



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA PROMET

TEHNIČNA SPECIFIKACIJA
ZA JAVNE CESTE

TSC 06.630 : 2002

LASTNOSTI VOZNIH POVRŠIN PODAJNOST

Uporaba: neobvezna

Pripravil:

Tehnični odbor za pripravo tehničnih
specifikacij za javne ceste TO 06.

Soglasje ministra:

Soglasje ministra, pristojnega za promet, je bilo
izdano, dne 12.12.2001, pod št. 2641-6/2001/20-
0403.

Soglasje ministra, pristojnega za graditev, je bilo
izdano dne 16. 7. 2001, pod št. 343-9/98.

Ključne besede:

Benkelmanova gred, deflektograf, deflektometer, podajnost, posedek, vozna površina.

Objava izdaje:

Sporočila - objave, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 5/2002

Izdajatelj:

Tehnično specifikacijo za javne ceste je založila in izdala Direkcija Republike Slovenije za ceste.

VSEBINA

1 Predmet tehnične specifikacije.....	3
2 Referenčna dokumentacija	3
3 Pomen izrazov	3
4 Osnovni postopki meritev podajnosti.....	4
5 Oprema za meritve podajnosti.....	5
5.1 Benkelmanova gred.....	5
5.2 Deflektograf Lacroix.....	6
5.3 Deflektometer Dynatest 8000 FWD.....	7
6 Izvajanje meritev podajnosti	8
6.1 Priprave za meritve.....	8
6.2 Benkelmanova gred.....	8
6.2.1 Postopek meritve	8
6.2.2 Izvrednotenje rezultatov.....	9
6.2.2.1 Vpliv kolesne obremenitve.....	10
6.2.2.2 Vpliv temperature.....	10
6.2.2.3 Vpliv letnega obdobja	12
6.2.2.4 Določitev homogenih odsekov.....	12
6.2.2.5 Določitev merodajne elastične podajnosti	12
6.3 Deflektograf Lacroix.....	13
6.3.1 Postopek meritve	13
6.3.2 Izvrednotenje rezultatov.....	14
6.4 Deflektometer Dynatest 8000 FWD.....	14
6.4.1 Postopek meritve	14
6.4.2 Izvrednotenje rezultatov.....	14
6.4.2.1 Merodajna podajnost	14
6.4.2.2 Moduli elastičnosti plasti materialov	15
6.4.2.3 Preostala doba trajanja.....	15
7 Kriteriji za oceno stanja.....	15
7.1 Merodajna podajnost pri novogradnjah	15
7.2 Merodajna podajnost za obstoječe ceste	15

1 Predmet tehnične specifikacije

Tehnična specifikacija za javne ceste TSC 06.630 Lastnosti vozni površin – Podajnost določa tehnične osnove za vrednotenje nosilnosti voziščnih konstrukcij.

Namen meritev podajnosti vozne površine je opredeliti stanje in trajnost voziščne konstrukcije.

Meritve podajnosti vozni površin so primerne predvsem

- za ugotavljanje skladnosti in enovitosti izvršenih del pri novogradnjah,
- za spremljanje stanja obstoječih voziščnih konstrukcij v sklopu gospodarjenja z vozišči
- za oceno trenutnega stanja obstoječih voziščnih konstrukcij in
- za iz vrednotenja primernih ojačitev obstoječih voziščnih konstrukcij za načrtovano dobo trajanja (po TSC 06.541).

Izvršena dela so skladna z zahtevami, če so zagotovljene načrtovane vrednosti podajnosti vozne površine.

Za ugotavljanje stanja obstoječe voziščne konstrukcije in za določitev primernih ukrepov je treba ovrednotiti

- merodajno podajnost vozne površine homogenega odseka ceste d_m
- dobo trajanja (ojačene) voziščne konstrukcije.

TSC 06.630 je namenjena opredelitvi stanja voziščnih konstrukcij z asfaltno krovno plastjo.

2 Referenčna dokumentacija

Tehnična specifikacija TSC 06.630 je zasnovana na naslednji referenčni dokumentaciji:

COST 324, Long Term Performance of Road Pavements, Final Report, EEC, Brussels, 1997

COST 325, New Road Monitoring Equipment and Methods, Final Report, EEC, Brussels, 1997

DYNATEST 8000 FWD Test System – Owner's Manual and Operating Instructions, Technical description

FEHRL Technical note ISSN 1362-6019: 1996

Harmonisation of the Use of the Falling Weight Deflectometer on Pavements; Harmonisation of FWD measurements and data processing for flexible road pavement evaluation

JUS U.E8.016: 1981 Projektiranje in graditev cest, Meritve podajnosti gibkih voziščnih konstrukcij, Oprema in postopki

JUS U.E8.018: 1981 Projektiranje in graditev cest, Določitev merodajne vrednosti podajnosti gibkih voziščnih konstrukcij

Merkblatt über Einsenkungsmessungen mit dem Benkelman – Balken, FGSV, Köln, 1991

SNV 640 330: 1974 Deflektionen, Allgemeines, VSS, Zürich

Terminološki slovar za cestogradnjo, DRC, Ljubljana, 1994

TSC 06.511: 2001 Prometne obremenitve, Določitev in razvrstitev

TSC 06.541: 2001 Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij

Navedeni tehnični specifikaciji za ceste TSC sta v postopku za izdajo soglasja MP.

V tehnično specifikacijo TSC 06.630 so z datiranimi in nedatiranimi referencami vključena določila drugih publikacij. Pri datiranih referencah morajo biti poznejša dopolnila ali spremembe upoštevane, če so vključene z dopolnilom ali revizijo. Pri nedatiranih referencah velja zadnja izdaja referenčne publikacije.

3 Pomen izrazov

V tej tehnični specifikaciji imajo uporabljeni strokovni izrazi naslednji pomen:

Benkelmanova gred (Benkelman-beam, Benkelman-Balken) je merna naprava za določitev elastičnega ali celokupnega posedka vozne površine pod kolesom vozila z določeno statično obremenitvijo (praviloma 50 kN).

Deflektograf (deflectograph, Deflektograph) je merna naprava za kontinuirano avtomatsko določitev (meritev in zapis) celotnih posedkov vozne površine pod določeno obremenitvijo koles vozila med vožnjo.

Deflektometer (deflectometer, Deflektometer) je merna naprava za avtomatsko določitev (meritev in zapis) posebkov vozne površine pod določeno dinamično obremenitvijo.

Homogen odsek (homogeneous section, homogener Abschnitt) je opredeljen z izbranim količnikom variacije, tj. razmerjem med standardnim odklonom izmerjenih podajnosti in njihovo srednjo vrednostjo.

