan användes ekvationerna i figur 3.10 för att se under vilka värden minimibärförmågeindex ligger för respektive bärförmågeklass. För tolkning av mätpunkter då beläggningstemperaturen är under 0 C har en förenklad teoretisk temperaturkorrigering tagits fram i detta examensarbete.

2.3 Intervju

I denna studie har halvstrukturerade intervjuer använts. Detta innebär att intervjuaren ställer ett par frågor som respondenten själv får besvara och får tillägga åsikter som skulle kunna vara av intresse för intervjuaren. Frågorna behöver inte besvaras i den ordning som frågan har ställts. De intervjuade personerna kan komma med svar som kanske inte ger ett direkt svar på en specifik fråga men tar upp ett ämne som kan vara av vikt för arbetet. Denna typ av intervjumetod ger den intervjuade personen utrymme att fritt kunna uttrycka sina egna åsikter och känslor.

I några av intervjuerna har även en ostrukturerad intervju använts, vilket innebär att det inte finns någon specifik fråga som ställts. Istället ställer intervjuaren en diskussionsfråga som kan leda till ett intressant samtal. Vid denna typ av intervju är det svårare för intervjuaren eftersom denne behöver ha en mycket bred kunskap kring ämnet för att kunna bidra till en givande diskussion (Lantz, 2013).

Intervjuerna har utförts både via telefon och personliga möten. Intervjuerna spelades in för att möjliggöra utrymme för intervjuaren att sätta större fokus på själva intervjun och inte lägga sina krafter på transkribering.

Intervjuerna börjar med att respondenten berättar lite om sig själva, yrke, ålder, erfarenhet och liknade frågor för att "bryta isen" samt tillåta intervjuaren att lära känna den som intervjuas bättre.

Intervjuerna utfördes genom kvalitativa djupintervjuer. Respondenterna har valts utifrån vilken sektor denne jobbar på för att möjliggöra nyanserade svar. Djupintervjuerna ger respondenten möjlighet att tillägga sina åsikter i diskussionen vilket leder till att respondentens svar förmodligen inte ger en helhetsbild för sin sektor. Detta i sin tur leder till att dessa svar inte kan användas till statistiska analyser.

Frågor som ställs vid den halvstrukturerade intervjun är:

- ❖ Idag utför man fallviktsmätningar för att bestämma bärighetsegenskaper hos en väg, denna metod har en del osäkerheter i sig. Vad tycker du om metoden?
- ❖ Utifrån en fallviktsmätning kan man bestämma ytmodul, undergrundsmodul, bärförmågeindex, SCI och BCI. Vilket av dessa mått beskriver bärighet hos en väg bäst? Diskussion kring måtten.

Om man sätter ett bärighetskrav, vilken nivå skulle kravet ligga på?

Intervjuobjekt:

Vägtekniker från konsultbranschen, teknisk fakultet, och beställarsidan har valts för att svara på respektive fråga samt för att få svar från flera olika perspektiv. Förutom vägtekniker har en respondent från entreprenadsidan och en respondent från Finland som jobbar med vägtillståndsmätning intervjuats. Följande personer har intervjuats:

-
- Sven Agardh, Lektor vid Lunds Tekniska Högskola.
 - Per Viktorsson, vägtekniker på Trafikverket.
 - Timo Saarenketo, PhD vägteknik, VD för Roadscanners, Finland
 - Anders Lenngren, Tekn. Dr. i vägteknik, Sweco Civil
 - Fredrik Bengtsson, Entreprenadingenjör, Region Syd/ Större projekt, Infrastruktur, Peab
 - Martin Wiström, Enhetschef för RST Consulting, Ramböll

3. Teori

3.1 Upphandlingsformer och regelverk

Beställaren upphandlar en entreprenör för att utföra ett uppdrag. Upphandlingsformen beror på beställarens önskemål. Det finns i huvudsak två typer av entreprenader: utförandeentreprenad och totalentreprenad. Utförandeentreprenad kan förekomma i olika varianter som en delad entreprenad, generalentreprenad och samordnad entreprenad. Det som skiljer emellan upphandlingsformerna är projekteringsfasen och driftsfasen (Sefastsson, 2014).

Det finns två regelverk som tydligt beskriver upphandlingen av entreprenader, dessa är AB och AMA. AB-skriften finns för att tydligt visa ansvarsfördelningen mellan beställare och entreprenören. För att undvika tvister är fördelning av ansvar en viktig faktor vid upphandling av olika anläggningsprojekt (Sefastsson, 2014).

AB-skrifterna har funnits sedan 1924 inom byggbranschen (Sefastsson, 2014). AB 04 är en leveransbestämmelse som gäller för utförandeentreprenader och ABT 06 används för totalentreprenader och funktionsentreprenader (Bergqvist & et al, 2012).

AMA anläggning är ett regelverk som används för att handskas med tekniska beskrivningar och utförande av projekt inom anläggningsbranschen. Inom AMA finns RA-anläggning och MER-anläggning. RA-anläggning är råd och anvisningar för att ta fram anläggningsarbeten och MER-anläggning behandlar mät- och ersättningsregler (Svensk Byggtjänst). AMA anläggning är alltså ett regelverk, vilket används som hjälpmedel av beställaren för att tydligt formulera sina förfrågningar (Sefastsson, 2014).

3.1.1 Utförandeentreprenad

Vid denna upphandlingsform har beställaren ansvar för projekteringsfasen och upphandlar en entreprenör för att utföra arbetet. För att beställaren skall upphandla mindre entreprenader krävs goda resurser och kunskapsområden, det vill säga en gedigen kompetens. Beställaren har vid denna upphandlingsform mer kontroll över projektet och kostnader. Under utförandeentreprenad faller kategorierna mycket delad entreprenad, delad entreprenad, generalentreprenad och samordnad generalentreprenad. Skillnaderna mellan dessa upphandlingsformer är beställarens ansvar och kontroll över projekten (Sefastsson, 2014).

3.1.2 Totalentreprenad

Totalentreprenad är en upphandlingsform där entreprenören har ansvar för projektering och utförande av arbete. Beställaren ställer funktionskrav och totalentreprenören ansvarar för leveransen av en produkt som uppfyller ställda krav (Sefastsson, 2014). Ansvarsområden som förekommer inom totalentreprenader är följande: projektering, produktion och garantitid.

För att ge kostnadseffektiva lösningar till beställaren och ge entreprenören möjlighet till kreativitet och innovation är totalentreprenaden den bästa entreprenadform (Trafikanalys, 2015)

3.1.3 Funktionsentreprenad

Funktionsentreprenad är en entreprenadform där förfrågningsunderlaget styrs av funktionsbeskrivningar (Olsson, 2012). Funktionsentreprenader förekommer för att öka entreprenörens frihetsgrad och kreativitet. Det möjliggör utveckling av en konkurrenskraftig marknad där plats ges till nya och innovativa lösningar inom området. (Haraldsson, 2004) Funktionsentreprenader och totalentreprenader är samma entreprenadsform, där den enda skillnaden är att i funktionsentreprenader tillkommer underhålls- och/eller driftansvar (Karlsson & Wennström, 2012)

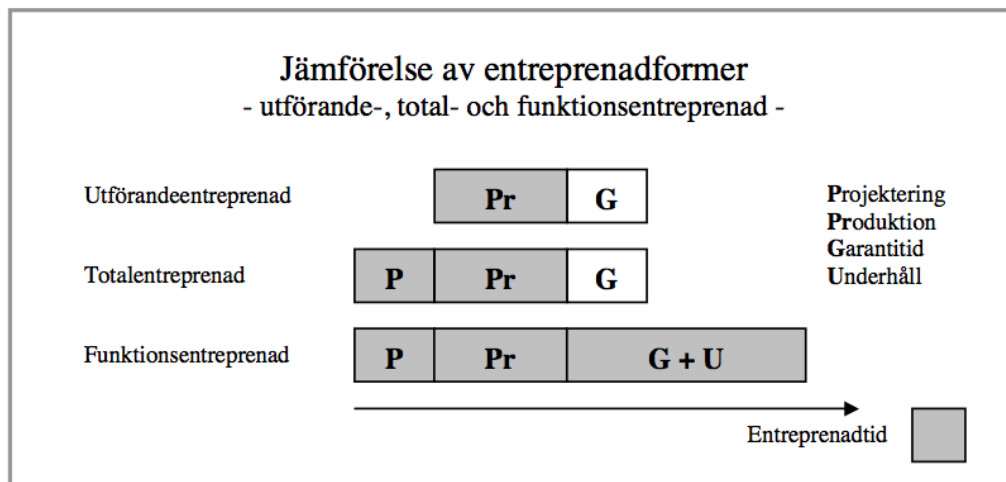
3.1.4 Praktisk tillämpning av funktions- och totalentreprenader

Funktionsentreprenader är en typ av totalentreprenad. Totalentreprenad innebär endast i teorin att totalåtagande ansvar ges åt entreprenören (Wiström, 2017) . Funktionsentreprenader är en renodlad form av totalentreprenad. Beskrivning av tekniska funktioner beskrivs och entreprenören får ta fram egna tekniska lösningar (Haraldsson, 2004). Wiström (2017) lyfter fram att funktionsentreprenader i praktiken kan vara svåra att följa upp. Han påpekar att svårigheten ligger i att det bland annat saknas en kontrollorganisation på Trafikverket och att det har upplevts som svårt att formulera funktionskraven.

”Funktionsentreprenader är en ideal version av en totalentreprenad som egentligen inte går att verkställa i verkligheten. Det finns otroligt många teknikområden där det inte går att ställa funktionella krav eftersom dessa aldrig hade kunnat följas upp och kontrolleras. Totalentreprenader är idag styrda. Detta kan påstås eftersom det finns en del tekniska kravgränser som begränsar entreprenören. ” (Wiström, 2017)

I en fullständig funktionsentreprenad skall kunden ha möjlighet att kontrollera att funktionskraven är uppnådda genom att formulera kontrollkrav och kravgränser (Wiström, 2017). Både Haraldsson och Wiström menar att det är svårt att verkställa en ren funktions- och totalentreprenad inom anläggningsbranschen då många tekniska krav inte kan omformuleras till funktionskrav.

För att få en klar bild på hur olika entreprenader fungerar och vilka ansvarsområden som finns, ger figur 3.1 en förtydligande illustration.



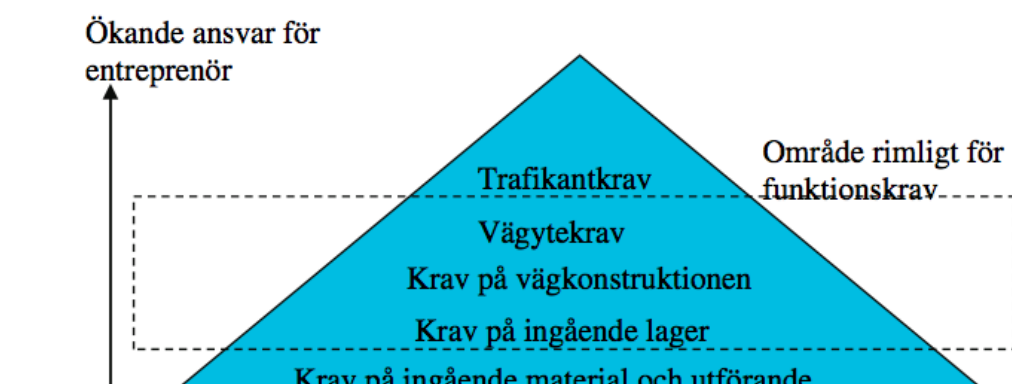
Figur 3. 1 Olika entreprenadformer och dess ansvarsområde (Haraldsson, 2004)

3.1.5 Garantitid

När entreprenören har byggt klart en väg ingår en garantitid i entreprenadavtalet, där entreprenören ansvarar för uppkomna fel under en period efter byggnation. Ansvarstiden är oftast omkring 10 år. Garantitiden påbörjas efter en genomförd slutbesiktning. Det färdigbeställda objektets tillstånd dokumenteras i slutbesiktningen. Efter en godkänd slutbesiktning överläts entreprenaden till beställaren och därefter påbörjas entreprenörens garantitid. Under garantitiden är det entreprenören som bär ansvaret för bevisbördan. Uppkommer fel under garantitiden, som inte ligger inom entreprenörens ansvarsområde, innebär det en skyldighet att bevisa det. (Sefastsson, 2014)

3.2 Funktionskrav

Vid användning av funktionskrav ändras fokus från att ställa krav på lösningar till behovet som leder till bestämning av funktionskrav. Det innebär att alla termer som börjar med 'hur' omvandlas till 'vad'. Detta för att ge entreprenören frihet till nytänkande och från beställarens perspektiv bryta från traditionella metoder (Upphandlingsmyndigheten, 2017)



Figur 3. 2 Kravpyramid (Karlsson & Wennström, 2012)

Funktionskrav inom vägbyggnad förekommer när beställaren upphandlar en väg genom att överföra trafikanternas behov till mätbara funktionskrav se figur 3.2 (Haraldsson, 2004). Trafikanternas krav på en väg kan beskrivas som till exempel framkomlighet, trafiksäkerhet och miljö. Då det ur ett juridiskt perspektiv inte går att helt överföra myndigheternas ansvar för trafiksäkerheten till entreprenören och att det även är mycket komplicerat att tekniskt (mätbart) formulera om trafikantkraven, har beställaren bedömt att funktionskraven vägytekrav, krav på vägkonstruktionen och krav på ingående material är rimliga krav (Karlsson & Wennström, 2012).

3.3 Exempel funktionskrav

Nedan följer en sammanställning av två olika vägytekrav som det vanligtvis ställs krav på vid upphandling av total- och funktionsentreprenader. Därefter kommer en mer djupgående beskrivning av bärighet.

3.3.1 Ojämnheter i längdled och ojämnheter i tvärled

För att få en uppfattning av trafikkomforten används två mått som beskriver vägens jämnhet. IRI (international roughness index) är ett internationellt mått som först togs fram av världsbankens program för utvecklingsländer. Det är ett mått som ger en helhetssyn på ojämnheter som tillkommer på en väg utifrån vägytans höjdprofil. Exempel på ojämnheter i längdled är gupp, sättningar mm. IRI ger en sammanvägd bild av ojämnheternas karaktär.

Ojämnheter som uppstår på vägen i tvärled kallas för spår. Spår förekom på 70- och 80-talet i form av slitagespår som tillkom från fordonens däck. Idag tillkommer spår på vägnätet mest på grund av bärighetsdeformationer som resultat av den ökande tunga trafiken. Spår beräknas genom att vägytans tvärprofil analyseras. Spår påverkar inte trafikkomforten eller trafiksäkerheten när vägytan är torr (Wahlman, 2014). Risken med spår är att det kan bildas vattensamlingar under- och/eller efter nederbörd som kan orsaka vattenplaning (Wahlman, 2014). Då minskar trafiksäkerheten och trafikkomforten eftersom det kan leda till att föraren tappar kontrollen över sitt fordon vilket i sin tur kan leda till olyckor och avåkningar (Körkortskolan, 2017).

