

Vpliv ultralahkega polnila na lastnosti nekonstrukcijskih injekcijskih mas

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo



Andreja Padovnik¹, Violeta Bokan Bosiljkov¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Pogosta poškodba na stenskih slikah je ločitev ometov od nosilca ali odstopanje finega od grobega ometa. S postopnim injektiranjem z izbrano injekcijsko maso je mogoče stabilizirati odstopajoče plasti ometov. Pogosto se uporabljajo injekcijske mase, ki imajo v vezivu visoko vsebnost vode, v konstrukcijo vnašajo dodatno težo in vlažnost in imajo omejeno področje prilagajanja lastnosti in parametrov trdnosti/gostote lastnostim originalnih materialov.

V masah imajo lahko pomembno vlogo lahka polnila. Ko utrjujemo večja področja zračnih mehurjev, se uporabi večja količina mešanice, ki pa zaradi vnašanja dodatne teže lahko povzroči nove poškodbe.

Za tovrstne posege tako razvijamo in testiramo lahke injekcijske mase na osnovi hidratiziranega apna, kalcitne moke in ultralahkega polnila iz natrijevega borosilikatnega stekla z granulacijo od 30 do 120 μm .

Sestava injekcijskih mas v strjenem stanju

Oznaka vzorca	LS100	LS67-GM33	LS33-GM67
Vezivo : polnilo (kalcitno in ultralahko polnilo)	1: 3	1: 3	1: 3
Volumsko razmerje Kalcitno polnilo : ultralahko polnilo volumsko razmerje	3: 0	2: 1	1: 2
Voda/vezivo masno razmerje	1.86	1.76	1.52
Voda/(vezivo, kalcitno polnilo in ultralahko polnilo) masno razmerje	0.41	0.50	0.70
PCE-SP (%)	0.5	0.5	0.5

Načrtovanje lahkih injekcijskih mas temelji na osnovni sestavi 1 dela hidratiziranega apna in 3 delov kalcitne moke, z dodatkom 0,5 % PCE superplastifikatorja. Osnovno sestavo smo modificirali tako, da smo kalcitno polnilo postopoma nadomeščali z ultralahkim polnilom.

Na podlagi rezultatov svežih lastnosti ugotovljamo, da se z nadomeščanjem kalcitne moke z ultralahkim polnilom zmanjšuje prostorninska masa injekcijskih mešanic.