Interval vzorčenja (test point (sampling) interval, Messpunktabstand) je razdalja med dvema zaporednima mernima točkama.

Kalibrirati (calibrate/adjust, kalibrieren/justieren) pomeni preveriti ustreznost določenih značilnosti opreme in/ali njihova umeritev na zahtevano mero.

Kolesna sled (wheel pass, Radspur) je območje na vozišču, kjer se najpogosteje odvija promet; na enem prometnem pasu sta dve kolesni sledi.

Kolesnica (rut, Spurrinne) je vzdolžni žleb, ki nastane v območju kolesne sledi zaradi preoblikovanja v voziščno konstrukcijo in/ali v podlago vgrajenega materiala.

Krovna plast (surfacing, Decke) je vrhni del voziščne konstrukcije; praviloma zgrajen iz obrabne in (z ustreznim vezivom) vezane zgornje nosilne plasti.

Merodajna podajnost (design deflection, massgebende Durchbiegung) je posedek vozne površine pod določeno obremenitvijo z upoštevanimi vplivi na rezultat meritev (korekcijami).

Modul elastičnosti (modulus of elasticity, Elastizitätsmodul) (dinamični) je količnik normalne napetosti in elastičnega raztezka (pod dinamično obremenitvijo).

Nazivna (nominalna) osna obremenitev (NOO) (nominal axle load, nominelle Achslast) je opredeljena osna obremenitev za osnovo pri primerjavah vpliva različnih osnih obremenitev.

Nosilnost (bearing capacity, Tragfähigkeit) voziščne konstrukcije je mehanska odpornost plasti v sklopu utrditve ceste proti kratkotrajnim obremenitvam.

Podajnost (deflection, Durchbiegung) je posedek površine pod določeno obremenitvijo kot merilo stanja (razpoložljive nosilnosti) konstrukcije v času meritve; sestoji iz elastične in plastične komponente.

Poissonov količnik (Poisson's ratio, Poisson'sche Querdehnungszahl) je razmerje prečnega in vzdolžnega raztezka materiala.

Preostala doba trajanja (residual lifetime, Restlebensdauer) je časovno obdobje med izvršeno meritvijo (npr. podajnosti vozne površine) in utrujenostjo (porušitvijo) vgrajenega materiala.

Prometni pas (traffic lane, Verkehrsstreifen) je del vozišča, primerno širok za premikanje ene vrste vozil v eni smeri, vključno z označbami.

Trajnost (durability, Dauerhaftigkeit) je časovno obdobje med vgraditvijo in utrujenostjo (porušitvijo) vgrajenega materiala (npr. v voziščno konstrukcijo).

Voziščna konstrukcija (pavement, Fahrbahnbefestigung) je del utrditve prometne površine, ki sestoji iz ene ali več nosilnih plasti in obrabne plasti.

Vozna površina (vozišče) (pavement surface, Fahrbahnoberfläche) je enakomerna, neprekinjena utrjena površina obrabne plasti voziščne konstrukcije, po kateri poteka promet.

4 Osnovni postopki meritev podajnosti

Uveljavljeni postopki meritev podajnosti obstoječih vozni površinah so zasnovani na statični ali dinamični obremenitvi mernega mesta.

Osnovni postopki so opredeljeni kot meritev podajnosti vozne površine

- z Benkelmanovo gredjo (pod mirujočo obremenitvijo),
- z deflektografom Lacroix (pod kotalečo obremenitvijo) in
- z deflektometrom Dynatest 8000 FWD (s padajočo utežjo - pod dinamično obremenitvijo).

Za posebne namene in v posebnih pogojih je mogoče določiti podajnost vozne površine tudi z drugačnim postopkom, npr. z optičnim deflektometrom, merno sondo (vgrajeno v voziščno konstrukcijo), vibratorji (za meritve amplitud nihanja) in drugimi.

Različne obremenitve, opredeljene za navedene osnovne postopke meritev, pogojujejo različne vrednosti podajnosti, ki med seboj niso neposredno primerljive.

Za ugotavljanje stanja obstoječe voziščne konstrukcije in za določitev primernih ukrepov je treba z uveljavljenimi postopki meritev podajnosti določiti

- merodajno podajnost vozne površine homogenega odseka ceste d_m
- dobo trajanja voziščne konstrukcije.

5 Oprema za meritve podajnosti

Oprema za meritve podajnosti vozne površine mora zagotoviti:

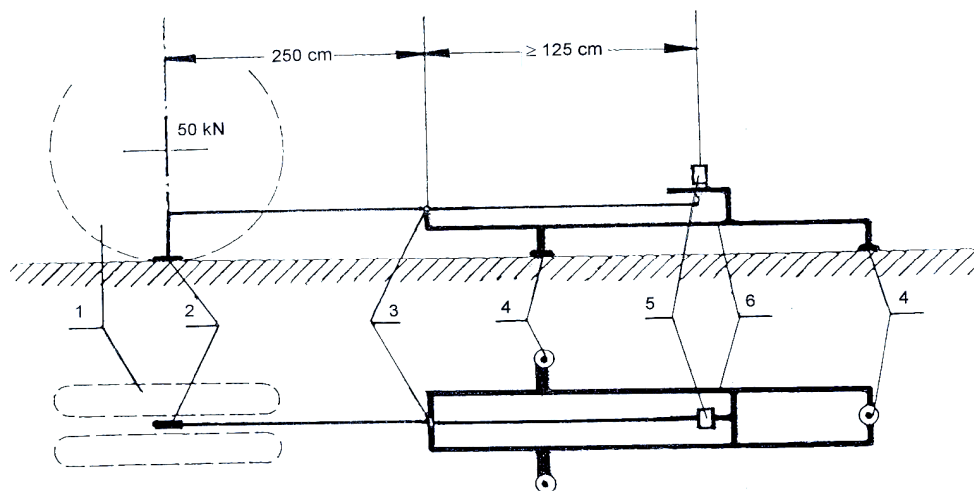
- ponovljivost,
- točnost meritev in registracije podajnosti v grafičnem ali digitalnem zapisu in
- trajnost zapisa.

Vsa oprema za meritve podajnosti mora biti skladna s pogojenimi tehničnimi karakteristikami in umerjena po ustreznem postopku, ki ga praviloma predpisuje proizvajalec opreme, ter opremljena z veljavnim certifikatom.