3.3.2 Bärighet

Bärighet är ett begrepp som används för att beskriva en vägkonstruktions förmåga att ta emot laster och definieras enligt Trafikverket (2012a) som:

”Högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer”.

En väg bryts ner med tiden och har inte en exakt maximal last som den kan ta emot innan den går sönder. Vid dimensionering av en väg är det därför viktigt att veta antalet laster som en väg kommer att belastas med under dess tekniska livslängd och inte bara av belastningens storlek (Agardh & Parhamifar, 2014).

Bärighetsegenskaper hos en väg är också beroende av väderbelastningar. På hösten kan till exempel nederbördsnivån öka, vilket leder till en förhöjd grundvattenyta. När detta inträffar kan det innebära att vatten trängs in i överbyggnaden om avvattnings- och dräneringssystemet är bristfälligt. Vatten i en vägkonstruktion försämrar vägens

bärighet. Temperaturvariationer kommer att påverka styvheten hos de bundna lagren. Vid höga temperaturer (sommartid) kommer styvheten minska hos bitumenbundna lager och vid låg temperatur kommer de bundna lagren bli så styva att det finns risk för sprickbildning. Svårare sprickor som tränger genom de bundna lagren leder till en minskad bärighet eftersom regnvatten kommer att kunna tränga in i de obundna lagren. Under våren finns risk för tjällossning vilket leder till en kraftig reducering av bärighet i konstruktionen. (Isacsson, 2000)

3.3.2.1 Bärighetsberäkning

Bärighetsberäkningar är nära kopplade till vägdimensionering. Det krävs en ordentlig kunskap om konstruktionens olika lager och egenskaper för att kunna bestämma dess bärförmåga (Isacsson, 2000).

Ett sätt att mäta bärighet hos en vägkonstruktion är genom att mäta upp deformationen vid en bestämd belastning (till exempel med en fallvikt). Utifrån deflektionen kan olika bärighetsmått såsom ytmodul, undergrundsmodul, SCI, BCI och BI beräknas (Trafikverket, 2012a).

3.4 Vägkonstruktion

En vägkonstruktion består utav en överbyggnad och en underbyggnad. Överbyggnaden är den del av väggroppen som belastas av trafiklasten och som fördelar denna last vidare till underbyggnaden. Överbyggnaden består av olika materiallager och förekommer i huvudsak i tre olika varianter. En variant är cementbitumenöverbyggnad (CBÖ), som är en styv överbyggnad. De två andra varianterna är flexibla överbyggnader och benämns grusbitumenöverbyggnad (GBÖ), och bergbitumenöverbyggnad (BBÖ). (Agardh & Parhamifar, 2014)

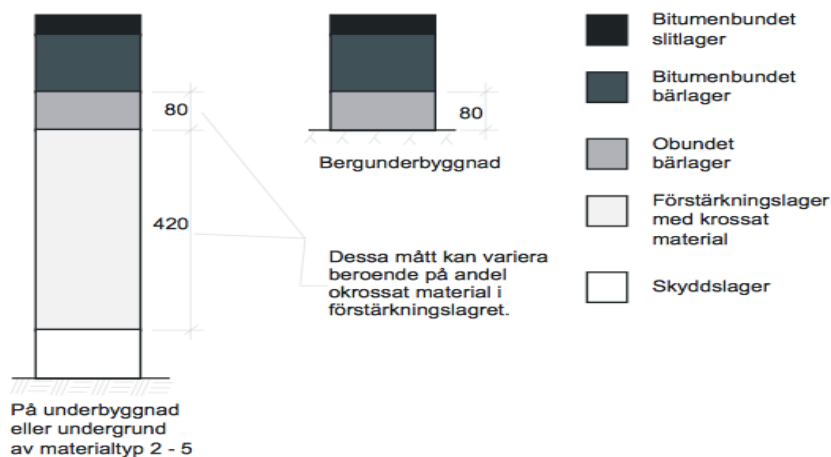
Fallviktsmätningarna som analyserats i denna studie är enbart utförda på konstruktionstypen grusbitumenöverbyggnad. Därför beskrivs endast den överbyggnadstypen i detta kapitel.

Grusbitumenöverbyggnad (figur 3.3) består av:

- Slitlager, det översta lagret i konstruktionen som befinner sig i direkt kontakt med trafiken. Lagret underlättar en komfortabel körning, ökar trafiksäkerheten och ger därmed en samhällsekonomisk nytta. (Agardh & Parhamifar, 2014)
- Bitumenbundet bärlager, ofta av materialet asfaltgrus, ligger under slitlagret och har som primär funktion att fördela lasterna, vilket medför att nedre lagren inte får höga belastningar som kan leda till deformationer. (Agardh & Parhamifar, 2014)
- Obundet bärlager av krossat material, har till uppgift att föra ner laster från trafiken till underliggande materiallager. Dess viktigaste egenskap är att ge överliggande material en hållbar grund för att den avsedda tekniska livslängden ska kunna uppnås. (Agardh & Parhamifar, 2014)
- Förstärkningslager av krossat eller okrossat material, ska föra ner trafiklasten till terrassen. Förstärkningslagret är det nedersta lagret i en överbyggnad om inte skyddslager förekommer. Material som används i skiktet, skall med största mån komma från schakt i närområden för att minska miljöbelastningen. (Agardh & Parhamifar, 2014)

- Det förekommer ibland ett skyddslager som läggs under förstärkningslagret på terrassen, om den har en beskaffenhet att påverkas av tjäle eller vid en undergrund med finkornigt material som kan tränga in i förstärkningslagret. Vid dessa omständigheter fungerar skyddslagret som ett materialseparerande lager. (Agardh & Parhamifar, 2014)
- Terrassen är den yta som skiljer vägöverbyggnaden från undergrunden. Denna ytan bildas vid antingen schaktarbete eller utfyllnad av jord. Det är viktigt att terrassen är jämn för att förebygga ojämnheter hos vägen. Terrassen skall packas ordentlig för att uppnå önskade bärighetsegenskaper. Dessutom skall den ha ett välfungerande dräneringssystem för att förebygga minskad bärighet. (Agardh & Parhamifar, 2014)

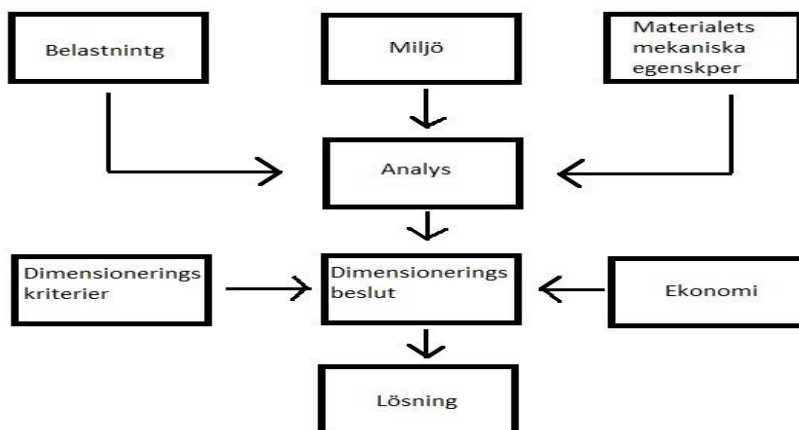
En vägkropp har en teknisk livslängd som bestäms vid dimensioneringsfasen. Dimensioneringsperioden varierar för de olika bundna och obundna materiallagren. Det bundna lagret normalt skall ha en livslängd på 20 år och de obundna lagren skall tekniskt normalt hålla i 30 till 40 år. (Agardh & Parhamifar, 2014)



Figur 3. 3 Överbyggnad (Trafikverket, 2002)

3.5 Dimensionering

För att dimensionera en väg är det viktigt att ha kännedom om olika faktorer som påverkar konstruktionen. I figuren nedan visas processen vid en analytisk dimensionering av överbyggnader går till (Isacsson, 2000).



Figur 3. 4 Analytisk vägdimensionering (Isacsson, 2000).

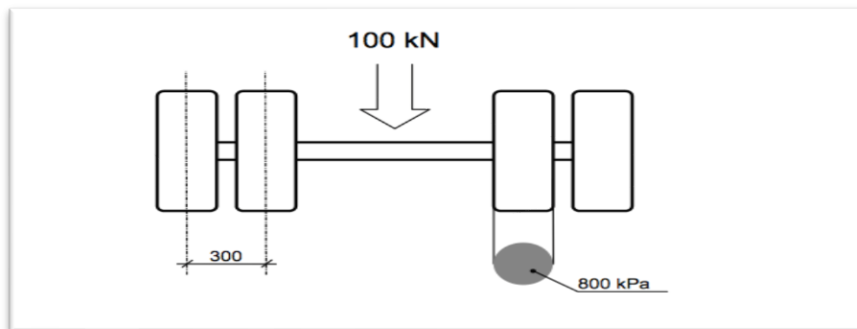
3.5.1 Analytisk vägdimensionering

Det är mycket viktigt att känna till trafikbelastningen på en väg för en vidare beräkning på vägens livslängd. Den ackumulerade trafikbelastningen är den parameter som är egentligen avgörande för att bedöma vägkonstruktionens livslängd (Isacsson, 2000).

Trafikbelastningen påverkas alltså av antalet fordon, deras tyngd och fart. Dessa tre parametrar påverkar livslängden hos en väg. Trafikbelastning anges med begreppet ÅDT som är en förkortning för årsdygnstrafik. Tunga fordon har en stor påverkan på en vägkonstruktionens nedbrytning och personbilar har liten påverkan. (Agardh & Parhamifar, 2014)

För att beskriva effekten av olika fordonstyper används ofta begreppet standardaxel. En standardaxel definieras enligt Trafikverket (2002) som

”En fiktiv axel med parmonterade hjul och med 100 kN (10 ton) axellast jämt fördelad mellan hjulen (se figur 3.5). Varje hjul har en cirkulär kontaktyta mellan däck och väg. Varje kontaktyta är belastad med ett konstant tryck på 800 kPa. Hjulen i respektive hjulpar har ett inbördes centrum – centrumavstånd på 300 mm”.



Figur 3. 5 Parmonterade hjul, standardaxel (Trafikverket, 2002).

För att räkna om axellaster till standardaxlar används ofta fjärdepotensregeln. Ekvivalent axellast beräknas enligt fjärdepotensregeln och då behövs det information om trafikens fördelning med hänsyn till olika axellaster. Denna ekvation har tagits fram efter ett stort forskningsprojekt som utfördes i USA i slutet av femtiotalet under namnet AASHO Road Test (Agardh & Parhamifar, 2014).

$$\therefore N_{ekv} = N_i * (P_i/P)^4 \quad [3.1]$$

Där: $\left\{ \begin{array}{l} N_{ekv} = \text{antal ekvivalenta standardaxlar} \\ N_i = \text{antal belastningar med axeltrycket } P_i. \\ P_i = \text{aktuell axellast som ska räknas om till standardaxellaster [ton]} \\ P = \text{standardaxellast, 10 ton.} \end{array} \right.$

Om ÅDT och andel tunga fordon är känt beräknas ekvivalent antal standardaxlar enligt ekvationen 3.2.

$$\therefore N_{ekv} = \text{ÅDT}_k * 3,65 * A * B * \sum_{j=1}^n (1 + (k/100))^j \quad [3.2]$$

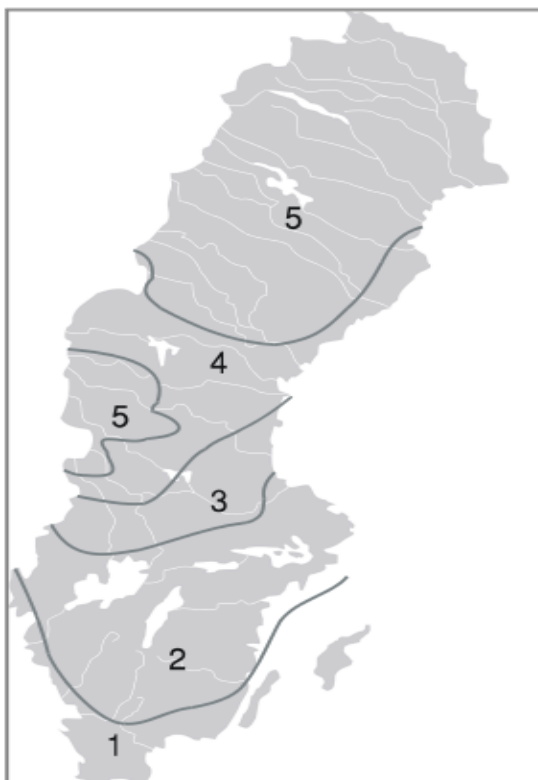
Där: $\left\{ \begin{array}{l} A = \text{andel tunga fordon i \%} \\ B = \text{ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon} \\ n = \text{avsedd dimensioneringsperiod i år} \\ j = 1,2,3 \dots n \\ k = \text{antagen trafikförändring per år i \%} \end{array} \right.$
(Trafikverket, 2002)

3.5.3 Klimat

Sverige är ett avlångt land med varierande klimat. Klimatet har en stor inverkan på vägkonstruktioner. Beläggningen är beroende av temperaturskillnader medan terrassen och de obundna lagren påverkas av fukthalt. Det är därför mycket viktigt att känna till klimatet vid dimensionering av en väg. På grund av detta delas Sverige in i olika klimatzoner vid dimensionering av överbyggnader, se figur 3.6.

Fukt i en vägkonstruktion leder till sämre hållfasthet i vägöverbyggnadens delar, vilket resulterar i sämre bärighet, detsamma gäller för terrassen (Agardh & Parhamifar, 2014). Vid höga nederbörds mängder höjs grundvattennivån och vid partier där det är mindre bra avvattning tränger sig vatten in i väggroppen som påverkar bärighetsegenskaperna avsevärt. Terrassens mekaniska egenskaper påverkas också av grundvattenytan. Hur stor påverkan är varierar beroende på materialet. Finkorniga jordarter som silt och lera har dåliga dräneringsegenskaper vilket leder till att vatten stannar kvar i terrassen. Däremot har lera en låg vattentransportkapacitet, vilket innebär att lera inte är lika skadlig som silt. Sand och grus har bra permeabilitet, vilket leder till mindre skador vid stora regnmängder.

Beläggningar består av asfalt som i sin tur innehåller bitumen. Det är ett visköst material som är beroende av temperaturvariationer. Vid varmare klimat är bindemedlet mjukare och vid låga temperaturer blir det styvare. Värme leder till deformationer som till exempel spårbildning och kyla leder till sprickor i väggroppens bundna lager (Agardh & Parhamifar, 2014)



Indelning av landet i fem olika klimatzoner. I norra Sverige är det långa perioder där temperaturen ligger under 0 grader Celsius, vilket innebär att tjäldjupet blir stort. I södra Sverige är det en betydligt kortare period då temperaturen ligger under 0 grader, vilket leder till att tjäle inte hinna bli så djup (Isacsson, 2000)

Figur 3. 6 Sverige delat i olika klimatzoner (Trafikverket, 2011).

