

Optimizacija sestave zmesi kamnitih zrn na osnovi strižnih lastnosti materiala

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

Povzetek

V cestogradnji je eden od osnovnih gradnikov, ki se uporabljajo za gradnjo cest, zmes kamnitih zrn. Osnova za določitev namena uporabe zmesi kamnitih zrn v voziščni konstrukciji je sestava, ki je sestavljena iz enega ali več razredov zrn ali zrnivosti ali pa že ima v naravi ustrezno sestavo zrn.

Za določitev najprimernejše sestave zmesi kamnitih zrn, tako za drobljena kot tudi naravna zrna, se v Sloveniji uporablja med drugim tudi teoretični postopek na osnovi Talbotove presejne krivulje, ki je določena z enačbo, v kateri nastopa eksponent n . Vrednost eksponenta n so predhodno že določili številni raziskovalci. Predstavljena so značilna obnašanja zmesi zrn v odvisnosti od strižnih lastnosti materiala in optimalne vrednosti Talbotovega eksponenta n , ki določa najprimernejšo sestavo za slovenske zmesi drobljenih in naravnih kamnitih zrn frakcije 0/4 mm.

Na podlagi rezultatov strižnih lastnosti preiskanih vzorcev frakcije 0/4 mm menimo, da je pri določevanju najprimernejše sestave zmesi zrn v prvi vrsti treba ločiti drobljena zrna od naravnih zrn, kar do sedaj ni bila praksa. S temi raziskavami smo tudi pokazali, da smo na pravi poti pri iskanju najprimernejše sestave kamnitih zrn in da bi bilo v prihodnje na tem področju smiselno pristopiti še k dodatnim raziskavam.

Summary

Mineral aggregate is one of the basic materials used in road-building. The aggregate is the basis when we try to determine the proper use of the grain. It may be processed of one or more grain or grading classifications, or it may have the desired grain gradation by nature. Each separate grain is less stressed if the composition has appropriate grain size distribution.

In Slovenia, the Talbot theoretical grain size curve is used to determine the most appropriate particle distribution, both for crushed and natural grains. The value of the exponent (grading coefficient) of n function, which is in this equation, has already been determined by numerous researchers. My work shows typical aggregate behavior depending on shear rate and on optimal Talbot value of n function. This helps to determine the most appropriate grain composition for Slovenian crushed and natural grains on fraction 0/4 mm.

On the basis of result shear characteristics on the researched samples with fraction 0/4 mm we think that we should separate crushed from natural grains when we are determining the best composition of grains. It has not been practice in the past. This research work showed that we have worked in the right direction towards finding the most appropriate aggregate and that this area requires additional researching in the future.

1 Uvod

V cestogradnji je eden od osnovnih gradnikov, ki se uporabljajo za gradnjo cest, zmes kamnitih zrn. Osnova za določitev namena uporabe zmesi kamnitih zrn v voziščni konstrukciji je tudi sestava. Zmes je sestavljena iz enega ali več razredov zrn ali zrnivosti ali pa že ima v naravi ustrezno sestavo zrn. Hkrati pa bo posamezno zrno v zmesi tem manj obremenjeno, čim bolj ustrezna je sestava zmesi zrn.

Z raziskovalnim delom smo želeli preveriti in določiti najprimernejšo sestavo za tri zmesi naravnih in drobljenih kamnitih zrn frakcije 0/4 mm na osnovi Talbotove teoretične presejne krivulje. Taka sestava zmesi izkazuje najvišjo strižno odpornost materiala. V Sloveniji se na osnovi teoretičnega postopka za določevanje najprimernejše sestave zmesi zrn po Talbotovi enačbi, v kateri nastopa eksponent n , uporablja vrednost $n = 0,5$. Vrednost n je prevzeta brez predhodnih raziskav in strokovnih ekspertiz. V strokovni literaturi različni raziskovalci (Talbot, Fuller, Jahn, itd.) navajajo različne vrednosti eksponenta n , ki so posledica (Žmavc, 1997)

- ▶ različnih preiskovanih zmesi zrn (ni podatkov o sestavi),
- ▶ različnih priprav vzorca zmesi zrn (ni jasnih podatkov o zgoščenosti) in
- ▶ nejasnih metod določevanja najprimernejše sestave, itd.