5.1 Benkelmanova gred

Benkelmanova gred je mehanska merna naprava za prenos vertikalnih pomikov (podajnosti) vozne površine na merno urico (slika 1). Sestavljena je iz naslednjih delov:

- prenosnega ali prevoznega stojala s tremi podporami; višina vseh podpor je nastavljiva
- vertikalno gibljive tipalne ročice, ki jo je mogoče zaklopiti
- merne urice (premera $\Phi 100$ mm) z mernim območjem 30 mm in razdelitvijo lestvice na 0,01 mm
- nastavljivega vibratorja za izločitev trenja tipalne ročice in v tipalu merne urice.



Slika 1: Benkelmanova gred

Legenda:

- 1 – položaj koles
- 2 – konica tipalne ročice
- 3 – podporni členek
- 4 – nastavljiva podpora
- 5 – merna urica
- 6 – stojalo

Dolžina tipalne ročice od tipalne konice do ležišča (250 cm) in od ležišča do merne urice (125 cm) mora biti praviloma v razmerju 2 : 1 (ali 1 : 1). Oddaljenost tipalne konice do bližnjih podpor mora znašati najmanj 270 cm.

Med vsakršnim premikanjem v sklopu priprave za meritve podajnosti mora biti tipalna ročica Benkelmanove gredi zaklopljena.

Namesto merne urice je mogoče uporabiti ustrezno natančno elektronsko merno opremo (npr. induktivni merilnik pomikov).

Za obremenitev mernega mesta je potrebno dvoosno tovorno vozilo, ki ima na zadnji (merni) osi obojestransko dvojni kolesi. Razmik med notranjima robovoma pnevmatik na kolesih mora znašati 90 do 140 mm. Obremenitev osi mora znašati 100 kN in jo je treba preveriti na ustrezni tehnici pred in po meritvah. V primeru odstopanja kolesne obremenitve (od 50 kN) je treba vrednosti podajnosti ustrezno korigirati. – Pritisk v pnevmatikah obeh koles mora biti enak in znašati približno 0,7 MPa, najmanj pa 0,45 MPa.

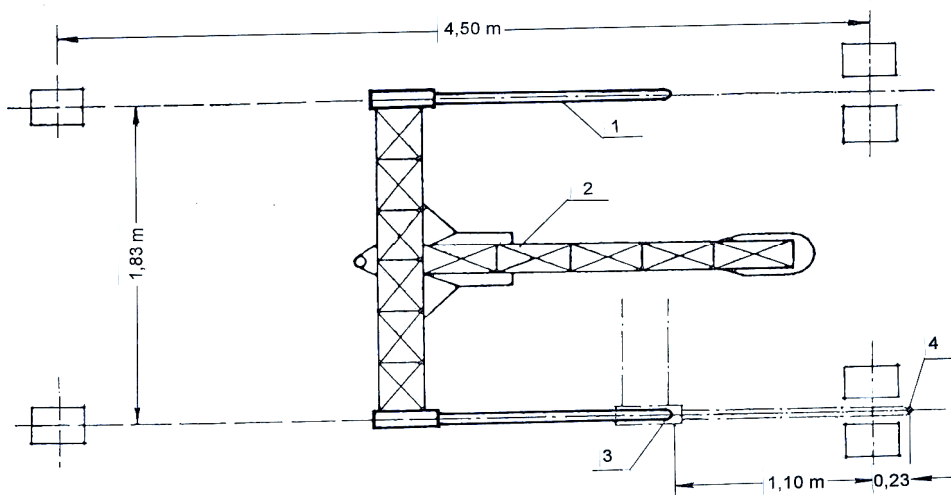
Za meritve temperature asfaltnih krovnih plasti (praviloma v globini 4 cm) so predvsem primerne električne merne naprave s tipalom in mernim območjem od 0°C do 50°C. Zadostuje natančnost meritve temperature na 1°C.

Benkelmanova gred mora zagotoviti natančnost meritve podajnosti vozne površine v območju do $\pm 0,05$ mm.

5.2 Deflektograf Lacroix

Deflektograf Lacroix sestoji iz naslednjih osnovnih sklopov:

- tovornega vozila, ki je
 - nosilec merne opreme in
 - obremenitev za izvedbo meritev,
- merne opreme, ki sestoji iz
 - stabilnega nosilnega ogrodja,
 - premičnega nosilnega okvirja z dvema tipalnima ročicama (slika 2)
 - dveh induktivnih merilnikov pomikov tipalnih ročic
 - računalniško podprtega sistema za preverjanje poteka meritev, krmiljenje gibanja premičnega nosilnega okvirja in za avtomatsko registracijo podajnosti ter posredovanje podatkov v računalnik
- računalnika s pripadajočo programsko opremo za zapis vseh potrebnih podatkov o meritvah in rezultatih.



Slika 2: Deflektograf Lacroix – merna oprema

Legenda:

- 1 – tipalna ročica
- 2 – premični nosilni okvir
- 3 – začetni položaj tipalne ročice
- 4 – končni položaj tipalne ročice

Oprema za avtomatsko registracijo rezultatov meritev omogoča elektronski zapis ali zapis na papirnem traku.

Za obremenitev mernega mesta morata biti na zadnji osi tovornega vozila obojestransko dvojni kolesi. Osa obremenitev mora znašati 100 kN in jo je v primeru potrebe mogoče zagotoviti z uravnavanjem količine vode v cisterni na tovornem vozilu.

Pritisk v pnevmatikah koles na merni osi vozila mora biti enak in znašati 0,7 do 0,8 MPa.

Za meritve temperature asfaltne krovne plasti je treba uporabiti merilnik – termometer z mernim območjem od 0°C do 50°C.

Kalibriranje deflektografa mora biti izvršeno skladno z navodili proizvajalca vsak dan meritev in sicer vsake tipalne ročice posebej.