3.6 Utmattningskriterier

I många dimensioneringsmetoder används töjning i asfalt som en utgångspunkt för att beräkna asfaltens livslängd. Töjningskriterier som beskrivs nedan för underkant av bundna lager samt ytan av terrassen är tagna ur Trafikverket (2011). Det är kriterier som gäller för nybyggnation, DK2 (dimensioneringsklass).

3.6.1 Töjning i underkant av asfalt

För vägkonstruktioner som har en beläggningstjocklek större än 75 mm skall dragtöjningarna som sker i underkant av asfalten vara upprättade sådant att det tillåtna antalet standardaxlar ska vara större än den ekvivalenta standardaxeln enligt ekvation 3.3 nedan (Trafikverket, 2011).

$$\therefore N_{till,bb} \geq N_{ekv} \quad [3.3]$$

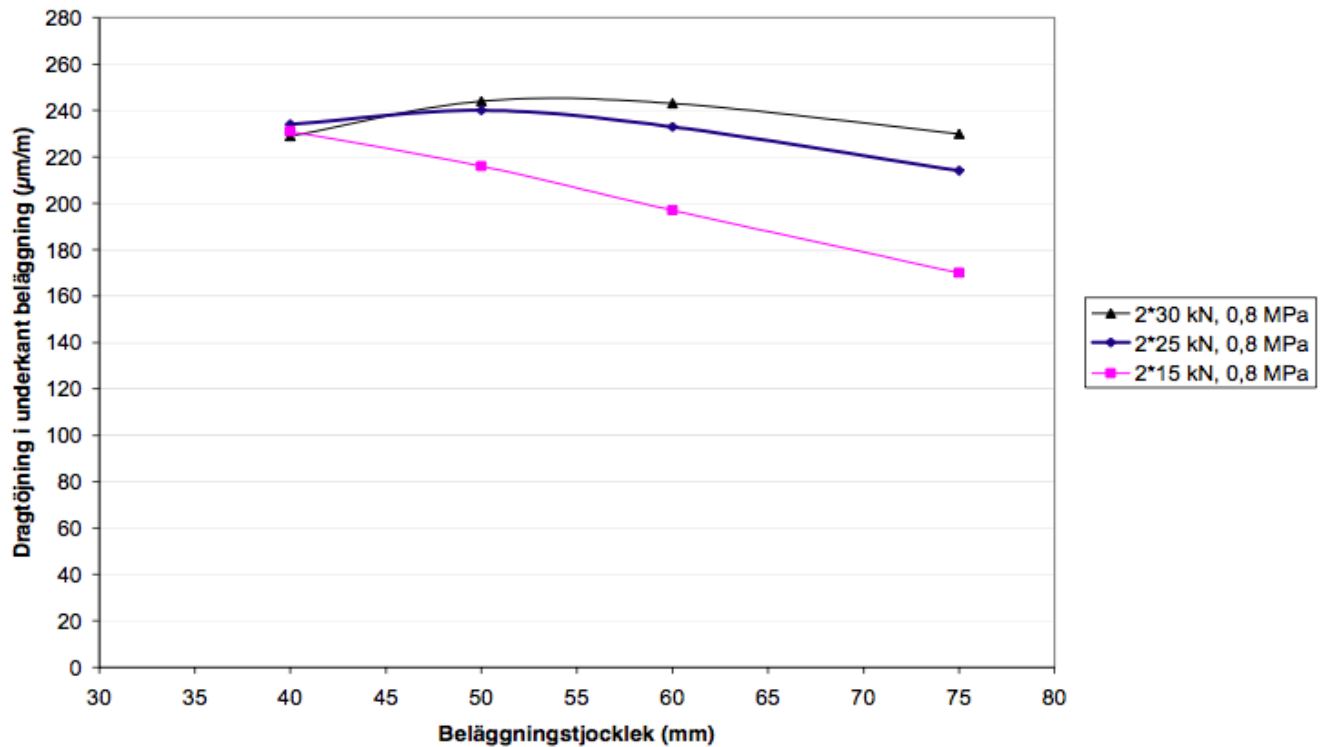
$$\left\{ \begin{array}{l} N_{till} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \\ N_{bb,i} = f_s * \frac{2,37 * 10^{-12} * 1,16^{(1,8 * T_i + 32)}}{\epsilon_{bb,i}^4} \end{array} \right\}$$

Där:

- N_{ekv} = ekvivalent antal standardaxlar
- m = antal klimatperioder
- n_i = antal dygn under klimatperiod "i"
- $N_{bb,i}$ = tillåtet antal standardaxlar för bitumenbundet bärlager under klimatperiod "i"
- f_s = Korrigeringsfaktor med avseende på befintlig beläggnings sprickighet och krackelering
- $\epsilon_{bb,i}$ = största horisontella dragtöjning i bitumenbundet bärlager för klimatperiod "i" vid belastning med en standardaxel på vägytan
- T_i = Temperatur ($^{\circ}C$) i bitumenbunden beläggning för klimatperiod "i"

Denna dragtöjning sker i en kritisk punkt under det bitumenbundna lagret, som kan leda till framtida uppkomster av sprickor (Trafikverket, 2011). Beläggningstjockleken är den viktigaste faktorn för hur stor den horisontella dragtöjningen kommer att vara, ekvation 3.3

är framtagen för AG-beläggningar som är tjockare än 75 mm. Hur töjningen i underkant av asfalten beror på beläggningstjockleken som kan avläsas i figur 3.7 nedan. Töjningen minskar ju tjockare konstruktionen är, men vid en viss tjocklek på ungefär 60 mm, börjar töjningen att minska ju mindre beläggningstjockleken är. Töjningen borde minska ju tjockare asfaltsbeläggningen är vid samma lastkombinationer som trycker mot konstruktionen, men i figuren nedan kan/går det avläsas att mellan 40 – 50 mm ökar töjningen ju tjockare beläggningen är för att sedan till slut bete sig som förväntat över 60 mm. (Jansson & Said, 2001)



Figur 3. 7 Töjning i underkant av beläggningen vid olika lastkombinationer (Jansson & Said, 2001)

3.6.2 Töjning på terrassen

För att terrassen skall kunna orka/bära trafiklasten finns det nedbrytningskriterier för terrassen enligt ekvationen 3.4 nedan.

$$\therefore N_{till,te} \geq 2 * N_{ekv} \quad [3.4]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{till,te} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{te,i}}} \\ N_{te,i} = f_d \frac{8,06 * 10^{-8}}{\varepsilon_{te,i}^4} \end{array} \right\}$$

N_{ekv} = ekvivalent antal standardaxlar

Där: $N_{\text{te}, i}$ = tillåtet antal standardaxlar för terrassyta under klimatperiod "i"

m = antal klimatperioder

n_i = antal dygn under klimatperiod "i"

f_d = Korrigeringsfaktor med avseende på fukt och väta i terrassmaterial

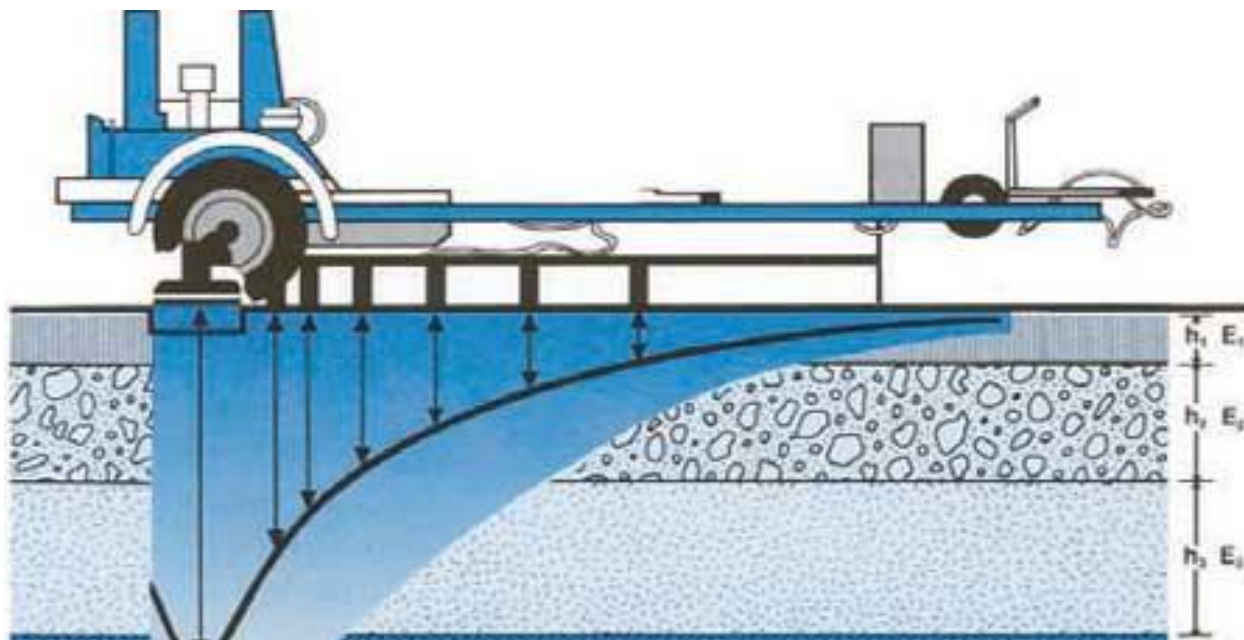
Där: $\varepsilon_{\text{te}, i}$ = största vertikala trycktöjning i terrassytan för klimatperiod "i" vid belastning med en standardaxel på vägytan

T_i = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) i bitumenbunden beläggning för klimatperiod "i"

(Trafikverket, 2011)

3.7 Fallvikt

För att beskriva en vägkonstruktions bärlighet finns det ett antal mått som kan användas. Det vanligaste sättet är att mäta deformationer för att sedan från dessa beräkna ett bärlighetsmått. Deformationsegenskaper vid trafiklaster kan fås från mätningar gjorda med en fallviktsapparat, se figur 3.8. Fallvikten belastar normalt vägytan med en vikt, denna vikt faller på ett fjädersystem med en platta under, det sker en överföring av masskraft till

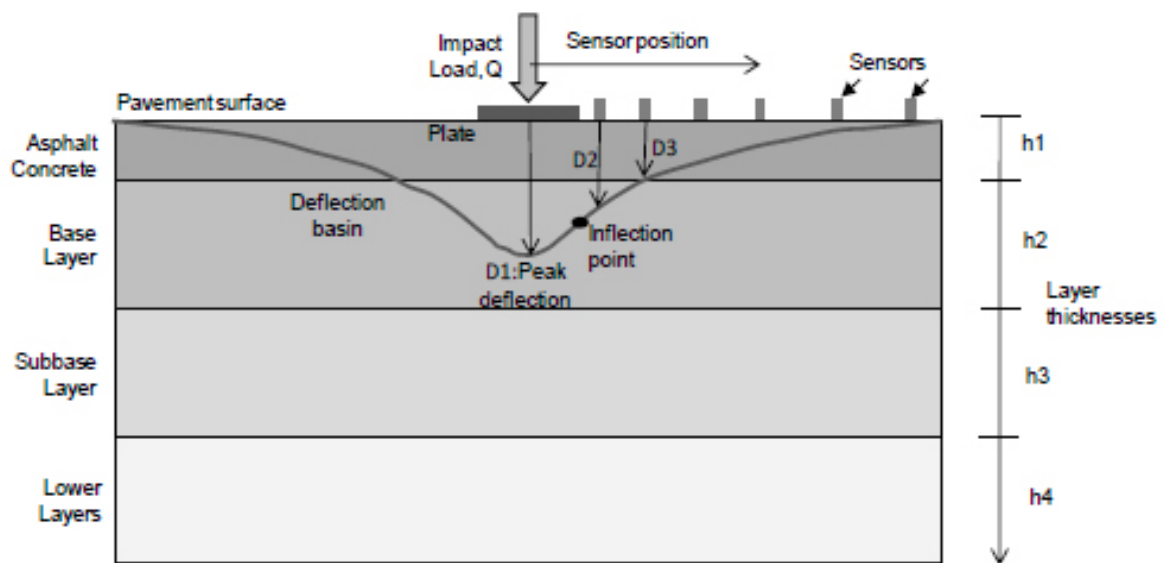


Figur 3. 8 Fallviktsapparat (Cornell Local Roads Program, 2005).

underliggande konstruktion. Påkänningen ger upphov till en momentan nedböjning, en deflektion som kan motsvara som den från en axellast. I Sverige finns det riktlinjer för hur provmätningar skall utföras i Trafikverkets metodbeskrivning (Trafikverket, 2012b). Pålastningstiden från fallvikten bör ej underskrida 10 millisekunder och belastningstiden bör ligga mellan 1.8 och 2.5 gånger pålastningstiden.

Eftersom bitumenbundna lager är viskoelastiska skall beläggningstemperaturen 40 mm under vägytan vara mellan 0°C och +30°C. Anledningen till att det finns ett beläggningstemperaturintervall är för att dels undvika att partier i underliggande material ska frysa vid minusgrader och dels för att undvika stora temperaturvariationer i vägkroppen eftersom linjärelastiska teorier används (Trafikverket, 2012a).

Deflektionsvärden under belastningsplattans centrum (D0) mäts, men även i andra punkter



Figur 3. 9 Deflektionsbassäng (Beltrán & Romo, 2014)

beroende på fallviktsapparat. Den vanligaste fallviktsapparat som förekommer i Sverige är KUAB fwd (falling weight deflectometer som översätts till fallvikt på svenska). Vid pålastning på plattan med 50 kN ger fallvikten (KUAB fwd) upphov till en deflektionsbassäng (se figur 3.9). Deflektionspunkter som normalt avläses är på följande avstånd från belastningsplattans centrum: (0 mm), (200 mm), (300 mm), D3 (450 mm), D4 (600 mm), D5 (900 mm) och D6 (1200 mm). Deflektionsbassängen har en form som påverkas av vägkroppens olika lagertjocklek och ytmodul. Deflektionen är störst rakt under belastningsplattan och sjunker ju större avståndet är från fallvikten. Vid D0 kan deflektionen för hela konstruktionen avläsas och vid den yttersta deflektionen D5 kan terrassens beteende observeras (Trafikverket, 2012a).

3.7.1 Ytmodul och Undergrundsmodul

Ytmodul är en modul som beskriver hela vägkonstruktionens styvhet. För att kunna bestämma ytmodulen behöver ett par antaganden göras. Det antas att hela konstruktionen består av ett homogent, isotropt och linjärelastiskt lager (Trafikverket, 2012a). Denna konstruktion antas även bestå av ett material som är oändligt djupt (Agardh & Parhamifar, 2014). Ekvation 3.5 beskriver hur ytmodulen beräknas. Undergrundsmodulen beskriver terrassens styvhet under en vägkonstruktion, se ekvation 3.6.

$$\therefore E_0 = \frac{1000 * f * (1 - \nu^2) * \sigma_0 * a}{D_0} \quad [3.5]$$

Där:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_0 = \text{ytmodulen under belastningsplatta [MPa]} \\ f = 2 \text{ för segmenterad belastningsplatta, } f = \pi/2 \text{ för styv belastningsplatta} \\ \nu = \text{tvärkontraktionstalet, } 0,35 \\ a = \text{belastningsplattans radie, oftast } 150 \text{ [mm]} \\ D_0 = \text{deflektionen under belastningsplattan } [\mu\text{m}] \\ \sigma_0 = \text{kontakttryck [MPa] under belastningsplattan.} \end{array} \right.$$

Kraften från belastningsplattan genom plattans radie. För en belastningsplatta med radien 150 mm och ett belastningstryck på 50 kN fås ett kontakttryck på 0,7 MPa (Trafikverket, 2012a).