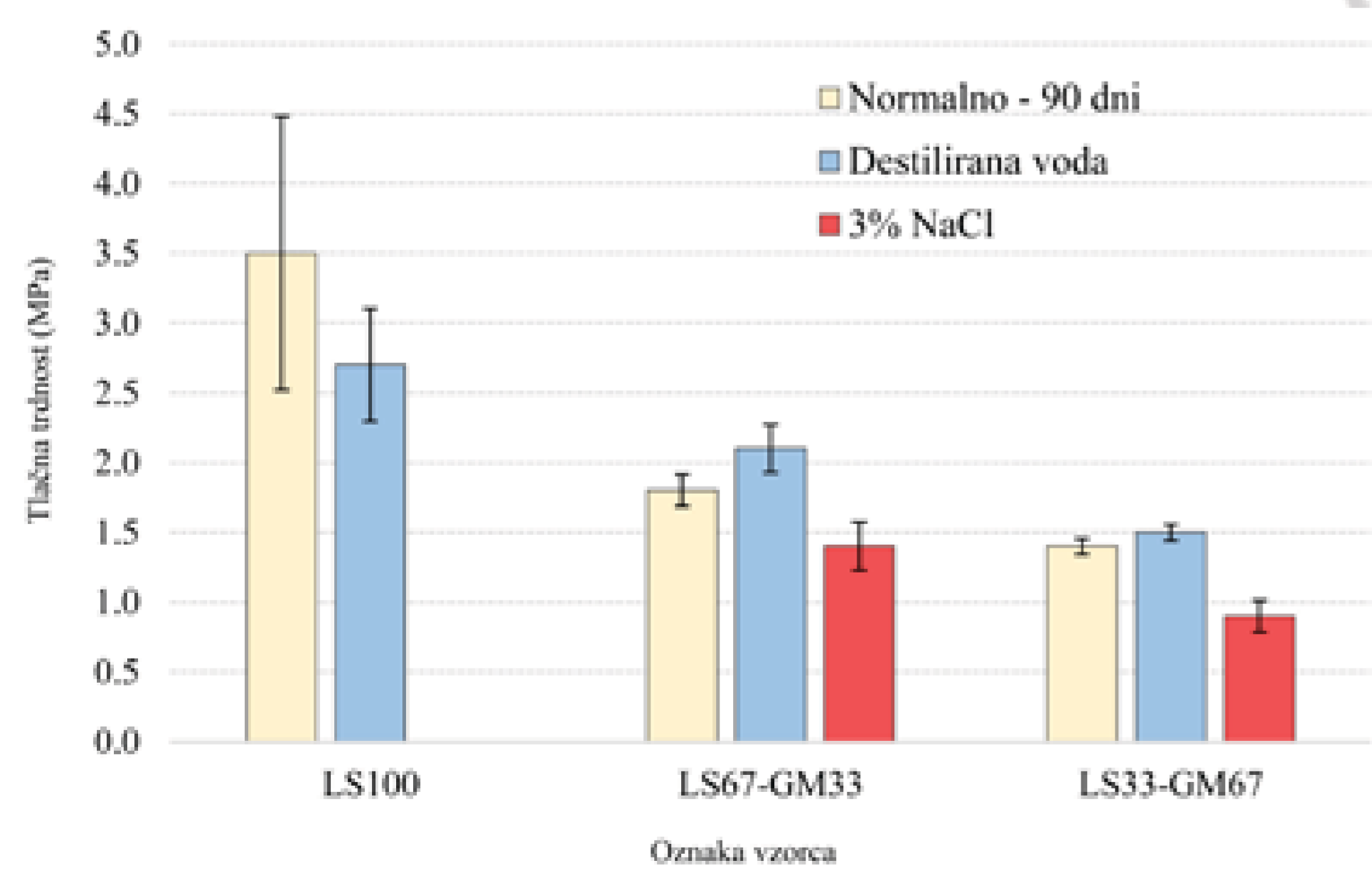
Mase so se izkazale za stabilne, izločanje vode je pod 2 %. Injektibilnost mešanic se poveča s predhodnim vlaženjem granuliranega poroznega materiala (drobljenega apnenega ometa), vendar je ob dobri vodozadržnosti mas LS100, LS67-GM33, ki je nad 80 %, omogočena tudi penetracija in tečenje skozi stolpec suhega drobljenega apnenega ometa.