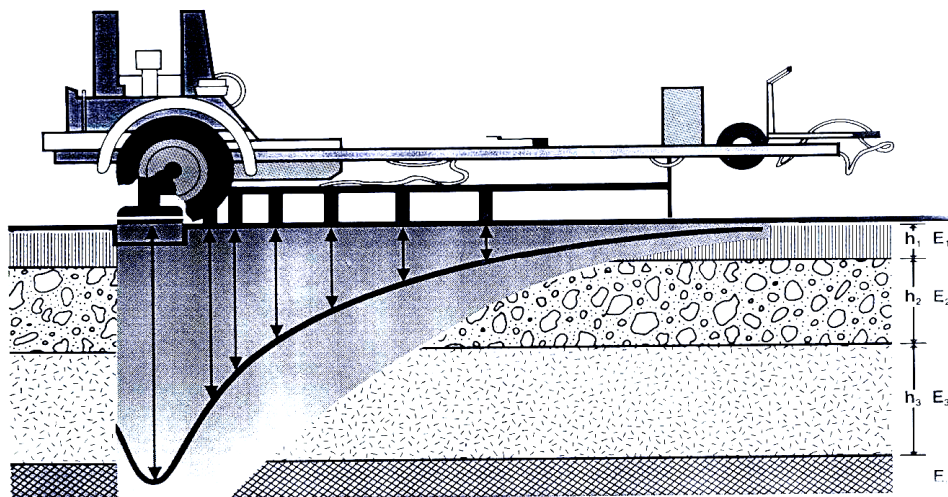
S kalibriranjem deflektografa je treba zagotoviti točnost razmerja med premikom konice tipalne ročice in registriranim premikom. Dovoljeno odstopanje znaša $\pm 0,02$ mm.

Merna oprema mora zagotoviti natančnost meritve posedka v območju do $\pm 0,05$ mm in natančnost merjenja razdalj (med mernimi mesti in skupaj) do ± 3 %.

5.3 Deflektometer Dynatest 8000 FWD

Deflektometer Dynatest 8000 FWD (Falling Weight Deflectometer) s padajočo utežjo sestoji iz naslednjih osnovnih sklopov:

- praviloma enoosne priklovice (slika 3), ki je
 - nosilec opreme za dinamično obremenitev (prosto padajoče uteži, senzorjev, sklopa gumijastih vzmeti, krožne obremenilne plošče s senzorjem obremenitve) in
 - nosilec merne opreme (merilnikov podajnosti – geofonov),
- računalniško podprtega sistema za preverjanje poteka meritev ter posredovanje podatkov v računalnik in
- računalnika s pripadajočo programsko opremo za krmiljenje celotnega postopka ter opremo za registracijo in obdelavo vseh potrebnih podatkov o meritvah podajnosti in rezultatih meritev.



Slika 3: Deflektometer Dynatest 8000 FWD

Električno hidravlična oprema mora omogočati dinamično obremenitev mernega mesta v območju od 7 do 120 kN. Sklop gumijastih vzmeti nad obremenilno ploščo mora zagotoviti sinusno oblikovanje obremenitve. Zahtevane tehnične karakteristike krmiljenja obremenitve so:

- točnost: $< 0,5$ %
- ponovljivost: $\pm 0,1$ %
- čas naraščanja obremenitve: 5 do 30 ms
- čas zajemanja podajnosti: 20 do 60 ms

Tehnične karakteristike obremenilne plošče so:

- premer: 30 cm
- debelina 2 cm
- podlaga: 5 mm debela narebričena guma

Tehnične karakteristike merilnikov podajnosti – geofonov so:

- območje registracije posedkov: do 2 mm
- točnost: < 2 % ± 1 μ m
- ponovljivost: ± 2 μ m ± 1 %

Absolutno kalibriranje merilnikov podajnosti je potrebno enkrat letno, relativno pa po vsakih 10.000 meritvah (z dovoljenim odstopanjem $< \pm 1$ %)

Območje dinamičnosti merilnikov podajnosti je treba preveriti pred vsako meritvijo.

Splošni pogoji za namestitev merilnikov podajnosti – geofonov so:

- postavitev: na dolžini do 250 cm
- število: 6 do 9 kosov
- standardni razmiki med njimi: 30 cm

Razvrstitev merilnikov podajnosti vozne površine od centra obremenilne plošče je odvisna od stanja voziščne konstrukcije oziroma podajnosti vozne površine d_{mD} :

- $d_{mD} \leq 500 \mu\text{m}$:
razvrstitev na 0-30-60-90-150-210 cm
- $500 \mu\text{m} < d_{mD} \leq 1000 \mu\text{m}$:
razvrstitev na 0-30-60-90-150-180 cm
- $d_{mD} > 1000 \mu\text{m}$:
razvrstitev na 0-30-60-90-120-150 cm

Merilnik temperature mora ustrezati naslednjim zahtevam:

- območje delovanja: - 10°C do 60°C
- ločljivost: > 0,5°C
- točnost: $\pm 1^\circ\text{C}$

6 Izvajanje meritev podajnosti

6.1 Priprave za meritve

Pred pričetkom meritev podajnosti in ves čas izvajanja je treba zagotoviti varnost delovne skupine in udeležencev v prometu.

Celotna merna oprema mora biti pripravljena in kalibrirana po zahtevah v tč. 5 te TSC.

Pred pričetkom meritev podajnosti vozne površine morajo biti z nje odstranjeni vsi tujki.

Ob robu asfaltnega vozišča morajo biti pripravljene luknje za merjenje temperature krovne plasti, ki morajo biti pred meritvijo zapolnjene z glicerinom.

Vsaka meritev podajnosti mora biti dokumentirana z naslednjimi osnovnimi podatki:

- mesto meritve: označba ceste, stacionaža, mesto na prometnem pasu, vrsta obrabne plasti, posebnosti
- datum in čas trajanja meritve
- zgradba voziščne konstrukcije
- temperatura asfaltne krovne plasti
- uporabljena merna oprema: vrsta, značilnosti obremenitve
- merodajna/maksimalna obremenitev
- merodajna vrednost podajnosti, vključno z vsemi korekcijami

Za oceno stanja morajo biti izvršene meritve podajnosti vozne površine v obsegu, ki je - glede na namen in uporabljeno merno opremo - merodajen za celotno merjeno vozno površino.

Meritve podajnosti vozne površine morajo biti izvršene predvsem v zunanji kolesnici, ki je praviloma najbolj obremenjena.

6.2 Benkelmanova gred

Benkelmanova gred omogoča meritve

- celotne, tj. elastične in plastične podajnosti vozne površine (t.i. postopek »v prihodu obremenitve«) in samo
- elastične podajnosti (t.i. postopek »v odhodu obremenitve«), ki je v pretežni meri upoštevana v ovrednotenju stanja voziščne konstrukcije.