För att få styvhet för terrassen d.v.s. undergrundsmodulen kan ekvation 3.6 nedan användas.

$$\therefore E_u = \frac{52000}{D_{900}^{1,5}} \quad [3.6]$$

Där

$$\left\{ \begin{array}{l} E_u = \text{Undergrundsmodul [MPa]} \\ D_{900} = \text{deflektion 900 mm från belastningsplattans centrum.} \end{array} \right.$$

För att kunna analysera undergrundsmodulen och få en uppfattning av materialen som ligger under vägkonstruktionen kan tabell 3.1 vara ett bra hjälpmedel (Vägverket, 2000).

Tabell 3. 1 E-modul för olika terrassmaterial (Vägverket, 2000).

Material	E-modul [MPa]
Organiska jordar	10 - 25
Ler	
Lös lera	5 - 25
Lera	20 - 60
Torrskorpelera	30 - 1000
Silt	15 - 45
Sand	30 - 100
Grus	75 - 150
Morän	
Finkornig morän	35 - 150
Grovkornig morän	125 - 500
Berg	

Bergbank	150 – 800
----------	-----------

3.7.2 Surface Curvature Index (SCI)

SCI används för att få ett mått på styvheten hos den övre delen av väggroppen, dvs. ett mått som framförallt beskriver det bundna lagret. Enligt Trafikverkets (2012a) metodbeskrivning beräknas SCI enligt ekvation 3.7

$$\therefore SCI = D_0 - D_{300} [\mu m] \quad [3.7]$$

3.7.3 Base Curvature Index (BCI)

BCI är ett mått som anger skillnaden i deflektion hos undergrundsmaterialen. Måttet används för att få översikt på väggroppens obundna lager. Det finns olika sätt att ta fram BCI. En stor del av dessa skillnader grundas på att olika länder har olika tjocka vägkonstruktioner och olika undergrundsförhållanden (Aavik & Talvik, 2008).

$$BCI = D_{600} - D_{900} \quad \text{används i USA} \quad [3.8]$$

$$BCI = D_{900} - D_{1200} \quad \text{används i Finland} \quad [3.9]$$

3.7.4 Uppskattad asfalttöjning

Den uppskattade asfalttöjningen är en empiriskt beräknad horisontell töjning i underkanten av beläggningar. Enligt Trafikverket (2012a) skall ekvation 3.10 användas vid beräkning av den uppskattade asfalttöjningen.

$$\therefore \varepsilon_a = 37,4 + 0,988 * D_0 - 0,553 * D_{300} - 0,502 * D_{600} \quad [3.10]$$

För att möjliggöra jämförelser mellan bärförmågeindex för olika vägar är det viktigt att fallviktsmätningen är utförd under samma period under året. För att få en korrigerad asfalttöjning som tar hänsyn till temperaturvariationen kan ekvation 3.11 nedan användas.

$$\therefore \varepsilon_{a,10} = \frac{\varepsilon_{a,T}}{\left(\frac{T}{10}\right)^{0,0308 * h^2 * D_0}} \quad [3.11]$$

Där: $\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{a,10} = \text{dragtöjning vid temp } 10 \text{ } ^\circ\text{C} [\mu - \text{strain}] \\ \varepsilon_{a,T} = \text{dragtöjning vid mättemperatur } T [\mu - \text{strain}] \\ T = \text{mättemperatur } [^\circ\text{C}] \\ H = \text{beläggningstjocklek [mm]} \end{array} \right.$

(Trafikverket, 2012a)

3.7.5 Bärförmågeindex

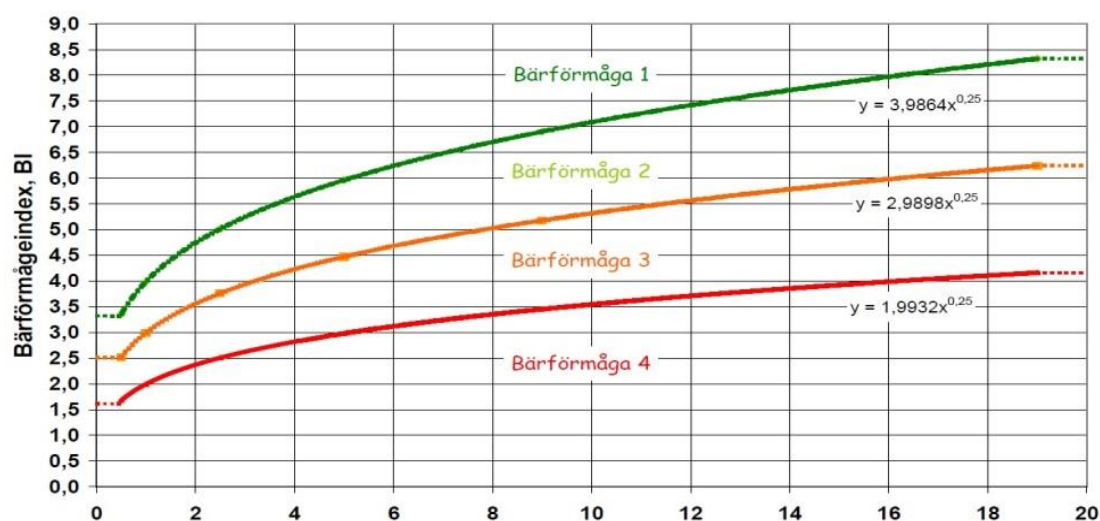
Det är ett index som är dimensionslös och tar hänsyn till asfalttöjning hos belagda vägar oberoende på slitlagertyp. För att beräkna bärförmågeindex används ekvation 3.12.

$$\therefore BI = \frac{1000}{\varepsilon_a} \quad [3.12]$$

Där $\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_a = \text{asfalttöjningen} \\ \text{(Trafikverket, 2012a)} \end{array} \right.$

3.7.6 Bärförmågeklass

Bärförmågeklass är en objektiv beskrivning om vägens bärighet. För att kunna pedagogiskt redovisa vägens tillstånd för olika aktörer används bärförmågeklasser som är beroende av både bärförmågeindex och antal standardaxlar. I figuren nedan kan olika bärförmågeklasser avläsas, där bärförmågeklass 1 motsvarar vägar som har mycket bra strukturellt tillstånd och bärförmågeklass 4 motsvarar en mycket svårt skadad väg (Trafikverket, 2012a).



Figur 3. 10 Bärförmågeklass (Trafikverket, 2012a).

4. Resultat

4.1 Sammanställning av intervjuer

Varje intervjufråga tas upp separat med en sammanfattning av svaren.

- ❖ Behövs bärighetskrav utöver befintliga funktionskrav på vägytan?

Det är viktigt att avgöra vad det är för värde på tillgången. Speciellt vid slutet av entreprenadtiden. För att möjliggöra en avstämning i slutet av entreprenaden skall det även göras i början av entreprenaden. Respondenterna menar att det finns för- och nackdelar med bärighet som funktionskrav. Det finns allmänt två stora frågeställningar som skall beaktas när man skall ha bärighetskrav. Den ena är vilket mått som skall användas och den andra är inom vilken ram kravet skall ligga. Exempelvis kan en tjock konstruktion ge mycket goda IRI värden och en väg bestående av dåliga material även kan ge goda IRI och spårdjup i början av dess livslängd men som snabbt deformeras. Därav räcker det inte att med att utgå endast utifrån funktionskrav på vägytan.

Vägtekniker från beställarsidan och inom konsultbranschen delar en gemensam åsikt, vilket är att bärighetskrav är det enda sättet att kontrollera om vägkonstruktionen håller inom dess dimensionerande livslängd.

Ur entreprenörens synvinkel är det mer intressant att veta konsekvenserna av ett sådant krav. Exempelvis, hur skulle en åtgärd se ut om ett vägavsnitt inte klarar bärighetskravet?

Flertalet respondenter jämför ekonomiska konsekvenser av funktionskraven. Det är relativt enkelt att behandla ojämna ytor på en vägkonstruktion men att åtgärda en väg som har sämre bärighetsegenskaper innebär att hela konstruktionen skall byggas om, vilket medför en stor ekonomisk förlust för entreprenören.

- ❖ Idag utför man fallviktsmätningar för att bestämma bärighetsegenskaper hos en väg, denna metod har en del osäkerheter i sig. Vad tycker du om metoden?

Enligt respondenten beror det på om man utför fallviktsmätningen rätt eller inte. Vidare säger respektive följande:

”För det första när det gäller vägar så finns det standardaxlar som man rättar sig efter, 10 tons standardaxlar. På det sättet är det okej, det som skulle kunna vara en osäkerhet i sammanhangen är ju om man skulle mäta på vintern när allt är fruset. Man får ju vara försiktig. Det bästa hade varit om man utförde mätningen under en tidsperiod som hade varit representativt för året, men det är inte alltid så att det går. Så här års (maj) så är det ju en återhämtning av moduler, framförallt av de obundna materialen och då är det frågan om man måste mäta just nu och hur man ska göra. Det är klart att man får titta lite grann på materialen och se om de är väl dränerade, tillräckligt styva, till exempel betong förändras inte så mycket under året. Är det en återhämtningsfas då gör vi en försiktig bedömning att det blir bättre under året, men absolut inte en överdriven för då kan det bli diskussion.”

Asfalten är temperaturberoende och det obundna lagret utsetts för en del fryscyklar under vintern, särskilt i södra Sverige. I norra Sverige är det definitivt fruset under vintertid och sedan sker tjällossning under våren, vilket leder till att konstruktionen blir mjukare. Om modulen mäts på tjälkänsliga lager på våren, fås oftast lägre värde jämfört med hösten.

Osäkerheten ligger i att korrekt beskriva årstidernas variationer och hur de påverkar materialen. Inget år är det andra likt, vilket också medför en liten variation som skall beaktas, eftersom olika material reagerar olika på det. Vidare säger en utav respondenterna följande:

”Enligt min erfarenhet är de mätningar som är gjorda i mitten av augusti till mitten av oktober i regel bra och kan vara representativa för resten av året”.

- ❖ Utifrån en fallviktsmätning bestäms ytmodul, undergrundsmodul, bärförmågeindex, SCI och BCI, vilken av dessa mått beskriver bärigheten på en väg, på bästa möjliga sätt?

Inget av dessa mått beskriver enskilt tillståndet på en väg, på bästa möjliga sätt. Flertalet respondenter nämner att beräkningen av ytmodulen, ger ett värde som beskriver konstruktionen och undergrundens förhållande i ett och samma mått. Med andra ord, finns det ingen vetskap om vägen består av en bra eller dålig konstruktion. De påpekar också att om det byggs en väg på en stark undergrund, fås höga värden på ytmodulen, oavsett hur bra eller dåligt vägen egentligen är byggd.

Om det exempelvis byggs en väg på en undergrund som består av torv, fås sämre värden på ytmodulen. Detta innebär i sin tur att vägar med tjocka lager skulle behövs byggas, för att uppnå en rimlig ytmodul, oavsett om vägkonstruktionen har mycket goda kvaliteter.

Enligt en utav respondenterna är undergrundsmodulen i regel ett ganska säkert mått samt påpekar följande:

”Det enda är att undergrunden i sig kan bestå av berg och lera och då kan man undra vilken modul som fås, om leran är 10 m djup och under finns det en berggrund. Andra fallet kan vara att man har berg i 2 m djup och under det är det lera. Man får ta det som en parameter som man får räkna med. En ingångsparameter som vi kör med är töjningen på terrassytan. Den bestäms mycket av undergrundsmodulen men som ett värde att jobba med ingenjörsmässigt är ett bra mått”.

Det finns alltså både för- och nackdelar med ytmodul som mått. Ytmodulen beskriver hela konstruktionen och det är en bra indikation på deformationsbenägenhet för spårbildning. Ytmodulen ger även information om kvaliteten från ytan till oändligt djup d.v.s. kvaliteten på både överbyggnaden och undergrunden. Entreprenören är inte intresserad av undergrunden vid kontroll av vägen, eftersom undergrunden inte går att påverka, och har inga kopplingar med den som byggt vägen.

Det svenska måttet Bärförmågeklass är ett bra mått för att beskriva bärighet eftersom man kan relatera till den. Enligt respondenten från Trafikverket är det viktigt att ha ett pedagogiskt mått som är väletablerat i Sverige och hänvisar till Trafikverket (2012a) tabellen över olika bärförmågeklasser (figur 3.11 i kapitel 3). Respondenten från beställarsidan nämner även en redovisningsmetod som Ramböll RST använder vid redovisning av fallviktsmätningar. Metoden går ut på att bärförmågeklass beräknas för varje punkt som har mätts. Varje mätpunkts bärförmågeklass visualiseras med Google Earth. Tre olika färger används nämligen samma färger som finns i tabellen för

bärförmågeklasser; gröna punkter visar bärförmågeklass 1, gula punkter bärförmågeklass 2, röda punkter bärförmågeklass 3, se figur 4.1.



Figur 4. 1 Exempelbild på hur en kartläggning av mätpunkter med olika Bärförmågeklass kan se ut (Ramböll RST, 2015).

Behovet av ett pedagogiskt mått är betydande när det gäller inblandning av beställare, konsulter och entreprenörer då alla förstår måttet. Det är svårt att förstå vad SCI, BCI och ytmodul beskriver för personer som inte är vägtekniker.

En av respondenterna nämner att om utmattning ska analyseras, är Bärförmågeindex (BI) och SCI intressanta mått. Frågan gäller dock, vilket mått som är bäst. I Sverige är det vanligt att analysera BI, vilket gör det mer pedagogiskt att använda måttet, eftersom de flesta är vana vid det. SCI är det mått som används internationellt och är dessutom ett enklare mått att räkna på, då det inte finns några tveksamheter kring hur måttet beräknas eller motsvarande. BI beskriver asfaltstojningen, vilket handlar om utmattningen i materialet.

För att kunna tolka en beläggning, krävs kännedom om vilken tjocklek den har. SCI är ett bra mått för tjockare beläggningar. BCI beskriver underbyggnaden och är ett bra sätt att beskriva vägen.

