



Hrvatsko asfaltno društvo

Croatian asphalt association

*Projektiranje obnove i rekonstrukcije
cestovnih kolnika u Srbiji*

*Rehabilitation and reconstruction
pavement design in Serbia*

Prof. Goran Mladenović


Građevinski fakultet u Beogradu

Međunarodni seminar ASFALJNI KOLNICI 2018

International seminar ASPHALT PAVEMENTS 2018

Opatija, 12.–13. 04. 2018.

SADRŽAJ

- ▶ Putna mreža Srbije
 - ▶ Projekat rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja
 - ▶ Zahtevi projektnih zadataka za rehabilitaciju
 - ▶ Implementacija kroz projekte
 - ▶ Neki aspekti merenja ugiba i analize nosivosti
- 

PUTNA MREŽA SRBIJE

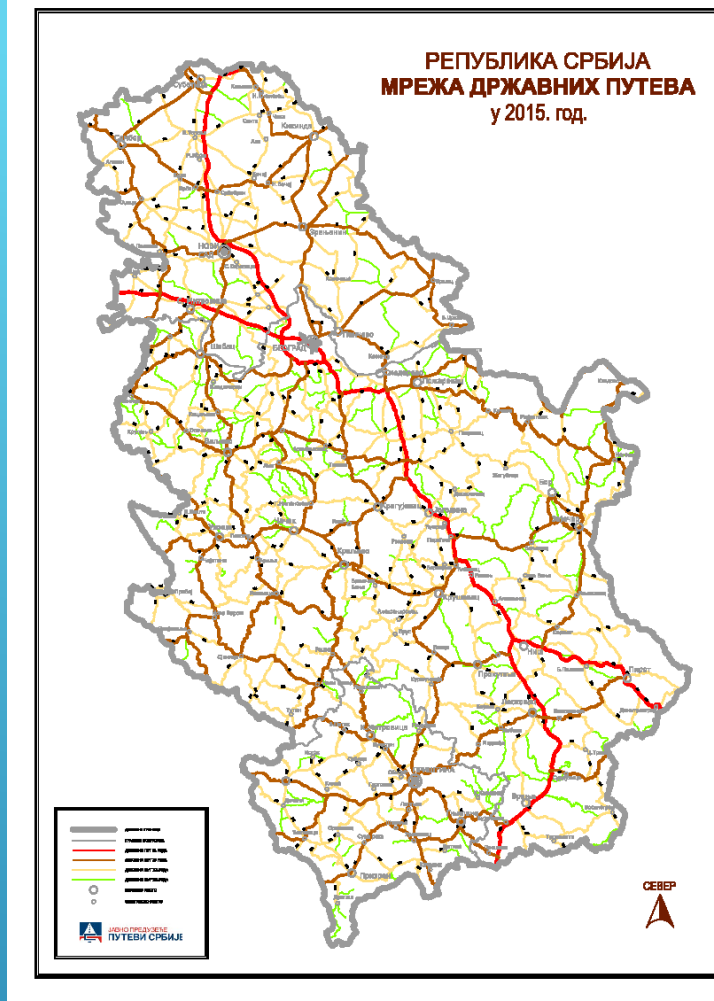
▶ Državni putevi I reda

- ▶ Državni putevi IA reda 781.63 km
- ▶ Državni putevi IB reda 3859.49 km
- ▶ Ukupno **4641.12 km**

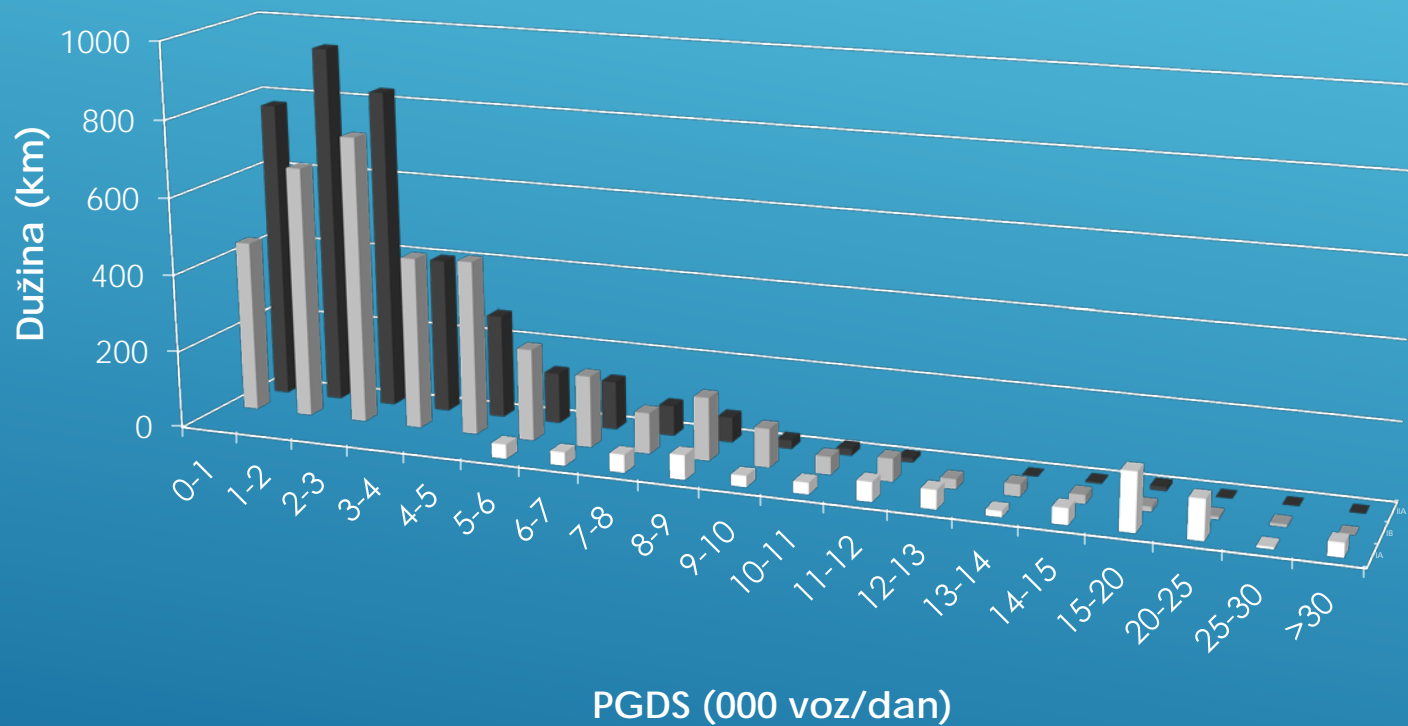
▶ Državni putevi II reda

- ▶ Državni putevi IIA reda 6924.69 km
- ▶ Državni putevi IIB reda 2741.12 km
- ▶ Ukupno **9665.81 km**