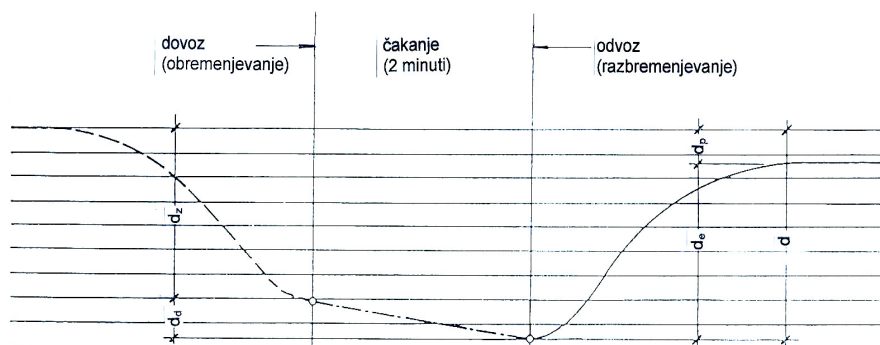
6.2.1 Postopek meritve

Benkelmanovo (merno) gred je treba tako položiti na izbrano mesto za meritve, da stojalo na vseh treh podporah dobro nalega in da je v prečni smeri vodoravno. Pred meritvijo podajnosti je treba izmeriti temperaturo asfaltne krovne plasti.

Pri meritvi podajnosti po postopku »v prihodu obremenitve« se mora tovorno vozilo v vzvratni vožnji (s hitrostjo približno 0,5 m/s) pazljivo bližati tipalni konici na ročici – Benkelmanovi gredi. – Par zadnjih koles tovornega vozila mora biti na začetku meritve oddaljen 3 m od tipalne konice. Med preskusom je treba na določenih oddaljenostih zadnje osi tovornega vozila od tipalne konice (2, 1, 0,5 in 0,25 m) in ko je ta v osi zadnjih koles tovornega vozila odčitati na merni urici vrednosti podajnosti. Po preteku približno dveh minut se mora tovorno vozilo (s hitrostjo približno 0,5 m/s) vrniti na izhodišče. Pri tem je treba izmeriti podajnost, ko je zadnja os oddaljena od tipalne konice 1 m in 3 m. Postopek meritve je shematsko prikazan na sliki 4.

Pri meritvi podajnosti vozne površine po postopku »v odhodu obremenitve« je treba zadnjo os tovornega vozila, tj. obremenilni kolesi, postaviti na merno mesto (slika 5 - točka A).

Na mernem mestu na asfaltni krovni plasti sme stati tovorno vozilo – obremenitev največ eno minuto.



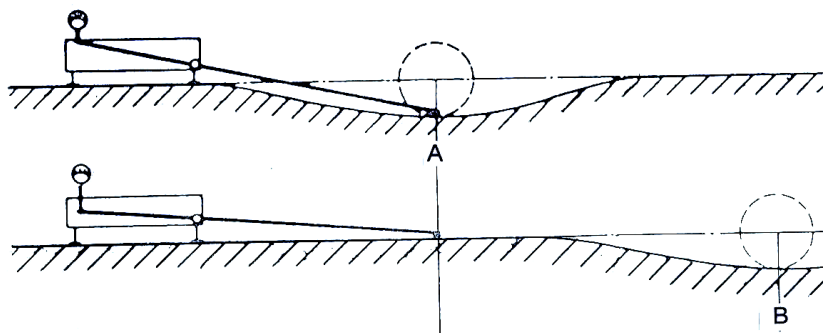
Slika 4: Shematski prikaz meritve celotne podajnosti vozne površine

Legenda:

- d – celotna podajnost mernega mesta
- d_z – začetna podajnost pri obremenjevanju
- d_d – dodatna podajnost med čakanjem pod obremenitvijo
- d_e – elastična podajnost
- d_p – plastična podajnost

Tipalno ročico je treba potisniti med par obremenilnih koles, tako da se tipalna konica po sprostitvi zaklopa dotika površine nekaj centimetrov pred osjo koles (v smeri vožnje tovornega vozila naprej). Po vključitvi in ustrez-

ni nastavitvi vibratorja in merne urice ter odčitka na njej mora tovorno vozilo odpeljati približno 10 m naprej od mernega mesta (točka B), ko je treba – po umiritvi kazalca – ponovno odčitati stanje na merni urici.



Slika 5: Shematski prikaz meritve elastične podajnosti vozne površine z Benkelmanovo gredjo

6.2.2 Izvrednotenje rezultatov

Na osnovi rezultatov meritev podajnosti z Benkelmanovo gredjo je mogoče določiti

- merodajno podajnost in
- preostalo dobo trajanja voziščne konstrukcije ter morebitno potrebno nadgradnjo.

Razlika med odčitkoma na merni urici, ko je merno mesto obremenjeno z določeno osno oziroma kolesno obremenitvijo in ko je razbremenjeno oziroma ponovno umirjeno, predstavlja osnovo za izračun podajnosti vozne površine na merni točki. Ugotovljene vrednosti podajnosti je treba navesti v 0,01 mm.

Morebitno odstopanje

- kolesne obremenitve od standardizirane (50 kN) in
- temperature krovne plasti od standardizirane (20°C)

ter vpliv kritičnega letnega obdobja na merodajno podajnost vozne površine je treba ovrednotiti z ustreznimi korekturnimi količniki.

Ker je vpliv vzdolžnega nagiba vozišča na obremenitev razmeroma majhen (približno ± 1 % pri vzdolžnem nagibu 8 %), je treba pri večjih vzdolžnih nagibih izvajati primerjalne meritve vedno v isti smeri vožnje.

6.2.2.1 Vpliv kolesne obremenitve

Količniki vpliva kolesne obremenitve k_{ko} (v območju od 30 do 70 kN) na izračun podajnosti površine so navedeni v razpredelnici 1. V navedenih vrednostih je upoštevano

- razmerje 2 : 1 za vertikalni pomik tipalne konice na tipalni ročici in igle na merni urici ter
- preračun vrednosti podajnosti z enot na skali merne urice na milimetre.

Maksimalno podajnost d_i je treba določiti po enačbi

$$d_i = k_{ko} \times (d_{To} - d_{Tr})$$

kjer pomeni:

- d_{To} - odčitek na skali merne urice pod obremenitvijo
- d_{Tr} - odčitek po razbremenitvi

6.2.2.2 Vpliv temperature

Za izračun vpliva temperature v asfaltni krovni plasti (v območju od 5°C do 30°C) na podajnost vozne površine so v razpredelnici 2 navedeni korekturni količniki k_T . Pri temperaturah izven navedenega območja meritve podajnosti niso primerne.

