

Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat

Metodbeskrivning 114:2000



Enheten för statlig väghållning
Lars Jacobsson, 0243-751 21

Datum
2000-05-19
Ert datum

Beteckning
BY20A 99:3235
Er beteckning

Sändlista

Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat (VV publ 2000:29)

Härmed översänds rubricerat dokument.

Sedan 1998 har Vägverket en metodbeskrivning för mätning av deflektioner vid provbelastning av vägkonstruktioner med fallviktsapparat, VVMB 112.

Bifogade beskrivning ska användas när sådana deflektionsmätdata används för att klassa bärförmåga, vid utformning av belastningsrestriktioner, för att prognosticera vägbanans tillståndsutveckling, för planering av strukturella åtgärder och vid efterkontroll av utförda strukturella åtgärder. Analyserna är i första hand avsedd för vägar med bitumenbundna lager och liknar till stora delar de som ligger till grund för kapitel 3 "Konstruktiv utformning av överbyggnad" i VÄG 94. Beskrivningen stödjer arbete enligt kapitel 3 "Dimensionering av bärlighetshöjande åtgärder" i Vägunderhåll 2000.

Synpunkter och frågor rörande denna publikation riktas till Vägavdelningen i Borlänge. Avdelningen tar även tacksamt emot information om eventuella problem som uppstår, samt förslag till framtida förbättringar.

Med vänlig hälsning

Rolf Johansson

Chef Enheten för statlig väghållning

Huvudkontoret

Postadress

781 87 BORLÄNGE

Besöksadress

Röda vägen 1

Telefon

0243-75 000

Telefax

0243-758 25

E-postadress

vagverket@vv.se

Upphovsman (författare)
Vägavdelningen
Kontaktperson: Johan Granlund

Dokumentets titel
Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat.

Huvudinnehåll
Deflektionsmätdata från provbelastning av vägkonstruktion med fallviktsapparat (se VVMB 112) kan bearbetas enligt denna beskrivning för att klassa bärförmåga, vid utformning av belastningsrestriktioner, för att prognosticera tillståndsutveckling, för planering av strukturella åtgärder samt vid utvärdering av uppnådda effekter från genomförda åtgärder. Analyserna är i första hand avsedd för vägar med bitumenbundna lager och liknar till stora delar de som ligger till grund för kapitel 3 ”Konstruktiv utformning av överbyggnad” i VÄG 94. Beskrivningen stödjer arbete enligt kapitel 3 ”Dimensionering av bärig-hetshöjande åtgärder” i Vägunderhåll 2000.

Utgivare
Enheten för statlig väghållning

ISSN 1401-9612
Vägverkets tryckeri i Borlänge 2000.

Nyckelord
Väg, vägunderhåll, beläggning, provbelastning, fallviktsapparat, deflektion, nedsjunkning, styvhet, bärlighet, bärförmåga, analys, beräkning, klassning, dimensionering, kontroll.

Distributör (namn, postadress, telefon, telefax)
Vägverket, Avd för intern service, 781 87 BORLÄNGE, 0243-755 00, fax 0243-755 50

Huvudkontoret

Postadress

781 87 BORLÄNGE

Telefon

0243 - 750 00

Telefax

0243 - 758 25

Innehåll

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | SAMMANFATTNING | 2 |
| 2 | BEGREPP | 3 |
| 2.1 | ENHETER..... | 3 |
| 2.2 | BETECKNINGAR | 3 |
| 2.3 | BENÄMNINGAR | 3 |
| 3 | BRUKSVILLKOR | 7 |
| 4 | DISKRIMINERING AV MÄTVÄRDEN | 8 |
| 5 | ENKLA BÄRIGHETSMÅTT | 9 |
| 5.1 | YTMODUL OCH MEDELMODULER | 9 |
| 5.2 | UPPSKATTAD UNDERGRUNDSMODUL | 10 |
| 5.3 | ”SURFACE CURVATURE INDEX”..... | 10 |
| 5.4 | UPPSKATTAD ASFALTTÖJNING | 11 |
| 5.5 | KRÖKNINGSRADIE..... | 11 |
| 6 | ANALYS AV STRUKTURELLT TILLSTÅND HOS BEFINTLIG KONSTRUKTION | 12 |
| 6.1 | RESPONSMODELLO..... | 12 |
| 6.2 | BERÄKNING AV E-MODULER, SPÄNNINGAR OCH TÖJNINGAR | 12 |
| 6.2.1 | <i>Data från provbelastning</i> | 12 |
| 6.2.2 | <i>Lagertjocklekar</i> | 12 |
| 6.2.3 | <i>Lagermodell</i> | 12 |
| 6.2.4 | <i>Materialparametrar</i> | 15 |
| 6.2.5 | <i>Kontroll av lösning</i> | 17 |
| 7 | DIMENSIONERING MED HÄNSYN TILL TRAFIKLAST | 18 |
| 7.1 | KLIMAT..... | 19 |
| 7.2 | PÅBYGGNADSMATERIAL | 20 |
| 7.2.1 | <i>Asfaltbundna påbyggnadsmaterial, nyttillverkade</i> | 20 |
| 7.2.2 | <i>Påbyggnadsmaterial av återvunnen asfaltbeläggning</i> | 20 |
| 7.2.3 | <i>Obundna påbyggnadsmaterial</i> | 20 |
| 7.3 | ELASTICITETSMODULER HOS BEFINTLIGA ASFALTBUNDNA MATERIAL..... | 21 |
| 7.4 | ÅRSTIDSJUSTERING AV E-MODULER HOS BEFINTLIGA OBUNDNA MATERIAL..... | 21 |
| 7.5 | DRÄNERINGSSITUATION..... | 22 |
| 7.6 | TRAFIKLAST..... | 22 |
| 7.7 | BESTÄMNING AV GRÄNSVÄRDEN | 24 |
| 7.8 | ENSTAKA LAST..... | 25 |
| 7.9 | OSÄKERHET OCH SPRIDNING, SAMT GRANSKNING AV RESULTAT | 25 |
| 7.10 | BERÄKNINGSPROGRAM | 26 |
| 7.10.1 | <i>Clevercalc-programmet</i> | 26 |
| 7.10.2 | <i>Clevergold-programmet</i> | 26 |
| 7.10.3 | <i>Cleverlay-programmet</i> | 26 |
| 8 | KLASSNING AV BÄRFÖRMÅGA | 27 |
| 9 | KONTROLL AV UTFÖRD ÅTGÄRD | 29 |
| 9.1 | ENTREPRENAD MED FUNKTIONSANSVAR | 29 |
| 9.2 | ENTREPRENAD UTAN FUNKTIONSANSVAR (UTFÖRANDEENTREPRENAD) | 29 |
| 10 | RAPPORT | 30 |
| 10.1 | RAPPORTENS OMFATTNING | 30 |
| 11 | REFERENSER | 31 |

1 Sammanfattning

Beskrivningen omfattar formler för beräkning av ”enkla bärighetsmått”, en enkel metod för bärformågeklassning, en mer avancerad byggnadsmekanisk analysmetod för att optimera avvägningen mellan risk (för underdimensionering) och resursförbrukning vid utformning av bärighetshöjande åtgärder, samt en metod för efterkontroll av utförda bärighetshöjande åtgärder. Analyserna är i första hand avsedd för vägar med bitumenbundna lager och liknar till stora delar de som ligger till grund för kapitel 3 ”Konstruktiv utformning av överbyggnad” i VÄG 94 [3]. Beskrivningen stödjer arbete enligt kapitel 3 ”Dimensionering av bärighetshöjande åtgärder” i Vägunderhåll 2000 [1]. I beskrivningen förutsätts tillgång till deflektionsmätdata, insamlade vid provbelastning med fallviktsapparat enligt VVMB 112 [2]. I VVMB 112 framgår hur planering av mätning ska utföras och gränser för när mätning får ske. Val av vilka vägsträckor som ska mätas regleras ej här. Uppgifter om vägytans och dräneringens tillstånd, lagertjocklekar, typ av material, temperatur-/klimatförhållanden och förekomst av tung trafik kan nyttjas till att förbättra analyskvaliteten. En handfull viktiga begrepp definieras i kapitel 2. I kapitel 3 framgår bruksvillkor för analysen, viktiga att känna till för väghållare och för alla som engageras i vägunderhållsprojekt. Hur sådana mätvärden som är uppenbart felaktiga ska hanteras, framgår av kapitel 4. Några bärighetsmått, vilka inte kräver omfattande beräkningsarbete redovisas i kapitel 5. I kapitel 6 beskrivs beräkning av styvheter (E-moduler) för olika lager i vägen, samt påkänningar i dem. E-modulerna kan sedan användas för att beräkna eventuellt förstärkningsbehov, vilket beskrivs i kapitel 7. I kapitel 8 redovisas en klassning av vägens bärformåga. Kontroll av utförda entreprenadarbeten beskrivs i kapitel 9. Hur analysen ska rapporteras regleras i kapitel 10. Referenser har samlats i kapitel 11.

2 Begrepp

2.1 Enheter

I publikationen tillämpas enheter enligt svensk standard (SS):

| | |
|------------|-------------------|
| längd | m |
| kraft | N |
| påkänning | Pa |
| tunghet | kN/m ³ |
| densitet | kg/m ³ |
| temperatur | °C eller K |

2.2 Beteckningar

D_0 = deflektion [μm] i centrum av belastningen

D_r = deflektion [μm] på avståndet r från belastningscentrum

r = avstånd [mm] från deflektionssensor till belastningscentrum

ν = tvärkontraktionstal [dimensionslöst]

σ_0 = kontaktryck [MPa] under belastningsplattan. Med plattradien 150 mm och 50 kN belastning är kontaktrycket 0.7 MPa

a = belastningsplattans radie [mm]. Oftast används plattor med $a = 150$ mm

2.3 Benämningar

Bruksvillkor

Områden för mätstorhet respektive influensstorheter inom vilka ett mätdons fel och andra egenskaper ska uppfylla ställda specifikationer.