Internationellt kan det tyckas att det svenska måttet bärförmågeklass (bärförmågeindex som tillsammans med trafikmängd ger bärförmågeklass 1 till 4) är ett alldeles för grovt mått för att beskriva bärigheten. Det finns endast fyra kategorier och bärförmågeklass 1 är relativt enkelt att uppnå för en nybyggd väg. Det internationella beaktandet är att det borde finnas ett strängare krav för nybyggda vägar. Nybyggnationsvägar skulle till exempel kunna uppnå bärförmågeklass 0,5. Bland respondenterna nämns bland annat att bärförmågeklassmetoden inte kan användas på konstruktioner som är byggda på till exempel torv.

- ❖ Om ett bärighetskrav sätts, vad skulle kravet ligga på?

Kraven skulle kunna avse töjning på terrassens ovankant och töjning i underkant av asfalten. Töjningen i terrassen skulle kunna ersättas med ett mått där töjning beräknas en meter nedanför terrassen, för att det inte skall råda tveksamheter kring terrassens exakta läge. Det är svårare att bestämma asfaltstöjningen, vilket förklaras på följande sätt utav en av respondenterna:

“En tunn beläggning fungerar som ett membran och då är den största töjningen i ytan som regel faktiskt och inte underkant av beläggning som man skall räkna. För tjockare beläggningar är det töjning i underkant av beläggningen som är intressant. Vet man beläggningstjockleken, är töjning det bästa måttet för att värdera bärighet hos vägen. Man ska komma ihåg att om det är en tunn beläggning (under 50 mm) så kommer den att stå under tryck och det blir inga dragtöjningar under ett däck. Är den mellan 50–100 mm så kommer den att belastas av en skjuvtöjning i den regionen. Nu är det så att dimensioneringsverken brukar vara så att man inte dimensionerar mellan 50–100 mm just för att undvika skjuvtöjningar, antingen har man en tunn beläggning som påfrestat av trycktöjning eller så har man en tjock beläggning som ger upphov till dragtöjning. Töjningsmått är det som fungerar bäst”.

Det har genomförts flertalet prover genom åren och det finns ett tydligt samband mellan spårbildning och terrassytans vertikala töjning. Beläggningar är lite besvärligare eftersom de kan vara utmattade och kanske uppnått 80 % av passager till utmattning och ändå se bra ut även om det inte är mycket belastning kvar till utmattning.

När man dimensionerar med PMS-Objekt tar man hänsyn till deformationskriterier dels med terrasskriteriet och dels kriterier på underkanten av asfalten. Utifrån dimensioneringskriterier kan det finnas behov för två olika mått. Ett mått har med konstruktionens styrka att göra, där ytmodulen hade varit ett bra mått varav det andra måttet ställer krav på att asfalten skall hålla en viss kvalitet. Bärförmågeindex skulle kunna vara ett bra mått. Eftersom den asfaltstöjning som används i bärförmågeindex inte är den verkliga töjningen, kan det exempelvis vara bra att använda ett annat mått.

Det istället användas ett enklare mått som inte ens beräknar en teoretisk asfaltstöjning - SCI - måttet. Det beskriver den övre delen av överbyggnaden, men är inte direkt relaterat till utmattningsmättet. För att komplettera SCI skulle även BCI kunna användas eftersom det beskriver den nedre delen av överbyggnaden. Det är inte heller relaterat till utmattningskriterierna som finns idag.

En utav respondenterna reflekterar över bärighetsmått och säger följande:

“För brukaren är ytmodul ett bra mått eftersom den beskriver hela konstruktionen men som ett kvalitetsmått för en entreprenör, är det kanske inte rättvist. Är det så att marken inte är som det är förväntat så är det svårt att påverka det.”

Den internationella åsikten sammanfaller med ovanstående resonemang och för att få en bättre förståelse för själva konstruktionen är det bäst att titta på mått som just beskriver tillståndet hos den övre delen av konstruktionen samt på nedre delen av konstruktionen. Internationella mått som beskriver överbyggnaden är SCI och underbyggnaden är BCI. Ytterligare en respondent beskriver hur en analys av ett resultat från olika mått kan användas på följande sätt:

“Byggs en väg på en stark undergrund och ytmodulen visar bra värden men SCI värdet visar mindre bra värden kan det konkluderas att det brister i konstruktionens övre del. En

väg som är byggd på torv kan ge dåliga värden på ytmodulen men bra värden på BCI visar att konstruktionen är välbyggd”.

Ovanstående beskriver ett vanligt fenomen som kan förekomma vid reparation av vägar, nämligen att många har invändningar mot bärighetskrav. Den negativa åsikten grundas på att när man bygger om en väg och lägger nya lager så kommer den nya sträckan att ha en lägre bärighet jämfört med innan underhållet. Detta händer eftersom de gamla vägarna får en ordentlig kompaktering av trafiken med tiden.

4.1.2 Analys av intervjuer

Intervjuerna visar tydligt att en kontroll över vad det är för värde på en väg som entreprenören har byggt kan göras genom funktionskrav på bärighet.

Kontrollmetoden med FWD är en relativ billig metod i jämförelse med Traffic speed deflectometer (TSD). Den utförs för att kontrollera vägkonstruktionens kvalitet. I egenskap av beställare är Trafikverkets prioritet vägens beständighet i slutet av garantitiden. För att få kunskap om vägens tillstånd, är det viktigt att få kännedom om hur vägkonstruktionen påverkas av bland annat yttre krafter. Fallvikten som kontrollmetod är effektiv, dock är den känslig mot fukt och temperatur. Enbart en mätning som utförts i slutet av garantitiden, beskriver inte vägens tillstånd. Istället bör det göras fler mätningar, som studeras och analyseras, för att sedan kunna utvärdera om byggnationen av vägen, överensstämmer med de funktionskrav som ställts.

Att enbart ställa krav på vägytan för att få information om vägens tillstånd, indikerar att det är ogynnsamt för både beställaren och entreprenören. Spårbildning på en väg visar en direkt koppling till ett sämre bärighetstillstånd av vägen. För att förebygga bärighetsrelaterade skador på en väg är det viktigt att veta vilka de svaga partierna på vägen är, som kan ge upphov till tidiga underhållsåtgärder. Genom att utföra fallviktsmätningar, ges möjlighet att upptäcka vägens svaga partier och därmed ge utrymme för åtgärder innan skadan är skedd.

Vid kontrollmetoden fallviktsmätning kan ett antal bärighetsmått beräknas, varje mått har sina för- och nackdelar. Det är svårt att bestämma vilket mått som bäst beskriver en vägs bärighet. För väghållaren är det mest intressant att veta hur hela vägkonstruktionen och terrassen kommer att bete sig, medan för konstruktören är det viktigt att försöka bygga en robust väg utifrån markförhållanden. För att utvärdera hur bra en väg är byggd, behöver beställaren analysera hur vägkonstruktionens olika lager beter sig.

Vid bestämning av ett mått gäller det att ta hänsyn till aspekter enligt:

- svenskt mått eller internationellt mått
- ett mått som anger hela konstruktionen och underliggande marks livslängd eller ett mått som visar hur bra/dåligt entreprenören har byggt.

Det finns en stor skillnad på hur de fem olika måtten tillämpas av diverse intressenter. Inom den offentliga sektorn, Trafikverket, är bärförmågeindex och bärförmågeklass väletablerat, där det finns förståelse om vad varje del av bärförmågeklass innebär. SCI och BCI är två mått som är välbeprövade internationellt, men som inte används regelmässigt i Sverige. Det internationella perspektivet indikerar att Bärförmågeklass inte är ett tillräckligt skarpt mått, eftersom vägens tillstånd bara redovisas i en skala med fyra kategorier. Den generella uppfattningen utanför Sverige är att det svenska måttet kan uppfattas som förenklad då det är relativt enkelt att uppnå bärförmågeklass 1 vid nybyggnationer och att den inte är anpassad för alla typer av vägkonstruktioner.

4.2 Studerade objekt

Alla diagram i detta avsnitt är framtagna med Excel utifrån erhållna fallviktsmätningar från Ramböll.

Objekt 1: Ett långt vägvagnsnitt

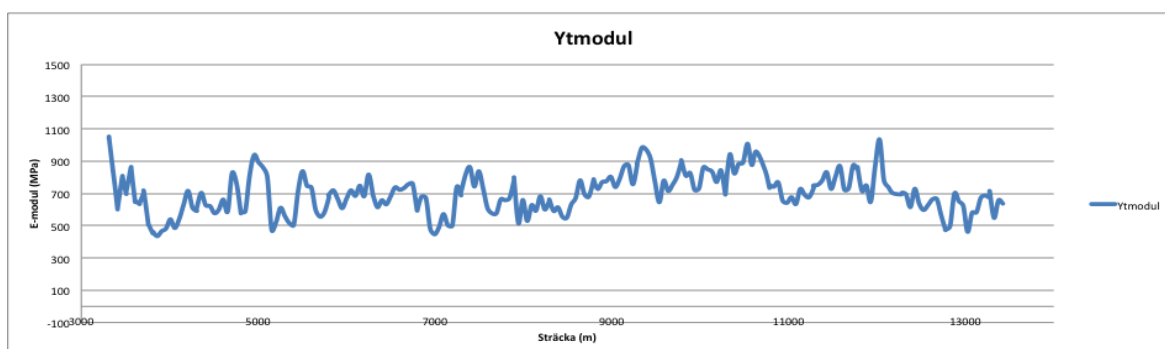
På detta vägojekt utfördes fallviktsmätningar enligt Trafikverket (2012b). Mätningen utfördes på körfält 1 (K1) och körfält 2 (K2). Var 100:e meter togs mätvärden för 2 punkter i det högra hjulspåret. trafikfördelningen på varje körfält antas vara fördelat på följande sätt; 80 % av trafikmängden på K1 och 20 % av trafikmängden på K2. Antagandet om trafikfördelningen gjordes enligt förfrågningsunderlagen. Mätningen utfördes under september månad då beläggningstemperaturen var mellan 11,8°C och 27,9°C. För att kunna analysera mätvärdena hämtades trafikdata från Objekts Teknisk Beskrivning (OTB) och information om asfaltstjockleken hämtades från entreprenören.

Tabell 4. 1 Förutsättningar vid beräkning av objekt 1

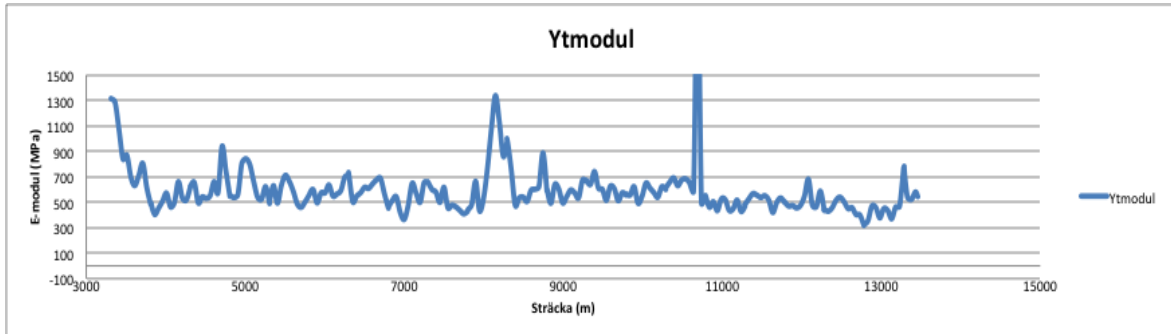
Objekt 1	Asfaltstjocklek (mm)	Antal standardaxlar (milj.)
K1	176	10,8
K2	120	2,70

Redovisning av mätpunkter

Ytmodul



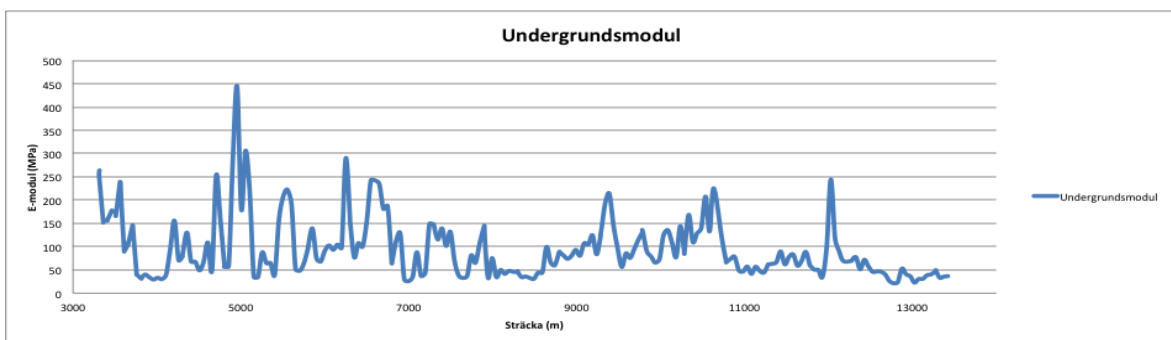
Figur 4. 2 Ytmodul för Objekt 1, Körfält 1 (K1)



Figur 4. 3 Ytmodul för Objekt 1, Körväg 2 (K2)

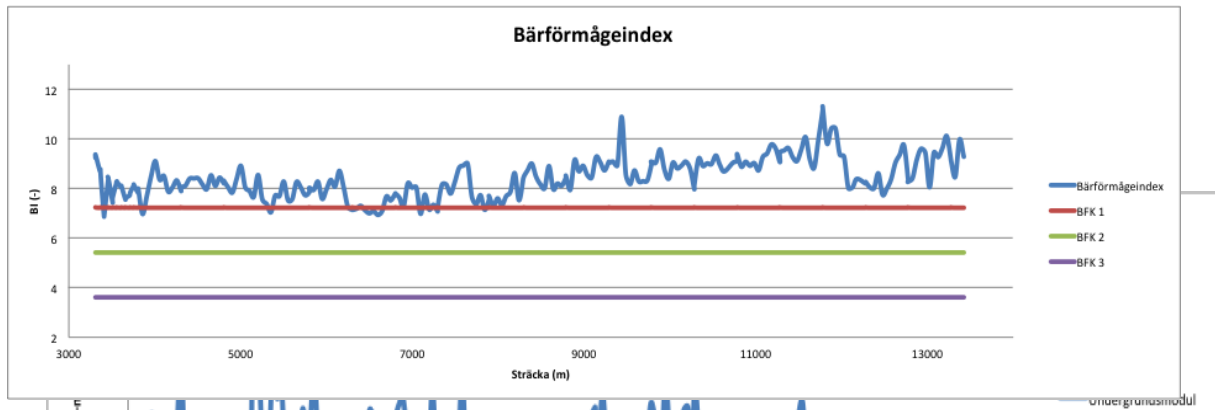
Ytmodulen för både K1 och K2 varierar ganska mycket. För K1 är spridningen mellan högsta och minsta värde på ung 600 MPa. För K2 är det en skillnad mellan högsta och minsta värde betydligt större. Spridningen är på 1200MPa. Den stora skillnaden beror på att E-modulen är hög i vissa mätpunkter. Det intressanta är att analysera om variationen beror på olika förhållanden i undergrunden eller på att konstruktionen är heterogen och inte lika stark i alla partier. För att få en djupare förståelse kommer undergrundsmodulen, SCI, BCI och Bärförmågeindex att analyseras.