Srednjo temperaturo asfaltna krovne plasti je treba določiti po enačbi:

$$T_m = \frac{5T_o + (h - 5)T_{10}}{h}$$

kjer pomeni:

- T_o - temperatura na vozni površini (°C)
- T_{10} - temperatura v globini 10 cm (°C)
- h - debelina asfaltna krovne plasti

Razpredelnica 1: Količniki vpliva kolesne obremenitve na izračun podajnosti vozne površine

Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}	Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}	Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}	Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}
30,0	0,0333	40,0	0,0250	50,0	0,0200	60,0	0,0167
30,5	0,0328	40,5	0,0247	50,5	0,0198	60,5	0,0166
31,0	0,0323	41,0	0,0244	51,0	0,0196	61,0	0,0164
31,5	0,0318	41,5	0,0241	51,5	0,0194	61,5	0,0163
32,0	0,0312	42,0	0,0238	52,0	0,0192	62,0	0,0161
32,5	0,0308	42,5	0,0235	52,5	0,0190	62,5	0,0160
33,0	0,0303	43,0	0,0232	53,0	0,0189	63,0	0,0159
33,5	0,0298	43,5	0,0230	53,5	0,0187	63,5	0,0158
34,0	0,0294	44,0	0,0227	54,0	0,0185	64,0	0,0156
34,5	0,0290	44,5	0,0225	54,5	0,0183	64,5	0,0155
35,0	0,0286	45,0	0,0222	55,0	0,0182	65,0	0,0154
35,5	0,0282	45,5	0,0220	55,5	0,0180	65,5	0,0153
36,0	0,0278	46,0	0,0217	56,0	0,0179	66,0	0,0151
36,5	0,0274	46,5	0,0215	56,5	0,0177	66,5	0,0150
37,0	0,0270	47,0	0,0213	57,0	0,0175	67,0	0,0149
37,5	0,0267	47,5	0,0211	57,5	0,0174	67,5	0,0148
38,0	0,0263	48,0	0,0208	58,0	0,0172	68,0	0,0147
38,5	0,0260	48,5	0,0206	58,5	0,0171	68,5	0,0146
39,0	0,0257	49,0	0,0204	59,0	0,0169	69,0	0,0145
39,5	0,0253	49,5	0,0202	59,5	0,0168	69,5	0,0144

Razpredelnica 2: Količniki vpliva temperature na izračun podajnosti vozne površine z asfaltno krovno plastjo (debeline h)

Srednja temperatura asfaltne krovne plasti T_m [°C]	Debelina h asfaltne krovne plasti Količnik k_T		
	od 5 do 10 cm	od 10 do 20 cm	od 20 do 30 cm
5		1,50	
6		1,335	
7		1,265	
8		1,205	
9		1,165	
10		1,135	
11		1,11	
12		1,09	
13		1,075	
14		1,06	
15		1,05	
16		1,04	
17		1,03	
18		1,025	
19		1,02	
20	1,000	1,000	1,000
21	0,985	0,975	0,99
22	0,98	0,955	0,975
23	0,975	0,94	0,955
24	0,975	0,925	0,935
25	0,97	0,91	0,915
26	0,97	0,895	0,89
27	0,97	0,88	0,87
28	0,97	0,865	0,845
29	0,97	0,85	0,825
30	0,97	0,835	0,80

Vrednost podajnosti vozne površine d_{20} , tj. iz vrednotene za temperaturo 20°C, je treba določiti pri voziščnih konstrukcijah z asfaltno krovno plastjo in

- nevezano spodnjo nosilno plastjo po enačbi

$$d_{20} = d_i \times k_T \quad (\text{mm})$$

- hidravlično vezano spodnjo nosilno plastjo po enačbi

$$d_{20} = d_i + k_h \quad (\text{mm})$$

kjer pomeni:

- k_h - korekturna vrednost, določena v razpredelnici 3.

Razpredelnica 3: Korekturna vrednost vpliva sestave voziščne konstrukcije (hidravlično vezane spodnje nosilne plasti) na izračun podajnosti vozne površine pri različni temperaturi

Srednja temperatura asfaltne krovne plasti T_m [°C]	Korekturna vrednost k_h [mm]
5	0,05
6	0,05
7	0,05
8	0,04
9	0,04
10	0,04
11	0,03
12	0,03
13	0,03
14	0,02
15	0,02
16	0,01
17	0,01
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	- 0,01
22	- 0,02
23	- 0,02
24	- 0,03
25	- 0,03
26	- 0,04
27	- 0,05
28	- 0,05
29	- 0,06
30	- 0,06

6.2.2.3 Vpliv letnega obdobja

Vpliv letnega obdobja na izračun podajnosti vozne površine je odvisen predvsem od

- stanja vozišča,
- občutljivosti materialov, vgrajenih v območju zmrzovanja, na škodljive učinke mraza ter

- klimatskih in hidroloških pogojev.

Informativne vrednosti količnikov vpliva letnega obdobja c so navedene v razpredelnici 4.

Razpredelnica 4: Količniki vpliva letnega obdobja na izračun podajnosti vozne površine z asfaltno krovno plastjo

Količnik c	Značilni pogoji za določitev informativne vrednosti
1,0	meritev je izvršena v obdobju najmanjše nosilnosti (ob odjugu)
1,1 – 1,2	voziščna konstrukcija ni občutljiva na učinke mraza, klimatski in hidrološki pogoji so ugodni
1,2 – 1,4	v voziščno konstrukcijo je vgrajena nosilna plast na učinke mraza delno občutljive nevezane zmesi zrn, klimatski in hidrološki pogoji so ugodni
1,6 – 2,0	krovna plast voziščne konstrukcije je razpokana, v voziščno konstrukcijo je vgrajena nosilna plast na učinke mraza srednje občutljive zmesi zrn, klimatski in hidrološki pogoji so neugodni

6.2.2.4 Določitev homogenih odsekov

Pogoj za homogen odsek vozišča glede na podajnost je količnik variacije k_v , ki ga je treba določiti po enačbi

$$k_v = \frac{s}{\bar{d}} \leq 0,35$$

kjer pomeni:

- s - standardni odklon vrednosti podajnosti, določen po enačbi:

$$s = \sqrt{\frac{d_{20}^2 - \bar{d} \sum d_{20}}{n - 1}}$$

- $\bar{d}$ - srednja vrednost podajnosti, določena po enačbi:

$$\bar{d} = \frac{\sum d_{20}}{n}$$

Dolžina homogenega odseka praviloma ne sme biti krajša od 100 m v naseljih in 200 m izven naselij.