Laboratorijske preskuse smo opravljali v geomehanskem laboratoriju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani. Največje dovoljeno zrno v tej raziskavi je bilo lahko veliko le 4 mm, saj v Sloveniji ni ustrezne raziskovalne opreme za raziskavo večjih zrn v zmesi. Za večja zrna je potrebna zelo močna in robustna laboratorijska oprema. Na podlagi razpoložljive opreme smo se opredelili za zmesi naravnih in drobljenih kamnitih zrn frakcije 0/4 mm. Razlog oziroma smiselnost raziskave je tudi v tem, da presejni delež frakcije 0/4 mm v nevezani nosilni plasti frakcije 0/32 mm znaša med 25 m.-% in 45 m.-%. Na tej podlagi sklepamo, da je še vedno zadosten delež frakcije 0/4 mm zmesi zrn za obdelavo in primerjavo rezultatov s trenutnimi primerljivimi podatki o strižnih lastnostih materialov. Vzorci kamnitega materiala so bili pridobljeni v treh gramoznicah (naravna zrna) in treh kamnolomih (drobljena zrna):

- ▶ Krapje (Segrap) – Murski prod, pretežno silikatne sestave

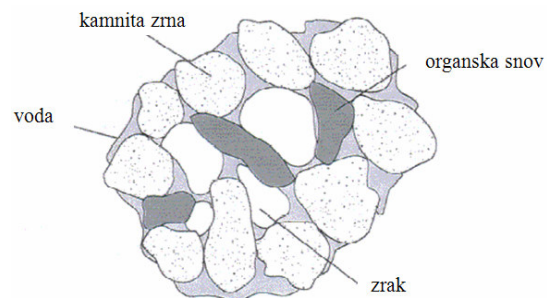
- ▶ Tolmin (CP Gorica) – Soški prod, pretežno karbonatne sestave
- ▶ Podbrezje – gramoznica Bistrica (CP Kranj) – Savski prod, pretežno karbonatne sestave
- ▶ Laže (Primorje) – apnenec
- ▶ Cerov Log (CGP Novo mesto) – dolomit
- ▶ Pirešica (CMC Celje) – dolomitiziran apnenec.

Prav tako se postavlja vprašanje, ali omenjeni postopki veljajo tudi za slovenske zmesi kamnitih (naravnih, drobljenih) zrn.

2 Proučevanje zmesi kamnitih zrn

2.1 Splošno

Navadno se nahaja zmes nevezanih kamnitih zrn v voziščni konstrukciji ceste pod vezanimi nosilnimi plastmi, lahko pa nastopa samostojno kot glavna nosilna plast (ti. makadamska vozišča). Vsaka zmes kamnitih zrn je sestavljena iz trdnih delcev (kamnitih zrn) in prostorčkov med njimi (porami). Trdni delci kamnitih zrn so zrna, sestavljena iz različnih mineralov in odlomkov kamnin, votline med njimi in pore v kamnitih zrnih pa so lahko v celoti zapolnjene z vodo ali z zrakom (dvofazni sistem), ali pa delno z vodo in delno z zrakom (trofazni sistem) – slika 1 (Majes, 2007b).



Slika 1: Shematski prikaz sestave zmesi kamnitih zrn (Svensson, 1997)

2.2 Materiali

Lomljeni kamen za potrebe v cestogradnji lahko pridobivamo iz magmatskih, sedimentnih in metamorfni kamnin in ga v pretežni meri drobimo v ustrezne zmesi kamnitih zrn. Pri presoji uporabnosti kamnin za predelavo v zmesi zrn je odločilna mineraloško petrografska sestava. Na osnovi mineraloško-

petrografske sestave so nekatere kamenine, kljub dobrim mehanskim lastnostim, vnaprej ocenjene kot neprimerne. Na primer kamnina z visoko vsebnostjo pirita, litine kremena ali silikatnih mineralov, ki hitro preperevajo v glino. Mineraloško-petrografska analiza kamnine tudi pokaže, ali bodo zrna v kamenem agregatu trda ali mehka, tj. obstojna na obrus in preperevanje ter podobno.

- ▶ Kamnite zmesi zrn so lahko iz
- ▶ naravnih zrn,
- ▶ drobljenih kamnin,
- ▶ mešanih naravnih in drobljenih zrn.

2.3 Določitev najprimernejše sestave zmesi kamnitih zrn

2.3.1 Splošno

V Sloveniji trenutno uporabljamo za določevanje najprimernejše sestave zmesi kamnitih zrn v voziščni konstrukciji dva postopka (Žmavc, 1997)

- ▶ računski postopek približevanja in/ali
- ▶ grafični postopek po Rothfuchsu.