Bärförmåga (eller bärighet)

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

Deflektion

Vägytans nedböjning vid belastning från en fallviktsapparat.

Deflektionsbassäng

Vägytans nedböjning uppmätt i belastningscentrum och i andra punkter på olika avstånd därifrån.

Deformation

Form- eller volymändring som varje kropp undergår vid mekanisk belastning. ~ kan vara återgående vid avlastning (elastisk) eller permanent (plastisk).

Diskriminering av mätvärden

Systematisk metod att utesluta felaktiga eller av annat skäl opassande mätvärden.

Elasticitetsmodul

En konstant som karakteriserar styvheten (sambandet mellan spänning och töjning) hos ett elastiskt material.

Fallviktsapparat

Eng: *Falling Weight Deflectometer, FWD*

Apparat, vilken mäter vägytans nedsjunkning / deflektion, under belastning motsvarande en överfart av ett hjul från ett tungt fordon.

Förutvarande trafik

Den tunga trafik som belastat vägen under tiden från senaste strukturella åtgärd till tidpunkt för analys eller planerad åtgärd.

Homogent material

Ett material som är alltigenom likartat.

Isotrop material

Ett material som har samma egenskaper i alla riktningar.

Kriterium

Ett kriterium är en verbal beskrivning av den effekt, exempelvis utmattningssprickor eller deformationer, som är av intresse. Gränser (gränsvärden) sätts för att säkerställa en acceptabelt låg sannolikhet för den effekt som kriteriet definierar. Kriterier förklarar alltså orsakerna till de olika gränsvärdena.

I detta sammanhang beräknas gränsvärden från kända samband mellan töjningsnivå och tillåtet antal lastväxlingar.

Lagermodell

Avbildning av vägkonstruktionen, där den delats in i konstruktiva lager. Vid tillämpad analys anges dessutom lagrens tjocklekar.

Linjärelastiskt system

Beräkningsmodell där sambandet mellan töjning och spänning är linjärt, såväl horisontellt som vertikalt.

Mätning

Serie åtgärder för bestämning av storhetsvärde.

Mätresultat

Produkten av mätetal och måttenhet. Mätvärde kan därvid ha korrigerats genom kalibrering för att ta kända systematiska fel i beaktande.

Mätstorhet

Egenskap som är föremål för mätning.

Mätvärde

Storhetsvärde jämfört med måttenhet. Kan vara identiskt med mätresultat.

Ojämbetsprofil

De vertikala avvikelserna hos vägytan, jämfört med en etablerad referens parallell med färdriktningen.

Passningsräkning (eller bakåträkning)

Metod där styvhetstal för konstruktiva lager och undergrund ansätts och ytans nedsjunkning vid belastning beräknas, varefter en jämförelse görs med de uppmätta nedsjunkningarna. Därefter ändras modulerna i ett iterativt förfarande intill dess beräknade och uppmätta nedsjunkningar överensstämmer. Den sista moduluppsättningen ger så de påkänningar man är intresserad av - töjningar och spänningar.

Percentilvärde

D-percentilen avser det värde som underskrids av d% i fördelningen hos en värdemängd.

Referenstemperatur

Vid analys av lager med temperaturberoende egenskaper, ex.vis. bitumenbundna lager, måste den styvhet som beräknats vid den temperatur lagret hade vid provningstillfället omräknas till motsvarande styvhet vid referenstemperaturen. Detta är nödvändigt för att kunna göra jämförelser och dimensioneringsberäkningar.

RMS, Root Mean Square

Här avses effektivvärdet (RMS) av passningsfelet. RMS-värdet nyttjas för att bedöma graden av passning.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2},$$

där d_{ci} = beräknad deflektion vid sensor i
 d_{mi} = mätt deflektion vid sensor i
n = antal sensorer som använts vid passningsräkningen

Formel 1 Effektivvärde (RMS) av passningsfel

Sprucket asfaltlager

Ett lager med asfaltmassa som är så svårt uppsprucket att det inte längre kan anses vara bundet genom kohesion av bitumen. Sådana lager anses i konstruktiv mening närmast fungera som ett friktionsmaterial, men med skillnaden att rörelser koncentreras till sprickplanen.

Standardaxel

Se VÄG 94 [3], kapitel 3.2

Tvärkontraktion

Formändring hos konstruktionsmaterial. Tvärkontraktionen anger förhållandet mellan töjning tvärs kraftriktningen och längs densamma. Den beskrivs med ett dimensionslöst tal, benämnt "Poissons tal".

Töjning

Dimensionslös storhet som anger relativ deformation av fasta eller flytande medier. Töjning i vägmaterial brukar anges i miljondelar (μ -strain). Man skiljer mellan normaltöjning (längdändring hos linjeelement) och skjuvtöjning (vinkeländring mellan ursprungligen vinkelräta linjeelement). Summan av normaltöjningarna i ett element är riktningsoberoende och utgör den relativa volymändringen, dilatationen. Skjuvning sker under konstant volym och motsvaras enbart av formändring, deviation. Vid stor relativ deformation (töjning) blir analysen icke-linjär, och en uppdelning måste normalt ske i ren deformation och stelkroppsrotation.

Undergrundsmodul

Den genomsnittliga E-modulen för lagret mellan överbyggnadens underkant och ett oändligt tjockt fiktivt styvt lager i undergrunden, vilket börjar på den nivå som inte påverkas av lastimpulsen från fallviktsapparaten.

Underhållsbeläggning

Underhållsätgård avseende enbart bundna lager. ~ kan utgöras av enbart påbyggnad med slitlager, alternativt med bundet bär- och bindlager plus slitlager. ~ kombineras ofta med geometrijusteringar; fyllning i svackor samt fräsning av toppar. Geometrin kan optimeras med datorstöd. Utförande maskiner kan likaledes styras med datorstöd. Se vidare i [5].
Fläckvisa reparationer ingår ej i begreppet ~.

Vägbana

Körbana jämte vägrenar.

Vägojämnhet

Beteckning för avvikelser från ett verkligt plan med karaktäristiska dimensioner, vilka påverkar fordonsrörelser, färdupplevelse, dynamiska laster, avvattning och vinterväghållning.

Ytmodul

Den fiktiva modul som kan beräknas för en yta om underlaget antas bestå av endast ett homogent, isotropt och linjärelastiskt lager.

3 Bruksvillkor

- Beskrivningen är avsedd att tillämpas på sådana konstruktioner, vars respons vid belastning motsvarande överfart av tunga fordon kan beskrivas av en linjärelastisk modell.
- Deflektionsmätning ska vara utförd enligt VVMB 112 [2]
- Gränsvärden enligt Formel 10 (s24) för dragtöjning i underkant av bitumenbundna lager enligt sprickkriteriet gäller för beläggningar tillverkade med bindemedel typ B180.
- Gränsvärden (enligt sprickkriteriet) för påkänningar i membranliknande beläggningar, dvs beläggningar tunnare än ca 75 mm, saknas för närvarande.
- Gränsvärden för påkänningar (enligt deformationskriteriet) inne i överbyggnaden saknas för närvarande. På vägavsnitt där den befintliga överbyggnaden har kommit att innehålla uppenbart olämpligt vägmateri¹, kan detta medföra hög risk för deformations-skador oavsett om gränsvärdet för vertikal trycktöjning på terrass underskrids eller ej.
- Dimensioneringen avser väg med normalt sidomothåll (stödremsa finns, innerslätten är inte brantare än 1:3). Om sidomothållet blir dåligt, krävs särskilda åtgärder utöver vad som framgår av dimensioneringsresultatet för att säkerställa acceptabel kantstabilitet.
- Det finns en rad faktorer som inte täcks in av analys enligt kapitel 6. Resultaten kan därför behöva kompletteras med praktisk hänsyn till dessa. Ett exempel på sådan faktor är bristande stabilitet (trots god styvhet) i de aktuella vägmaterialet.
- Vid analys av vägkonstruktion grundlagd på mycket lös jord, ska konsultation med geoteknisk expertis ske.
- Bärförmågeklassning enligt kapitel 8 avser i första hand ”strukturell” styrka (egentligen motstånd mot utmattning i verklig eller fiktiv beläggning). Denna klassning kan tillämpas på alla vanliga vägkonstruktioner, oavsett typ av slitlager.
- Mätningarna är att betrakta som färskvara med begränsad beständighet. Beräkningar från mätningar äldre än ca 5 år bör betraktas som mycket otillförlitliga, annat än i trendanalyser med mätningar från flera olika år.

Från bruksvillkoren kan, utöver villkor för metodens validitet, även behov av framtida FoU-arbete utläsas.

¹ Detta kan ex.vis ske genom materialomlagring orsakad av tjälrorelser och dålig bärighet. Genom undersökning med georadar kan vägavsnitt med tjälutmattningszoner (”frost fatigue zones”) identifieras [4].

4 Diskriminering av mätvärden

Deflektionsmätdata kan behöva uteslutas ur analysen av två skäl:

1. de är uppenbart felaktiga
2. de passar inte analysmodellen, se vidare nedan

Ett enkelt sätt att granska data är att rita upp och okulärt studera deflektionsbassängerna.

Diskriminering av mätdata ska utföras om deflektionsbassängen visar en orealistiskt avbildning av responsen. Ett exempel på detta är att en punkt på bassängen avviker markant från närliggande punkter.

En deflektionsbassäng som inte minskar successivt i riktning från lastcentrum är sannolikt felaktig. Även i fall där sådan bassäng inte är felaktig bör den dock uteslutas ur analysen.

Ingen deflektion får vid analysen vara 0 (noll).

Om konstruktionen har väsentligt skiftande egenskaper i längdled eller i tvärled just vid mätplatsen, kan detta ge upphov till en deflektionsbassäng med onormalt utseende.

Mätdata (även mätpunkter) kan behöva diskrimineras också i ett mycket sent skede av analysen. Ett exempel är att ingen rimlig lösning erhålls från beräkningen av E-moduler. Rimliga E-moduler för olika materialgrupper framgår i Tabell 3 och Tabell 4 (s16).