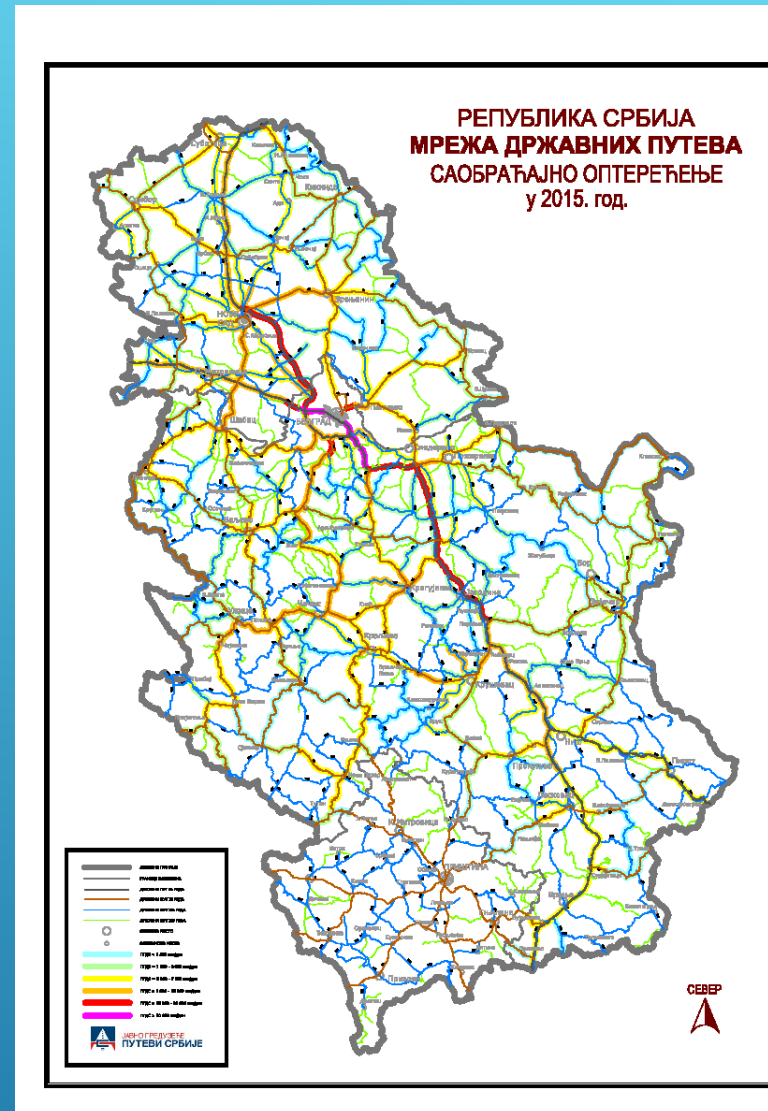
▶ UKUPNO DRŽAVNI PUTEVI **14306.93 km**



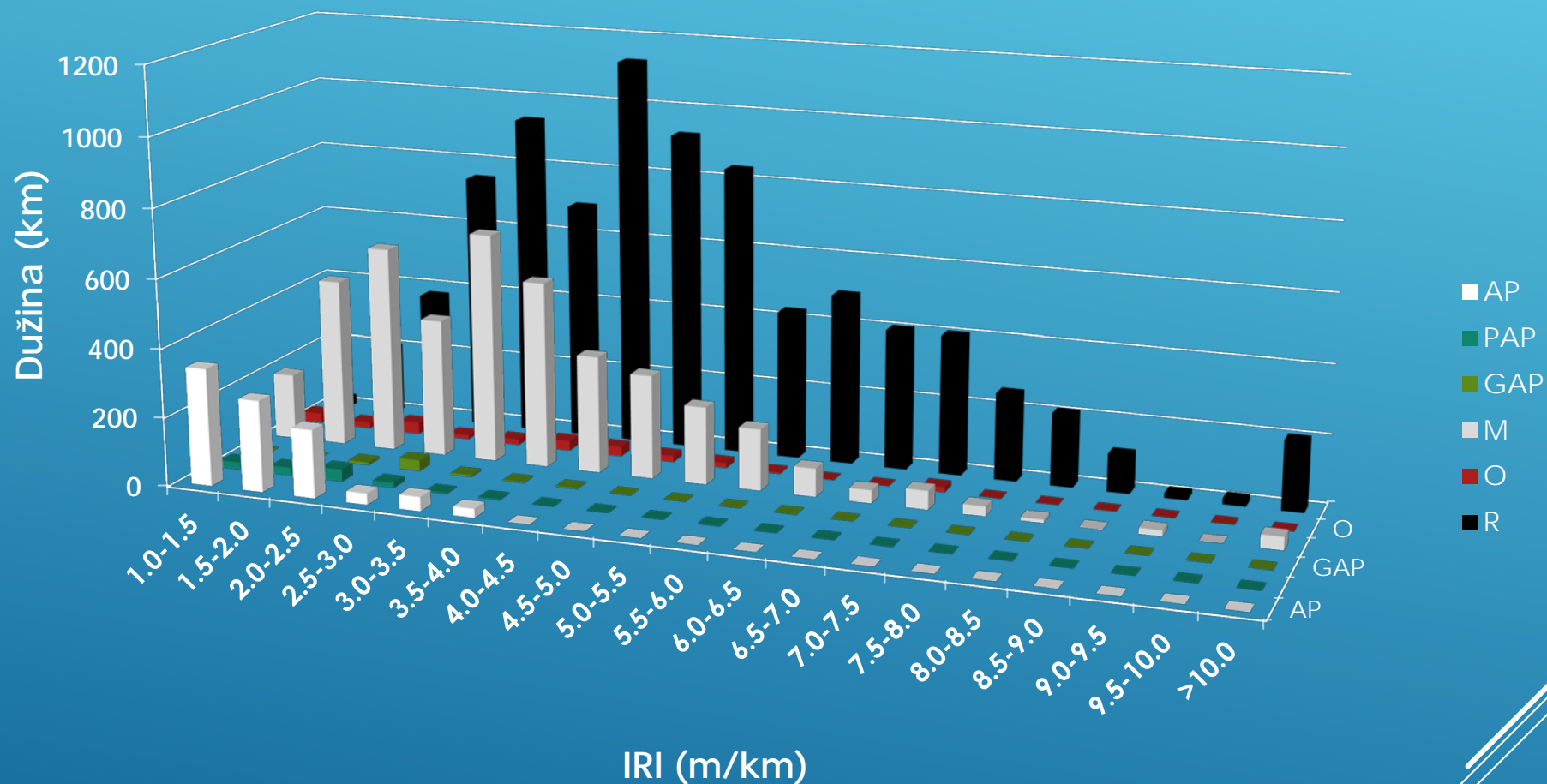
SAOBRAĆAJ NA PUTNOJ MREŽI




■ IA ■ IB ■ IIA



STANJE PUTNE MREŽE (PODACI IZ 2008. GODINE)



PROJEKAT REHABILITACIJE PUTEVA I UNAPREĐENJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA


- ▶ Finansiran od strane WB, EBRD, EIB, Vlada RS
 - ▶ Cilj projekta:
 - ▶ Poboljšanje stanja puteva
 - ▶ Unapređenje bezbednosti saobraćaja na nacionalnoj putnoj mreži
 - ▶ Obuhvaćeno oko 1100 km puteva
- 

PROJEKAT REHABILITACIJE PUTEVA I UNAPREĐENJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

▶ Tri komponente:

- ▶ Rehabilitacija puteva i poboljšanje bezbednosti saobraćaja
- ▶ Jačanje institucionalnih kapaciteta
 - ▶ Unapređenje bezbednosti saobraćaja
 - ▶ Snimanje stanja putne mreže i definisanje srednjoročnog programa radova
 - ▶ Unapređenje održavanja kroz PBMC na oko 3000 km
- ▶ Projektovanje, nadzor, upravljanje projektom

PROJEKAT REHABILITACIJE PUTEVA I UNAPREĐENJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

- ▶ Urgentni program za otklanjanje posledica poplava 2014. godine
 - ▶ 10 deonica
 - ▶ 192 km
 - ▶ Rehabilitacija/rekonstrukcija/pojačano održavanje puteva
 - ▶ 45 deonica
 - ▶ 907 km
 - ▶ 4.5 godine
- 

TRI KARAKTERISTIČNA TIPA DEONICA

▶ **Autoputevi**

- ▶ Geometrija OK
- ▶ Osnovni problem vezan za stanje kolovoza i eventualno posteljice


▶ Značajniji **putevi IB reda** sa većim saobraćajnim opterećenjem

- ▶ Geometrija najčešće OK
- ▶ Eventualno urbani delovi sa ograničenjima u pogledu mogućeg izdizanja nivelete
- ▶ Osnovni problem vezan za stanje materijala/kolovoza i eventualno posteljice

TRI KARAKTERISTIČNA TIPA DEONICA

- ▶ **Putevi IB i II reda sa malim opterećenjem**
 - ▶ Nedovoljna širina
 - ▶ Nezadovoljavajući elementi u situacionom planu i podužnom profilu
 - ▶ Dvostrani nagibi
 - ▶ Stanje i struktura kolovoza najčešće nezadovoljavajući
 - ▶ Na nekim deonicama kamena kocka
 - ▶ Ivične betonske trake
 - ▶ Zaprljan materijal u podlozi kolovozne konstrukcije
 - ▶ Radovi pod saobraćajem

IMPLEMENTACIJA PROJEKATA

- ▶ Dijagnostika puta (Road Diagnostic) – Ocena stanja putne deonice pre intervencije
 - ▶ Priprema Projektnog zadatka i Konkursne dokumentacije za nabavku Glavnog projekta
 - ▶ Izrada Glavnog projekta rehabilitacije puta
 - ▶ Provera zahteva bezbednosti saobraćaja u fazi projektovanja
 - ▶ Tehnička kontrola Glavnog projekta
- 