Undergrundsmodul

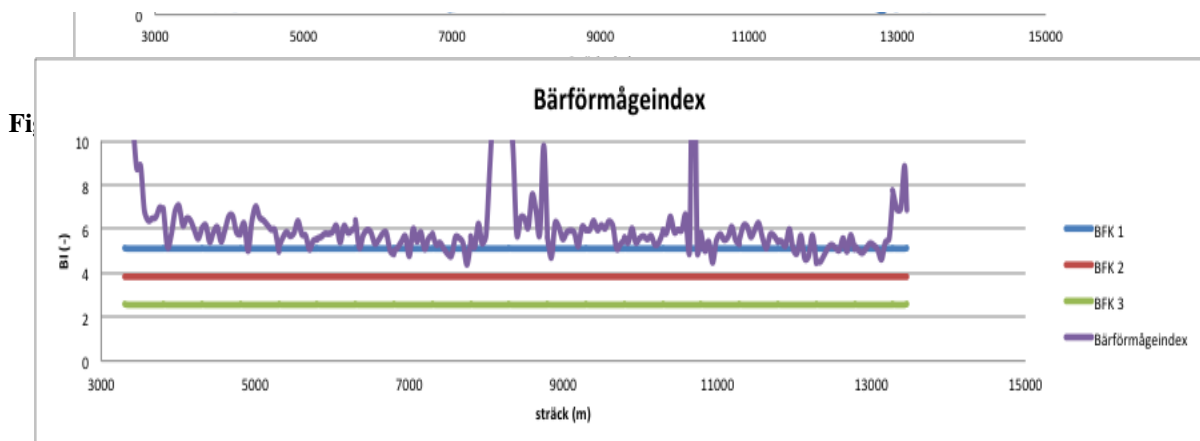


Figur 4. 4 Undergrundsmodul för Objekt 1, K1.

Bärförstågeindex



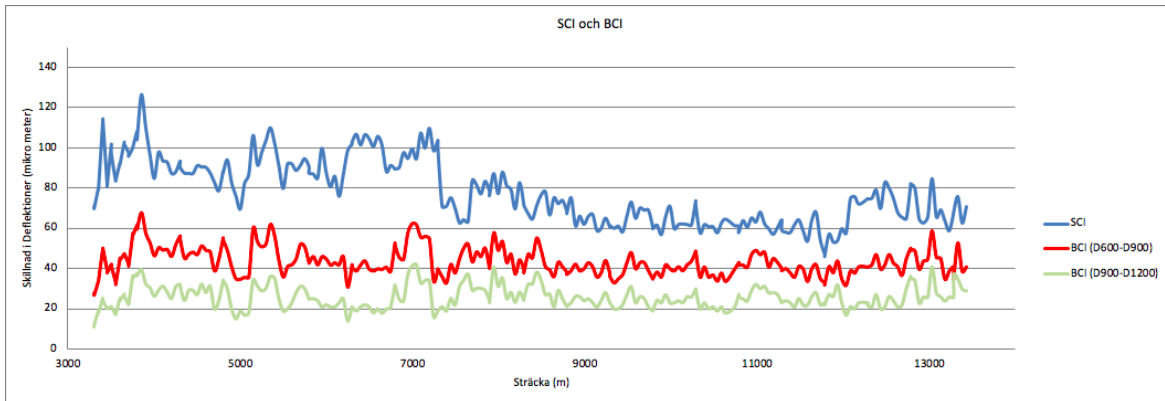
Figur 4. 6 Bärförstågeklass för Objekt 1, K1.



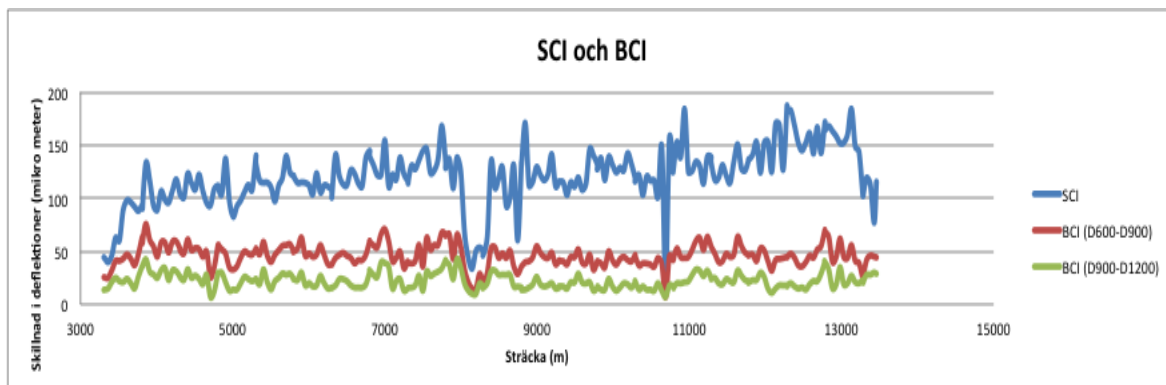
Figur 4. 7 Bärförstågeklass för Objekt 1, K2.

Bärförstågeklass för både Körfält 1 och 2 är hög. Det finns partier på både K1 och K2 som är under BFK 1. Vid sektion 7000 på både K1 och K2 visar ungefär samma beteende med tendensen att gå ner mot BFK 2. På K2 finns det även en lång sträcka mellan 12 000 och 13 000 som tenderar att gå mot BFK 2.

SCI och BCI



Figur 4. 8 SCI och BCI för Objekt 1, K1.



Figur 4. 9 SCI och BCI för Objekt 1, K2.

Analys av SCI och BCI ger bara en jämförelse av deflektioner. Ju större skillnad i deflektionen desto större deflektionsbassäng, vilket innebär att vägen är mer benägen för deformationer. Vid jämförelse av grafen för bärförståindex, figur 4.6 och 4.7, med graferna för SCI, figur 4.8 och 4.9, kan det konstateras att när en mätpunkt har högt bärförståindex kommer SCI att ange ett lågt värde. Sambandet finns eftersom båda mått anger styvheten hos det bundna lagret, asfaltsbeläggningen. SCI för K1 har en större spridning än K2 vilket kan avläsas vid jämförelse av figur 4.8 och 4.9. K1 och K2 har likartade beteenden. Ett högt värde på E-modul bevisar hur beständig en vägsträcka är. 10 Percentilen är en riktlinje för hur lågt E-modul på den svagaste delen av vägsträckan är och kan jämföras med medelvärdet i tabell 4.2.

Vid beräkning av SCI och BCI beräknas differensen i deflektion, ju mindre differens desto solidare är överbyggnad och/eller underbyggnad. Det leder till att den svagare delsträckan kan avläsas för värden som är över 90-percentilen. I tabell 4.2 har det gjorts en jämförelse mellan medelvärdet och 90-percentilen för att få en överblick över hur mätpunkterna fördelas över hela vägsträckan.

Tabell 4. 2 Statistiska värden över K1

	10 percentil	90 percentil	Medelvärde
E0 [MPa]	539	-	701
U. modul	35	-	96
SCI	-	101	78
BCI (D600-D900)	-	53	43
BCI (D900-D1200)	-	34	26
BI	7	-	8

Tabell 4. 3 Statistiska värden över K2

	10 percentil	90 percentil	Medelvärde
E0 [MPa]	446	-	590
U. modul	39	-	138
SCI	-	153	120
BCI (D600-D900)	-	59	46
BCI (D900-D1200)	-	32	22
BI	5	-	6

Objekt 2: Ramper och avfarter

På detta vägobjekt utfördes fallviktsmätningar enligt metodbeskrivningen Trafikverket (2012b). Mätningen utfördes på körfält 1 (K1) och körfält 2 (K2) för Objekt 2 och anslutningsvägar för en närliggande väg. Var 50:e meter togs mätvärden från det högra hjulspåret. Operatören som utförde fallviktsmätningen gjorde antagandet att trafikfördelningen på varje körfält var fördelat på följande sätt; 50 % av trafikmängden på K1 och 50 % av trafikmängden på K2. Vid ramper och avfarter gjordes inget sådant antagande. Mätningen utfördes under november månad då beläggningstemperaturen var mellan 7,6°C och 9,2°C.

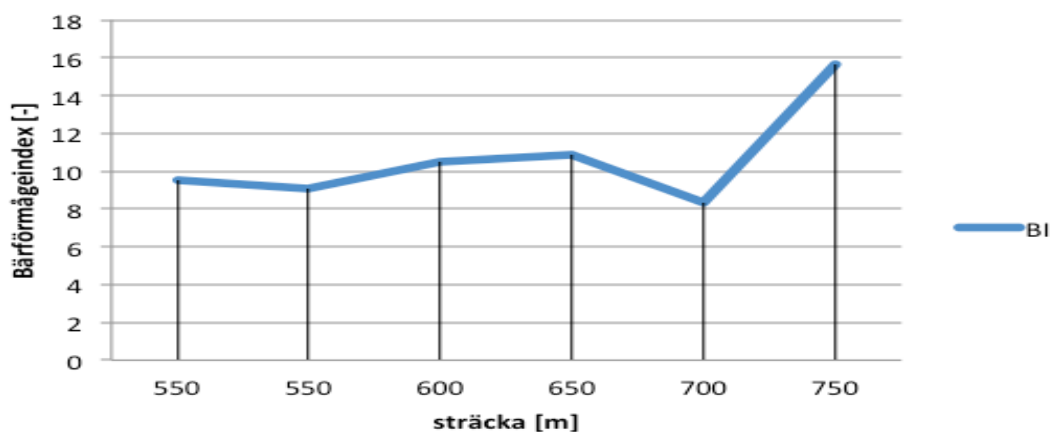
För att kunna analysera mätvärdena hämtades trafikdata från den Objekts Tekniska Beskrivningen (OTB) och information om asfaltstjockleken hämtades från normalsektionsritningar.

Tabell 4. 4 Förutsättningar som används vid beräkning av Objekt 2.

Objekt 2 Avsnitt	Beläggningstjocklek (mm)	Total trafikbelastning (milj. Std-axlar)
Väg A: Ramp/påfart NO	140	24,5
Väg A: Ramp/ påfart NV	130	24,5
Väg A: Ramp/påfart SO	160–200	13,6
Väg A: Ramp/påfart SV	180–210	21,0
Väg A: söder om Cirk.plats K1/K2	210	19,7
Väg A: Norr om Cirk.plats K1/K2	180–200	30,7

Redovisning av mätpunkter

Redovisning av mätpunkterna för detta objekt består bara av statistiska kalkyler som utfördes för varje delsträcka eftersom objekten är spretiga och redovisning av varje avfart skulle inte innehålla mer än enstaka mätpunkter. Exempel på en sådan graf kan avläsas i figur 4.10 nedan.



Figur 4. 10 Väg A, ramp/påfart NO, bärförmågeindex

Nedan redovisas medelvärde och 10–90-percentil för K1 och K2 för att få en överblick över hur mätpunkterna fördelas över hela vägsträckan.

Tabell 4. 5 Statistiska värden över väg A, mott norr, K1.

	10 percentil	90 percentil	medelvärde
E0 [MPa]	817	-	1004
U. modul	51	-	78
SCI	-	48	36
BCI (D600-D900)	-	37	30
BCI (D900-D1200)	-	24	20
BI	10	-	12

Tabell 4. 6 Statistiska värden över väg A, mott norr, K2.

	10 percentil	90 percentil	medelvärde
E0 [MPa]	690	-	1132
U. modul	233	-	359
SCI	-	62	38
BCI (D600-D900)	-	42	28
BCI (D900-D1200)	-	25	18
BI	8	-	12

Tabell 4. 7 Statistiska värden över väg A, mot söder, K1.

	10 percentil	90 percentil	medelvärde
E0 [MPa]	655	-	1318
U. modul	48	-	357
SCI	-	105	63
BCI (D600-D900)	-	48	30
BCI (D900-D1200)	-	28	19
BI	5	-	9

Tabell 4. 8 Statistiska värden över väg A, mot söder K2.

	10 percentil	90 percentil	medelvärde
E0 [MPa]	711	-	889
U. modul	44	-	61
SCI	-	66	38
BCI (D600-D900)	-	41	34
BCI (D900-D1200)	-	26	22
BI	8	-	11

Tabell 4. 9 Statistiska värden över väg A, avfart mot väst.

	10 percentil	90 percentil	medelvärde
E0 [MPa]	591	-	881
U. modul	28	-	59
SCI	-	54	42
BCI (D600-D900)	-	48	35
BCI (D900-D1200)	-	31	22
BI	9	-	11

Tabell 4. 10 Statistiska värden över väg A, avfart mot öst.

	10 percentil	90 percentil	medelvärde
E0 [MPa]	660	-	967
U. modul	53	-	81
SCI	-	56	42
BCI (D600-D900)	-	46	34
BCI (D900-D1200)	-	27	20
BI	8	0	11

Objekt 3: Fallviktsmätning vid minusgrader

På detta vägobjekt utfördes fallviktsmätningar enligt Trafikverket (2012b). Mätningen utfördes på körfält 1 (K1) och körfält 2 (K2). Var 50:e meter togs mätvärden från det högra hjulspåret. trafikfördelningen på varje körfält antas vara fördelat på följande sätt; 50 % av trafikmängden på K1 och 50 % av trafikmängden på K2. Vid ramper och avfarter gjordes inget sådant antagande. Mätningen utfördes under november månad då beläggningstemperaturen var mellan $-0,6^{\circ}\text{C}$ och $-3,5^{\circ}\text{C}$.

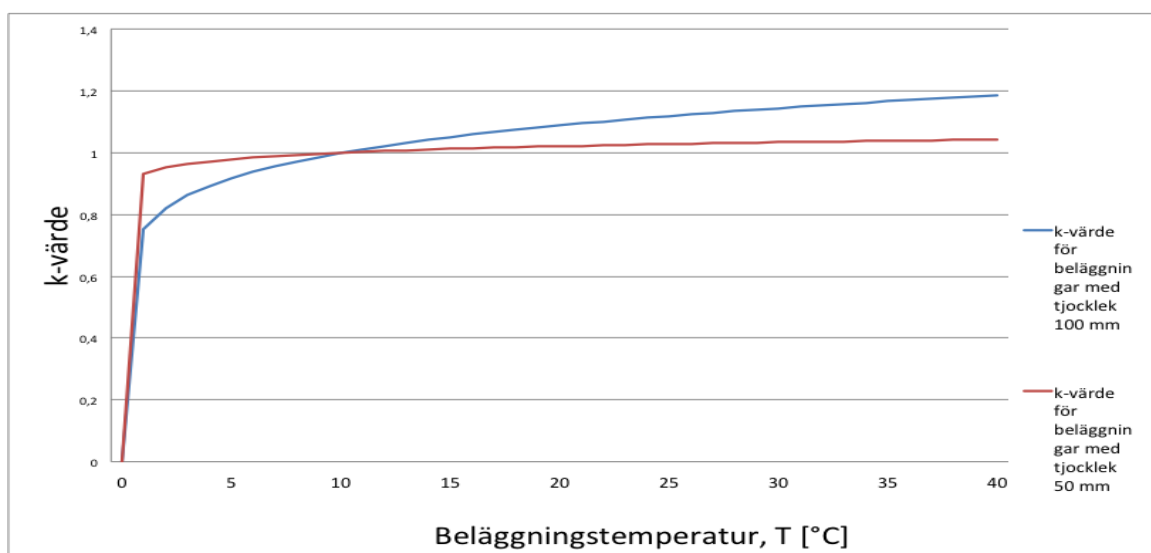
För att kunna analysera mätvärdena hämtades trafikdata från den Objekts Tekniska Beskrivningen (OTB) och information om asfaltstjocklek hämtades från entreprenören.