Om mätdata inte passar analysmodellen, ska modellen omprövas innan mätdata får uteslutas.

5 Enkla bärighetsmått

För en översiktlig och snabb uppskattning av det strukturella tillståndet kan vissa representativa parametrar användas. Det gemensamma för dessa är att de är enkla att beräkna med hjälp av mätta deflektioner.

Innan måtten beräknas, skall deflektionerna normeras linjärt tills de motsvarar den nominella lasten, om inte annat angetts är den 50,0 kN. Om kraften uppmäts till 50,9 kN innebär detta att alla deflektioner multipliceras med $50,0/50,9 = 0,982$. Vid större avvikelse än 5 % från nominell last är dock mätningen underkänd, se avsnitt 4.1.1 i VVMB 112 [2].

Nedan anges några mått som beskriver olika delar av vägkonstruktionen. Med hjälp av dessa kan alltså bärighetens variation längs vägen studeras (även D_0 kan användas för en relativ jämförelse). Med beaktande av trafiklasten kan även en kvalitativ bedömning göras; bra eller dålig bärighet. Vid användning av måtten, undantaget ”Undergrundsmodul”, måste även beläggningstemperaturen beaktas.

5.1 Ytmodul och medelmoduler

Ytmodulen och medelmoduler kan beräknas om underlaget antas bestå av endast ett homogent, isotropt och linjärelastiskt lager. Ytmodulen och medelmoduler kan beräknas med hjälp av deflektionen mätt på olika avstånd från belastningscentrum, se Formel 2 och Formel 3 [13].

$$E_0 = \frac{1000 * f * (1 - \nu^2) * \sigma_0 * a}{D_0},$$

där E_0 = ytmodul [MPa]
 $f = 2$ för segmenterad belastningsplatta, $f = \pi/2$ för styv² belastningsplatta
(övriga beteckningar, se avsnitt 2.2)

Formel 2 Ytmodul i centrum av belastningen

Ytmodulen och medelmodulerna beskriver hela konstruktionens styvhet. Undergrundens styvhet har störst inverkan på den beräknade modulen.

$$E_r = \frac{1000 * \sigma_0 * a^2 * (1 - \nu^2)}{D_r * r},$$

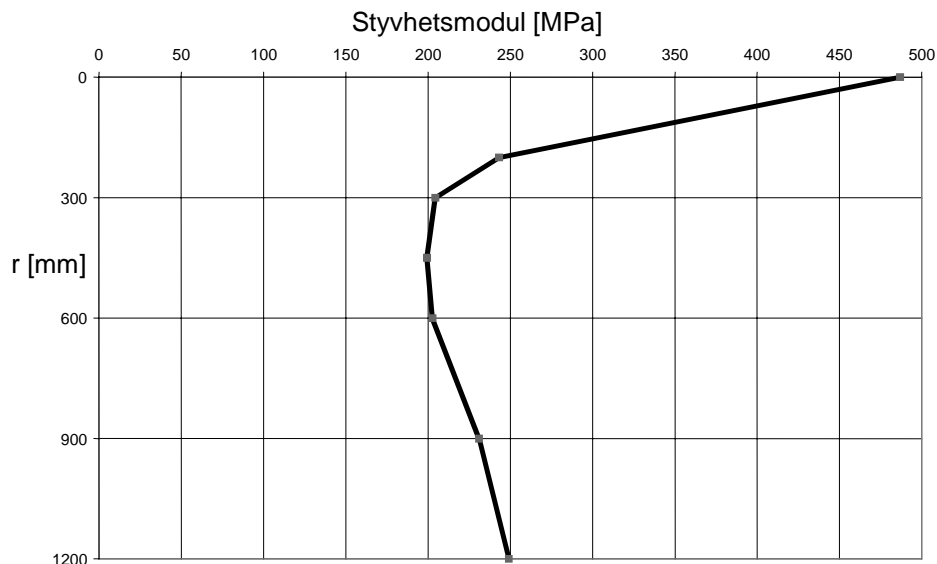
där E_r = medelmodul [MPa] på ett ekvivalent djup motsvarande r

Formel 3 Medelmodul på avståndet r från belastningscentrum

Medelmodulen enligt ovan beskriver konstruktionens styvhet under ett ekvivalent djup motsvarande avståndet r .

² Begränsning för bruk av styv platta framgår i VVMB 112 [2].

Genom att plotta yt- och medelmodulerna mot radien (ekvivalent djup), kan en uppfattning om konstruktionens styvhet på olika nivåer erhållas. Se exempel i Figur 1.



Figur 1 Exempel på ytmodul och några medelmoduler i en mätpunkt

5.2 Uppskattad undergrundsmodul

Undergrundens styvhet kan för ”byggda” vägar uppskattas med Formel 4 [7].

$$E_u = \frac{52000}{D_{900}^{1.5}},$$

där E_u = undergrundens E-modul [MPa]

Formel 4 Uppskattad undergrundsmodul

5.3 ”Surface Curvature Index”

”Surface Curvature Index”, SCI, är ett mått på styvheten av den övre delen av konstruktionen och kan användas för en relativ jämförelse. SCI beräknas enligt Formel 5 [16].

$$SCI = D_0 - D_{300},$$

där SCI = ”Surface Curvature Index” [μm]

Formel 5 Surface Curvature Index

5.4 Uppskattad asfalttöjning

Horisontell dragtöjning i underkant av beläggningen är ett mått på risken för utmattningssprickor i underkant av beläggningen. Den kan uppskattas med Formel 6 [6].

$$\epsilon_a = 37,4 + 0,988 * D_0 - 0,553 * D_{300} - 0,502 * D_{600},$$

där ϵ_a = töjning [μ -strain] i underkant beläggning

Formel 6 Uppskattad asfalttöjning

Temperaturkorrigerig av asfalttöjningen kan göras med Formel 13.

5.5 Krökningsradie

Krökningsradien på beläggningssytan är ett bärighetsmått som kan användas för en relativ jämförelse. Krökningsradien beräknas med Formel 7 [8].

$$R_{300} = \frac{45000}{D_0 * \left(\frac{D_0}{D_{300}} - 1\right)}$$

där R_{300} = krökningsradie [m]

Formel 7 Krökningsradie

6 Analys av strukturellt tillstånd hos befintlig konstruktion

Styvheterna hos vägkonstruktionens olika lager kan variera mycket redan vid nyproduktion, även vid godkänt utförande enligt specifikation [21]. De påverkas sedan av trafiklast, klimat och oxidation ("åldring"). Med kända lagertjocklekar, känd last och en responsmodell kan skattningar av de verkliga styvhetsmodulerna ("E-moduler") beräknas för olika lager i vägen. Ett stort antal beräkningsprogram finns för detta. Exempel på program är Vägverkets CLEVERCALC, samt ELMOD, MODULUS och MODCOMP.

Med beräknade E-moduler kan beläggningsens "kvarvarande livslängd" beräknas och dimensionering av förstärkning utföras, se kapitel 7.

6.1 Responsmodell

Vid beräkning av E-moduler används en linjärelastisk responsmodell. Samma modell används vid dimensionering av förstärkning. Materialen antas homogena och isotropa. Varje lager antas ha oändlig utsträckning i horisontalplanet och begränsad tjocklek i vertikallplanet, med undantag för det understa lagret som antas ha oändlig tjocklek. Lasten antas statisk.

6.2 Beräkning av E-moduler, spänningar och töjningar

Vid beräkningen antas E-moduler för olika lager. Med hjälp av t.ex. Clevercalc-programmet beräknas ytdeflektioner för detta system. De beräknade deflektionerna jämförs sedan med de uppmätta. I ett iterativt förfarande ändras E-modulerna tills de mätta och beräknade deflektionerna uppfyller ett visst krav på överensstämmelse.

Beräknad E-modul för ett lager påverkar övriga lagrets E-moduler (främst det ovanliggande lagrets modul).

6.2.1 Data från provbelastning

För analysen behövs uppgifter enligt VVMB112 [2] om belastning, kraft och belastningsplattans radie, samt om deflektioner och deflektionssensorernas placering.

6.2.2 Lagertjocklekar

Kännedom om lagertjocklekar behövs. Information kan hämtas från olika källor, t.ex. provhåll, georadarundersökning, revisionsritningar och Vägverkets PMS-databas.

De mest tillförlitliga uppgifterna om lagertjocklekarnas variation längs objektet ska användas.

6.2.3 Lagermodell

Antal lager skall vara högst fyra, oräknat ett styvt skikt i undergrunden.

6.2.3.1 Beläggning

För beräkning av beläggnings E-modul rekommenderas att lagret har en minsta tjocklek motsvarande halva radien av belastningsplattan [15], vilket normalt betyder minst 75 mm tjocklek. Vid tunnare beläggning antas en realistisk modul med hänsyn till temperatur och eventuell förekomst av sprickor, se Vägunderhåll 2000 [1] samt Tabell 1 i avsnitt 7.2.1.

6.2.3.2 Obundna lager i överbyggnad

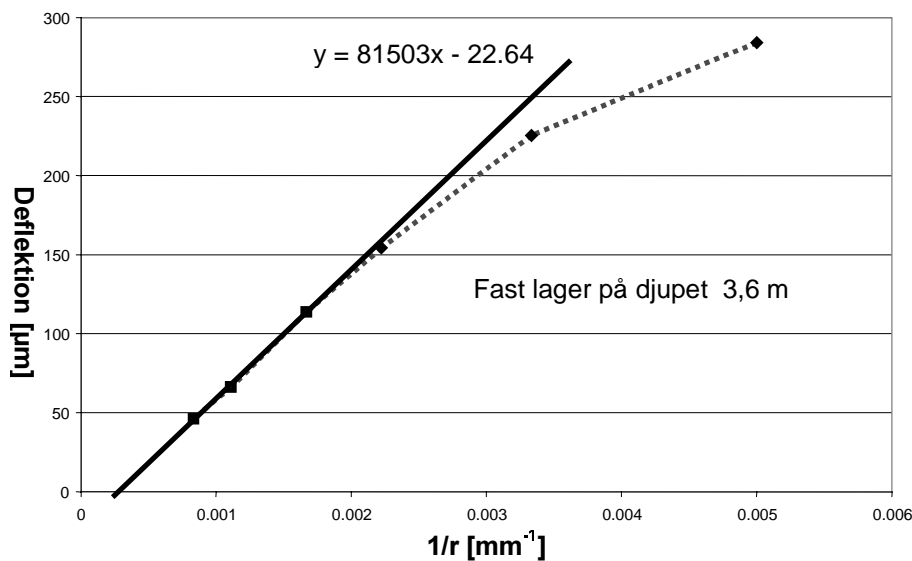
Den obundna delen av överbyggnaden kan beräkningsmässigt hanteras indelat i bär- och förstärkningslager (/skyddslager) eller behandlas som ett enda obundet lager. Ett obundet lager som är tunnare än 10 cm bör slås ihop med angränsande obundna lager.