V nadaljevanju se osredotočamo pri določevanju najprimernejše sestave na računski postopek.

2.3.2 Presoja sestave zmesi zrn

Sestavo zmesi zrn ocenjujemo na osnovi presejne krivulje. Ta lahko prikazuje

- ▶ preiskano (ugotovljeno) sestavo zmesi zrn ali
- ▶ potrebno (želeno) sestavo zmesi zrn (Žmavc, 1997).

2.3.2.1 Talbotova enačba in eksponent n

Za oceno določene sestave zmesi zrn lahko uporabimo različne postopke (teoretične, oblikovne in zaporedne). Poleg teoretičnih postopkov lahko uporabimo za določitev optimalne sestave zmesi zrn oziroma za ovrednotenje preiskane zmesi zrn tudi oblikovne (formalne) postopke, pri katerih poskušamo presejno krivuljo s prilagajanjem čim bolj približati vnaprej določenim (zahtevanim) vrednostim za posamezne velikosti zrn v zmesi (točke presejne krivulje) in zaporedne (pragmatične) postopke, kjer z dodajanjem vedno drobnejših zrn k že izbrani zmesi največjih zrn (razredu zrn) dosežemo optimalno zapolnitev votlin (Žmavc, 1997).

Najštevilnejši so teoretični postopki, ki omogočajo oceno sestave zmesi zrn (predvsem glede vsebnosti votlin) na osnovi podob-

nosti presejne krivulje s teoretično funkcijo. Med vsemi je najbolj poznana Talbotova enačba (8) za presejno krivuljo, ki ima obliko (Žmavc, 1997)

$$p = 100 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^n \quad (1)$$

Zgornja enačba je tudi izhodišče naših nadaljnjih raziskav, s katerim želimo najti optimalno vrednost n za preiskovane slovenske materiale. Do navedene eksponentne funkcije pridemo, če upoštevamo, da je optimalno sestavo zmesi zrn mogoče doseči, če po načelu podobnosti prvotni, razmeroma zelo ozki sestavi zmesi zrn (t.j. z majhnimi razlikami med velikostmi zrn), ki pa je enakomerna, dodajamo naslednje podobno enakomerno sestavljene zmesi zrn (razrede zrn). Relativna dodana količina zmesi zrn $\Delta p / \Delta d$ mora biti vedno v enakem razmerju n do že obstoječe zmesi zrn p/d . Prostorninski deleži Δp so samo pri zmesi zrn iz enake kamnine enaki tudi masnim deležem (Žmavc, 1997). Vrednost eksponenta n (t.j. potenčne razvrstitve) zmesi zrn so določili številni raziskovalci – (Preglednica 1).

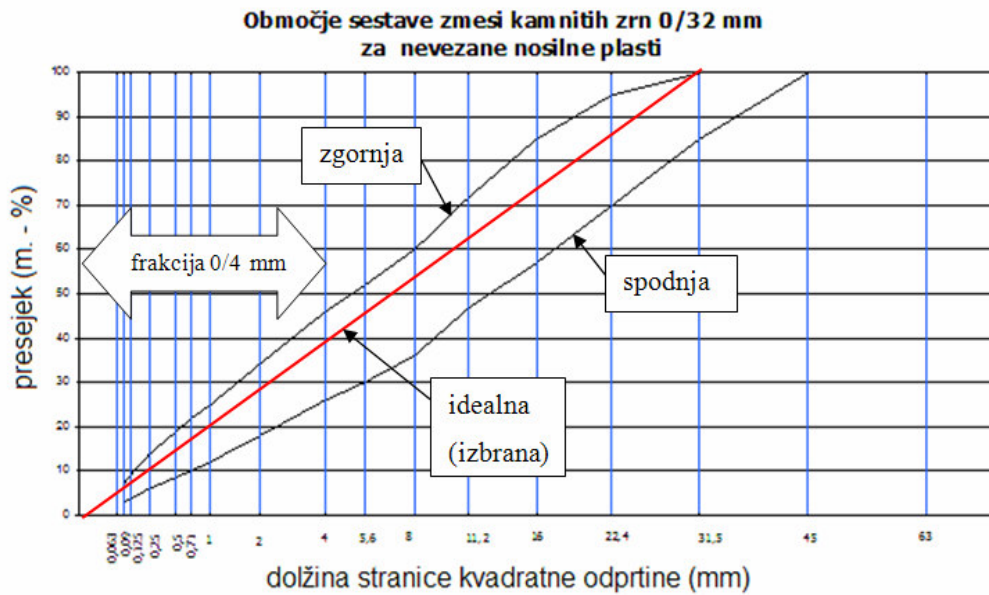
Preglednica 1: Vrednosti eksponenta funkcije zmesi zrn n (Žmavc, 1997)