ZAHTJEVI PROJEKTOG ZADATKA

▶ Istražni radovi

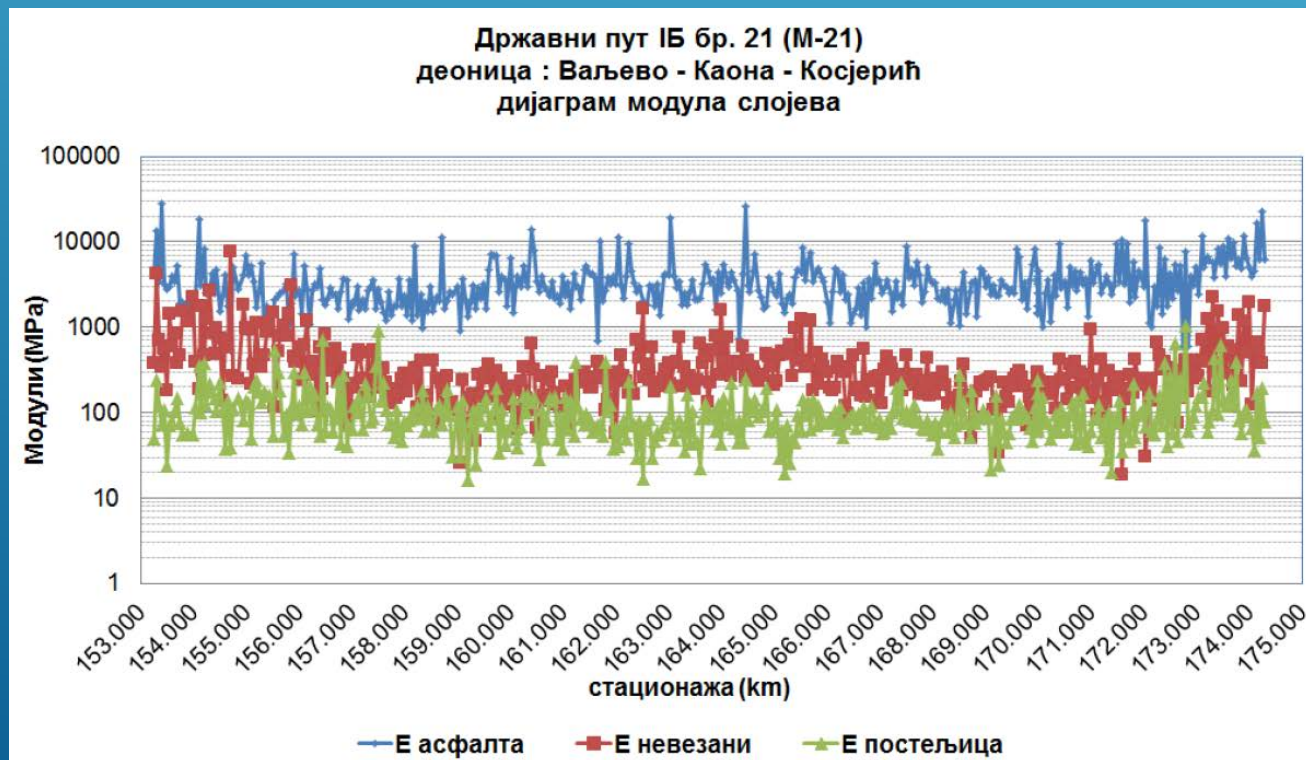
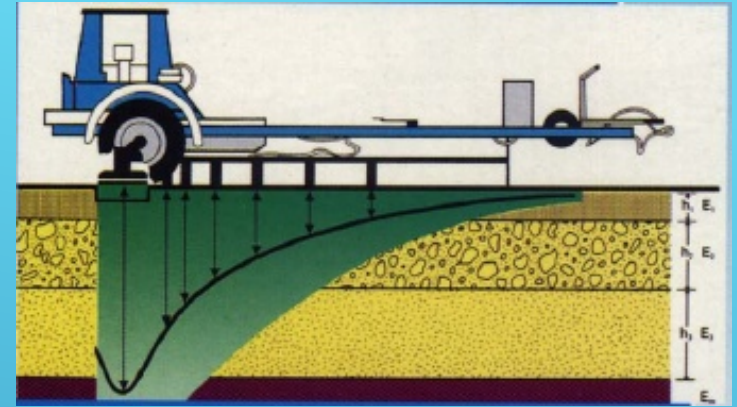
- ▶ Istražne jame do 2 m, prosečno na 1 km
- ▶ Kernovanje asfaltnih slojeva

▶ Stanje deonica

- ▶ Oštećenost
- ▶ IRI
- ▶ Kolotrazi
- ▶ Mikro i makro hrapavost
- ▶ Defleksije
 - ▶ FWD na 100 m (korišćeno na najvećem broju deonica) ili
 - ▶ Benkelmenova greda na 50m
- ▶ Projektni period 10 godina

ANALIZA NOSIVOSTI

- ▶ Projektnim zadatkom zahtevano:
 - ▶ Moduli slojeva – Backcalculation
 - ▶ Preostali vek
- ▶ Više različitih programa – u projektima najčešće korišćen model ELMOD 6



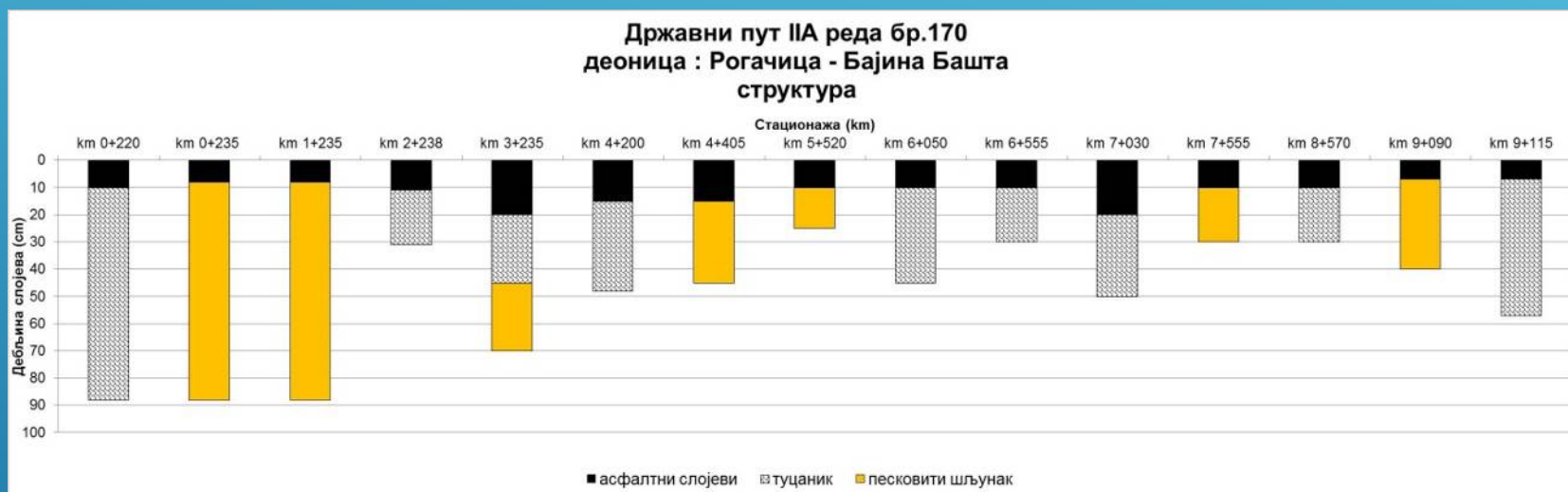
Preuzeto iz projekta
Instituta za puteve,
Beograd

ANALIZA NOSIVOSTI

- ▶ Dve opcije proračuna:
 - ▶ Proračun se vrši u svim tačkama u kojima su izmerene defleksije
 - ▶ moduli slojeva u svim tačkama
 - ▶ 85%-na vrednost potrebnog ojačanja na homogenom potezu, i
 - ▶ Proračun se vrši sa merodavnim, 85%-nim defleksionim bazenima
 - ▶ moduli slojeva i potrebna debljina ojačanja za reprezentativne kolovozne konstrukcije za svaki homogeni potez
- ▶ „Backcalculation“ ima smisla za autoputske deonice gde su strukture kolovoznih konstrukcija relativno konstantne i poznate
- ▶ Zahtev kontradiktoran sa mogućnošću primene Benkelmenove grede

OSNOVNI PROBLEM

- ▶ Heterogena struktura kolovoza na većini deonica kao rezultat primenjenih tretmana održavanja u prošlosti



Preuzeto iz
projekta CPL,
Novi Sad

- ▶ Zahtevani obim istražnih radova neadekvatan za definisanje strukture potrebne za „backcalculation“
- ▶ Primena georadara nije opravdana s obzirom da većina deonica ima malo saobraćajno opterećenje

ALTERNATIVNI POSTUPCI ZA ANALIZU NOSIVOSTI

homogenim potezima

► Merodavna defleksija:

$$d_m = c \cdot (d_{sr} + k_{50} \cdot s)$$

$c = 1.2 - 1.6$ za kolovoze sa habajućim slojem u dobrom stanju i čistim materijalom u podlozi