6.2.3.3 Undergrund

Undergrunden behandlas normalt som ett homogent lager vilande på ett styvt skikt (fast botten) på 3 m djup under vägytan. Det styva skiktet väljs för att det normalt ger mer realistiska E-moduler, samt en bättre överensstämmelse mellan mätt och beräknad deflektion. E-modulen för det styva skiktet beräknas inte, utan låses till värdet 1 GPa.

I många fall finns fasta lager ovan 3 m djup. Djupet kan översiktligt uppskattas med hjälp av funktionen $dx=f(1/r)$. Linjen som går mellan punkterna för de yttersta givarna extrapoleras tills den skär x-axeln. Värdet på x-axelns skärningspunkt inverteras och representerar därefter djupet till det fasta lagret från ytan [17]. För mätpunkten vars deflektioner plottats i Figur 2 kan djupet till fast lager bestämmas till $1/(22,64/81503) = 3600$ mm, dvs. ca 3,6 m.

Det bör observeras att om undergrundens E-modul stiger mot djupet ger detta ungefär samma effekt på deflektionerna hos de yttre givarna.



Figur 2 Exempel på beräkning av djup till fast botten.

Eftersom valt djup till fast botten i hög grad påverkar beräknade E-moduler rekommenderas att djupet 3 m, eller beräknat djup < 3 m, används.

6.2.3.4 Exempel på lagermodell

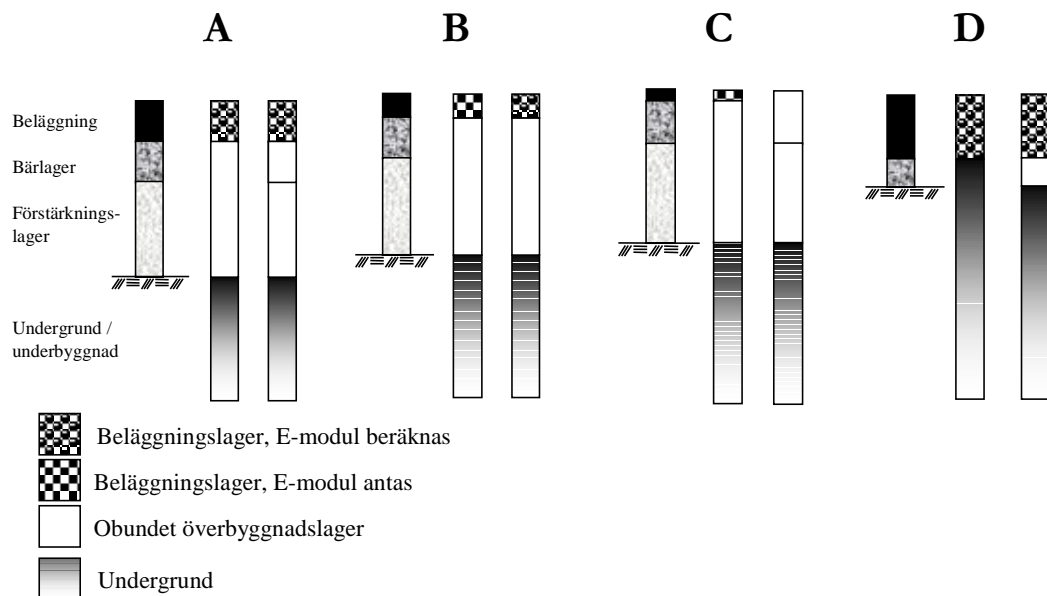
Vid beräkning av E-moduler kan upprepade beräkningar behöva göras med alternativa lagermodeller för den mätta konstruktionen. Detta för att erhålla rimliga E-moduler liksom en god överensstämmelse mellan mätt och beräknad deflektionsbassäng [9].

I vissa fall erhålls bäst lösning utan ett styvt skikt underst.

Rekommendationer för val av lagermodell framgår av Tabell 1 och i Figur 3.

Tabell 1 Exempel på olika lagermodellers användning

| Lager | 3-lager modell | 2-lager modell | |
|-------|---|--|--|
| 1 | Beläggning | Beläggning | Beläggning/Obundet öb mtrl |
| 2 | Obundet öb mtrl | Obundet öb mtrl /Undergrund | Undergrund |
| 3 | Undergrund | - | - |
| - | Styvt skikt (3 m eller beräknat under vägytan) | | |
| | <i>"Normalfall". Då beläggningstjockleken är mindre än ca 75 mm antas E-modulen för lagret.</i> | <i>Tjock beläggning och tunna obundna öb mtrl.</i> | <i>Tunn beläggning, ex. ytbehandling, och då beläggningen är sönderbruten.</i> |



Figur 3 Exempel på lagermodeller

6.2.4 Materialparametrar

6.2.4.1 Tvärkontraktionstal

Poissons tal varierar för olika material normalt mellan 0,15 (ex. betong) och 0,5 (ex. mjuk lera). Om inte annat överenskommits med den för uppdraget teknikansvarige vid Vägverket, används värdet 0,35 för Poissons tal för samtliga material. Undantag är betong och det styva skiktet i botten, för vilka värdet sätts till 0,15. Detta motiveras med att inverkan på beräknade E-moduler är måttlig, materialtyp inte alltid är känd och man ibland slår ihop olika material till ett lager.

6.2.4.2 Startmoduler och låsta E-moduler

Vid iterativ beräkning av E-moduler för de valda materiallagren, måste startvärden antas. Eftersom beräkningsresultatet delvis är beroende på vilka startmoduler som väljs, ska värdena sättas utifrån en noggrann bedömning. I Tabell 2 - Tabell 4 anges typiska E-modulintervall för olika typer av material. Tabellerna kan även användas för att bedöma rimligheten av beräknade E-moduler.

För bituminösa material är E-modulen beroende av temperatur och belastningstid. Temperaturkorrigering utförs enligt avsnitt 7.3. Korrigering för belastningstid behöver normalt inte göras.

Genom ”åldring” (främst oxidering) av bindemedlet kan beläggningen bli styvare med tiden. Uppkomst av sprickor medför att styvheten minskar. Ett annat problem som kräver speciell uppmärksamhet är delaminering av dåligt sammanklistrade bundna lager, vilket också leder till minskad styvhet.

Typiska E-modul intervall för oskadad beläggning framgår i Tabell 2.

Tabell 2 Typiska E-moduler, och förslag till E-modul (för de fall³ då den inte ska beräknas), för intakta bituminösa material vid +10 °C.

| Materialtyp | E-modul intervall [MPa] | Förslag till E-modul [MPa] |
|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| Slit-/bärlagermtrl | 4000 - 12000 | 8000 |
| Varm återvinning | 3000 - 10000 | 7000 |
| Kall återvinning | 2000 - 6000 | 4000 |

För obundna material är E-modulen beroende av vatteninnehåll, och olika material är olika vattenkänsliga. Värden i tabeller avser otjälade förhållanden under sommar och höst. E-modulerna är också beroende av den spänningsnivå materialet utsätts för. De tabellerade värdena bygger på svenska erfarenheter av fallviktsmätningar på vägytan av befintliga vägar, med beräkningar utförda efter antagande om ett styvt skikt 3 m under vägytan.

³ Vid beläggningstjocklek < 75 mm, se även avsnitt 6.2.3.1

Typiska E-modulintervall för vanliga överbyggnadsmaterial (exkl. beläggning) framgår av Tabell 3.

Tabell 3 Typiska E-moduler för överbyggnadsmaterial.

| Materialtyp | E-modul intervall [MPa] |
|---|-------------------------|
| Bärlagermtrl | |
| enl. VÄG 94:s siktkurvor | 400-700 |
| enl. BYA 84:s siktkurvor | 200-700 |
| CG | 300-2000 |
| övriga | 150-600 |
| Förstärkningsmtrl | |
| okrossat enl. VÄG 94:s siktkurvor | 200-400 |
| krossat enl. VÄG 94:s siktkurvor | 300-600 |
| enl. BYA 84:s krav | 100-500 |
| övriga | 75-400 |
| Skyddslager enl. VÄG 94:s siktkurvor | 60-130 |

Typiska E-modulintervall för undergrundsmaterial framgår av Tabell 4.

Tabell 4 Typiska E-moduler för undergrundsmaterial / underbyggnad

| Materialtyp | E-modul intervall [MPa] |
|-------------------------|-------------------------|
| Organiska jordar | 10-25 |
| Ler | |
| Lös lera | 5-25 |
| Lera | 20-60 |
| Torrskorpelera | 30-80 |
| Silt | 15-45 |
| Sand | 30-100 |
| Grus | 75-150 |
| Morän | |
| Finkornig morän | 35-150 |
| Grovkornig morän | 125-500 |
| Berg | |
| Bergbank | 150-800 |

6.2.5 Kontroll av lösning

Resultatet av beräknade E-moduler ska granskas enligt nedanstående praxis. Det är lämpligt att göra dels en översiktlig granskning med datorstöd, och dels en detaljerad manuell granskning.

Tunna styva lager bidrar litet till ytdeflektionen, vilket medför att beräknad modul för ett sådant lager är osäker. Vidare har differenser mellan antagna och verkliga lagertjocklekar inverkan. Inverkan av 2 cm felaktig tjockleksuppgift är större om lagret bara är 1 – 2 dm tjockt, jämfört med om det är 4 – 5 dm tjockt.