Raziskovalec	Eksponent funkcije zmesi zrn n
Talbot	$0,25 \leq n \leq 0,40$
Fuller	$n = 0,50$
Hummel	$0,30 \leq n \leq 0,40$
Jahn	$0,35 \leq n \leq 0,55$

V navedenih območjih sestave zrnivosti naj bi bila vsebnost votlin v zmesi zrn najmanjša. Razmeroma velike razlike med navedenimi vrednostmi eksponentov funkcije n so predvsem posledica (Žmavc, 1997)

- ▶ različnih preiskovanih zmesi zrn (prodec, drobljenec) in
- ▶ različnega zgoščevalnega dela za pripravo vzorcev za preiskave.

Za grafični prikaz presejnih krivulj pretežno uporabljamo diagrame s korensko delitvijo na abscisi in linearno na ordinati. Poleg idealne (izbrane) presejne krivulje določimo tudi območje dovoljenega nihanja sestave zmesi zrn z mejnima krivuljama (slika 2).



Slika 2: Območje sestave zmesi kamnitih zrn 0/32 mm za nevezane nosilne plasti (TSC 06.200) in območje raziskav

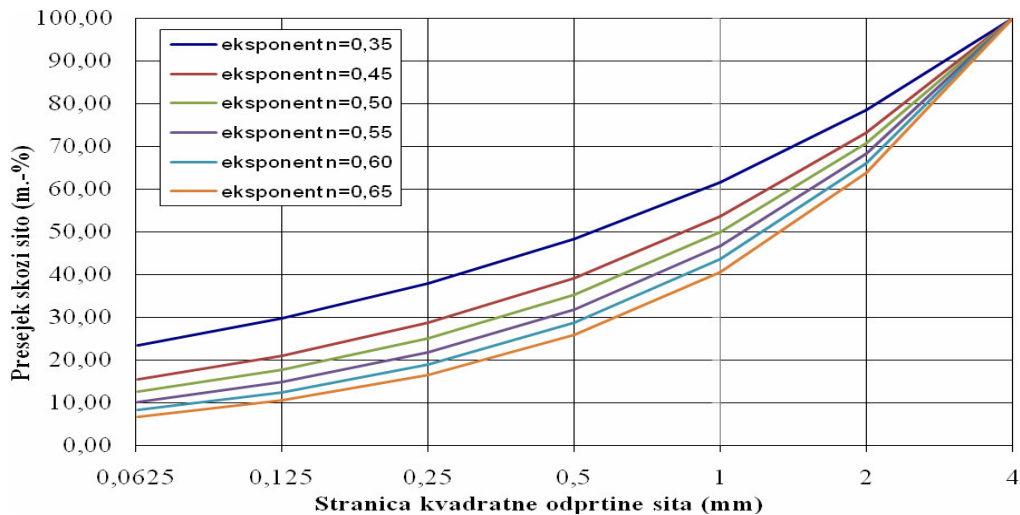
Idealno (izbrano, najprimernejšo) in mejni (zgornja, spodnja) presejni krivulji zmesi zrn določimo praviloma po Talbotovi enačbi (1), pri čemer vrednosti eksponenta n izberemo v odvisnosti od želene sestave zmesi zrn. Kot mejni presejni krivulji zmesi zrn praviloma privzamemo idealni presejni krivulji za prvo drobnejšo (zgornja) in prvo grobejšo (spodnja) nazivno zrnastost zmesi zrn, ki jo po potrebi delno korigiramo (Žmavc, 1997). Zgornja mejna presejna krivulja ima nižjo vrednost eksponenta n kot spodnja presejna krivulja. Na sliki 2 je tudi prikazano območje frakcije 0/4 mm, ki jo raziskujemo.