$c = 1.6 - 2.0$ za kolovoze sa habajućim slojem zahvaćenim pukotinama i zaprljanim materijalom u podlozi

d_z srednja vrednost defleksije pod opterećenjem od 50 kN

$k_{50} = 2.0$ teško saobraćajno opterećenje

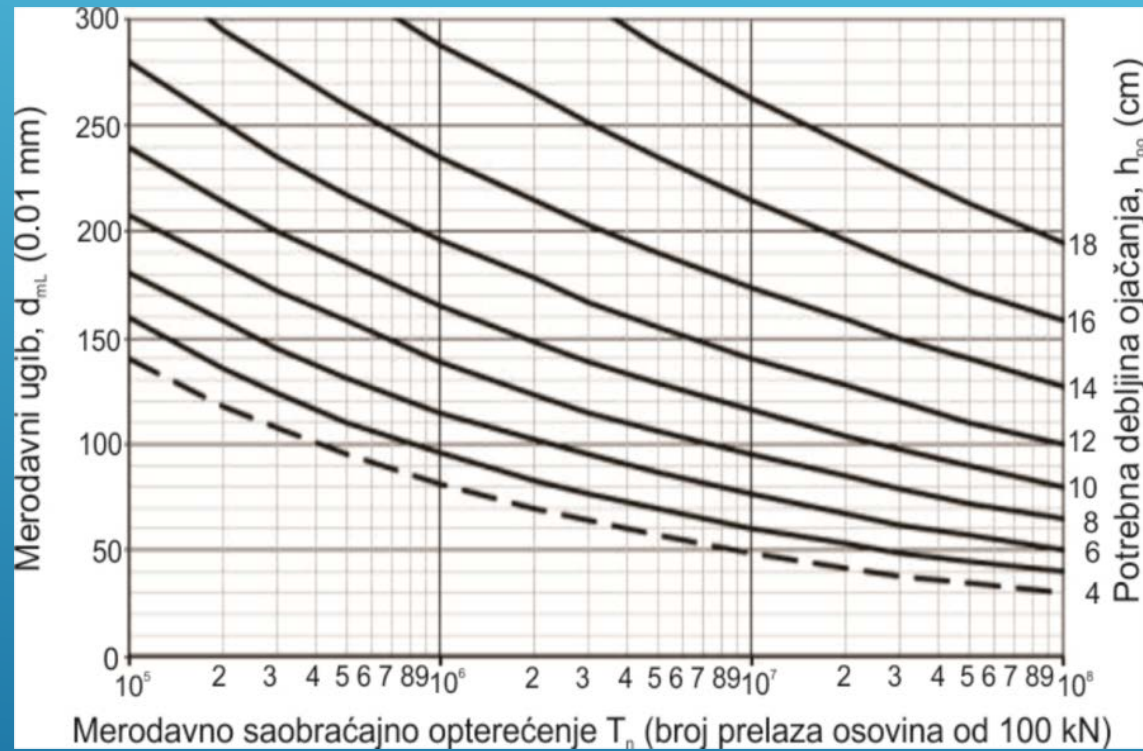
$k_{50} = 1.6$ srednje saobraćajno opterećenje

$k_{50} = 1.3$ lako saobraćajno opterećenje

S standardna devijacija defleksija na homogenom potezu

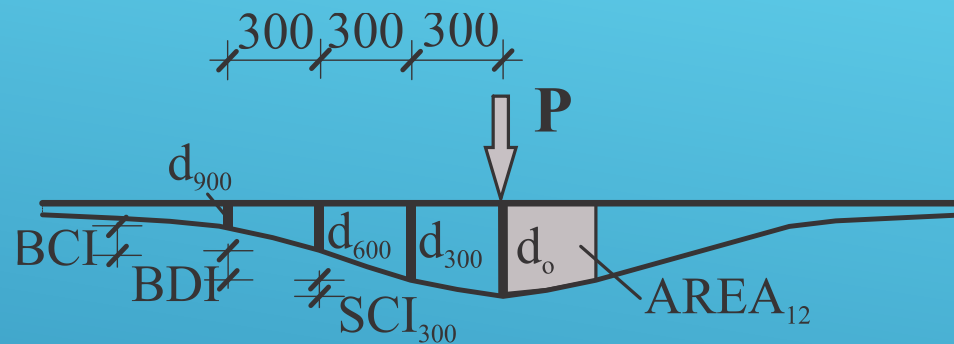
ALTERNATIVNI POSTUPCI ZA ANALIZU NOSIVOSTI

- ▶ Smernice JP Putevi Srbije (2012)



- ▶ Primenjeno na nekim deonicama gde je merenje ugiba obavljeno Benkelmenovom gredom

PARAMETRI DEFLEKSIONOG BAZENA



- ▶ **SCI** (Surface Curvature Index) - indikator stanja asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije

$$SCI_{300} = d_0 - d_{300} \quad (d_{asf} = 100 - 200 \text{ mm})$$

$$SCI_{200} = d_0 - d_{200} \quad (d_{asf} < 100 \text{ mm})$$

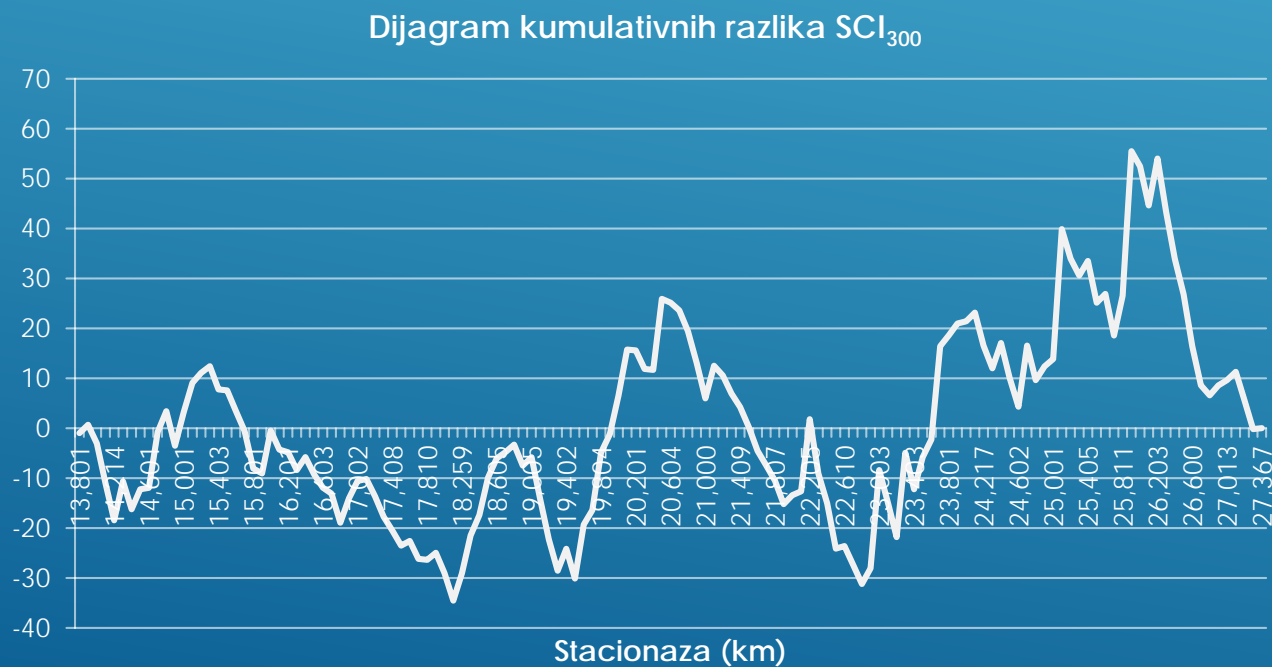
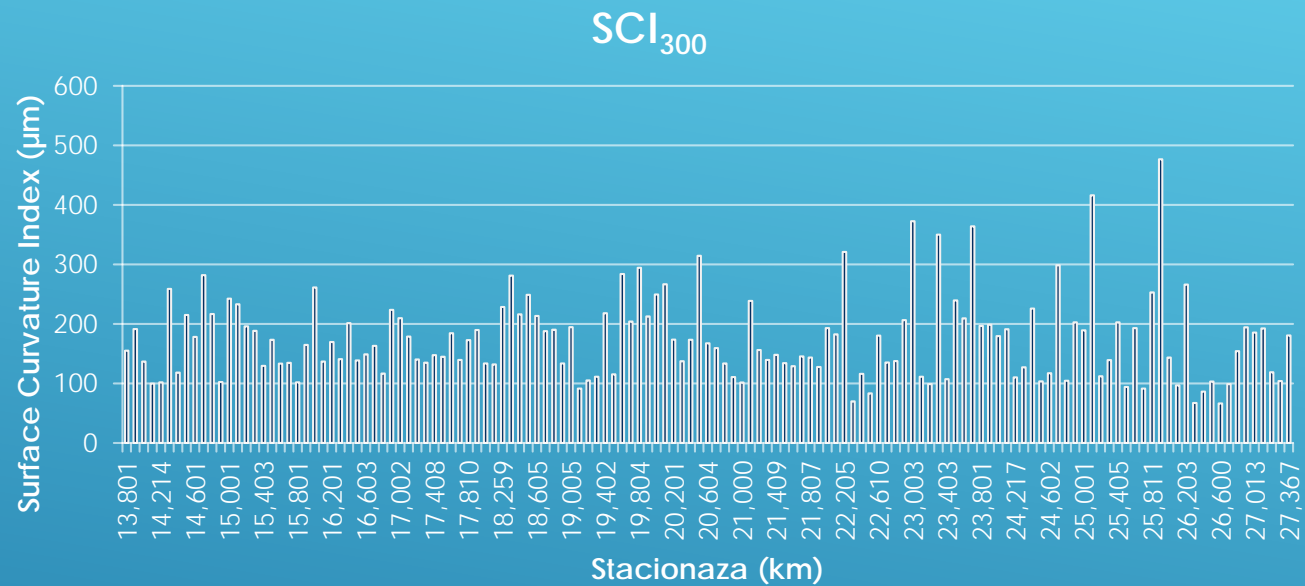
- ▶ Molenaar: **SCI**₆₀₀ - parametar nosivosti asfaltnih slojeva, ali i podloge kolovozne konstrukcije.
- ▶ **BDI** (Base Damage Index) - ukazuje na stanje podloge standardne fleksibilne kolovozne konstrukcije