Vissa beräkningar kan resultera i:

- Orealistiska E-moduler, jämfört med moduler angivna i Tabell 2 - Tabell 4.
- Realistiska E-moduler, men dålig överensstämmelse mellan mätt och beräknad deflektionsbassäng.

Tidpunkten för fallviktsmätningen och vatten/fuktförhållandet i överbyggnad och undergrund är viktig information för att kunna fastställa om de beräknade E-modulerna är realistiska.

Beräknade E-moduler jämförs med de som återfinns i Tabell 2 - Tabell 4 för att bedöma om lösningen är realistisk. Enstaka mindre avvikelser medför i normalfallet liten betydelse efter den statistiska behandlingen enligt avsnitt 7.9.

För att bedöma överensstämmelsen mellan mätt och beräknad deflektionsbassäng studeras i första hand det beräknade RMS-värdet. Resultat från lösning med sämre (högre) RMS-värde än 3 % får inte presenteras utan att ha särskilt markerats som osäkert (exempelvis genom avvikande formatering; röd färg – fet stil, etc.).

Om orealistiska E-moduler och/eller dålig överensstämmelse mellan mätt och beräknad deflektionsbassäng erhålls, ska beräkning med alternativ lagermodell prövas. Ytterligare ett lager ger normalt en bättre överensstämmelse mellan mätt och beräknad deflektion, men är ingen garanti för att mer realistiska E-moduler erhålles.

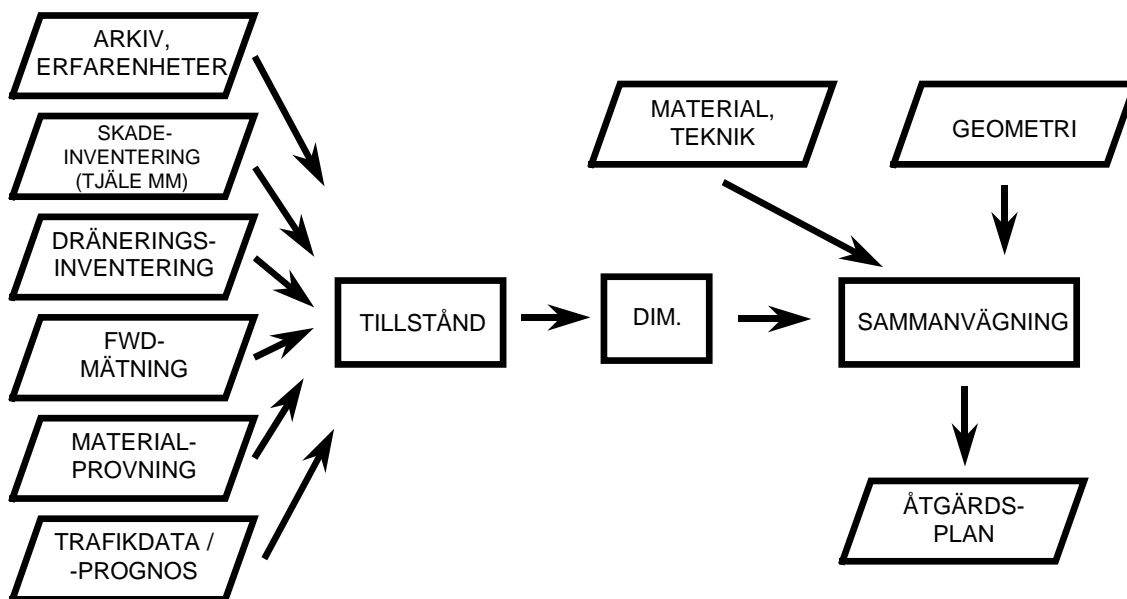
Om E-modulen för ett lager blir ”för låg” eller ”för hög”, påverkar det med automatik E-modulen för angränsande lager i omvänd riktning. Normalt minskar lagermodulen med djupet (bortsett från det styva skiktet i botten)

Speciellt för tunna lager kan beräknad E-modul avvika från de som angetts som typiska. Detta kan bero på avvikelse mellan verklig och antagen lagertjocklek, men också på begränsningar i den använda responsmodellen och/eller brister i beräkningsantaganden. Detta yttrar sig ofta i högt RMS-värde, dvs. dålig överensstämmelse mellan mätt och beräknad deflektionsbassäng.

7 Dimensionering med hänsyn till trafiklast

Med dimensionering avses i det följande endast bestämmande av minsta erforderlig tjocklek hos en påbyggnad. Vid sammanvägning till åtgärdsbeslut inverkar även andra faktorer, t.ex. krav på överdimensionering med hänsyn till risk för vibrationer i vägnära bebyggelse, krav på vägbanans ojämnhetsprofil i syfte att förebygga åksjuka [24][5], åtgärder mot bristande kantstabilitet etc. Se vidare i begreppsmodellen i Figur 4.

En särskild dimensionering måste göras för att hantera eventuella tjälproblem.



Figur 4 Begreppsmodell för dimensionering av vägreparation [10].

Dimensioneringen görs för trafiklasten i ett körfält. Om andra åtgärder än påbyggnad eller rekonstruktion är aktuella, exempelvis dikning eller ytbehandling, kan ändå resultatet vara till gott stöd vid motivering av vald åtgärd.

Av miljöskäl och resursskäl återvinns material från spruckna asfaltlager efter rivning eller fräsning. Dessa avtagna lager ingår inte med sina beräknade styvheter vid dimensionering av påbyggnadskonstruktionen.

Dimensioneringen ska göras för varje fallviktspunkt. Sedan påbyggnadsberäkningen gjorts för alla punkter, ska en sträckindelning göras baserad på statistiska överväganden (se avsnitt 7.9).

Dimensioneringen innebär att man kontrollerar de nya töjningarna då en påbyggnad provas. Med ett datorprogram - som bygger på linjärelastiska principer - beräknas spänningar och töjningar för nuvarande konstruktion plus påbyggnad. Detta görs för två olika tjocka påbyggnader.

Därefter kontrolleras töjningarna mot två kriterier:

1. Sprickbildning⁴
2. Permanent deformation (ojämnheter och ”bärighetsspår”)

Det första kriteriet medför att gränsvärden sätts för dragtöjning i underkant av beläggningens lager [23]. Det andra kriteriet medför på motsvarande sätt en gräns för vertikal trycktöjning på terrassytan. Terrasstöjningsgränsen innebär inte att alla deformationer sker under terrassnivå. Den motiveras helt enkelt med att storleken på trycktöjningen på terrassen anses överensstämma bra med registrerade deformationsskador. Storleken på denna töjning beror av överbyggnadens bärförmåga [22].

Töjningarna beräknas för vår, sommar och höst. Därefter tillämpas Miners delskadehypotes för att sammanväga effekterna säsongvis. Eftersom effekten beräknas för två olika tjocka påbyggnader, kan en interpolering göras till rätt påbyggnadstjocklek.

I varje mätpunkt ska beräkningsresultatet utgöras av den största påbyggnad som krävs för att klara de olika gränsvärdena, avseende dragtöjning i beläggning respektive trycktöjning på överkant terrass. Detta resultat behandlas sedan statistiskt enligt avsnitt 7.9, och sammanvägs slutligen med andra faktorer enligt Figur 4 till slutlig åtgärd.

De resulterande påbyggnadsbehoven ska jämföras med enkla bärighetsparametrar och granskas subjektivt för att finna realistiska lösningar. Detta kan vara fallet om t.ex. påbyggnadsberäkning görs där undergrunden består av organiska jordarter med mycket låg E-modul, d.v.s. ett geotekniskt problem föreligger.

7.1 Klimat

Klimatzon skall bestämmas enligt kap 1.4.1 i VÄG 94 [3]. Den avgör vilka referenstemperaturer som skall användas för nya asfaltbundna lager och vilken periodlängd som skall tillämpas vid dimensioneringen. Den otjälade delen av året delas i tre perioder, vår (tjällossning), sommar och höst. Under den tjälade perioden av året (vinter) antas det inte ske någon nedbrytning av vägkonstruktionen med avseende på trafikbelastning. Referenstemperaturerna väljs enligt Tabell 5 [14]. Periodlängden väljs enligt Tabell 6 [14].

Tabell 5 Beläggningens referenstemperatur [°C]

| Årstid | KLIMATZON | | | | | |
|--------------------|-----------|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Vår (tjällossning) | 2 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| Sommar | 19 | 18 | 18 | 18 | 16 | 15 |
| Höst | 8 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 |

⁴ Här avses ej temperatursprickor, fogsprickor och liknande fel, utan enbart trafiklastberoende sprickor

Tabell 6 Periodlängd [antal dygn]

| Årstid | KLIMATZON | | | | | |
|----------------------------|-----------|-----|-----|-----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Vår (tjälloss- ning) | 20 | 30 | 40 | 50 | 55 | 55 |
| Sommar | 170 | 155 | 130 | 100 | 95 | 80 |
| Höst | 105 | 90 | 90 | 75 | 60 | 50 |

7.2 Påbyggnadsmaterial

Andra val av styvhetsmoduler än nedanstående får göras först efter godkännande av Vägverket.

7.2.1 Asfaltbundna påbyggnadsmaterial, nytillverkade

Vid påbyggnad med nya asfaltbundna material ska Formel 8 [14] nyttjas som samband mellan E-modul och temperatur.

$$E(T) = 1,79 \cdot 10^4 \cdot e^{-0,071 \cdot T},$$

där $E(T)$ = beläggningens elasticitetsmodul [MPa] vid temperaturen T
T = beläggningens referenstemperatur [°C] enligt Tabell 5
e = bas för naturliga logaritmen (~ 2,7183)

Formel 8 E-modul som funktion av temperatur, nya asfaltbundna material

7.2.2 Påbyggnadsmaterial av återvunnen asfaltbeläggning

Asfaltmassa tillverkad genom varm återvinning behandlas som nytillverkad massa enl. 7.2.1 [20]. Asfaltmassa tillverkad genom kall återvinning ges moduler enligt Tabell 7.