6.2.2.5 Določitev merodajne elastične podajnosti

Merodajno elastično podajnost vozne površine z asfaltno krovno plastjo, določeno na osnovi

rezultatov meritev podajnosti z Benkelmanovo gredjo, je treba določiti po enačbi:

$$d_{mB} = c \cdot (\bar{d} + k_{pr} \cdot s)$$

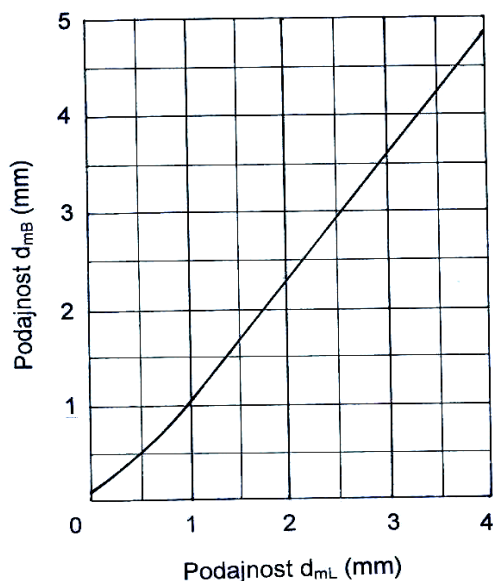
kjer pomeni:

- k_{pr} - količnik, odvisen od vrste ceste in željene stopnje varnosti ter znaša:
 - $k_{pr} = 2,0$: za avtoceste, hitre ceste in glavne ceste (težek promet)
 - $k_{pr} = 1,6$: za regionalne ceste (srednji promet)
 - $k_{pr} = 1,3$: za lokalne ceste (lahek promet)

Merodajna elastična podajnost d_{mB} je osnova za oceno stanja voziščne konstrukcije.

V postopku določanja stanja voziščnih konstrukcij in morebitnih potrebnih ukrepov za ureditev stanja je opredeljena kot merodajna podajnost d_{mL} , določena z deflektografom Lacroix (TSC 06.541).

Korelacija vrednosti podajnosti, izvedenoteni na osnovi rezultatov meritev z Benkelmanovo gredjo (d_{mB}) in z deflektografom Lacroix (d_{mL}), je opredeljena na sliki 6.



Slika 6: Korelacija vrednosti merodajnih podajnosti po postopku z Benkelmanovo gredjo d_{mB} in z deflektografom Lacroix d_{mL}

6.3 Deflektograf Lacroix

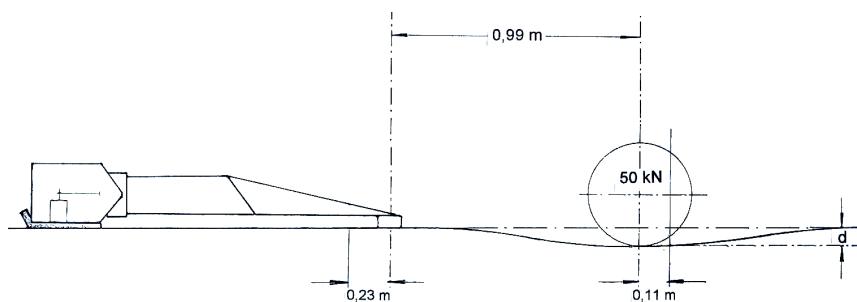
Deflektograf je merna naprava za kontinuirano avtomatsko določitev (meritev in zapis) podajnosti vozne površine pod določeno obremenitvijo koles vozila med vožnjo.

Naprava je skonstruirana tako, da je uporabljen - kot pri Benkelmanovi gredi - princip postopka »v prihodu«.

Postopek meritev podajnosti z deflektografom Lacroix omogoča presojo trenutnega stanja voziščne konstrukcije.

6.3.1 Postopek meritve

Deflektograf, tj. tovorno vozilo z merno opremo, mora biti pred pričetkom meritev postavljeno z zadnjo osjo na začetek mernega odseka ceste. Tipalni ročici z mehanizmom za registracijo podajnosti vozne površine je treba sprostiti, tako da nalegata na površino. Tipalni konici na ročicah sta v tem položaju oddaljeni približno 100 cm od sredine zadnje osi tovornega vozila (slika 7). Pred pričetkom meritev podajnosti je treba izmeriti temperaturo asfaltne krovne plasti.



Slika 7: Shematski prikaz meritve podajnosti vozne površine z deflektografom Lacroix

Celotni postopek meritev podajnosti vozne površine z deflektografom Lacroix je elektronsko krmiljen (preko računalniške tastature).

V postopku merjenja se po aktiviranju meritev, med kontinuirnim premikanjem tovornega vozila s hitrostjo približno 2 km/h, izmenjujejo naslednji koraki:

- krmiljenje gibanja premičnega nosilnega okvirja naprej za izbrano dolžino med 3,50 in 5,50 m (v začetni položaj za naslednji cikel meritve)
- premikanje zadnjih koles tovornega vozila proti tipalni ročici oziroma njeni konici, ki sledi posedkom po obremenitvi zadnjih koles
- avtomatska registracija podajnosti s pomočjo dveh induktivnih merilnikov pomikov tipalnih ročic

Rezultati meritev posedkov z deflektografom Lacroix so registrirani v digitalni obliki.

6.3.2 Izvrednotenje rezultatov

Na osnovi rezultatov meritev podajnosti z deflektografom je mogoče določiti

- merodajno podajnost,
- preostalo dobo trajanja voziščne konstrukcije in morebitno potrebno nadgradnjo.

Postopek izvrednotenja rezultatov meritev podajnosti vozne površine z deflektografom Lacroix d_{mL} je v osnovah enak kot pri meritvah z Benkelmanovo gredjo. V ustrezni meri je treba upoštevati vse vplive, navedene v tč. 6.2.2, vključno določitev homogenih odsekov in merodajne podajnosti.

6.4 Deflektometer Dynatest 8000 FWD

Meritve podajnosti vozne površine z deflektometrom Dynatest 8000 FWD morajo biti v osnovi izvršene po vsakokratnih veljavnih podrobnih navodilih proizvajalca merne opreme.

Meritve podajnosti vozne površine z deflektometrom s padajočo utežjo omogočajo določitev karakteristik mernega mesta (trenutno stanje, trajnost) in trenutnega stanja v voziščno konstrukcijo vgrajenih materialov.

6.4.1 Postopek meritve

Postopek meritve podajnosti vozne površine z deflektometrom temelji na dinamični obremenitvi krožne obremenilne plošče s padajočo utežjo. Časovni potek in sila obremenitve morata biti podobna kot pri obremenitvi s kolesom vozila.

Pred pričetkom meritev podajnosti je treba

- zagotoviti dobro naleganje obremenilne plošče in vseh merilnikov podajnosti na vozno površino,
- izmeriti temperaturo asfaltne krovne plasti ter
- nastaviti posamezne osnovne in morebitne dodatne parametre za meritve (način, obremenitev, število merilnikov).