Tabell 4. 11

Objekt 3 Avsnitt	Beläggningstjocklek (mm)	Total trafikbelastning (milj. Std-axlar)
A	140	12,24
B	130	7,96

Fallviktsmätning på beläggningsytor under 0°C

Vid beräkning av temperaturkorrigering av asfaltstjörning används ekvation 3.12 som kan skrivas om enligt ekvation 3.13. Det är viktigt att beläggningsens temperatur är positiv, alltså högre än noll, eftersom ekvationen är anpassad för dessa värden se figur 4.11.



Figur 4. 11 Temperatur korrigering av asfaltstjörning, k-värde.

Fallviktsmätningar som utförs då beläggningstemperaturen är under 0°C är enligt TRVMB 112 (Trafikverket, 2012b) en icke godkänd mätning. Hur mycket skiljer sig data som fås ur en fallviktsmätning utförd då beläggningstemperaturen är mellan -3°C och 0°C och data från mätningar utförda då beläggningstemperaturen är mellan 0°C och 5°C ? För att kunna analysera beteendet hos asfaltstjörning som temperaturkorrigeras till referenstemperaturen 10°C utförs en grafisk visualisering genom att rita upp en trendlinje på en standardmätning. För att genomföra en sådan analys kommer två olika

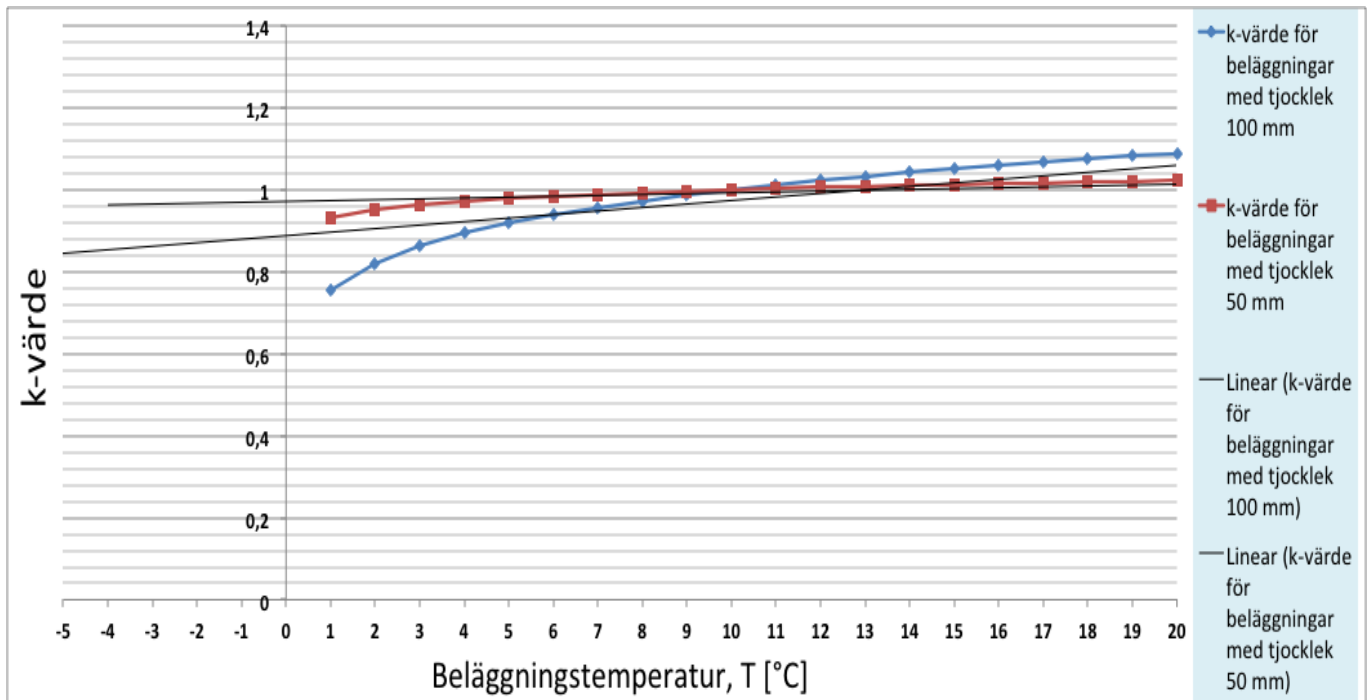
beläggningstjocklekar att studeras och jämföras. För att jämförelsen skall vara möjlig kommer deflektionsvärdet antas vara samma även ifall det i praktiken ser annorlunda ut. Notera att jämförelse kan göras bara på områden där det finns icke-tjälfarliga undergrundsmaterial. Detta eftersom tjälfarligt material bildar islinser som kan ge upphov till en högre bärförmåga. Deflektionsvärdet antas vara 0,0004 m.

Korrigerig av asfaltstjning

$$\therefore \varepsilon_{a,10} = \frac{\varepsilon_{a,T}}{k} \quad [3.13]$$

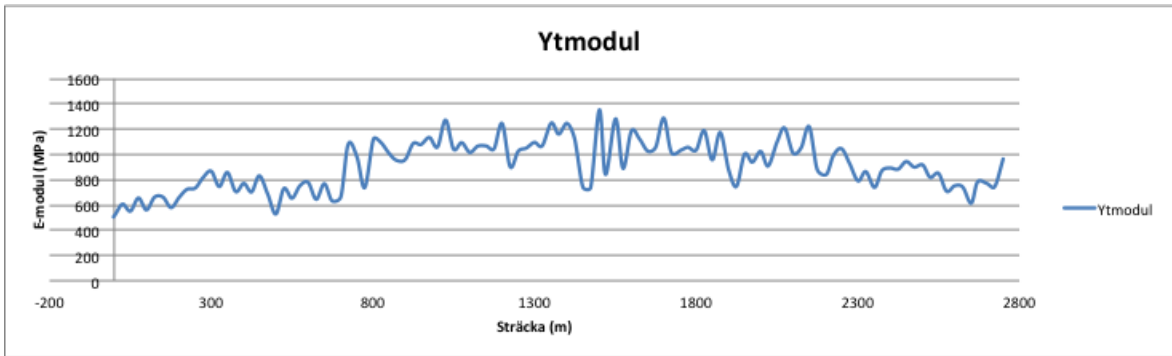
Där:

$$\begin{cases} \varepsilon_{a,T} = \text{asfaltstjningen} \\ \varepsilon_{a,10} = \text{den korrigerade asfaltstjningen} \\ k = \left(\frac{T}{10}\right)^{0,0308 \cdot h^2 \cdot D_0}, k \text{ är korrigeringsfaktor} \end{cases}$$



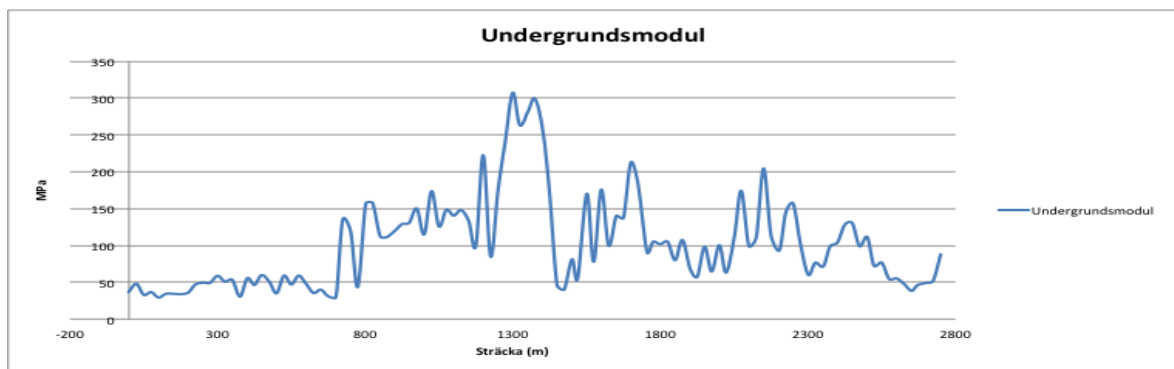
Figur 4. 12 Temperatur korrigeringsfaktor för asfaltstjning, k-värde med regressionslinje

Korrigeringsfaktorn för temperaturer som är nära -2°C och 0°C beter sig ungefär samma som vid 1°C för båda beläggningstjocklekar enligt figur 3.12. Det leder till att ett antagande kan göras, nämligen att beläggningstemperaturen kan korrigeras från -1°C och -2°C till 1°C och då med en korrigeringsfaktor som ligger på $\approx 0,95$ respektive $\approx 0,81$.



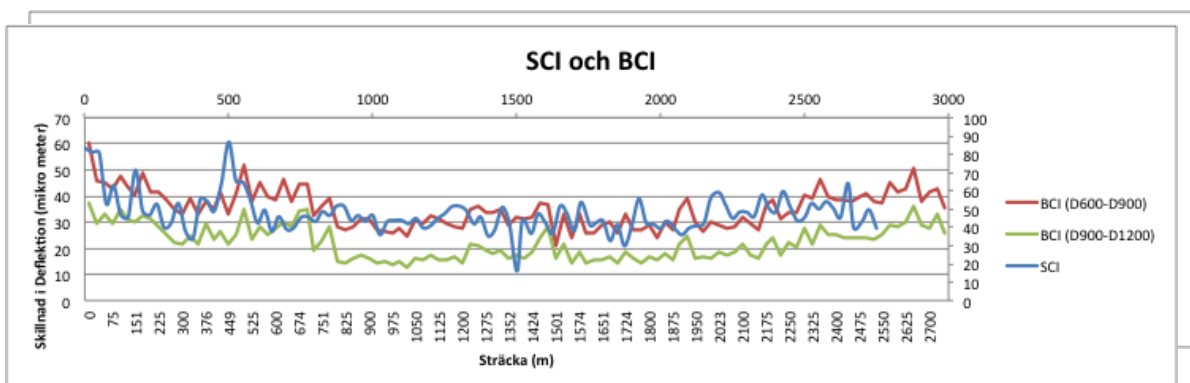
Figur 4. 13 Ytmodul för Objekt 3.

Ytmodulen varierar mycket för detta objekt. I mitten av sträckan är ytmodulen högre jämfört med resten av sträckan. Eftersom vägsträckan mättes under kalla klimatförhållanden är det intressant att analysera om variationen beror på olika förhållanden i undergrunder eller ifall det är själva konstruktionen som är heterogen. För att få en djupare förståelse har undergrundsmodulen, SCI, BCI och Bärförståelseindex analyserats.



Figur 4. 14 Undergrundsmodul för Objekt 3.

Enligt figur 4.14 finns det en ganska stor variation av undergrundsmodulen över hela sträckan. Undergrunden ligger på ungefär 50 MPa och sedan ökar markant till 300 MPa vid sektion 1100 m för att sedan variera mellan 50 MPa och 200 MPa.



Figur 4. 16 SCI och BCI för Objekt 3.

Tabell 4. 12 Statistiska värden över Objekt 3.

	10 percentil	90 percentil	Medelvärde
E0 [MPa]	660	-	914
U. modul	37	-	101
SCI	-	59	48
BCI (D600-D900)	-	45	35
BCI (D900-D1200)	-	30	22
BI	11	-	15

4.2.1 Analys av Objekt

Analys av fallviktsmätningar gjordes för att studera olika resultat för enskilda mått. Genom att undersöka vilket medelvärde en sträcka har samt 10- och 90-percentilerna, kan information om variation på vägsträckan tas fram. Skiftar medelvärdet och 10- och 90-percentilerna avsevärt kan slutsatsen dras att vägen inte är homogen. Det vill säga, ju närmare 10- och 90-percentilerna är medelvärdet, desto mer homogen är sträckan.

För att få ett pålitligt resultat på medelvärdet, är det bra att analysera många mätpunkter. Vid objekt som består av få eller enstaka mätpunkter, är det svårt att få ett tillräckligt representativt medelvärde, vid jämförelse av 10- och 90 percentilen. Detta gällde fallet vid analys av Objekt 2. Redovisning av fallviktsmätningen grafisk över vägsträckan var inte intressant, eftersom det ledde till flera grafer som beskrev små vägsträckor, som i sin tur ledde till en icke kontinuerlig vägsträcka. Fallviktsmätningar på korta delsträckor är alldeles för spretiga att redovisa grafiskt. Två förslag som kan göras för att åtgärda problematiken är följande:

1. Införa fler mätpunkter vid mätning av delsträckor som är kortare än 200 meter.
2. Inte ha bärighetskrav som funktionskrav för objekt som är kortare än 200 meter.
3. Utvärdera bärighet hos vägen genom ett funktionskrav på vägytan.

De två sistnämnda punkterna, är egentligen inga åtgärder, eftersom en uteslutning av vägsträckor, mindre än 200 meter från funktionskravet bärighet, kan innebära en stor risk för beställaren. Det är även ingen åtgärd som görs vid införandet av ett funktionskrav på vägytan, för att sedan ange dess bärighetstillstånd.

Enligt Objektspecifika tekniska beskrivning skall kontrollkrav på bärighet utföras tidigast en månad före trafiköppning. Krav på inom vilken tidsram kontrollen skall ske ger entreprenören lite utrymme för att utföra en korrekt fallviktsmätning. Med ordet korrekt menas i detta fall under gynnsamma klimatförhållande, till exempel en beläggningstemperatur som är representativ för året. Om vägen byggs klart i december månad, samtidigt som en kontroll av vägen sker vid samma tidpunkt, utförs en

fallviktsmätning under ett klimatförhållande som inte är godkänt enligt Trafikverket (2012a).

Som tidigare nämnts i intervjustudien är fallviktsmätningar mycket pålitliga om de utförs under rätt förhållanden. Om de utförs när beläggningstemperaturen ligger under 0 grader är överbyggnaden kanske påverkad av tjäle, vilket innebär en risk för bildning av islinser i vägbyggnaden. Bärigheten ökar under vintertid, då vägkonstruktionens olika komponenter blir styvare. Det var svårt att tolka mätresultaten på Objekt 3 eftersom det är tveksamt ifall de goda mätresultaten beror på bra kvalitet hos vägkonstruktionen eller om det beror på frysta vägkomponenter.