3 Raziskava zmesi kamnitih zrn frakcije 0/4 mm

3.1 Določitev Talbotove teoretične presejne krivulje

Predhodno smo izračunali po Talbotovi enačbi (1) presejke posameznih zmesi zrn p (m.-%) v frakciji 0/4 mm za različne eksponente

funkcije n (0,35 – 0,65). Če želimo ugotoviti optimalno sestavo zmesi zrn, moramo sestavljati zmesi zrn po načelu podobnosti prvotni sestavi ($n = 0,50$) z majhnimi razlikami med velikostjo zrn v sestavi, zato smo eksponent funkcije n izbrali v območju med $n = 0,35$ in $n = 0,65$. S tem je zajeto dovolj veliko območje morebitnih odstopanj od prvotne sestave in hkrati tudi območje vrednosti eksponenta n zmesi zrn, ki so jih predstavili že predhodno navedeni raziskovalci (Talbot, Jahn, itd.). Maksimalno zrno v zmesi je bilo $D = 4$ mm. Sestavljene presejne krivulje 100 g zmesi zrn, določene po Talbotovi enačbi, so odvisne od eksponenta n (slika 3). Presejne krivulje zmesi kamnitih zrn, tako naravnih kot drobljenih zrn, za različne eksponente n prikazujejo različne potek krivulje. V primeru sestave zmesi kamnitih zrn eksponenta $n = 0,35$ je krivulja najvišja, kar pomeni večjo vsebnost finih delcev v sami sestavi. Če pa pogledamo krivuljo eksponenta $n = 0,65$, vidimo, da je v sestavi manj finih delcev kot pri ostalih krivuljah in več grobih zrn (skeletalna osnova).



Slika 3: Presejne krivulje zmesi zrn po Talbotovi eksponentni enačbi

3.2 Rezultati in analize direktnega strižnega preskusa

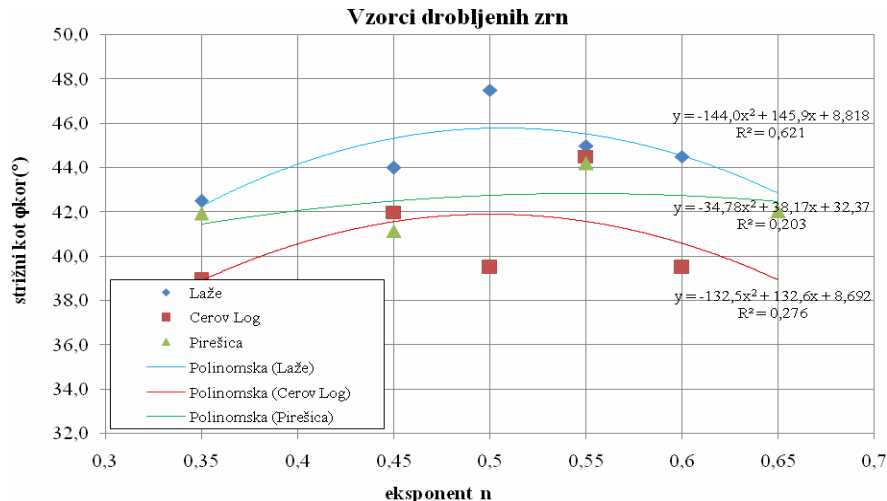
3.2.1 Strižne lastnosti vzorcev in optimalni eksponent n drobljenih zrn frakcije 0/4 mm

Rezultati vseh vzorcev drobljenih zrn strižnega kota φ v odvisnosti od eksponenta n so grafično zbrani na sliki 4. Zaradi lažjega prikazovanja rezultatov med naravnimi in drobljenimi zrnami smo se odločili, da bomo izračunali skupni optimalni eksponent n za zmes drobljenih zrn na podlagi povprečne vrednosti optimalnih eksponentov n v odvisnosti od strižnega kota φ_{kor} , ki znaša 0,519,

(glej preglednico 2 in sliko 4). Optimalna vrednost eksponenta n je zelo blizu temu, kar uporabljamo danes za sestavo zmesi zrn po teoretičnem postopku ($n = 0,50$). To pa pomeni, da imamo še »rezervo« za doseg optimalnejše sestave zmesi drobljenih zrn. Z novim eksponentom n pridobimo predvsem na strižni odpornosti materiala na račun bolj skeletne sestave zmesi zrn (v zmesi nastopajo večja zrna). Ne smemo pozabiti, da k strižni odpornosti materiala drobljenih zrn iz dolomita in apnenca doprinesejo sama zrna, ki se medsebojno zaklinjajo, so po površini hrpava (ostroroba) in imajo nepravilno obliko. Prav tako ne smemo pozabiti na možnost pojava »cementacije« in sukcije, ki prav tako prispevata k strižni odpornosti materiala.

