

Vplivi trajnih deformacij v nevezani nosilni plasti

mag. **Dejan Hribar**, univ.dipl.inž.grad.
GI-ZRMK d.o.o., Ljubljana

Povzetek

Pri dimenzioniraju voziščnih konstrukcij je eno od osnovnih načel omejevanje nastanka kolesnic. Postopek meritev nastanka kolesnic je v praksi relativno enostaven, predvidevanja, kje pa dejansko bodo nastale, pa je zelo zapleten problem.

Problem nastanka kolesnic ni mogoče rešiti samo na osnovi karakteristik plasti, ki so v voziščni konstrukciji (npr. asfaltne plasti, nevezane nosilne plasti, posteljica), ampak je potrebno upoštevati med drugim tudi vpliv okolja, v katerem se voziščna konstrukcija nahaja, in ki vpliva na napetostno porazdelitev v celotni dobi trajanja konstrukcije. Kljub temu so trajne deformacije (kolesnice) najbolj opazne ravno v asfaltni plasti. Faktorji, ki vplivajo na trajnostne deformacije v nevezani nosilni plasti so naslednji:

- ▶ število ciklov obremenjevanja
- ▶ delež vode
- ▶ zgodovina napetosti
- ▶ zgoščenost
- ▶ sestava
- ▶ fizikalne lastnosti kamnitih zrn
- ▶ nivo napetosti.

S podrobnim poznavanjem omenjenih faktorjev in prilagajanjem le-teh lahko zmanjšamo vpliv na nastanek trajnih deformacije v nevezani nosilni oziroma posledično na nastanek kolesnic v vezanih plasteh.

Summary

One of the main aspects of the design philosophy for flexible pavements is the limitation of ruts in the pavement structure. Measuring rut development is relatively simple, but the prediction of rut development is extremely complex.

The problem cannot be solved solely by accurate characterization of the pavement layers (e.g. asphalt layers, UGLs, subgrade); an assessment of the impact of environmental conditions and calculations of the appropriate stress distribution during the entire life of the pavement are also required. Although the largest amount of permanent deformation (for common German pavements) result from the asphalt layers, this chapter deals with the different factors influencing the permanent deformation behaviour of UGMs. The factors that influence the permanent deformation behaviour of UGMs are:

- ▶ Number of Load Cycles
- ▶ Moisture Content
- ▶ Stress History
- ▶ Density
- ▶ Grading
- ▶ Physical Properties of Aggregate Particles
- ▶ Stress Level.

With detail knowledge of different factors that influence the permanent deformation behaviour of UGMs diminish effect the rut development in asphalt pavement.

1 Uvod

Pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij je eno od osnovnih načel preprečitev nastanka deformacij oziroma nastanka kolesnic na vozni površini. Postopek meritev nastanka kolesnic je v praksi relativno enostaven. Previdevanja, kje bodo nastale deformacije, pa je zelo zapleten problem.

Problem nastanka kolesnic ni mogoče rešiti samo na osnovi karakteristik plasti, ki so v voziščni konstrukciji (npr. asfaltne plasti, nevezane nosilne plasti, posteljica), ampak je potrebno upoštevati med drugim tudi vpliv okolja, v katerem se voziščna konstrukcija nahaja, in ki vpliva na napetostno porazdelitev v celotni dobi trajanja konstrukcije. Kljub temu so trajne deformacije (nastanek kolesnice) najbolj opazne ravno v asfaltni plasti. Splošno je znano, da se deformacije spodnjih plasti se prenašajo v zgornje, skratka, trajnostne deformacije v nevezano nosilni plasti se odražajo na vozni površini. Faktorji, ki vplivajo na trajnostne deformacije v nevezani nosilni plasti so naslednji:

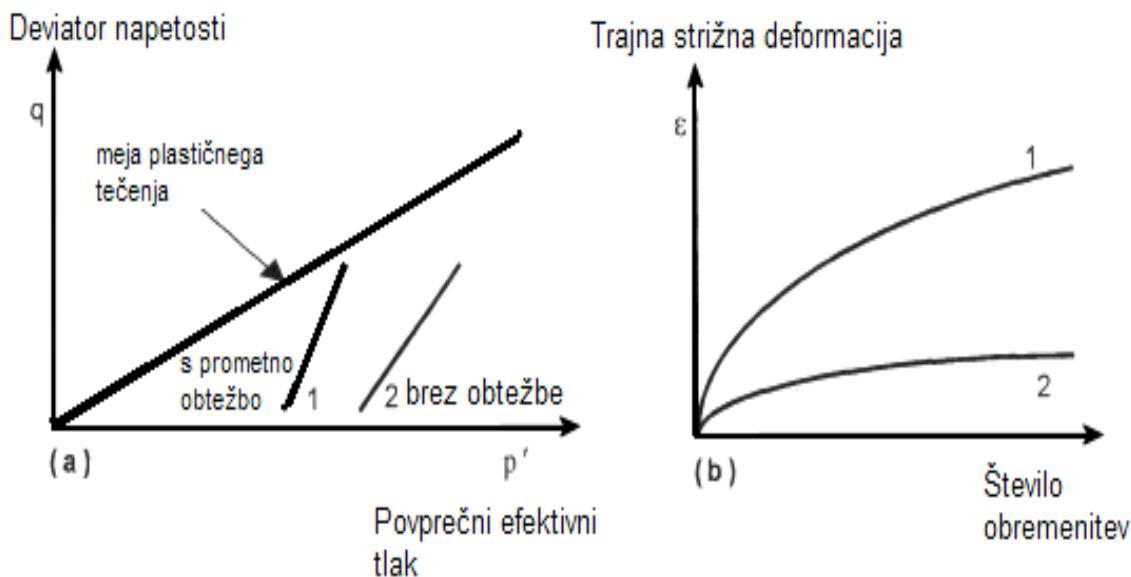
- ▶ število ciklov obremenjevanja
- ▶ delež vode
- ▶ zgodovina napetosti
- ▶ zgoščenost
- ▶ sestava
- ▶ fizikalne lastnosti kamnitih zrn
- ▶ nivo napetosti.

S podrobnim poznavanjem omenjenih faktorjev in prilagajanjem le-teh lahko zmanjšamo vpliv na nastanek trajnih deformacije v nevezani nosilni oziroma posledično na nastanek kolesnic v vezanih plasteh.

2 Trajnostne deformacije v nevezani nosilni plasti

2.1 Odpornost na trajne deformacije

Trajna deformacija je zapozneta deformacija, ki se pojavi po določenem ciklu prometnih obremenitev. Slika 1 prikazuje tipično obnašanje nevezanih plasti glede na trajne deformacije. Na sliki 1a je prikazan potek napetosti v plasti zmesi zrn med delovanjem prometne obtežbe. Linija 1 prikazuje padec napetosti in velike trajne deformacije (slika 1b) – ni pojava »preorientacije zrn«. Linija 2 je podobna, vendar leži v varnejšem napetostnem območju in trajne deformacije so manjše ter prihaja do pojava »preorientacije«. Napetost lahko pade kljub veliki začetni napetosti ali zaradi velikega pornega tlaka u (majhna sukcija), s tem pa se zmanjša efektivna normalna napetost σ' . Potem takem je v dobro dreniranih plasteh zmesi zrn pričakovati manjše nastajanje kolesnic na voziščni konstrukciji kot pri z vodo zasičenih materialih.



Slika 1: Potek napetosti (a) in tipično obnašanje trajne deformacije v odvisnosti od števila ciklov obtežbe (b), (COST 337, 2002)

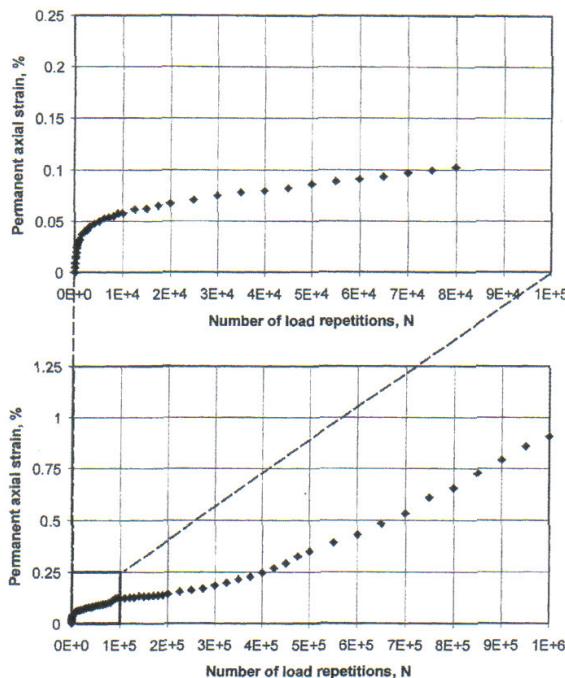
Dinamične obremenitve močno vplivajo na potek trajnih deformacij v nevezanih plasti.