Tabell 7 E-moduler [MPa] för kallt återvunna bituminösa material

| Material | E-modul, uttryckt som andel av E-modul för nytillverkad massa [%] |
|----------|---|
| MAB ÅA | 60 |
| AG ÅA | 50 |

7.2.3 Obundna påbyggnadsmaterial

Obundna påbyggnadsmaterial skall ges E-moduler enligt Tabell 8.

Tabell 8 E-moduler [MPa] för obundna påbyggnadsmaterial

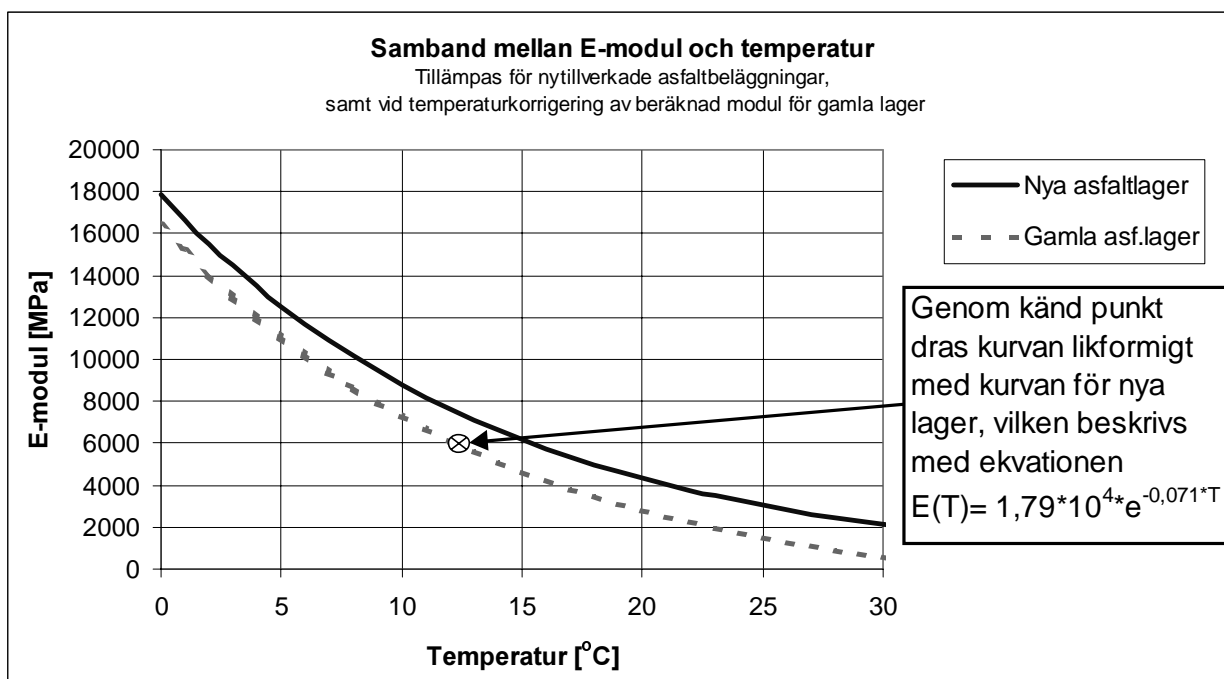
| Bärlager | Förstärkningslager | |
|----------|--------------------|----------|
| | Krossat | Okrossat |
| 450 | 350 | 200 |

7.3 Elasticitetsmoduler hos befintliga asfaltbundna material

I påbyggnadsberäkningen skall E-modulen varieras i de befintliga asfaltbundna lagren periodvis.

Vid passningsräkningen bestäms lagrets E-modul för mättillfället och då rådande medeltemperatur hos beläggningen.

Förhållandet mellan temperatur och E-modul för det befintliga beläggningsslaget bestäms genom att markera temperatur och beräknad E-modul för mätpunkten enligt Figur 5 och rita en kurva likformig med ursprungskurvan angiven i 7.2.1.



Figur 5 Samband E-modul och temperatur för asfaltbeläggning, se även 7.2.1

Spruckna asfaltbundna lager som skall ingå i den nya konstruktionen ska behandlas som obundet bärlager.

7.4 Årstidsjustering av E-moduler hos befintliga obundna material

Klimat, material och dräneringsförhållanden påverkar obundna lagers styvhet i en årscykel. Fallviktsmätningen görs ofta endast en gång. Detta innebär att E-modulerna för andra säsonger än den mätta då måste uppskattas.

En uppskattning av E-moduler under andra säsonger än den mätta, kan göras enligt korrektionstal i Tabell 9 [12]. Tabellvärdena är riktvärden, sammanställda från studier som visat på relativt stor varians. Stöd vid bedömning av delsträckor där kompletterande deflektionsmätningar är särskilt motiverade, hämtas med fördel genom okulär skadeinventering (se Figur 4).

Tabell 9 **Korrektionstal för E-moduler, material under beläggning**

| Obundna över- byggnadsmaterial | | Säsong | | |
|-----------------------------------|-----------|---------------|--------|------|
| | | Vår/Tjällossn | Sommar | Höst |
| Uppmätt modul | >=450 | 0,9 | 1 | 1 |
| | 250 - 450 | 0,8 | 1 | 1 |
| | 75 - 250 | 0,6 | 1 | 1 |

| Undergrunds- material | | Säsong | | |
|--------------------------|----------|---------------|--------|------|
| | | Vår/Tjällossn | Sommar | Höst |
| Uppmätt modul | >=100 | 0,9 | 1 | 1 |
| | 50 - 100 | 0,7 | 1 | 1 |
| | 20 - 50 | 0,6 | 1 | 1 |
| | < 20 | 0,9 | 1 | 1 |

7.5 Dräneringssituation

I vägunderhållsprojekt säkerställs regelmässigt erforderlig dränering genom rensning av befintliga dräneringssystem och vid behov genom anläggning av nya dräneringssystem. Den förbättrade dräneringssituationen medför att styvhetsegenskaperna i vägkonstruktionen förbättras, jämfört med de styvheter som erhållits vid analys av tidigare uppmätta deflektionsmätdata. Detta gäller framförallt terrassmaterial och obundna lager med hög andel finkornigt material. Styvhetsförbättringarna medför att behoven av förstärkningsåtgärder minskar. Om inte förbättringseffekten mäts, får styvheter korrigeras med en förbättring på maximalt +10 MPa. Styvheter för material som har E-modul >100 MPa före dräneringsförbättring får korrigeras först sedan kompletterande mätning utförts.

7.6 Trafiklast

Dimensioneringen skall göras för lasterna från den tunga trafiken. Om trafikförhållanden eller befintlig konstruktion skiljer mellan körfälten, ska körfälten dimensioneras var för sig. Detta medför då att konstruktören måste modifiera Formel 9 något.

Om nuvarande asfaltbundna lager skall behållas obearbetade och sprickfrekvensen är låg, måste även förutvarande trafik bestämmas och subtraheras. Om asfaltlagren är mycket spruckna hanteras de beräkningsmässigt som obundet material⁵, varigenom förutvarande trafik inte behöver beaktas.

Trafiklasten skall anges i antal standardaxlar enligt Formel 9. Särskild omsorg ska läggas vid bestämning av faktorerna A och C.

⁵ Sprickarmering bör då övervägas, för att förhindra brottanvisning upp i det påförda lagret.

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_t * A * C * D * E * 3,65 * \sum_{j=1}^n (1 + \frac{l}{100})^j,$$

där $\dot{A}DT_t$ = Totalt trafikflöde i vägens båda riktningar under ett dygn [antal fordon], årsmedelvärde. Mätvärde, omräknat till planerat utförandear

A = Andel tunga fordon [%]. Mätning rekommenderas, men schablonvärde kan hämtas i Tabell 10 [3]

C = Antal axlar per genomsnittligt tungt fordon. Mätning rekommenderas, men schablonvärde kan hämtas i Tabell 10 [14]

D = 0,30. Faktorn beskriver genomsnittligt antal standardaxlar per tung axel [14]

E = Justeringsfaktor med hänsyn till antal körfält och körfältsbredd enligt Tabell 11 [14]

n = dimensioneringsperiodens längd

j = 1,2,3 ... n

l = prognosticerad årlig förändring [%] av tung trafik under dimensioneringsperioden. Observera att denna kan skilja sig från utvecklingsprognosen för den totala trafiken

Formel 9 Beräkning av antal standardaxlar

Tabell 10 Andel tung trafik resp. antal axlar per tungt fordon, schablonvärden

| Vägtyp | Andel tunga fordon [%] | Antal axlar per tungt fordon [st] |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|
| Nationell | 14 | 5 |
| Regional | 8 | 4,5 |
| Lokal | 5 | 3,8 |

Tabell 11 Korrektionstal för trafikbelastningen med hänsyn till trafikens tvärfördelning

| Typsektion [m] | Tvärfördelningsfaktor |
|----------------|-----------------------|
| < 6 | 2 |
| 6 – 7 | 1 |
| 7 | 0,8 |
| motorväg | 0,8 |
| 8-11 | 0,7 |
| 13 | 0,65 |
| 13, väggen | 0,6 |

7.7 Bestämning av gränsvärden

Andra samband mellan last och gränsvärden än nedanstående får inte användas utan särskild motivering, och efter godkännande av, Vägverket.

Gränsvärde (enligt sprickkriteriet) för dragtjöjning i underkant av bitumenbundna lager med tjocklek större än 75 mm bestäms enligt Formel 10 (jämför med kapitel 3.3.1.2 i VÄG 94 [3]). Formeln gäller för beläggningar tillverkade med bindemedel typ B180. Om material med avsevärt annorlunda egenskaper skall användas, krävs att motsvarande samband upprättas för dessa. Underlag för sådant samband skall redovisas för Vägverket, varefter tillämpning får ske efter verkets godkännande.

