

LAGANI BETONI

1

Beton na koji se odnosi **TPBK** može biti:

- obični - gustoće 2000 - 2600 kg/m³
- lagani - gustoće 800 - 2000 kg/m³
- teški beton - gustoće > 2600 kg/m³

- **TPBK se NE odnosi na:**
 - poraste betone (lagani pjeno i plinobetoni)
 - betone otvorene strukture (bez sitnih čestica)
 - mlazni beton
 - betone gustoće manje od 800 kg/m³
 - vatrootporne betone
 - polimerom modificirani beton
 - mikroarmirani beton
 - ferocement
 - samougradljivi beton (SCC)

2

Razredi gustoće **laganih betona:**
HRN EN 12390-7

| Razred gustoće | D1,0 | D1,2 | D1,4 | D1,6 | D1,8 | D2,0 |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Područje gustoće (kg/m ³) | ≥800 i ≤1000 | >1000 i ≤1200 | >1200 i ≤1400 | >1400 i ≤1600 | >1600 i ≤1800 | >1800 i ≤2000 |

3

Podjela prema namjeni

| TIP | konst. | konst. izolacijski | izolacijski |
|-----------------------------|--------|--------------------|-------------|
| ρ (kg/m ³) | <2000 | - | - |
| f_{cc} (MPa) | >15 | >3,5 | >0,5 |
| λ (W/Km) | - | <0,75 | <0,3 |

4

PODJELA PREMA TEHNOLOGIJI

OD JEDNAKOZRNATIH AGREGATA

LAKOAGREGATNI

- PRIRODNI (PLOVUČAC)
- EKSPANDIRANI I PEČENI (KERAMZIT)
- SEKUNDARNE SIROVINE (GRUBI LEBDEĆI PEPEO)

ČELIJASTI BETONI

- PLINOBETONI (SIPOREX)
- PJENOBETONI
- SAČASTI BETONI (EPS BETON)

5

LAKI AGREGATI

- Leteći (elektrofiltarski) pepeo dobije se nakon izgaranja ugljena usitnjenog u prah u termoelektranama gdje se na specijalnim eletrofiltarima zadržava fini mrko-crni prah sastavljen od zrnaca promjera 0,005 - 0,1 mm.
- Volumna masa je 500 - 800 kg/m³.
- Primjena:
 - kao dodatak pri proizvodnji cementa
 - kao dodatak pri proizvodnji betona

6

Zgura



- Ložišna zgura - ostatak je nakon izgaranja ugljena ili koksa.
- Volumna masa je 600 - 1500 kg/m³.
- Primjena:
 - kao materijal za nasipe
 - za izradu šljako-betona, šljako-blokova (potrebno je prethodno ispitivanje radi npr. sumpora)

7

- Kristalasta zgura visokih peći dobije se sporim hlađenjem rastopljene zgure visokih peći.
- Relativno je porozna, ali i čvrsta
- Volumna masa je 500 - 1700 kg/m³.
- Primjena:
 - nasipi
 - podloge u cestogradnji
 - željeznički zastori
 - za izradu mortova i betona.

8

- Granulirana zgura dobije se naglim hlađenjem postupkom potapanja u vodu.
- Relativno krte i trošne granule
- Volumna masa - 800 kg/m³
- Primjena:
 - dodatak cementu
 - proizvodnja lakih betona (treba primijeniti bazičnu zguru (gorivo-koks)

9

- Pjenušava zgura dobije se naglim hlađenjem mlazovima vode. Uslijed pare koja se pri tome stvara, zgura će unutar svoje mase dobiti velik postotak pora, a povećat će volumen.
- Volumna masa mala 300 - 750 kg/m³
- Primjena:
 - kao toplinska i zvučna zaštita ili izolacija, kao ispunja između pregradnih zidova

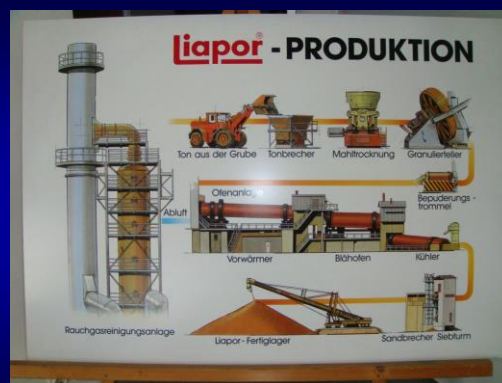


10

- Ekspandirana glina - keramzit - glinopor - primjena: kao agregat za proizvodnju betona



11



12

- **Ekspandirani perlit** - staklasti kamen uglavnom silikatnog sastava koji se stvara prilikom vulkanskih erupcija.
- Proces proizvodnje: drobljenje te izlaganje temperaturi 700 do 1200°C.
- Volumna masa mala 100 - 500 kg/m³
- $\lambda = 0,052 - 0,070 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, pri vlažnosti 2%
- Primjena: kao agregat za mortove i lagane betone, kao termoizolacija



13

- **Ekspandirani vermikulit** se dobiva iz stijene vermikulita koja nastaje kao posljedica mijenjanja liskuna.
- Drobljeni vermikulit se kratkotrajno (3 - 5 min.) izloži temperaturi 800 – 1000°C, pri čemu materijal ekspandira i može povećati volumen i 20 puta.
- Veoma porozan materijal
- Volumna masa vrlo mala: 50 - 200 kg/m³
- Primjena: za proizvodnju mortova vrlo velikih termoizolacijskih svojstava.