teh voziščne konstrukcije in s tem povezanimi spremembami v strukturi zmesi zrn.

2.1 Število ciklov obremenjevanja

Samo število ciklov obremenjevanja ne vpliva na odpornost na trajnostne deformacije, ampak gre za kombinacijo števila obremenitev in napetosti. Krivulja, v odvisnosti od števila ciklov obremenjevanja in trajnostne

deformacije, izkazuje pri povečevanju količnika napetosti progresivno rast prevzeti trajnih deformacij. Skratka, nevezana nosilna plasti se stabilizira šele po večjem številu obremenitev (npr. po 80.000 ciklih obremenjevanja) in poteka linearno. Kljub temu moramo pogledati še kaj se dogaja z materialom (slika 2).



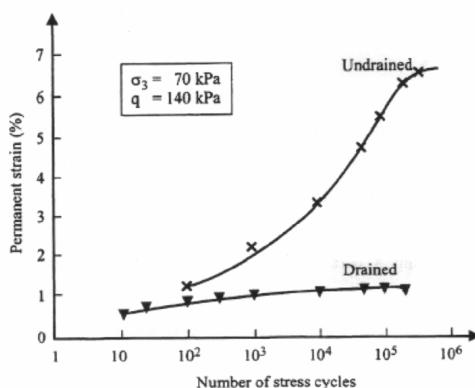
Slika 2: Primer vpliva števila ciklov obremenjevanja na trajnostne deformacije (KOL, 98)

MORGAN je pokazal, na vzorcu peska, z obremenjevanjem v triaksialnem aparatu nad 2 milijoni ciklov, da kljub temu, da je test končan, trajnostne deformacije še vedno rastejo.

2.2 Delež vode

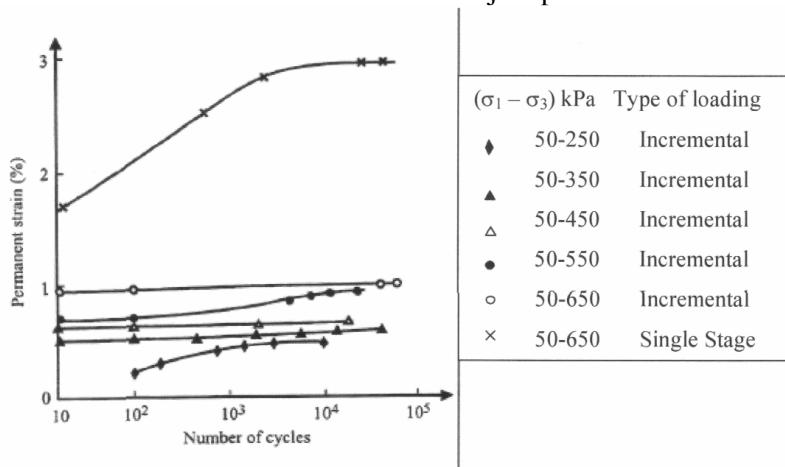
Vemo, da se v praksi v nevezani nosilni plasti vedno nahaja določen delež vode in ta vodni film na površini zrn vpliva na strižno

odpornost materiala. Določen delež vode lahko pozitivno pripomore k trdnosti, napetosti in deformaciji v nevezani nosilni plasti voziščne konstrukcije. Če dosežemo popolno saturacijo, lahko ponavljajoča se obtežba povzroči pozitivni porni tlak. Prekomeren porni tlak zmanjšuje efektivno napetost, ki povzroči zmanjšanje odpora trajni deformaciji v materialu. Torej, prekomerna vsebnost vode v materialu povzroči zmanjšanje togosti in od tod deformacije v plasti.