Preglednica 2: Izračun skupnega optimalnega eksponenta n za vzorce zmesi drobljenih zrn frakcije 0/4 mm

Zap. št.	Zmes drobljenih zrn	Optimalni eksponent n
		v odvisnosti od strižnega kota φ_{kor}
1	LAŽE	0,507
2	CEROV LOG	0,500
3	PIREŠICA	0,549
(1+2+3)/3=		0,519



Slika 4: Strižni kot φ_{kor} na vzorcih Laže, Cerov Log, Pirešica v odvisnosti od eksponenta n

3.2.2 Strižne lastnosti vzorcev in optimalni eksponent n naravnih zrn frakcije 0/4 mm

Rezultati vseh vzorcev zmesi naravnih zrn strižnega kota φ_{kor} v odvisnosti od eksponenta funkcije n so grafično predstavljeni na sliki 5. Prav tako, kot pri drobljencih, smo se tudi tukaj odločili, da prevzamemo kot skupni

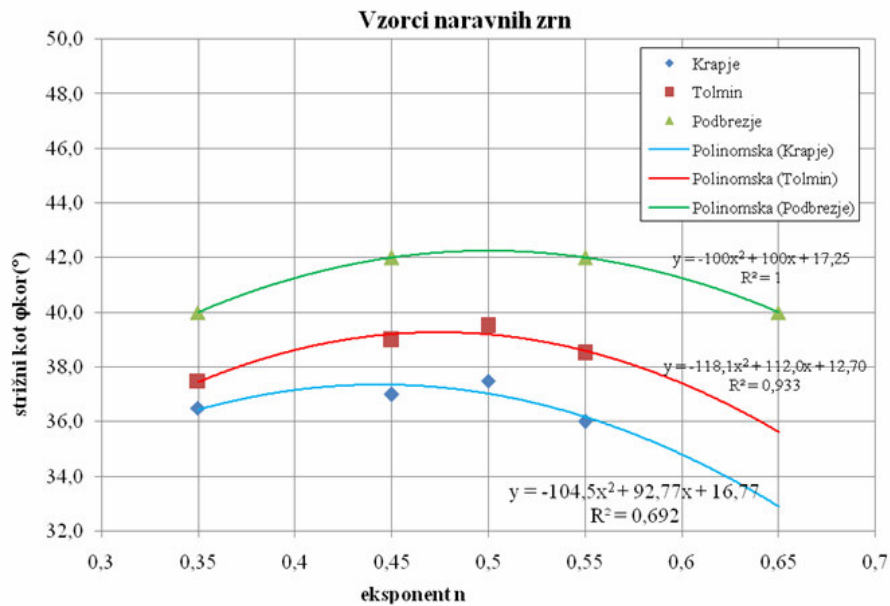
optimalni eksponent funkcije n za zmes naravnih zrn v odvisnosti od korigiranega strižnega kota φ_{kor} povprečje vseh optimalnih eksponentov n za posamezno nahajališče. Območje gibanja vrednosti največjih strižnih napetosti za posamezno nahajališče zmesi naravnih zrn je med $n = 0,444$ in $n = 0,500$. Tako je skupni optimalni eksponent funkcije n za vzorce naravnih zrn v odvisnosti od strižnega kota φ_{kor} enak 0,473 (glej preglednico 3).

Preglednica 3: Izračun skupnega optimalnega eksponenta n za vzorce zmesi naravnih zrn frakcije 0/4 mm

Zap. št.	Zmes naravnih zrn	Optimalni eksponent n
		v odvisnosti od strižnega kota φ_{kor}
1	KRAPJE	0,444
2	TOLMIN	0,474
3	PODBREZJE	0,500
povprečje $(1+2+3)/3=$		0,473