$$BDI = d_{300} - d_{600}$$

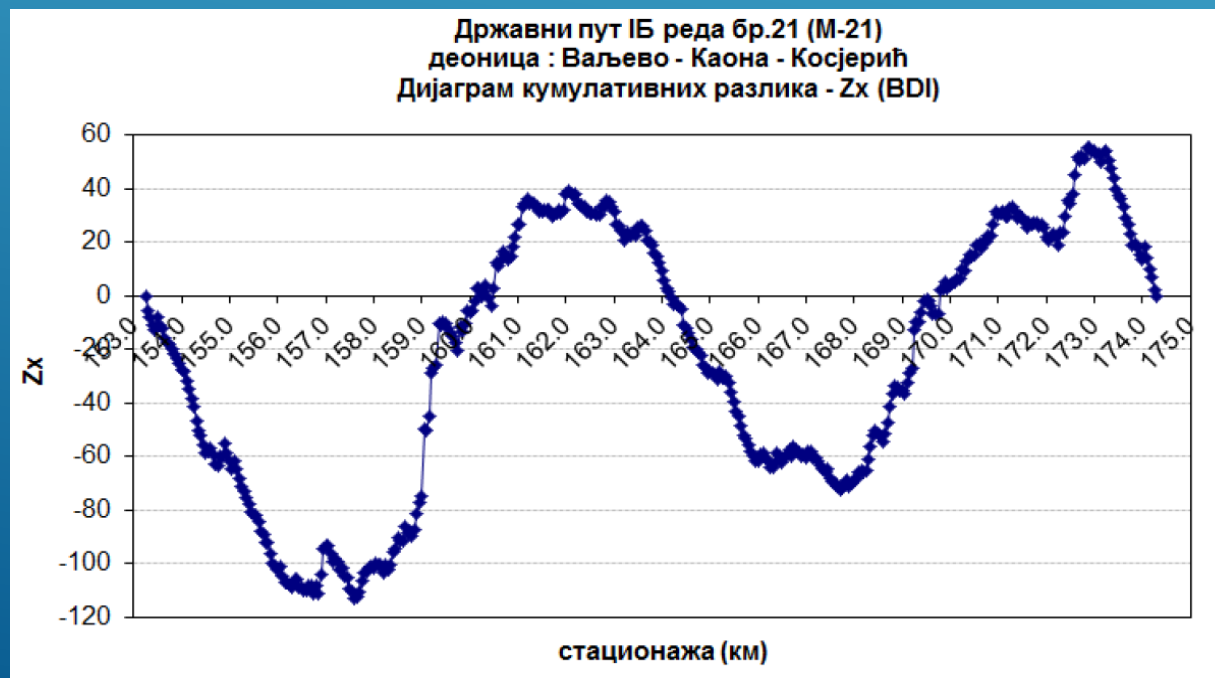
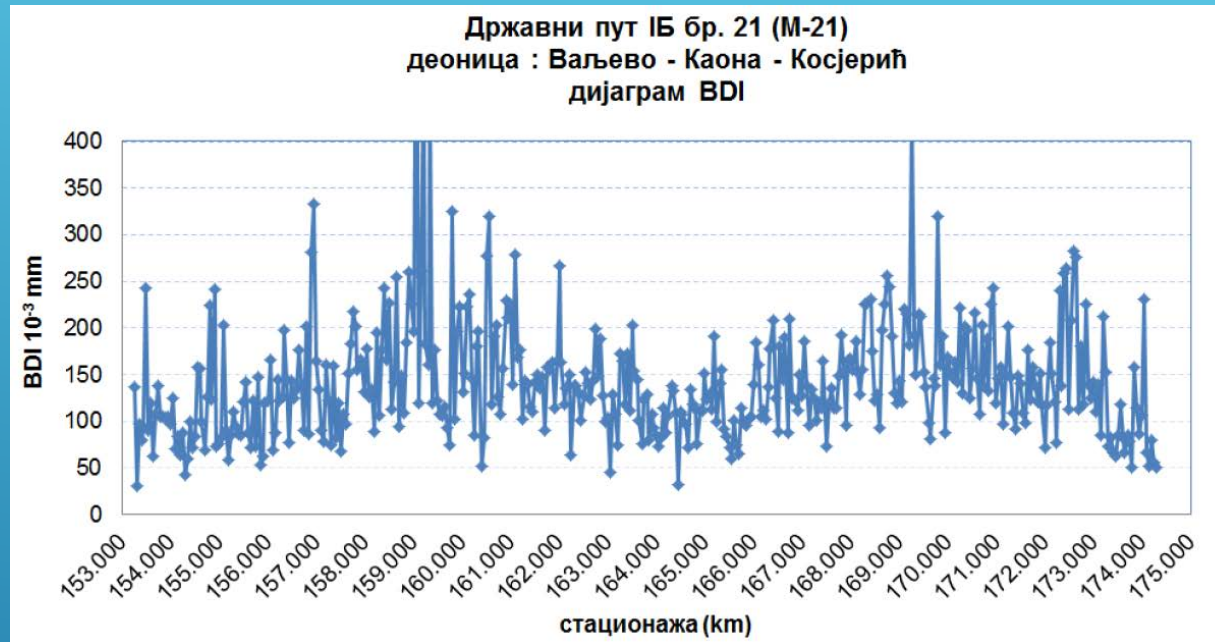
- ▶ **BCI** (Base Curvature Index) je indikator stanja donje podloge kolovozne konstrukcije:

$$BCI = d_{600} - d_{900}$$

PARAMETRI DEFLEKSIONOG BAZENA

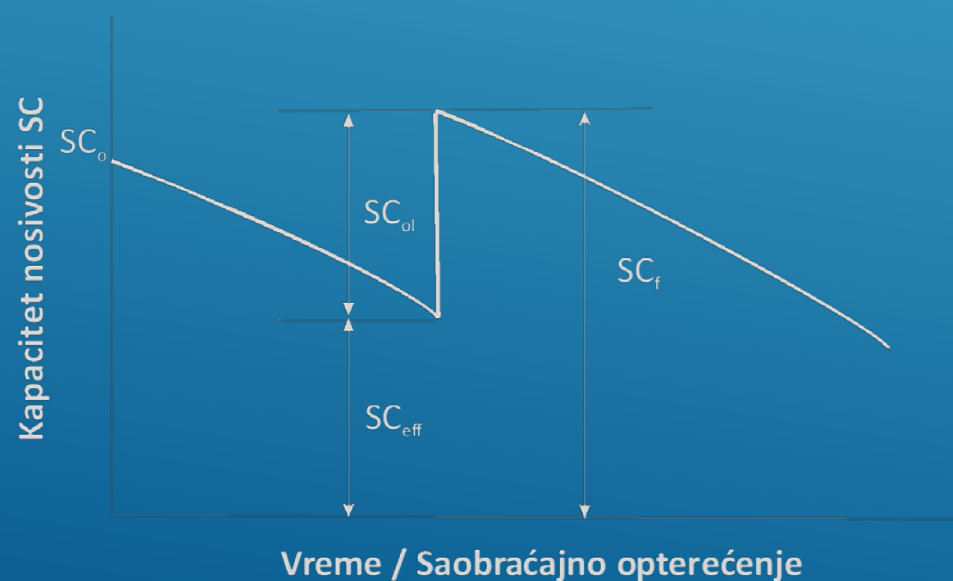
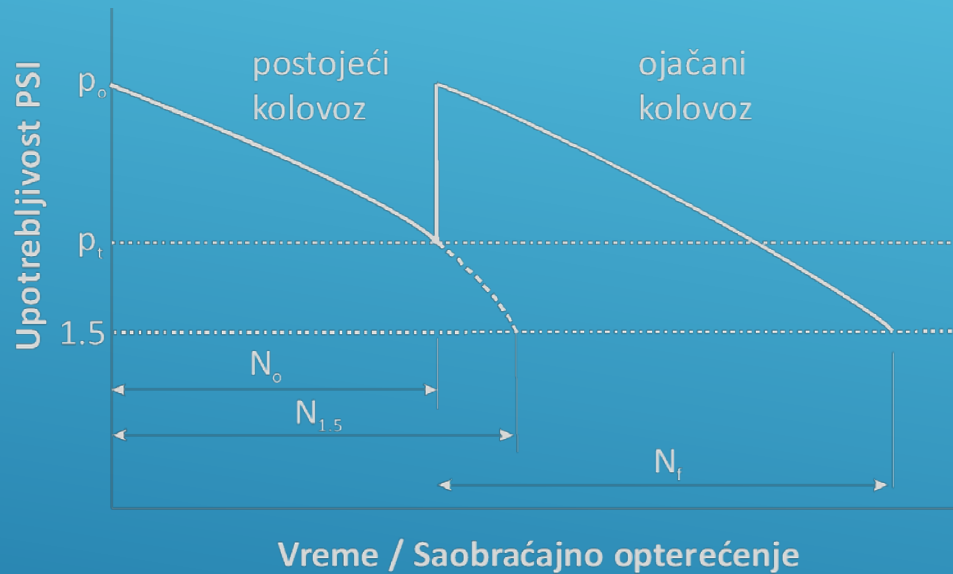