Slika 3: Vpliv drenaže na trajnostne deformacije (DAW, 1990)

Slika 3 prikazuje kaj se dogaja z materialom, če imamo na začetku dva vzorca z istim deležem vode in nato en vzorec dreniramo (enako kot v realnosti). Test je pokazal, da se z večanjem vsebnosti vode povečujejo trajnostne deformacije. Pri 1.000 ciklih obremenjevanja se totalna trajnostna deformacija na »makadamu« poveča za 300 %, če se poveča delež vode v plasti iz 3.1 % na 5.7 %. Prav tako se v zaglinjenem pesku poveča totalna trajnostna deformacija za 200 %, če se poveča delež vode v plasti iz 3 % na 6.6 % in podobno obnašanje prikazuje tudi dolomitni material.



Slika 4: Vpliv trajnostnih deformacij na zgodovino napetosti (BRO, 75)

2.4 Zgoščenost

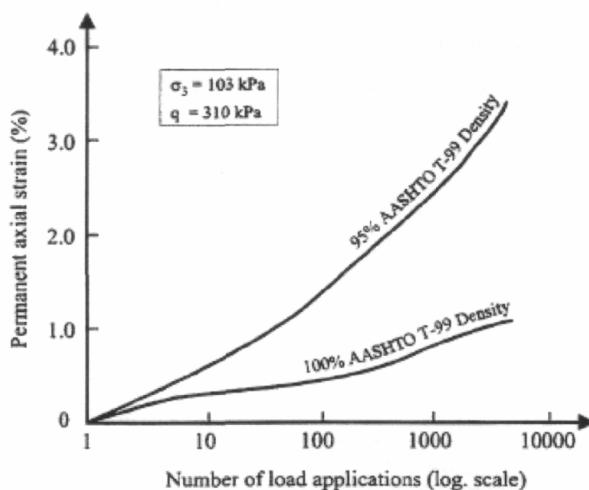
Gostota zmesi zrn je eden od najbolj pomembnih faktorjev, ki vplivajo na nastanek trajnih deformacij (BAR 1972, HOL 1969, ALL 1973, NIE 2002). Odpornost na trajnostne deformacije pri ponavljajoči se obtežbi je bolj izrazita s povečevanjem gostote materia-

2.3 Zgodovina napetosti

Trajnostne deformacije so neposredno povezane s preteklimi napetostni. V primeru, da je material na začetku izpostavljen nižjim obremenitvam se vpliv na zgodovino napetosti zmanjšuje, kljub poznejši večji obtežbi. Manjše trajnostne deformacije se zgodijo, če na začetku dodamo večjo obtežbo, kot jo dodajamo pozneje (BAR 1991).

Slika 4 nazorno prikazuje obnašanje trajnih deformacij v odvisnosti od zgodovine napetosti. Trajnostna deformacija je znatno manjša, če postopoma narašča nivo napetosti, kot pri deformaciji, ki izpostavljeni posamezni večji napetosti.

la, zlasti pri drobljenih zrnih. Skratka, pri bolj zgoščenih oz. gostih kamnitih materialih je trajnostna deformacija manjša kot pri manj zgoščenih. To je lepo razvidno iz slike 5, saj 95 % zgoščenost po Proctorju izkazuje večje trajnostne deformacije kot pri 100 % zgoščenosti, predvsem z večanjem števila obremenitev.