5. Diskussion

5.1 Resultatdiskussion

Vid intervjuer med olika aktörer inom branschen visar det sig att det finns gemensamma åsikter gällande frågan om att det borde ställas bärighetskrav vid upphandling av funktionsentreprenader. Alla respondenterna reflekterade även över konsekvenser av ett sådant krav, utan att komma vidare till ett svar. Det framgår tydligt att det borde finnas ett krav på bärighet men det är oklart på vilket mått som det skall bestå av. Respondenterna beskrev varje bärighetsmått med dess styrkor och svagheter. Det är många synpunkter som respondenterna har som stämmer överens med varandra vad gäller beskrivning av varje mått. Som tidigare nämnt i analysen av intervjurest resultaten är det komplicerat att välja ett mått som kravet skulle bestå utav.

Vid valet av ett mått kom det fram i analysen att det skall övervägas mellan ett svenskt- eller internationellt mått. Bärförmågeklasser är ett svenskt mått och ytmodul, undergrundsmodul, SCI och BCI är internationella mått. Fördelen med bärförmågeklasser är att den är väldigt pedagogisk och lätt att förstå. Nackdelen är att det finns brist i måttet då det är relativt enkelt att uppnå bärförmågeklass 1 för nybyggnationer. Den är alltså inte anpassad för alla typer av vägkonstruktioner samt att det asfaltstojningen som beräknas är fiktiv.

Det finns alltså fler nackdelar än fördelar med Bärförmågeklass som ett mått. Vilket leder till slutsatsen att det är bättre att använda sig utav ett internationellt mått. Fördelen med ett mått som är internationellt är att det är välbeprövade mått som dessutom ger möjlighet till internationella samarbeten med länder som har liknande klimat eller undergrund.

Nästa reflektion som uppstår vid val av bärighetsmått är om måttet skall vara ett mått som i ett och samma mått anger hur bärigheten är för både vägkonstruktionen och underliggande material eller ett mått som anger bärighet för varje del av konstruktionen var för sig. Vid det valet är det viktigt att bestämma sig för syftet av en bärighetskontroll. Kontrolleras det hur väl entreprenören har utfört sitt jobb (teknisk lösning, val av vägkomponenter och utförande) eller kontrolleras livslängden på vägen?

Om det är livslängden som kontrolleras så framgår det att ytmodul i kombination med undergrundsmodul fungerar ordentligt eftersom ytmodulen anger hur stark/svag vägen och undergrunden tillsammans är. För att inte få en vilseledande ytmodul (se kap 4.1) är det viktigt att känna till undergrundsmodulen. Vill beställaren istället få kännedom om vägkonstruktionen och vilka partier i konstruktionen som är starka/svaga är de mer tillämpliga att använda sig utav SCI och BCI. Dessa mått anger ett förhållande mellan olika lager av vägkonstruktionen.

Ett förslag för att lösa problematiken är att beställare och entreprenören tillsammans bestämmer vad kontrollen ska bestå av. Uppföljning av mätresultaten behöver också redovisas. Båda parterna behöver komma överens om vad syftet är med bärighetskontrollen. Saknar projektledaren från trafikverket den tekniska bakgrunden för att ta fram en sådana krav är det rekommenderat att en sakkunnig representant konsulteras. Det är funktionsentreprenader som kontrolleras där tekniska lösningar har omvandlats till

tekniska krav. Kommer kravet att kontrollera hur bra entreprenören har utfört sitt jobb eller enbart kontrollera hur starkt vägen och underliggande material beter sig. En viktig aspekt som finns är förtroendet som finns mellan beställaren och entreprenören och det är intressantare att se hur entreprenören har levererat det som lovades än att enbart se hur stark vägen är. Genom att kontrollera konstruktionen och undergrunden var för sig är det lättare att förstå om det ligger brister hos konstruktionen eller undergrunden. Det underlättar även arbetet för nästa process som är hur ersättning för en dålig bärighet ska behandlas. Slutsatsen för vad det är för bärighetsmått som skall användas vid kontroll av bärighet är SCI, BCI och undergrundsmodul.

Hur tillämpbar fallviktsapparat är för olika objekt visar sig vara olika enligt resultatet från de tre objekten som studeras i kapitel 4.2. Består objektet av ett flertal kortare vägar blir det svårt att tolka resultatet. Att låta bli att mäta kortare sträckor då det är svåranalyserat verkar riskabelt för beställaren. Det kan exempelvis vara ramper som sträcker sig över ± 150 meter. Det är lika viktigt att ha en god bärighet hos kortare sträckor som binder samman vägar som vid längre och kontinuerliga vägar. En lösning för fallviktsmätningar av kortare sträckor är att det skall utföras kontrollpunkter med tätare avstånd. Denna tillämpning av mätkontroll kommer ge utrymme för mer data att analysera.

Vid fallviktskontroll utförda när beläggningstemperaturen är under 0°C finns det en osäkerhet eftersom det inte går att avgöra vad mätresultaten beror på. När resultaten inte är pålitliga kan de inte beaktas som underlag för bedömning av vägens bärighet. Problematiken ligger i att det är svårt att inte öppna en färdigbyggd väg för trafik eftersom det skulle innebära stora samhällsekonomiska förluster. Vid öppning av en väg för trafik behöver en bärighetsmätning utföras. En lösning för sådana objekt kan vara en kompletteringsmätning. Det rekommenderas att en kompletterande mätning utförs inom ramen av 1 år. Kompletteringsmätning bör gälla även under sommartid, vid en beläggningstemperatur över 25°C . Asfalt blir mjuk vid höga temperaturer och visar då sämre bärighetsförmåga i jämförelse med lägre temperaturer. Slutsatsen är att sker det en fallviktsmätning som utförts under ogynnsamt klimatförhållande, så borde det kompletteras med ytterligare en mätning inom 1 år.

5.2 Metoddiskussion

Metoden som användes i detta arbete har fungerat väl för att samla in data. Intervjuerna som utfördes under arbetets gång har varit mycket givande för arbetet. Den breda kunskapen som finns hos vägtekniker över hela landet och utomlands har möjliggjort att arbetet fått ett nyanserat innehåll. En annan faktor som har varit väldigt givande för arbetet har varit att respondenterna hade olika bakgrund och kunde prata om hur de såg på frågorna från var sitt perspektiv. Med detta fick intervjuaren en djupare förståelse för ämnet. Att ha halvstrukturerade intervjuer tillät respondenterna att berätta om ämnet med en större frihetsgrad.

Litteraturstudien blev till en mycket bra grund att ha vid intervjuerna då svaren från respondenterna innebar en större utsträckning och fördjupning kring ämnet. En begränsning som har noterats med denna typ av intervju är att det är svårt att få all information till ett konkret resultat. Ju fler personer som intervjuades desto mer komplext och brett blev ämnet, vilket medförde att antalet intervjuobjekt blev lite mindre än vad som hade tänkts från början.

Objekten som valdes visar hur resultaten kan variera beroende på hur fallviktsmätningen är utförd och vilken typ av väg som studeras. Det var intressant att få rådata från

fallviktsmätningar och sedan i Excel bearbeta datan. På så sätt fick man ökad inblick i samt bättre kännedom för hur en fallviktsmätning fungerar och en bättre förståelse för matematiken bakom varje bärighetsmått. Det visade sig under arbetets gång att det var en stor utmaning att få tag på fallviktsmätningar. En stor fördel var att mätningarna som kunde samlas var varierande och gav arbetet en intressant inriktning.

5.3 Slutsatser

Funktionskrav på bärighet är enda sättet att kontrollera om vägen kommer att hålla hela dimensioneringsperioden. Utförs mätningen enligt metodbeskrivningen borde det inte finnas osäkerheter i mätresultaten. Studieobjekten visar att kontrollkrav med fallviktsmätning är anpassad för alla typer av vägar men vid mätning av korta sträckor är det svårt att analysera sträckan enligt Trafikverket (2012a). Vid kortare sträckor som i fallobjekt 2 är en att mätpunkterna borde tas var tjugofemte meter istället för var femtionde meter. Objekt 3 var ett bra exempel på hur svårt det blir att tolka mätresultaten vid ogynnsamt klimatförhållande, vilket leder till slutsatsen att om kontrollen utförs när beläggningstemperaturen är över- eller under kravgränsen så skall det utföras en kompletterande mätning inom 12 månader.

Att bestämma vilket bärighetsmått som skall användas visade sig vara svårt eftersom varje mått har sina för- och nackdelar. Det som framkommer tydligt är att det borde finnas mer än ett mått som kravet ska uppfylla. Slutsatsen är att det är fördelaktigt att använda ett mått som är internationell, som ger möjlighet till internationella samarbeten med länder som har liknande klimat eller undergrund. Detta leder till att SCI, BCI och undergrundsmodul är bärighetsmått som verkar vara mest tillämplade vid kontroll av bärighet. SCI för att kontrollera överdelen av vägkonstruktionen, BCI för att kontrollera underdelen av konstruktionen och undergrundsmodul för att kontrollera terrassen.

Med dessa slutsatser kommer jag att nämna några rekommendationer till vidare studier och till Trafikverket.

Rekommendationer

I detta kapitel kommer jag i små korta stycken ta fram några observationer som gjorts under arbetets gång. Min förhoppning är att dessa observationen beaktas av trafikverket, vägtekniker och entreprenörer som jobbar inom branschen. Här finns dessutom olika frågor som framtida studenter kan forska/skriva om.

- ✚ Komplettering av TRVMB114 (Trafikverket, 2012a) metodbeskrivning med ytterligare två bärighetsmått: BCI och undergrundsmodul.
- ✚ Trafikverket borde få ihop en kontrollorganisation som tar emot samt behandlar data om vägarna som är byggda från totalentreprenader och funktionsentreprenader. Rekommendationen görs eftersom vid ett tidigt skede i examensarbetet, visade sig att fallviktsmätningar som utförts enligt kontrollkravet som står i OTB var svåra att samla in. Med en kontrollorganisation menar jag en samlingsdatabas inom Trafikverket som alla vägtekniker inom Trafikverket får tillgång till. På så sätt kan fallviktsmätningarna som utförs inom varje entreprenad i landet vara samlade i en och samma databas. Detta förslag görs för att förenkla framtida forsknings- och utvecklingsarbete.

-
- ✚ Vem bör ansvara för utförandet av fallviktsmätning? Trafikverket? Eller entreprenören? Om trafikverket får ansvaret skulle det innebära ett större ansvar för beställaren som kommer att behöva anlita en sakkunnig person inom området. Om entreprenören får ansvaret skulle det innebära att beställaren behöver beskriva det i OTB. Entreprenören behöver då ekonomiskt stå för mätningen och tolkning av mätresultaten.
 - ✚ en lösning vid mätningar av kortare sträckor är att utföra kontrollpunkter med tätare avstånd. Denna tillämpning av mätkontroll kommer att ge utrymme för mer data att analysera.
 - ✚ Beställare som får fallviktsresultat från en kontroll utförd under vinter eller sommar bör få en kompletteringsmätning inom ett år.

Referenser

Muntlig källa:

- Anders Lenngren (den 04–2017). (L. Rashid, Intervjuare)
Fredrik Bengtsson (den 05–2017). (L. Rashid, Intervjuare)
Per Viktorsson (den 03–2017). (L. Rashid, Intervjuare)
Sven Agardh (03–2017). (L. Rashid, Intervjuare)
Timo Saarenketo (den 04–2017). (L. Rashid, Intervjuare)
Wiström, M. (den 28 07 2017). (L. Rashid, Intervjuare)

Skriftlig källa:

- Aavik, A., & Talvik, O. (2008). *Use of falling weight deflectometer (fwd) measurement data for pavement structural evaluation and repair design*. Environment engineering , Transportation . Tallinn : Tallinn University of Technology.
- Agardh, S., & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. Egypten: Liber.
- Beltrán, G., & Romo, M. (den 21 04 2014). *Assessing artificial neural network performance in estimating the layer properties of pavements*. Hämtat från Ingeniería e Investigación:
<http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeviv/rt/printerFriendly/42158/47438> den 01 08 2017
- Bergqvist , & et al. (2012). *Offentlig upphandling av entreprenader inom byggsektorn*. Stockholm: AB Svenska Byggtjänst.
- Cornell Local Roads Program. (2005). *An Important Tool for Highway Management*. Hämtat från <http://www.cornell.edu>:
http://www.clrp.cornell.edu/nuggets_and_nibbles/articles/2005/fwd.html den 08 08 2017
- Haraldsson, M. (2004). *Funktionsentreprenad- om styrning av vägprojekt på entreprenad* . Stockholm : Svenska Byggbranschens utvecklingsfond.
- Isacson, U. (2000). *Drift och Underhåll av vägar och gator*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

-
- Jansson , H., & Said, S. (2001). *Töjningskriterier tunna beläggningar* . Linköping: VTI.
- Körkortskolan. (den 09 08 2017). *vattenplaning*. Hämtat från körkortskolan.se: <http://www.korkortskolan.se/korkortsteori/ordlista/vattenplaning> den 09 08 2017
- Karlsson , R., & Wennström, J. (2012). *Upphandling av väg N610- totalentreprenad som funktionellt helhetsåtgärder under sju år*. Linköping: VTI.
- Lantz, A. (2013). *Intervjumetodik* (Vol. 3). Lund: Studentlitteratur.
- Olsson, U. K. (2012). *Funktionsentreprenad-Upphandling och genomförande av bygg- och anläggningsentreprenader som drivs som fuktionsentreprenader*. Luleå: Byggherrarna Sverige AB.
- Ramböll RST. (2015). *Fallviktsmätning väg 1123 och 1290*. Malmö: Ramböll .
- Sefastsson, A.-K. (2014). *Vilkor under garantitid i entreprenadsförsäkring- en jämförande studie*. Stockholm : Kungliga Tekniska Högskolan .
- Svensk Byggtjänst. (u.d.). *AMA-Anläggning*. Hämtat från byggtjänst.se: <https://byggtjanst.se/tjanster/ama/ama-anlaggning/> den 04 04 2017
- Trafikanalys. (2015). *Trafikverkets arbete för ökad produktivitet och innovation i anläggningsbranschen*. Stockholm : Trafikanalys .
- Trafikverket. (2002). *ATB VÄG, Kapitel C Dimensionering*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2011). *TRVK Väg*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2012a). *TRVMB 114 Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2012b). *TRVMB 112*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2013). *Objektspecifik Teknisk Beskrivning, väganläggning E6.01, TRAFIKPLATS SPILLEPENGEN OCH ANSLUTNING TILL SPILLEPENGSGATAN*. Malmö: Malmö Stad & Trafikverket.
- Trafikverket. (2017). *TB Mall för TE, version 6*. Trafikverket.
- Upphandlingsmyndigheten. (2017). *Framgångsfaktorer för att ställa funktionskrav i upphandlingar - förberedande arbete*. Hämtat från upphandlingsmyndigheten.se: <http://www.upphandlingsmyndigheten.se/globalassets/omraden/framgangsfaktorer-funktionskrav.pdf> den 05 08 2017
- Vägverket. (2000). *VVMB114*. Borlänge: Vägverket.
- Wahlman, T. (2014). *Jämnt hela vägen*. (C. Glans, Red.) Malmö: Ramböll Sverige AB.