PARAMETRI DEFLEKSIONOG BAZENA

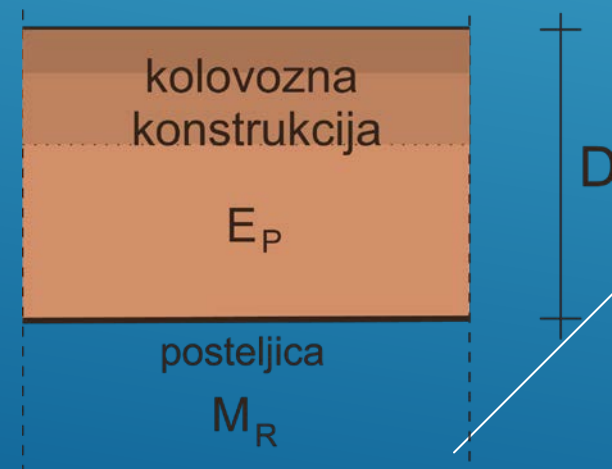


Preuzeto iz projekta
Instituta za puteve,
Beograd

METODA AASHTO/1993

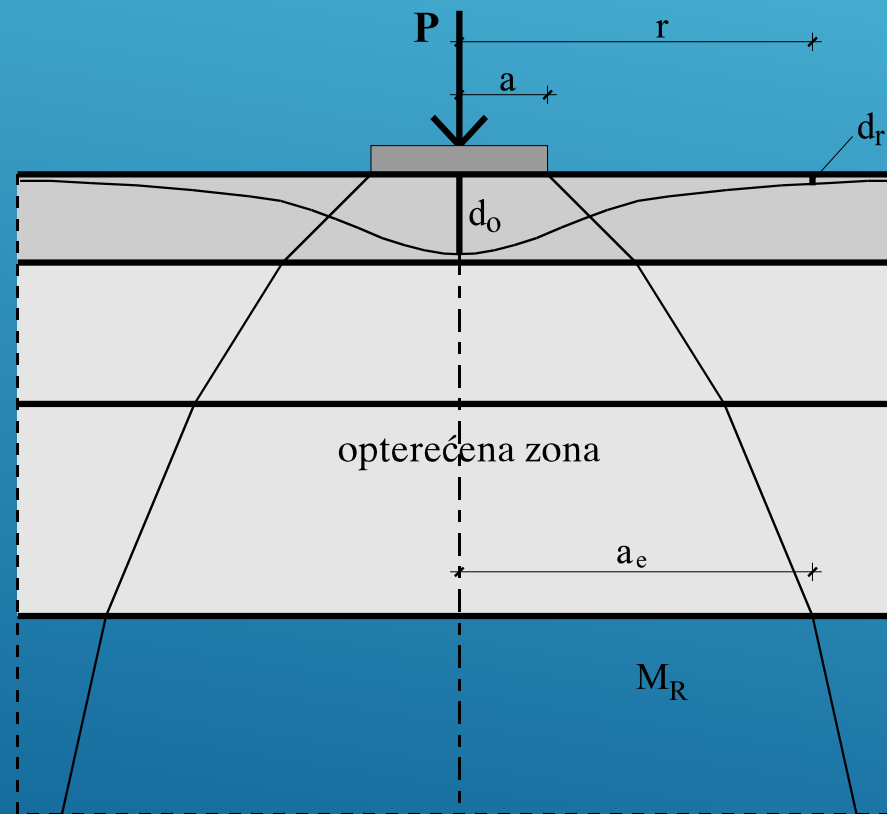


- ▶ Postupak kompatibilan sa metodom koja se koristi za dimenzionisanje novih kolovoznih konstrukcija
- ▶ Zasniva se na određivanju povratnog modula posteljice i efektivne nosivosti kolovozne konstrukcije
- ▶ Potreban podatak: ukupna debljina kolovozne konstrukcije D



METODA AASHTO/1993

- ▶ Dva koraka:
 - ▶ Određivanje povratnog modula posteljice
 - ▶ Određivanje kompozitnog modula kolovozne konstrukcije – efektivnog strukturnog broja

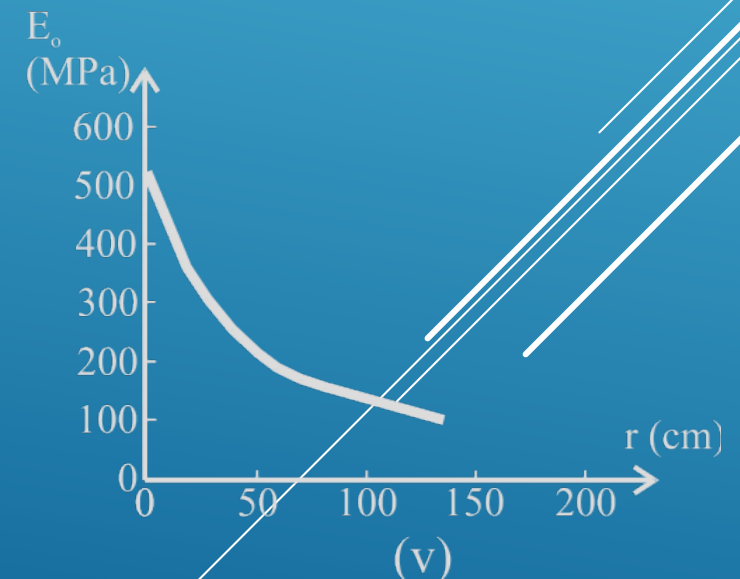
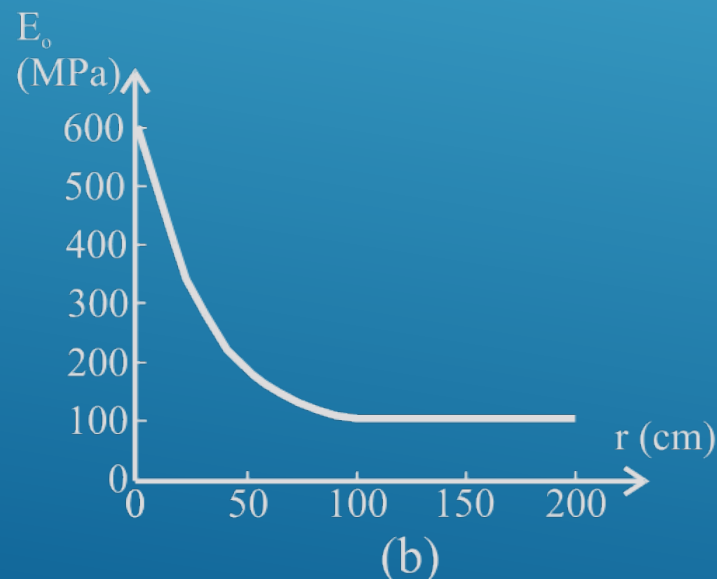
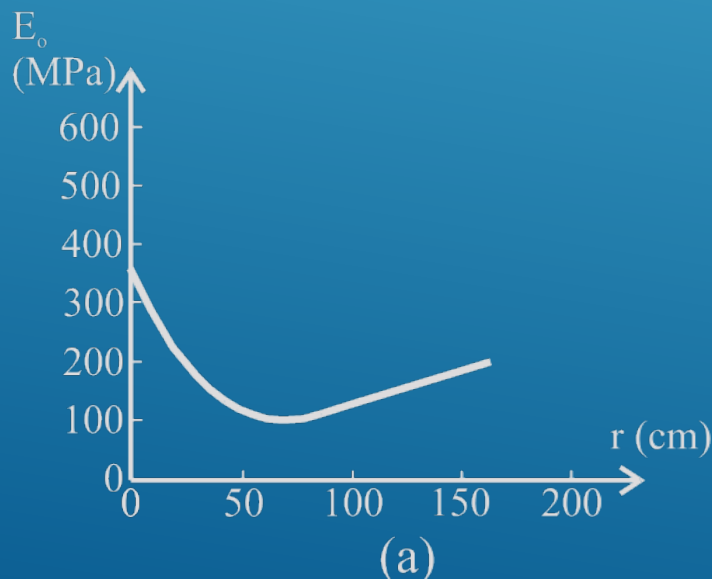


PRORAČUN POVRŠINSKOG MODULA

- ▶ Jednačine Boussinesque-a za jednoslojni poluprostor:

$$E_o(r) = (1 - \mu^2) \cdot \sigma_o \cdot \frac{a^2}{r \cdot d(r)}$$

- ▶ Površinski modul na rastojanju r grubo određuje modul na ekvivalentnoj dubini $z=r$
- ▶ Tri karakteristična slučaja:

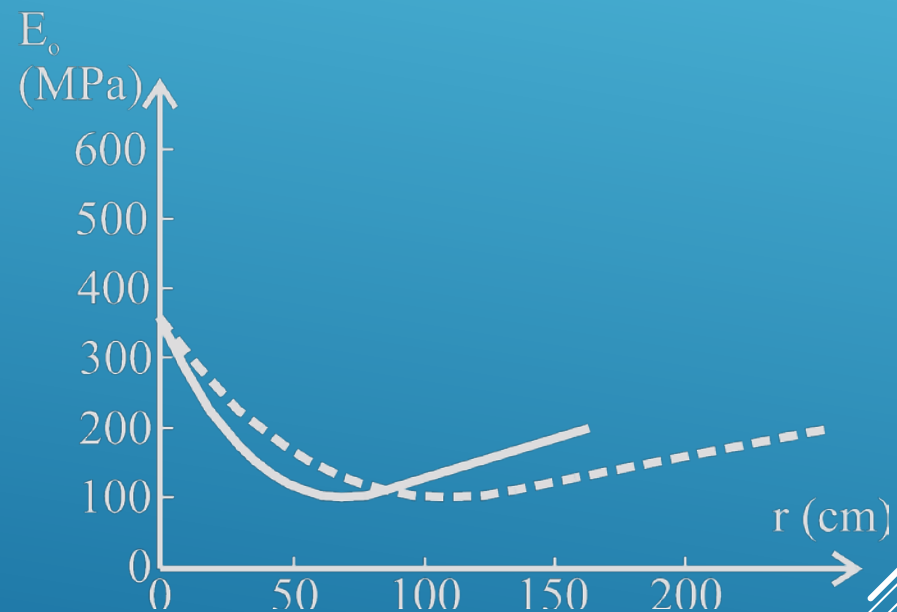


POVRŠINSKI MODUL

- ▶ Dobar indikator:
 - ▶ Modula posteljice

$$M_R = \frac{0.24 \cdot P}{r \cdot d_r}$$

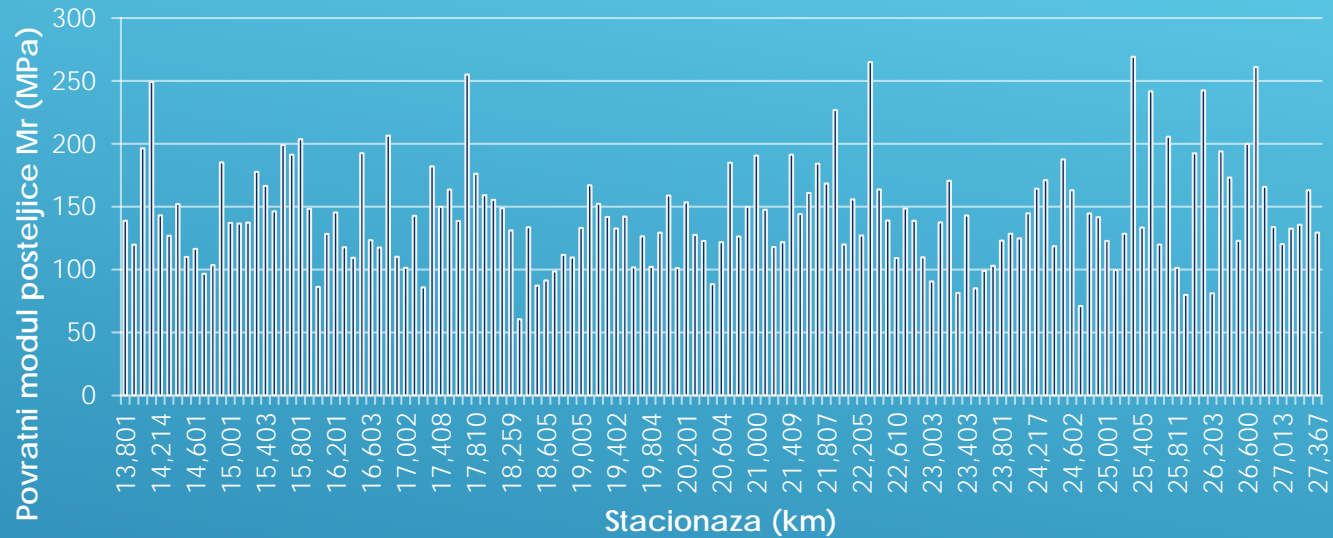
- ▶ Debljine (strukture) kolovozne konstrukcije



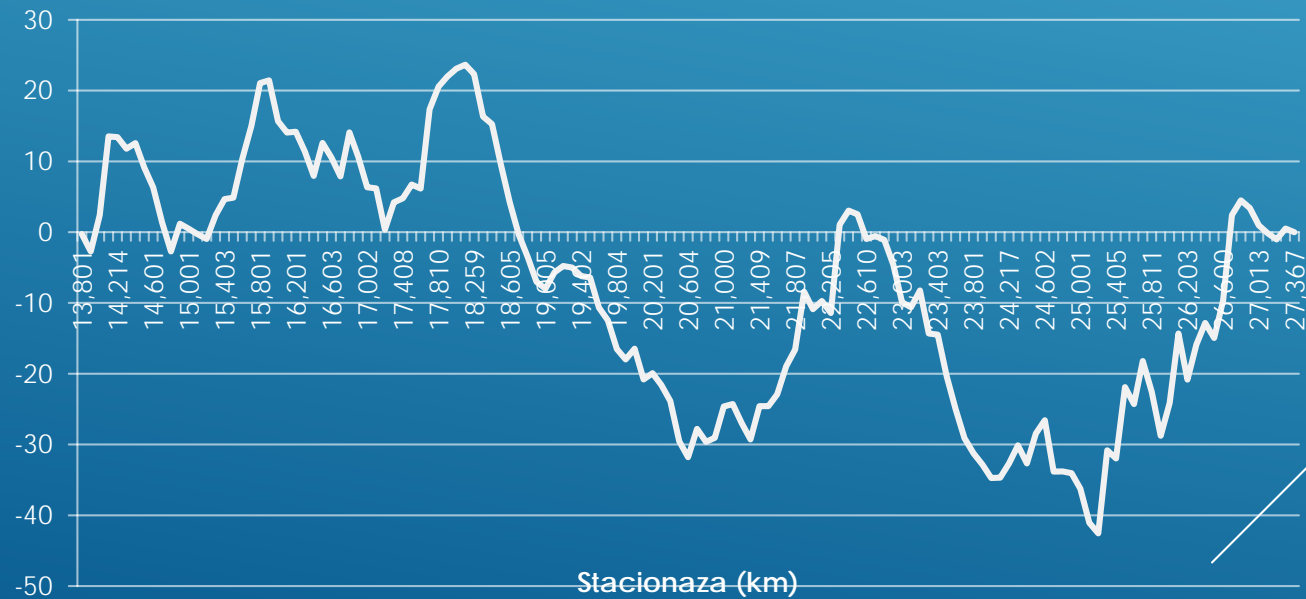
- ▶ Krajnje jednostavan proračun

POVRATNI MODUL POSTELJICE

Povratni modul posteljice M_R



Dijagram kumulativnih razlika M_R



EFEKTIVNI STRUKTURNI BROJ KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

- ▶ Efektivni strukturni broj funkcija debljine kolovozne konstrukcije i njenog kompozitnog modula:

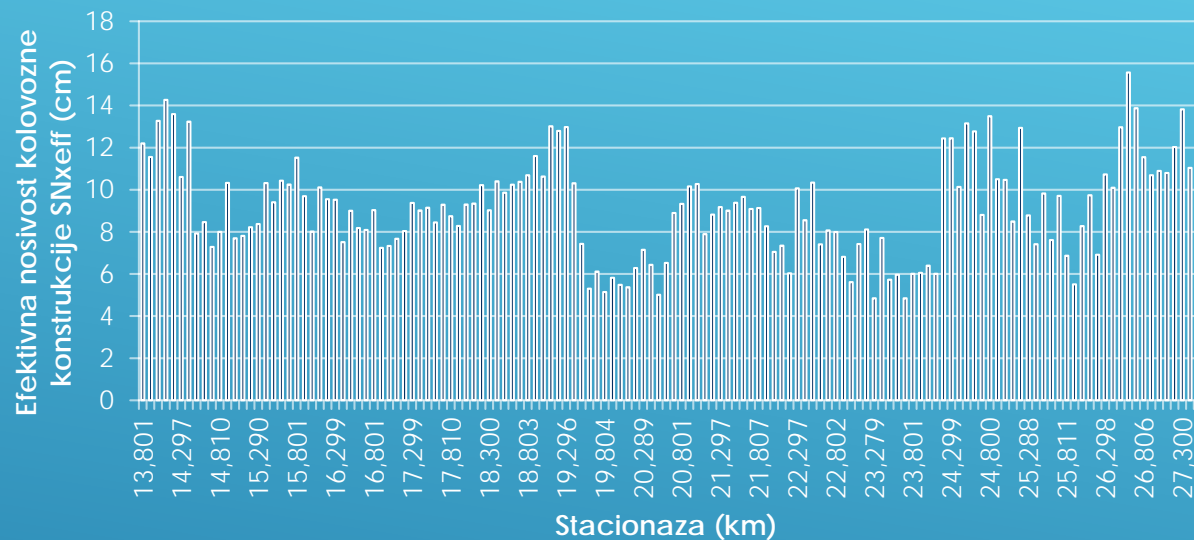
$$SN_{\text{eff}} = 0.0237 \cdot D \cdot \sqrt[3]{E_p}$$