Mehanske in fizikalne lastnosti injekcijskih mas

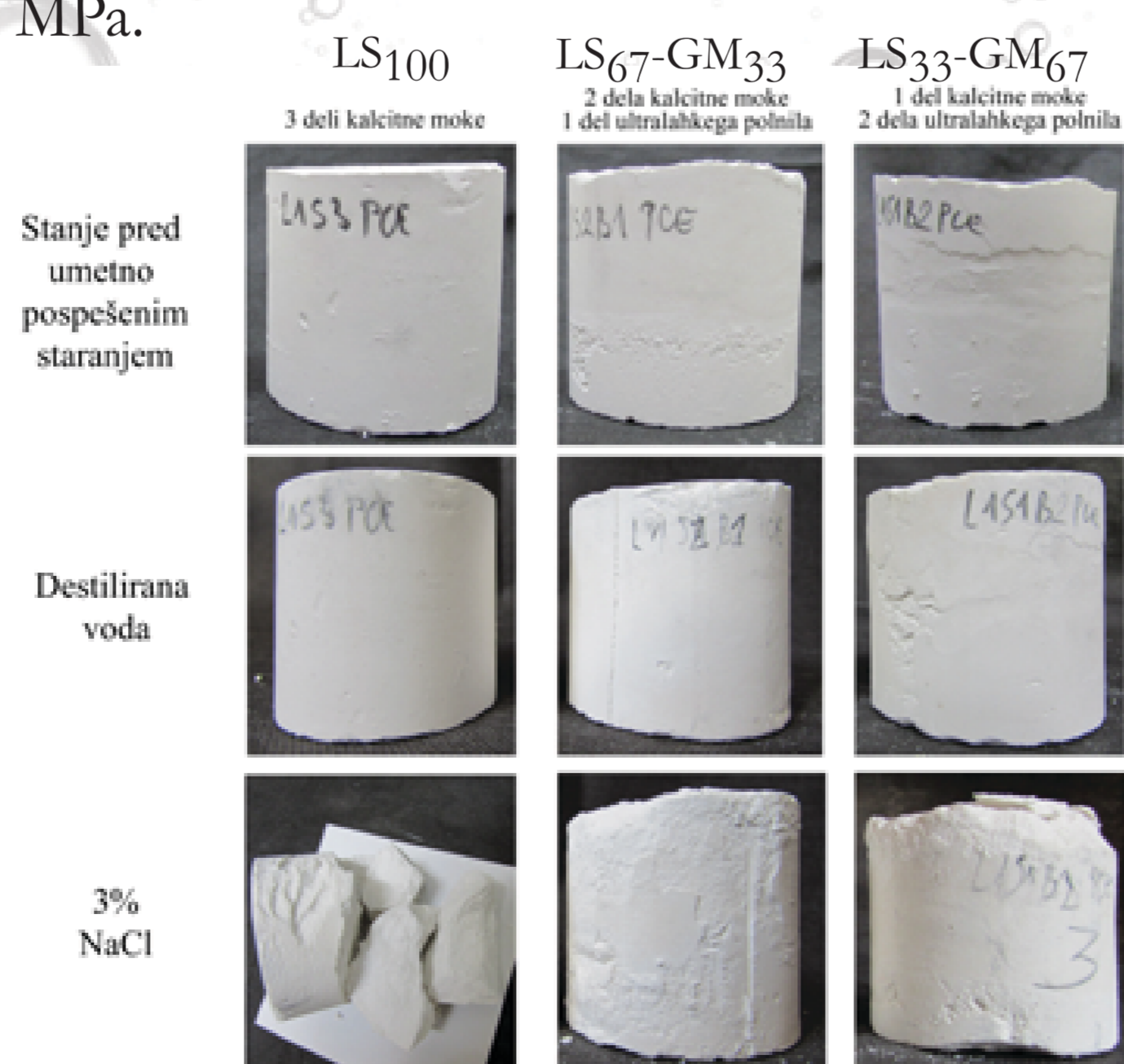
Fizikalne lastnosti strjenih injekcijskih mas LS100, LS67-GM33 in LS33-GM67 pri straosti 90 dni: prostorninska masa, skupna in kapilarna poroznost, koeficient vpijanja vode po 24 h (W_{24}) in 10 min (W_{10}); difuzijska upornost (μ).

Oznaka vzorca	Prostorninska masa (g/cm^3)	Skupna poroznost (%)	Kapilarna poroznost (%)	W_{24} ($\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{min}})$)	W_{10} ($\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{min}})$)	μ (-)
LS100	1.45 \pm 0.01	40 \pm 1.0 %	38 \pm 1.0 %	0.46	2.11	16
LS67-GM33	1.20 \pm 0.02	42 \pm 2.0 %	40 \pm 0.4 %	0.44	2.20	15
LS33-GM67	0.85 \pm 0.00	48 \pm 1.0 %	38 \pm 0.2 %	0.42	2.14	12

Iz rezultatov je razvidno, da na trdnost pomembno vpliva delež ultralahkega polnila, saj mešanica LS33-GM67 dosega nižjo trdnost. Povprečna tlačna trdnost mas se giblje od 1,4 do 3,5 MPa po 90-ih dneh. Cepilna natezna trdnost se giblje med 0,08 in 0,18 MPa.