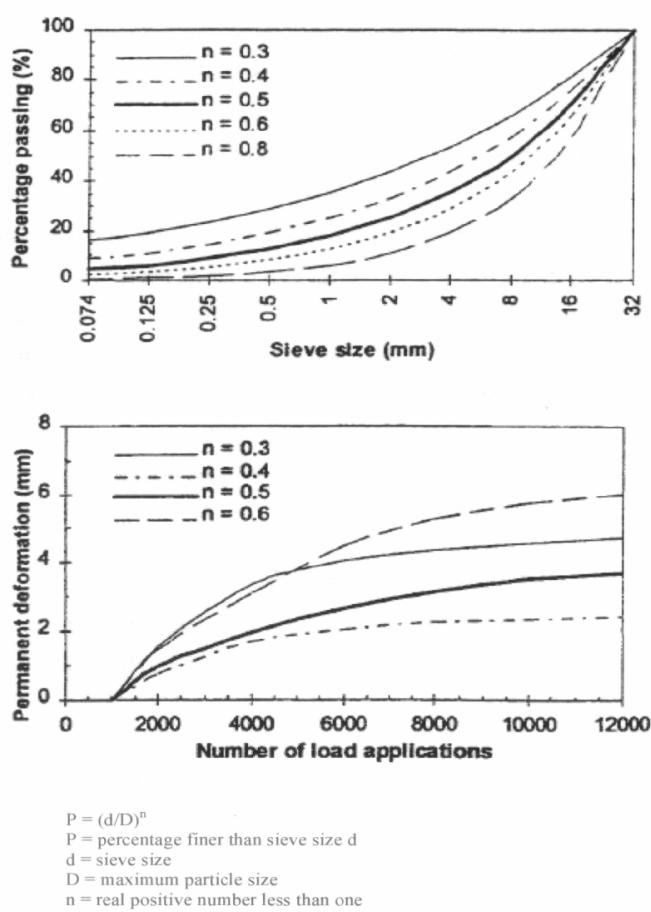
Slika 5: Vpliv trajnostnih deformacij na zgoščenost materiala (BAR, 72)

2.5 Sestava

Če se presejna krivulja oz. sestava spremeni v smeri, da se poveča relativna gostota materiala, potem se odpornost materiala na trajnostne deformacije povečuje. Predvsem je to zelo opazno pri materialih z neenakomerno sestavo oziroma pri izrazito drobno zrnatih materialih (npr. $d < 0,074 \text{ mm} > 15 \text{ m.-%}$) ali pri materialih z zelo nizko vsebnostjo finih zrn.

Slika 6 prikazuje trajnostne deformacije drobljenega kamnitega materiala apnenca na

v odvisnosti od različnih presejnih krivulj. V primeru, da imamo v sestavi veliko vsebnost finih zrn ($n = 0,3$) ali skeletno sestavo – več grobih zrn ($n = 0,8$) potem so trajne deformacije z povečevanjem števila obremenitev večje. To pa si lahko razlagamo z domnevo, da se pojavi pod obtežbo prestrukturiranje oziroma premikanje zrn v sestavi zaradi nezapolnjениh votlin in drobljenja konic. Kljub temu opažamo, da je zaradi efekta zaklinjenja med zrni skeletna sestava bolj odporna na trajnostne deformacije kot drobno zrnati material.



Slika 6: Vpliv presejnih krivulj kamnitih materialov na trajnostne deformacije (BEL, 97)

2.6 Fizikalne lastnosti kamnitih zrn

Fizikalne lastnosti kamnitih zrn kot sta oblika zrn in hrapavost površine zrn prav tako prispevata svoj delež k nastajanju trajnostnih deformacij v nevezani nosilni plasti.

Oblika zrn

Velik vpliv na obliko zrn ima mineraloška sestava kamnine. Prav tako na obliko drobljenih zrn vpliva tehnologija proizvodnje. Dve osnovni oblici zrn poznamo: naravna in drob-

ljena zrna. Pri naravnih zrnih je površina gladka in zrna so zaobljena. Drobljena zrna pa imajo hrapavo površino in ostre konice. Zato imajo drobljena zrna večjo abrazijo, ki priomore k manjšim trajnim deformacijam.