- ▶ Preko rešenja Odemarka (MET) dobija se izraz za ugib u centru opterećenja za dvoslojni sistem:

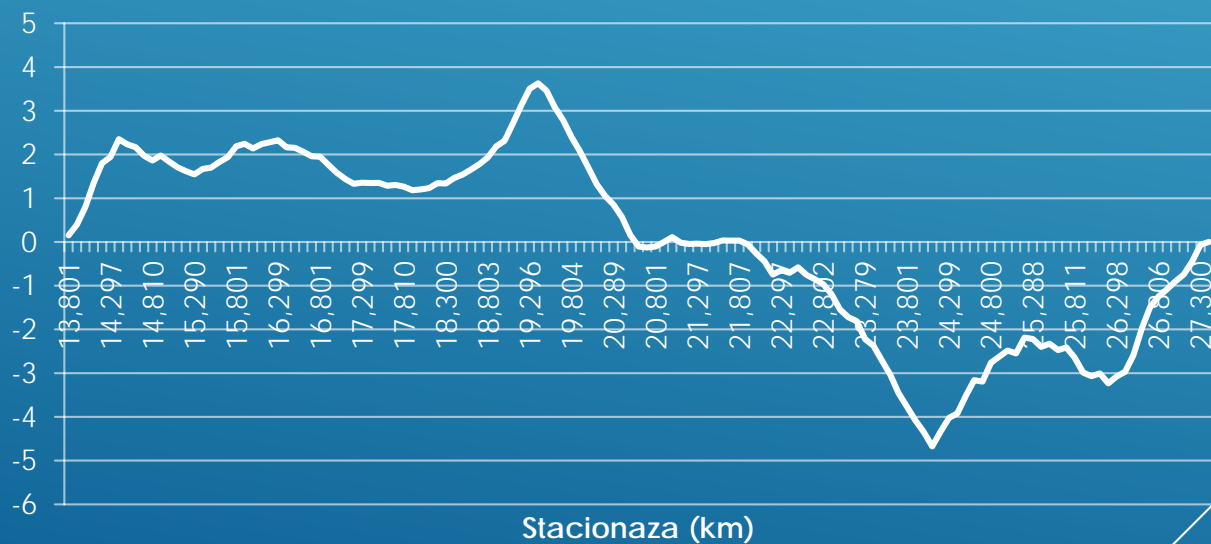
$$d_o = 1.5 \cdot \sigma_o \cdot a \cdot \left[\frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right]$$

EFEKTIVNA NOSIVOST KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

Efektivna nosivost kolovozne konstrukcije SN_{eff}

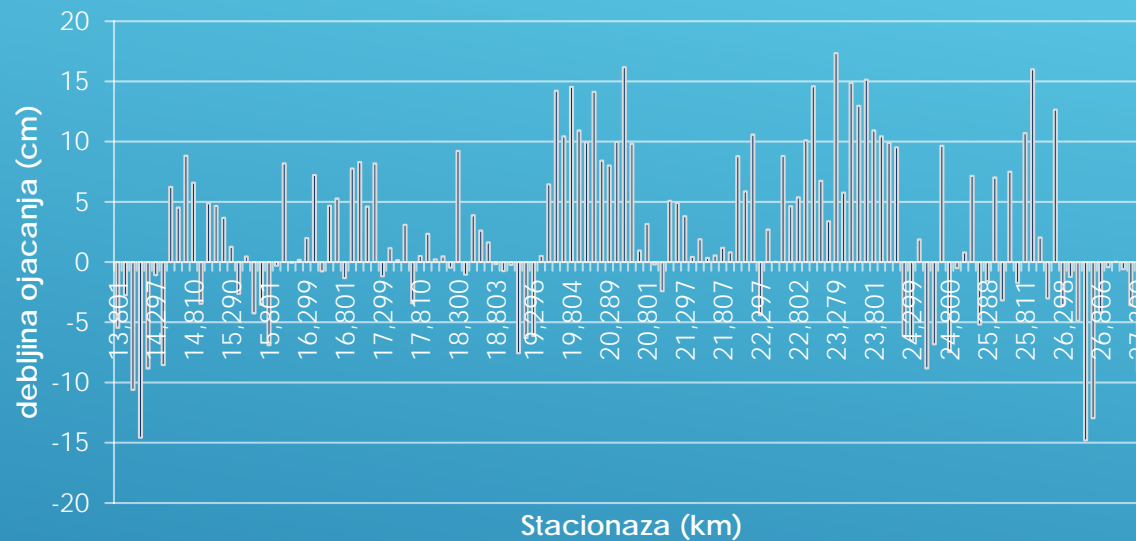


Dijagram kumulativnih razlika SN_{eff}

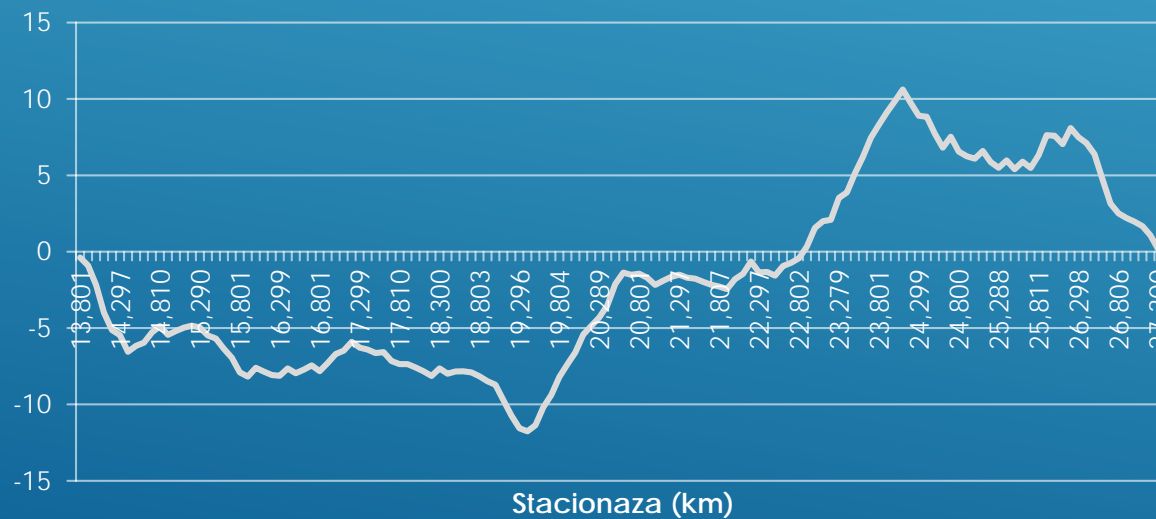


POTREBNA DEBLJINA OJAČANJA

Potrebna debljina ojačanja $d_{\text{ojačanja}}$



Dijagram kumulativnih razlika $d_{\text{ojačanja}}$




PREPORUKE ZA ANALIZU NOSIVOSTI KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA /1

- ▶ Prilikom merenja ugiba neophodno je vršiti i merenje temperature asfaltnih slojeva, najmanje u sredini debljine asfaltnih slojeva, kako bi se smanjila greška usled korekcije ugiba zbog temperature.
- ▶ Zbog izrazite promenljivosti strukture kolovoznih konstrukcija na deonicama puteva koje su predmet rehabilitacije, preporučuje se primena georadara, kako bi se mogla utvrditi kontinualna promena materijala i debljina slojeva u kolovoznim konstrukcijama.
- ▶ U analizi treba koristiti parametre defleksionog bazena koji daju značajne informacije u pogledu nosivosti kolovozne konstrukcije. Ovi parametri su posebno korisni za definisanje homogenih poteza i omogućavaju grubo definisanje problema vezanih za nosivost kolovozne konstrukcije.

PREPORUKE ZA ANALIZU NOSIVOSTI KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA /2

- ▶ Metoda AASHTO/93
 - ▶ Jednostavan postupak
 - ▶ jasno fizičko značenje
 - ▶ kompatibilan sa AASHTO postupkom za proračun novih kolovoznih konstrukcija
 - ▶ Manje osetljiv u slučaju ograničenih informacija u pogledu strukture kolovozne konstrukcije
- ▶ Analiza svih defleksionih bazena i proračun ojačanja u svim tačkama
- ▶ Podela na homogene deonice na bazi sračunatog ojačanja
 - ▶ Omogućava globalno sagledavanje stanja na deonici
 - ▶ Uzima u obzir sve relevantne parametre

PREPORUKE ZA ANALIZU NOSIVOSTI KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA /3

- ▶ Primena povratnog proračuna modula ima potencijal da obezbedi najkvalitetnije informacije u pogledu nosivosti kolovozne konstrukcije.
 - ▶ Ovu analizu je potrebno sprovesti na svakom izmerenom defleksionom bazenu, a za to je potrebno detaljno poznavati strukturu kolovozne konstrukcije.
 - ▶ Svaki drugi pristup ovoj analizi dovodi do principa „garbage in – garbage out”, odnosno postavlja se pitanje verodostojnosti i primenljivosti dobijenih rezultata.
- 

HVALA NA PAŽNJI!