Om lagrets tjocklek understiger 75 mm betraktas det som ett membran. För närvarande saknas samband mellan last och gränsvärde för membranbeläggningar.

Den förutvarande trafiken skall inräknas i $N_{\text{till,bb}}$ om det gamla asfaltbundna lagret är osprucket.

$$N_{\text{till,bb}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{\sum_{i=1}^m N_{\text{bb},i}},$$
$$N_{\text{bb},i} = \frac{2,37 * 10^{-12} * 1,16^{(32+1,8*T_i)}}{\epsilon_{\text{bb},i}^4},$$

där $N_{\text{till,bb}}$ = tillåtet antal standardaxlar under den totala dimensioneringsperioden (ex. 20 år) för det bitumenbundna lagret
 $N_{\text{bb},i}$ = tillåtet antal standardaxlar för bitumenbundet lager under klimatperiod nr "i"
 m = antal perioder
 T = medeltemperatur [°C] hos beläggningslagret under period i
 i = period nummer
 ϵ_i = dragtjöjning i asfaltbundet lagrets underkant under period i
 n_i = antal dagar under period i

Formel 10 Tillåten dragtjöjning i bitumenbunden beläggning

Gränsvärden för påkänningar (enligt deformationskriteriet) i obundna överbyggnadslager saknas för närvarande. Detta kan i vissa fall medföra hög risk för deformationsskador oavsett om gränsvärdet för vertikal trycktjöjning på terrass underskrids eller ej. Risker är stora på sådana vägvägningsmaterial där den befintliga överbyggnaden har kommit att innehålla uppenbart olämpligt vägmateriäl.

Gränsvärde (enligt deformationskriteriet) för vertikal trycktjöjning på överkant terrass bestäms enligt Formel 11.

$$N_{\text{till,te}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{\sum_{i=1}^m N_{\text{te},i}},$$

$$N_{\text{te},i} = \frac{8,06 \cdot 10^{-8}}{\epsilon_{\text{te},i}^4},$$

där $N_{\text{till,te}}$ = tillåtet antal standardaxlar under den totala dimensioneringsperioden (ex. 40 år) för överbyggnaden.

m = antal perioder

i = period nummer

$\epsilon_{\text{te},i}$ = vertikal trycktöjning på terrassytan under period i

n_i = antal dagar under period i

Formel 11 Tillåten trycktöjning på terrassytan

7.8 Enstaka last

Vägytan skall dimensioneras för att klara enstaka 130 kN last. Enstaka trycktöjning på terrass får då inte under någon årstid överskrida värdena i Tabell 12. Lasten skall beräknas enligt kap. 3.4.1.2 i VÅG94 [3].

Tabell 12 Tillåten enstaka trycktöjning [μ -strain] på terrass

| Klimatzon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Väg med överbyggnad av typ GBÖ eller BBÖ | 2500 | 2400 | 2300 | 2200 | 2100 | 2000 |
| Väg med grusslitlager | 9000 | 8500 | 8000 | 7500 | 7000 | 6500 |

7.9 Osäkerhet och spridning, samt granskning av resultat

I de beräknade påbyggnaderna finns ett visst fel. Storleken på detta fel beror bland annat på slumpmässiga variationer hos mätdata, men också på osäkerhet i antaganden om kommande utförande (t ex resulterande E-modul hos beläggningsmassa eller obundna lager).

Inom en sträcka som anses vara homogen, finns en spridning hos beräknade påbyggnadsvärden. Den orsakas i sin tur av spridning hos ingående parametervärden, t ex hos undergrundsmodulemodulen och hos det asfaltbundna lagret m.m.

Utifrån påbyggnadsbehovet i respektive mätpunkt, anger Tabell 13 det percentilvärde för påbyggnadstjockleken som skall tillämpas längs sträckor där påbyggnaden skall vara konstant.

Tabell 13 Erforderligt percentilvärde för påbyggnad

| Trafiklast | Percentil |
|----------------------------------|-----------|
| [standardaxlar*10 ⁶] | [%] |
| < 0,5 | 75 |
| 0,5 - 2,5 | 80 |
| > 2,5 | 90 |

De beräknade påbyggnadsbehoven ska granskas för att finna orealistiska resultat. Detta kan göras genom att jämföra med vägsträckans historiska tillståndsutveckling och med uppritade ”enkla bärighetsmått” (kapitel 5). Orealistiska resultat kan erhållas om t.ex. påbyggnadsberäkning görs där undergrunden består av organiska jordarter med mycket låg E-modul, d.v.s. ett geotekniskt problem föreligger.

7.10 Beräkningsprogram

Beräkning kan ske med olika datorprogram, t.ex. Ever-serien [19]. De besläktade programmen i Clever-serien (se nedan) kan erhållas från Vägverkets huvudkontor. Beräkningsarbetet bör utföras av personer med praktisk vägteknisk erfarenhet, byggnadsmekaniska kunskaper och som har genomgått utbildning i programhandhavandet.

7.10.1 Clevercalc-programmet

Programmet beräknar det befintliga strukturella tillståndet i form av E-moduler och töjningar längs vägsträckan.

Nödvändiga indata är lagermodell och deflektionsmätdata enligt VVMB 112 [2] från mät-punkter längs vägen.

7.10.2 Clevergold-programmet

Programmet beräknar erforderlig bärlagerpåbyggnad vid en rekonstruktion, sedan beläggningen rivits eller frästs bort.

Nödvändiga indata är lagermodell och E-moduler från CLEVERCALC-programmet, E-modul för tillfört bärlagermaterial, samt E-modul och tjocklek för det nya slitlagret.

7.10.3 Cleverlay-programmet

Programmet beräknar tjockleken hos en påbyggnad av t.ex. asfaltbetong.

Nödvändiga indata är lagermodell och E-moduler från CLEVERCALC-programmet, samt E-modul för påbyggnadsmaterialet.

8 Klassning av bärförmåga

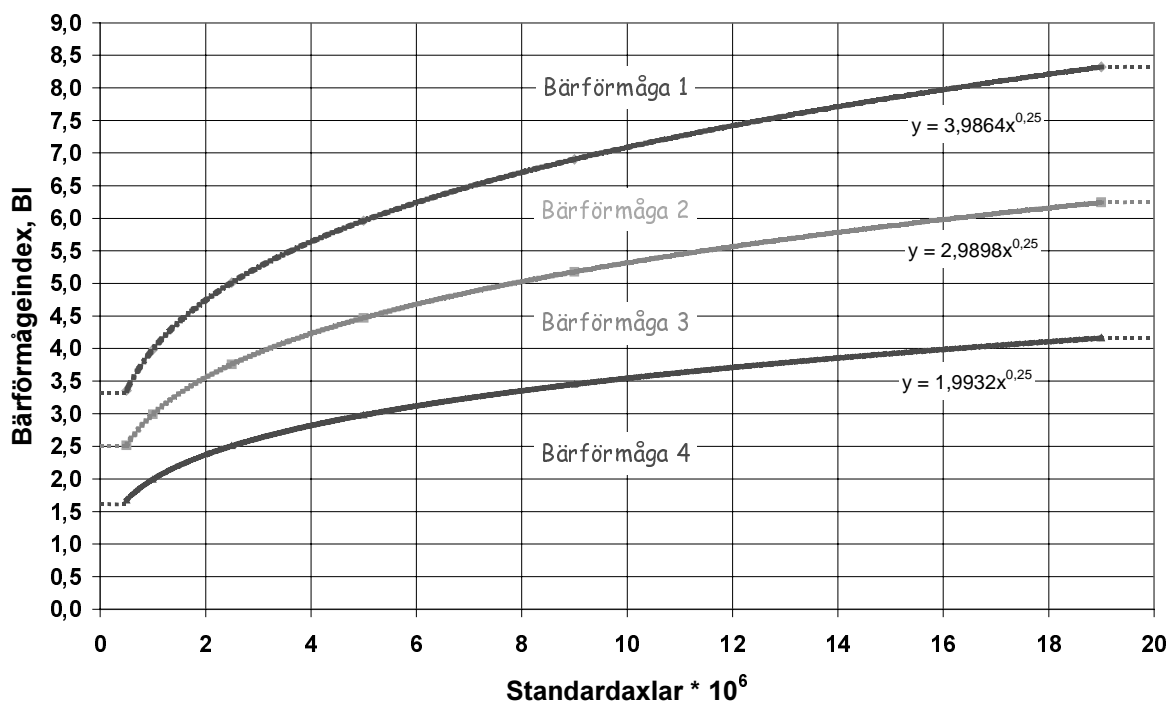
Vid flera aktiviteter inom vägförvaltningsarbetet - och vid dialoger med intressenter kring vägarnas bärighet - är det värdefullt att översiktligt kunna beskriva vägens bärförmåga på ett objektivt sätt. I Figur 6 beskrivs en metod för att beräkna ett sådant mått, baserat på ett index beräknat enligt Formel 12.

$$BI = \frac{1000}{\epsilon_a},$$

där BI = bärförmågeindex [dimensionslös]
 ϵ_a = uppskattad (ibland fiktiv) asfalttöjning [μ -strain] enligt avsnitt 5.4, eller asfalttöjning bestämd genom passningsräkning enligt avsnitt 6.2

Formel 12 Beräkning av bärförmågeindex [18]

I Figur 6 visas hur klassning av bärförmåga utförs. Bärförmågan syftar här i första hand på ”strukturell” styrka (egentligen motstånd mot utmattning i verklig eller fiktiv beläggning) och kan tillämpas på alla vägar, oavsett typ av slitlager.



Figur 6 Bestämning av bärförmågeklass, med hänsyn till antal standardaxlar som belastar vägen under aktuell dimensioneringsperiod och representativt värde på bärförmågeindex (BI).