Primerjava rezultatov preiskav tlačne trdnosti pri 90 dni in pospešeno staranih injekcijskih mas.



Preskušanci injekcijskih mas po 14-ih ciklih pospešenega staranja.

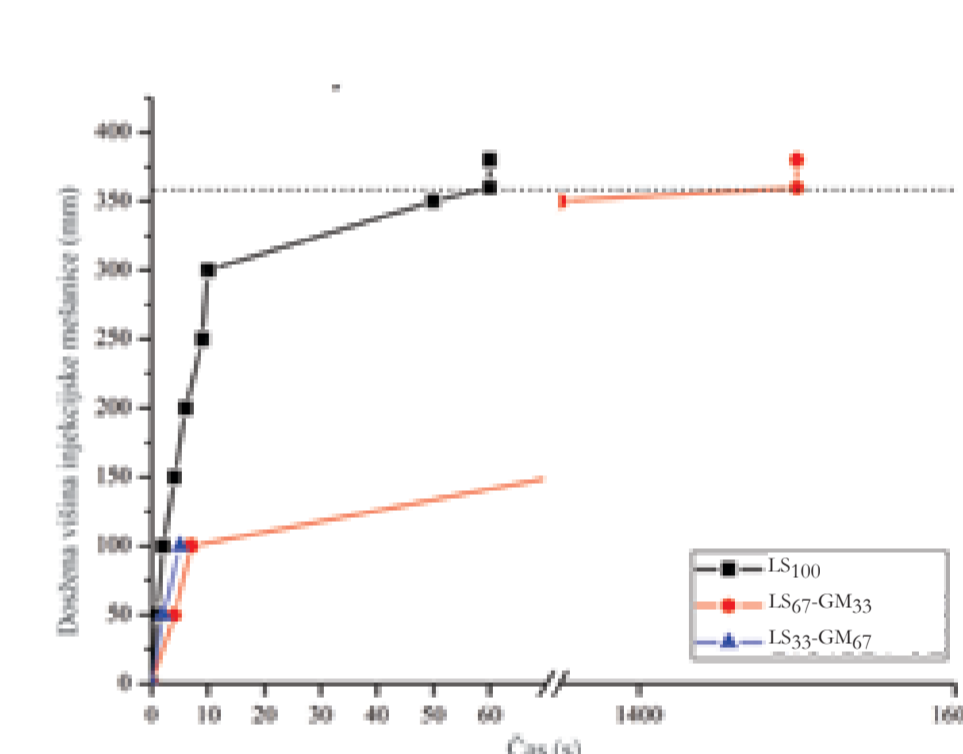
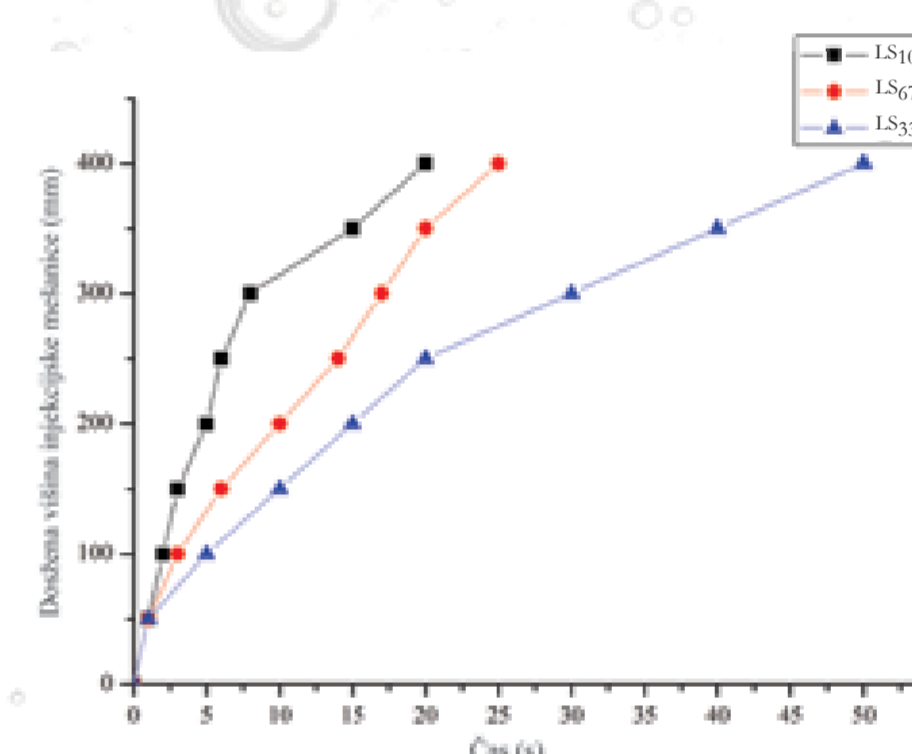