14

LAKI AGREGATI: KERAMZIT, VERMIKULIT, PERLIT, SEKUNDARNE SIROVINE

| Izolacijski beton | Konstruktivno-izolacijski | Konstruktivni | | | | | | |
|--|--|--------------------|-----|------|------|------|------|------|
| Vermikulit | | | | | | | | |
| Perlit | | | | | | | | |
| | Glinopor, ekspand. zgora, grubi pepeo, drobljena opeka | | | | | | | |
| jednakozmatti beton od lakog agreg. | | jednakozmatti bet. | | | | | | |
| plinobeton | | | | | | | | |
| penobeton | | | | | | | | |
| čelijasti betoni s polimernim granulama (npr. EPS beton) | | | | | | | | |
| 300 | 500 | 700 | 900 | 1100 | 1300 | 1500 | 1700 | 1900 |
| kg/m ³ | | | | | | | | |

15

VRLO LAGANI BETONI GUSTOĆE DO 800 kg/m³

izolacijski materijali,
vatrootpornost,
ispune,
sanacije starih zgrada



PJENE

- gustoća je - 34 do 64 kg/m³
- gustoća betona 800 do 2000 kg/m³
- stabilnost pjene
- apsorpcija vode
- tlačna čvrstoća



16

Razni tipovi vlakna za poboljšanje

- vlačne čvrstoće,
- žilavosti,
- otpornosti na odlamanje,
- protiv širenja pukotina.

17

SVOJSTVA VRLO LAGANOG BETONA

Gustoća (za uzorak prosušen na 105°C).

| Gustoća suhog uzorka (105°C) (kg/m ³) | Uobičajene tlačne čvrstoće nakon 28 dana (MPa) |
|---|--|
| 320-400 | 0,48-0,86 |
| 400-480 | 0,86-1,55 |
| 480-560 | 1,55-2,41 |
| 560-640 | 2,41-3,10 |
| 640-800 | 3,10-5,17 |

18

Skupljanje uslijed sušenja vrlo laganih betona (pri 50% rel.vl.)

| Tip agregata | Uobičajeni raspon skupljanja nakon 180 dana, % |
|-----------------|--|
| perlit | 0,10-0,30 |
| vermikulit | 0,20-0,45 |
| čelijasti beton | 0,30-0,60 |
| EPS | 0,24-0,60 |

19

19

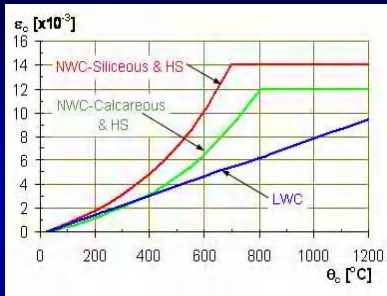
Koeficijenti termičke ekspanzije za vrlo lagane betone

| Tip agregata | Koef. termičke ekspanzije $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ |
|-----------------|--|
| perlit | 7,7-11,0 |
| vermikulit | 8,3-14,2 |
| čelijasti beton | 9,0-12,6 |
| EPS | 9,0-14,2 |

"Prohodnost"
Sposobnost "čavljanja" (veća od 170 N)

20

20

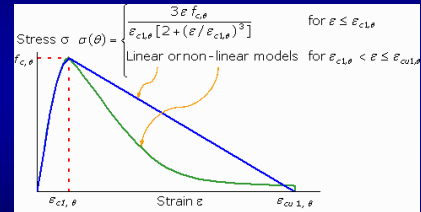


Termička deformacija kao funkcija temperature

21

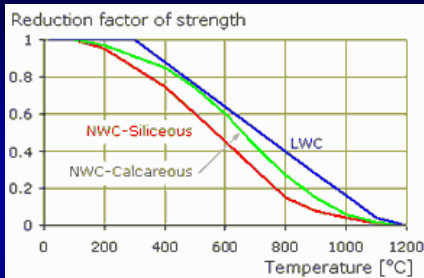
21

HRN EN 1994-1-2:2008 je usvojila isti odnos naprezanje – deformacija za laki beton kao i za normalni beton



22

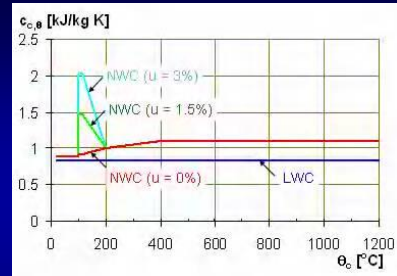
22



Smanjenje čvrstoće normalnog i lako agregatnog betona pri povišenim temperaturama

23

23



Specifični toplinski kapacitet betona kao funkcija temperature

24

24

Toplinska provodljivost za vrlo lake betone

| Gustoća (105°C) kg/m ³ | Toplinska provodljivost, λ [W/mK] | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| | suhi uzorak (105°C) | prirodno vlažnan |
| 320 | 0,11 | 0,13 |
| 480 | 0,13 | 0,16 |
| 640 | 0,16 | 0,19 |
| 800 | 0,20 | 0,24 |

Rade se **kompozitni građevni elementi** od kombinacije vrlo lakog betona i valovitog lima ili drveta.