Optimalni eksponent n za naravna slovenska zrna frakcije 0/4 mm je manjši od $n = 0,50$ in je tudi manjši od vrednosti n pri drobljenih zrnih. Strižni kot v zmesi naravnih zrn je v povprečju za 5° manjši kot pri zmesi drobljenih zrn. Sklepamo, da je to predvsem na račun boljšega zaklinjenja med zrnji drobljenca (bolj hrapava površina in nepravilne oblike zrn) in v določenih primerih tudi zaradi mineraloške sestave. Prav tako smo v vzorcu Krapje zasledili prisotnost sljude, ki dodatno znižuje vrednost strižnega kota. Če uporabimo sestavo zmesi naravnih zrn frakcije 0/4 mm z eksponentom $n = 0,473$ (glede na naše labora-

torijske rezultate) pridobimo predvsem na večji strižni odpornosti materiala. Taka sestava ima povečano vsebnost finih delcev glede na eksponent $n = 0,5$. Prav tako je zmes bolj gosta in zapolnjena (manj votlin). Ker je površina naravnih zrn bolj zaobljena, se pri strigu pojavlja hitrejše prestrukturiranje sestave. Opazili smo tudi manjši vpliv zaklinjenja med zrnji in s tem manjše kontaktne napetosti med konicami zrnji. Pri direktnem strižnem preskusu zmesi naravnih zrn v diagramu napetost/pomik je vidna gladka in zvezna krivulja.

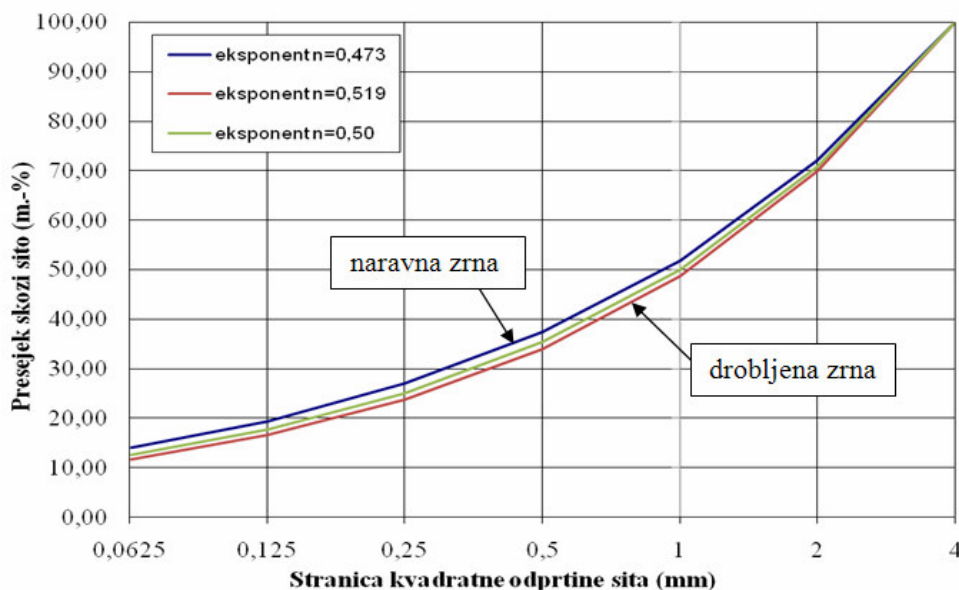


Slika 5: Vrhunski strižni kot φ_{kor} na vzorcih Krapje, Tolmin, Podbrezje v odvisnosti od eksponenta n

3.2.3 Najprimernejša sestava frakcije 0/4 mm za naravna in drobljena zrna

Optimalni eksponent n za drobljena zrna frakcije 0/4 mm smo določili in znaša 0,519. Če vstavimo v Talbotovo eksponentno enačbo (1) vrednost optimalnega eksponenta $n = 0,519$ in vrednost maksimalnega zrna $D = 4$ mm. Graf te eksponentne funkcije je presejna krivulja za slovenske zmesi drobljenih zrn frakcije 0/4 mm (slika 6). Enak postopek smo ponovili še za naravna zrna. Za primerjavo s presejno krivuljo naravnih in drobljenih zrn je

na sliki 6 prikazana tudi presejna krivulja z eksponentom $n = 0,50$. Opazili smo, da je na sliki 6 najvišja presejna krivulja naravnih zrn in najnižja presejna krivulja drobljenih zrn ter da leži presejna krivulja z eksponentom $n = 0,50$ med njima. To pomeni, da je v sestavi naravnih zrn večji delež drobnih zrn kot pri ostalih dveh in obratno, da je v sestavi drobljenih zrn večji delež večjih zrn (skeletna sestava). Če povzamemo, lahko sklepamo, da je presejna krivulja z eksponentom $n = 0,50$, razmeroma dobro povprečje presejne krivulje naravnih in drobljenih zrn.