Primer odstopajočih plasti ometov od podlage.

Modificirane mase morajo zagotoviti dobro injektibilnost, zadrževanje vode, čim manjše krčenje in stabilnost, dosegati morajo zadovoljivo prijemno trdnost ter imeti podobne fizikalne lastnosti kot obstoječi apneni ometi.

Sveže lastnosti injekcijskih mas

Oznaka vzorca	Prostorninska masa (g/cm^3)	Razlez (mm)	Izločanje vode (%)	Vodozadržnost (%)
LS100	1.73 \pm 0.05	236 \pm 5	1.5 \pm 0.03	83 \pm 1
LS67-GM33	1.51 \pm 0.04	279 \pm 6	1.7 \pm 0.03	80 \pm 2
LS33-GM67	1.14 \pm 0.06	236 \pm 10	0.6 \pm 0.02	81 \pm 1



Injektibilnost injekcijskih mas LS100, LS67-GM33 in LS33-GM67 za predhodno navlažen drobljen apneni omet (levo) in suh drobljen omet (desno).

Pomembne so tudi mehansko-fizikalne lastnosti injekcijske mase, ki morajo biti primerljive z ustreznimi lastnostmi originalnih historičnih ometov. Velik vpliv na mehansko-fizikalne lastnosti ima stopnja poroznosti mase, vrsta por in njihova porazdelitev. Visoko stopnjo celotne poroznosti so dosegle vse mase LS100, LS67-GM33 in LS33-GM67, in to od 40 do 48 %. Masa LS33-GM67 je na račun ultralahkega polnila dosegla najvišjo stopnjo, in sicer 48 %. Poroznost vpliva na paroprepustnost in iz rezultatov je razvidno, da ima masa LS33-GM67 z višjim deležem ultralahkega polnila višjo sposobnost prehajanja vodne pare kot masi LS100 in LS67-GM33.

Pri preiskavi s pospešenim staranjem smo preskušance izpostavili 14-imi ciklom zmrzovanje/tajanje/segrevanje/ohlajanje z vključenim vlaženjem/sušenjem v kombinaciji z destilirano vodo in 3 % raztopino NaCl. Mešanice LS100, LS67-GM33 in LS33-GM67 po 14-ih ciklih pospešenega staranja, z destilirano vodo, dosegajo vrednosti tlačne trdnosti med 1,5 in 2,7 MPa. Tlačne trdnosti mešanic, ki so bile nasičene z raztopino NaCl, po 14-ih ciklih upadejo do 53 % glede na vrednosti pri destilirani vodi, trdnosti se gibljejo med 0,9 in 1,4 MPa.

Za najbolj obstojno ob prisotnosti soli se je izkazala masa LS67-GM33, to nakazuje, da lahko ima ultralahko polnilo enako funkcijo kot zračni mehurčki v aerirani cementni malti; učinkovito zmanjšajo napetosti, ki nastanejo pri zmrzovanju vode znotraj strjene mase in tako preprečijo nastajanje poškodb.