Klassningen är validerad mot fyra olika dataset enligt följande:

1. mätningar på lågtrafikerade ”obyggda” vägar i Y-län
2. mätningar på normenligt byggda vägar (VTI observationssträckor) före förstärkning
3. mätningar på normenligt byggda vägar (VTI observationssträckor) efter förstärkning
4. mätningar på samtliga av VTI:s observationssträckor

Klassgränsen för Bärförmåga 1 är jämförbar med bärförmåga hos GBÖ/BBÖ-konstruktioner med AG-lager som dimensionerats enligt sprickkriteriet i VÄG 94 [3]. I klass Bärförmåga 4 hamnar bara mycket svårt skadade vägar.

Bärighetsindex ska inte förväntas ändras mycket under de år vägen är oskadad. När beläggningen spricker minskar index, och vägen kan komma att klassas om. Vägar med sprickor trots god klassning behöver sannolikt inte särskilt kraftig förstärkning vid åtgärd.

För jämförelse av bärförmågeindex mellan olika vägar bör fallviktsmätningarna vara utförda under samma period på året, lämpligen sommar till höst. Det enligt Formel 6 beräknade värdet ϵ_a korrigeras vid behov med hänsyn till temperatur enligt Formel 13 [11].

$$\epsilon_{a,10} = \frac{\epsilon_{a,T}}{\left(\frac{T}{10}\right)^{3,08 \cdot 10^{-8} \cdot h_1^2 \cdot D_0}},$$

där $\epsilon_{a,10}$ = dragtöjning [μ -strain] vid temperaturen +10°C

$\epsilon_{a,T}$ = dragtöjning [μ -strain] vid mättemperaturen T

T = mättemperatur [°C]

h_1 = beläggningstjocklek [mm]

Formel 13 Temperaturkorrigering av asfalttöjning

För bestämning av bärförmågan behövs även uppgift om antal standardaxlar som beräknas belasta vägen under aktuell dimensioneringsperiod (ex. 20 år).

9 Kontroll av utförd åtgärd

9.1 Entreprenad med funktionsansvar

När dimensionering skett enligt denna metodbeskrivning ska erhållen bärförmåga kontrolleras genom deflektionsmätning och analys. Detta möjliggör även en återkoppling mellan åtgärd och dimensionering.

En kontroll av den beräknade bärförmågan för beläggning och terrass görs i princip enligt kapitel 6 och 7. Vid kontrollen skall uppgifter inhämtas om lagertjocklekar hos den utförda konstruktionen från säkrast möjliga källa (georadar, borrhål, relationshandlingar etc.).

Mätningen skall normalt ske efter ett års trafikering av vägytan och helst vid samma tid på året som den mätning som utgjorde underlag för dimensionering. Den skall ske i det yttre hjulspåret och utföras i minst 2 punkter per km för varje åtgärdat körfält, dock minst 10 punkter per körfält. Rätten att styra valet av läge för provpunkterna förbehålles beställaren. Om inte denne utnyttjar rätten att styra valet, ska läget i längdled väljas genom slumpning enligt VVMB 908 ”Statistisk acceptansk kontroll” inom varje km av körfältet.

Vid beräkning av den levererade bärförmågan ska hänsyn tas till det trafikarbete som skett mellan trafikpåsläpp och deflektionsmätning (efterkontrollen) - normalt ca ett års trafikarbete - innan den jämförs med den bärförmåga som beställd konstruktion⁶ enligt beräkning har.

9.2 Entreprenad utan funktionsansvar (utförandeentreprenad)

Även vid utförandeentreprenad som dimensionerats enligt denna metodbeskrivning ska kontroll enligt avsnitt 9.1 göras, men nu enbart med syftet att skapa återkoppling mellan åtgärd och dimensionering. I entreprenadjuridisk mening kontrolleras då bärighet enbart enligt kapitel 5 och 6 i Vägunderhåll 2000 [1].

⁶ Vid breddning ska skillnader mellan breddningsdel och påbyggnadsdel beaktas

10 Rapport

Efter dimensionering resp. efterkontroll baserad på mätning på statlig väg skall en rapport sändas till Vägverkets Huvudkontor, för att bilda underlag för central statistik. Kravet gäller oavsett vem som är beställare av uppdraget.

Rapport skall lämnas i digital form.

10.1 Rapportens omfattning

Rapportering skall i tillämplig mån innehålla uppgifter om:

- a) Namn på vem/vilka som utfört analysen
- b) Intygande av att analysen skett enligt denna metodbeskrivning, samt redogörelse för ev. avvikelser och kopia på godkännandebeslut för ev. avsteg från krav i denna beskrivning
- c) Kopia på deflektionsmätfil enligt VVMB 112 [2]
- d) Analysprogram för beräkning av lagermoduler
- e) Analysprogram för beräkning av spänningar och töjningar
- f) Tillämpade gränsvärden (avsnitt 7.7) för tillåtet antal laster med hänsyn till töjningar
- g) Vald dimensioneringsperiod
- h) Trafikprognos för dimensioneringsperioden. Vid asfaltpåbyggnad även trafikhistorik sedan senaste åtgärd.
- i) Föreslagen åtgärdstyp; påbyggnad, utskiftning eller återanvändning efter förädling (re-mixing, stabilisering etc)
- j) Planerat påbyggnadsmaterial
- k) Beräkningsresultat för åtgärdsdimensioner och deras variation i längdled
- l) Tillåtet antal standardaxlar per körfält.

11 Referenser

- [1] *Vägunderhåll 2000*. (2000). Vägverket. Allmän teknisk beskrivning (remissutgåva)
http://www.vv.se/publ_blank/bokhylla/ATB/remiss/intro.htm
- [2] *Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat*. (1998). Vägverket. Metodbeskrivning 112, publ. 1998:80. Vägverkets intranät: <http://intra.vv.se/ku/väg/pub/mb112/mb112.pdf>
- [3] *VÄG 94*. Vägverket. Allmän teknisk beskrivning.
http://www.vv.se/publ_blank/bokhylla/ATB/vag94/lista.htm
- [4] Saarenketo, T. (1999). *Road analysis and advanced integrated survey method for road condition evaluation*. Int. workshop on modelling and advanced testing for unbound granular materials, Lisbon. Proceedings <http://alfa.ist.utl.pt/~cgeo/geo/balkema.html>
- [5] *Vägbanemodell för datorstödd utformning av underhållsbeläggningar*. (1999). Vägverket, publ. 1999:100 http://www.vv.se/publ_blank/bokhylla/vagar/1999_100/intro.htm
- [6] Jansson, H. (1992). *Regressions samband för beräkning av påkänning i asfaltbeläggning ur deflektioner mätta med fallvikt*. VTI notat nr V190-1992
- [7] Djärf, L. (1996). *Jordarters E-modul utvärderade ur nedsjunktionsmätningar med fallviktsdeflektometer (FWD)*. VTI notat 49-1995
- [8] Djärf, L. (1993). *Modellutveckling, delprojekt inom huvudprojektet Dimensionering vid förbättring och underhåll*. VTI notat V207-1993
- [9] Granlund, J. (1999). *Lagermodellens betydelse vid analytisk dimensionering av vägförstärkning. Fallstudie av väg AC 363, delen Björksele - Vindelgransele*. Lunds Tekniska Högskola, rapport-samling nr 1 från forskarkursen "Validering av analytiska modeller för vägkonstruktioner"
- [10] *Förbättring bärighet/ beläggning. Projektering av enskilt objekt*. (1992). Vägverket, publ. 1992:022
- [11] Djärf, L., et al. (1998). Effekt av olika förstärkningsåtgärder på asfaltbelagda vägar: delrapport 1. VTI notat 41-1998
- [12] Carlsson, H. & Jansson, H. (2000). *Årstidsvariation i materialstyheter hos icke normenligt byggda vägar*. VTI notat 2-2000
- [13] Ullidtz, P. (1987). *Pavement Analysis*. Technical University of Denmark. Elsevier Science Publishers
- [14] Carlsson, H., et al. (1996). *Dimensionering vid nybyggnad*. VTI meddelande nr 778:1996
- [15] *Falling Weight Deflectometer. Final Report of COST 336 Action (Final draft, 28 may 1999)*. European Commission, Directorate General Transport. <http://www.cordis.lu/cost-transport/src/cost-336.htm> <http://www.crow.nl/cost-336.htm#top>

- [16] Scriver, F.H., et al. (1969). *Detecting Seasonal Changes in Load-carrying Capacity of Flexible Pavements*. Highway Research Board, NCHRP Report No. 76
- [17] Ullidtz, P. (1999). *Modelling Flexible Pavement Response and Performance*. Polyteknisk Forlag. ISBN 87-502-0801-2 <http://www.polyteknisk.dk/dk/Forlag/udgivelser.htm>
- [18] Jansson, H. (1994). *A simple structural index based on FWD-measurement*. BCRA94, proceedings
- [19] *Pavement Guide Download, Eversers Program*. (2000). Washington State Department of Transportation. http://www.wsdot.wa.gov/fossc/mats/epg_download.htm
- [20] *Handbok för återvinning av returafalt*. (2000). Vägverket m.fl.
- [21] Said, S.F. & Wahlström, J. (1998). *Styvbets- och utmattningsegenskaper hos AG-beläggningar*. VTI meddelande 832:1998
- [22] Dormon, G.M. & Kerkhoven, R.E. (1953). *Some considerations on the California Bearing Ratio Method for Design of Flexible Pavement*. Shell Bitumen Monograph No. 1
- [23] Pell, P.S. & Saal, R.N.J. (1960). *Kolloid-Zeitschrift MI, Heft 1*, pp 61-71.
- [24] *Helkroppsvibrationer vid färd på ojämna vägar*. (2000). Vägverket, publ. 2000:31 <http://www.vv.se/>

Rekommenderad referenslitteratur

- Odemark, N. (1949). *Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin*. Statens Väginstitut, meddelande 77
- Lenngren, C.A. (1990). *Relating bearing capacity to pavement condition*. KTH.
- Gurp, C.v. (1998). *Full structure diagnosis of low volume roads*. BCRA98, proceedings <http://www.tapir.ntnu.no/bcra/6.php3>



Vägverket

781 87 Borlänge. Telefon 0243-750 00. Telefax 0243-753 25. Texttelefon 0243-750 90
e-post: vagverket@vv.se / Internet: www.vv.se