Slika 6: Najprimernejše presejne krivulje za raziskane vzorce zmesi naravnih in drobljenih zrn

4 Zaključki

Eden od osnovnih materialov, ki se uporabljajo za gradnjo cest, je zmes kamnitih zrn. Osnova za določitev namena uporabe materiala v cestnem telesu je njena sestava. Zmes je sestavljena iz enega ali več razredov zrn ali zrnivosti ali pa že ima v naravi ustrezno sestavo.

Če povzamemo raziskovalni del, ugotovljamo naslednje značilnosti na zmesi naravnih in drobljenih zrn frakcije 0/4 mm:

- ▶ drobljena zrna izkazujejo večjo strižno odpornost kot naravna zrna (razlika strižnega kota je v povprečju za 5 °) predvsem zaradi
 - ❖ boljšega učinka zaklinjenja med zrn (hrapava površina),
 - ❖ mineraloško-petrografske sestave,
 - ❖ tudi med vzorci drobljenih zrn različni materiali izkazujejo različno strižno odpornost in podobno je pri vzorcih naravnih zrn, predvsem zaradi različno zgoščenih vzorcev
- ▶ pri določenih vzorcih se je pojavila kohezija c' zaradi:
 - ❖ vpliva zaklinjenja
 - ❖ sukije
- ▶ na strižno odpornost vpliva zgoščenost vzorca:
 - ❖ bolj zgoščen vzorec → večja strižna odpornost
- ▶ izračunana optimalna vrednost Talbotovega eksponenta n za vzorce zmesi drobljenih zrn je višja od naravnih zrn:
 - ❖ za drobljena zrna frakcije 0/4 mm znaša $n = 0,519$
 - ❖ za naravna zrna frakcije 0/4 mm znaša $n = 0,473$
- ▶ pri direktnem strižnem preskusu je v diagramu napetost/pomik vidna
 - ❖ gladka krivulja pri naravnih zrnih in
 - ❖ žagasta krivulja pri drobljencih, zaradi učinkov zaklinjenja
- ▶ če v Talbotovo enačbo (1) vstavimo izračunan optimalni eksponent n za drobljena zrna frakcije 0/4 mm, dobimo presejno krivuljo s povečanim deležem

večjih zrn (skeletna sestava); v primeru, da vstavimo v enačbo izračunan optimalni eksponent n za naravna zrna frakcije 0/4 mm, se presejna krivulja dvigne, kar pomeni, da se v sestavi poveča delež finih zrn.

Na podlagi rezultatov strižnih lastnosti preiskanih vzorcev frakcije 0/4 mm menimo, da je pri določevanju najprimernejše sestave zmesi zrn v prvi vrsti treba ločiti drobljena zrna od naravnih zrn, kar do sedaj ni bila praksa. Če primerjamo dobljene vrednosti eksponenta n , ki so v območju med 0,45 in 0,55, z rezultati predhodnih raziskovalcev, je naše območje eksponenta n primerljivo z Janovim. Od tod lahko sklepamo, da smo resnično na pravi poti določevanja najprimernejše sestave po Talbotovem teoretičnem postopku in da za slovenske zmesi kamnitih zrn na frakciji 0/4 mm veljajo podobne zakonitosti. Pri tem pa ne smemo pozabiti, da za določitev najprimernejše sestave zmesi kamnitih zrn vplivajo tudi drugi dejavniki, ki jih teoretični postopek ne upošteva, in sicer:

- ▶ mineralna zgradba zrn
- ▶ zgoščenost (priprava vzorca)
- ▶ oblika zrn
- ▶ površina (hrapavost) zrn
- ▶ naravna cementacija (dolomiti in apnenci)
- ▶ učinek sukije
- ▶ največje zrno v zmesi
- ▶ dinamične obremenitve, itd.

V bodoče bi bilo smiselno za vsak kamnolom in gramoznico v Sloveniji določiti eksponent n . Prav tako pa bi bilo potrebno te raziskave podkrepiti z novejšimi postopki (npr. dinamičnimi triosnimi preskusi) določanja optimalne sestave zmesi kamnitih zrn in raziskave opraviti na frakcijah, ki se vgrajujejo v voziščno konstrukcijo.

Viri

- [1] Hribar, D. 2007. Magistrsko delo: Proučevanje in optimizacija sestave zmesi kamnitih zrn. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.