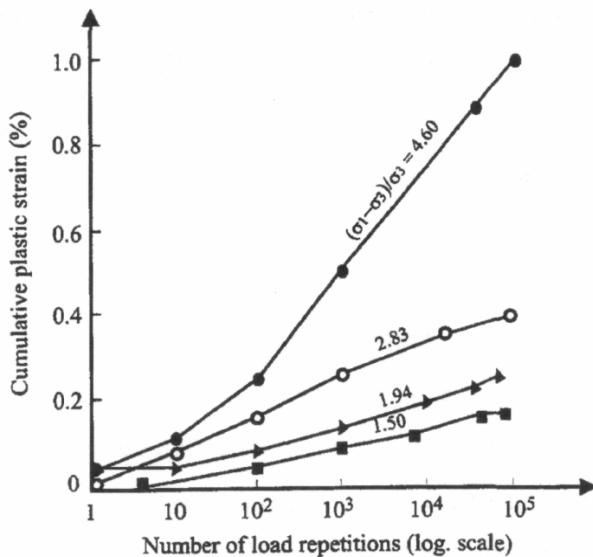
Hrapavost površine zrn

Ločiti moramo hrapavost na fino in grobo. Fina hrapavost se bolje odziva na trajne deformacije kot groba, saj pri odporu sodeluje večja površina zrna (večje število manjših konic).

2.7 Nivo napetosti

Trajnostne deformacije so močno odvisne od nivoja napetosti in se povečujejo z naraščanjem deviatorja napetosti.

Na sliki 7 je prikazano obnašanje trajnih deformacij od nivoja napetosti. Odpornost materiala na akumulirane trajnostne deformacije se povečuje z naraščanjem deviatorja napetosti.



Slika 7: Vpliv trajnostnih deformacij na količnik napetosti (BAR, 72)

3 Zaključek

Preprečitev nastanka deformacij oziroma nastanka kolesnic na vozni površini je eno od osnovnih načel pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij. Meritve nastanka kolesnic so v praksi relativno enostavne. Predvidevanja, kje bodo nastale deformacije, pa je zelo zapleten problem.

Trajne deformacije (nastanek kolesnice) so najbolj opazne v asfaltni plasti. Splošno je znano, da se deformacije spodnjih plasti prenašajo v zgornje. Trajnostne deformacije v nevezani nosilni plasti se odražajo na vozni površini. Glede na pridobljene podatke ugotovljamo in zaključujemo naslednje:

- ▶ s povečevanje števila ciklov obremenjevanja se trajne deformacije večajo
- ▶ z večanjem deleža vode v materialu se trajnostne deformacije povečujejo
- ▶ manjše trajnostne deformacije nastanejo, če na začetku dodamo večjo obtežbo, kot če jo dodajamo pozneje
- ▶ bolj zgoščen material izkazuje manjše trajne deformacije
- ▶ enakomernejša sestava zmesi zrn ($n = 0,4 - 0,5$) izkazuje boljšo odpornost na trajnostne deformacije
- ▶ groba hravavost in zaobljena zrna slabše vplivata na nastanek trajnih deformacij

- ▶ trajnostne deformacije se povečujejo z naraščanjem deviatorja napetosti.

S podrobnim poznavanjem omenjenih faktorjev lahko zmanjšamo vpliv na nastanek trajnih deformacije v nevezani nosilni oziroma posledično na nastanek kolesnic v vezanih plasteh.

Viri

- [1] Barksdale R D, Laboratory Evaluation of Rutting in Base Course Materials. Proceeding of 3rd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, London, str. 161- 174, 1972.
- [2] Barksdale R D, The Aggregate Handbook, National Stone Association, Washington D.C., 1991.
- [3] Belt J, Ryynänen T, Ehrola E, Mechanical properties of unbound base course. Proceedings of the 8th International Conference on Asphalt Pavements, Seattle , Vol. 1 str. 771- 781, 1997.
- [4] Brown S F, Hyde A F L, Significance of Cyclic Confining Stress in Repeated Load Triaxial Testing of Granular Material, Transportation Research Record 537, Transportation Research Board, Washington, D.C., str. 49-58, 1975.
- [5] COST 337. 2002. Construction with unbound granular materials in EUROPE. Final report.

- [6] Dawson A R, Introduction to soils and granular materials, Lecture notes from Residential Course, Bituminous Pavements - materials, design and evaluation, Department of Civil Engineering, University of Nottingham, 1990.
- [7] Kolisoja P, Large scale dynamic triaxial tests III. Tampere University of Technology, 1998.
- [8] Morgan J R, The Response of Granular Materials to Repeated Loading. Proceedings, 3rd Australian Road Board Conference, Sydney, pp 1178-1192, 1966.
- [9] Werkmeister S, Dissertation: Permanent Deformation Behaviour of Unbound Granular Material in Pavement Construction, Dresden, 2003.