Meritve podajnosti vozne površine z deflektometrom je praviloma treba izvajati v sredini obremenilne plošče in na 6 mestih v območju nosilca merne opreme. Pri tem mora biti razmik med tremi zunanjimi merilniki (ki so bolj oddaljeni od obremenilne plošče) praviloma večji od ekvivalentne debeline voziščne konstrukcije. Razdaljo med posameznimi mernimi mesti je treba določiti glede na namen izvajanja meritev in sme znašati do 50 m za potrebe postopka uporabe podatkov po TSC in do 200 m za postopke gospodarjenja z vozišči.

Celotni postopek meritev podajnosti vozne površine z deflektometrom s padajočo utežjo je elektronsko krmiljen z ukazi preko računalnika. V njem morajo biti shranjeni tudi vsi podatki o meritvah, katerih pravilnost mora biti po posebnem programu preverjena.

6.4.2 Izvrednotenje rezultatov

Na osnovi rezultatov meritev podajnosti vozne površine z deflektometrom s padajočo utežjo je mogoče določiti

- merodajno podajnost d_{mD} ,
- dinamične module elastičnosti v voziščno konstrukcijo vgrajenih plasti materialov ter
- preostalo dobo trajanja voziščne konstrukcije in morebitno potrebno nadgradnjo.

6.4.2.1 Merodajna podajnost

Za določitev merodajne podajnosti vozne površine z asfaltno krovno plastjo je treba pri meritvi s padajočo utežjo zagotoviti dinamično obremenitev obremenilne plošče, ekvivalentno kolesni obremenitvi 50 kN.

Kot merodajno podajnost vozne površine je treba praviloma upoštevati vrednost, ugotovljeno pri tretjem preskusu s padajočo utežjo.

Vpliv temperature na podajnost vozne površine je treba upoštevati pri izvedenju modula elastičnosti. Vpliv letnega obdobja na podajnost vozne površine, izmerjene z deflektometrom, in na nadaljnja izvedenja značilnosti stanja voziščne konstrukcije ni upoštevan.

6.4.2.2 Moduli elastičnosti plasti materialov

Za izvedenja dinamičnih modulov elastičnosti plasti vgrajenih materialov, ki posredno opredeljujejo stanje voziščne konstrukcije, je treba opredeliti strukturo voziščne konstrukcije. Izračun debelin ekvivalentnih plasti temelji na teoriji polprostora po Odemarku in na prirejenem računalniškem programu (ELMOD). Pogojeni so naslednji dodatni vhodni podatki:

- obremenitev plošče (kN/m^2)
- premer obremenilne plošče (standardni znaša 30 cm)
- število plasti v voziščni konstrukciji (največ 4)
- debeline posameznih plasti ($h \geq 6$ cm)
- Poissonova števila vgrajenih materialov
- razmiki med merilniki podajnosti – geofoni.

6.4.2.3 Preostala doba trajanja

Na osnovi rezultatov meritev podajnosti vozne površine z deflektometrom in izvedenih dinamičnih modulov elastičnosti plasti vgrajenih materialov omogoča prirejeni računalniški program ELMOD še izračun preostale dobe tra-

janja voziščne konstrukcije za predvideno prometno obremenitev, tj. število prehodov nominalne osne obremenitve (82 kN), in morebitno potrebno nadgradnjo (preplastitev, ojačitev.)

Predvideno prometno obremenitev je treba opredeliti po določilih v TSC 06.511.

7 Kriteriji za oceno stanja

Osnovni pogoj za oceno stanja voziščne konstrukcije je določitev homogenih odsekov. Dolžina takšnega odseka mora praviloma znašati izven naselij vsaj 200 m in v naseljih 100 m.

Merodajno prometno obremenitev za opredelitev stanja voziščne konstrukcije je treba določiti po TSC 06.511. Informativna razvrstitev prometnih obremenitev v skupine je navedena v razpredelnici 5.

7.1 Merodajna podajnost pri novogradnjah

Merodajne vrednosti podajnosti površine na novozgrajenih voziščih z asfaltno krovno plastjo (mejna - d_{mm} in skrajna mejna - d_{ms}) so navedene v razpredelnici 6.

7.2 Merodajna podajnost za obstoječe ceste

Merodajne mejne vrednosti (mejna - d_{mm}) podajnosti površine na obstoječih voziščih z asfaltno krovno plastjo so navedene v razpredelnici 7. Skrajne mejne vrednosti so lahko praviloma do 0,1 mm večje.

Razpredelnica 5: Informativna razvrstitev prometnih obremenitev v skupine

Skupina prometne obremenitve	Število prehodov nominalne osne obremenitve 82 kN	
	na dan	v 20. letih
- izredno težka	nad 3000	nad 2×10^7
- zelo težka	nad 800 do 3000	nad 6×10^6 do 2×10^7
- težka	nad 300 do 800	nad 2×10^6 do 6×10^6
- srednja	nad 80 do 300	nad 6×10^5 do 2×10^6
- lahka	nad 30 do 80	nad 2×10^5 do 6×10^5
- zelo lahka	do 30	do 2×10^5

Razpredelnica 6: Merodajne vrednosti podajnosti površine na novozgrajenih voziščih z asfaltno krovno plastjo

Skupina prometne obremenitve	Načrtovana doba trajanja			
	10 let		20 let	
	Vrednost podajnosti (mm)			
	mejna – d _{mm}	skrajna – d _{ms}	mejna – d _{mm}	skrajna – d _{ms}
- izredno težka	0,45	0,55	0,40	0,45
- zelo težka	0,60	0,70	0,50	0,60
- težka	0,75	0,85	0,65	0,75
- srednja	0,90	1,00	0,80	0,90
- lahka	1,05	1,15	0,95	1,05
- zelo lahka	1,20	1,30	1,10	1,20

Razpredelnica 7: Merodajne mejne vrednosti podajnosti površine na obstoječih voziščih z asfaltno krovno plastjo

Skupina prometne obremenitve	Načrtovana doba trajanja			
	5 let	10 let	15 let	20 let
	Mejna vrednost podajnosti d_{mm} (mm)			
- izredno težka	0,8	0,7	0,6	0,5
- zelo težka	0,9	0,8	0,7	0,6
- težka	1,2	1,0	0,9	0,8
- srednja	1,5	1,2	1,1	1,0
- lahka	1,7	1,4	1,2	1,1
- zelo lahka	1,8	1,6	1,4	1,2

Ljubljana, februar 2002