25

Odnos modula elastičnosti i tlačne čvrstoće

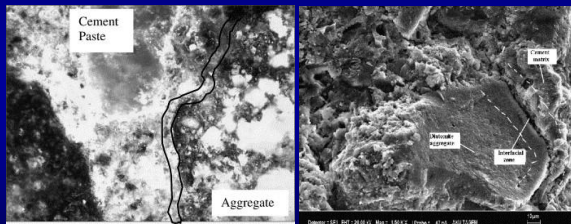
| Tip agregata | Gustoća (105°C) | Tlačna čvrstoća (MPa) | Modul elastičnosti (GPa) |
|----------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| Perlit | 320-640 | 0,55-3,10 | 0,48-1,72 |
| Vermikulit | 240-640 | 0,48-2,76 | 0,28-0,97 |
| Čeljusti (S)* | 400-560 | 0,90-1,72 | 0,14-0,69 |
| Čeljusti (N)** | 240-640 | 0,48-3,10 | 0,07-1,65 |
| EPS | 545-770 | 2,24-3,79 | 0,69-1,10 |

* cement : pijesak = 1:1

** samo cement

26

Tranzitna zona



27

LAGANI BETONI GUSTOĆE VEĆE OD 800 kg/m³ (čvrstoće do 17,5 MPa)

PRIMJENE:

- ispune za toplinske i zvučne izolacije podova, zidova i krovova;
- monolitnih zidova, podova i krovova;
- predgotovljenih elemenata kao zidova i podova.

Modul elastičnosti lakih betona definira se kao sekantni modul pri $\frac{1}{2}f_c$.

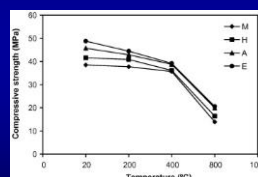
28

ČELIJASTI BETONI Tlačne čvrstoće čeljustih

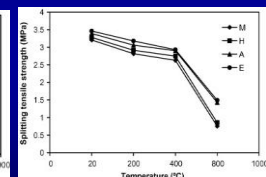
| Gustoća svježeg betona kg/m ³ | Omjer pijesak/cement | v/c omjer | cement kg/m ³ | Tlačna čvrstoća MPa |
|--|----------------------|-----------|--------------------------|---------------------|
| 800 | 0,79 | 0,60 | 335 | 1,72 |
| 800 | 0,55 | 0,50 | 390 | 2,07 |
| 800 | 0,29 | 0,50 | 446 | 2,76 |
| 960 | 1,27 | 0,60 | 335 | 2,41 |
| 960 | 0,96 | 0,50 | 390 | 2,76 |
| 960 | 0,65 | 0,50 | 446 | 3,45 |
| 1120 | 1,75 | 0,60 | 335 | 3,10 |
| 1120 | 1,37 | 0,50 | 390 | 3,45 |
| 1120 | 1,06 | 0,45 | 446 | 4,14 |
| 1280 | 2,22 | 0,60 | 335 | 4,14 |
| 1280 | 1,78 | 0,50 | 390 | 4,48 |
| 1280 | 1,42 | 0,45 | 446 | 4,83 |
| 1440 | 2,85 | 0,60 | 335 | 7,59 |
| 1440 | 2,19 | 0,50 | 390 | 7,59 |
| 1440 | 1,78 | 0,45 | 446 | 9,97 |
| 1600 | 3,18 | 0,60 | 335 | 8,62 |
| 1600 | 2,65 | 0,45 | 390 | 11,73 |
| 1600 | 2,14 | 0,45 | 446 | 12,41 |
| 1760 | 3,66 | 0,60 | 335 | 13,78 |
| 1760 | 3,06 | 0,45 | 390 | 17,94 |
| 1760 | 2,44 | 0,45 | 446 | 17,24 |
| 1920 | 3,32 | 0,60 | 390 | 22,89 |
| 1920 | 2,80 | 0,50 | 446 | 24,27 |

29

| Oznaka mješavine | Cement (kg/m ³) | Leteci pepeo (kg/m ³) | v/c | Laki agregat (kg/m ³) | Super plastifikator (kg/m ³) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|--|
| M | 500 | – | 0,77 | 820 | 6 |
| H | 450 | 50 | 0,77 | 805 | 6 |
| A | 400 | 100 | 0,77 | 795 | 6 |
| E | 350 | 150 | 0,77 | 780 | 6 |

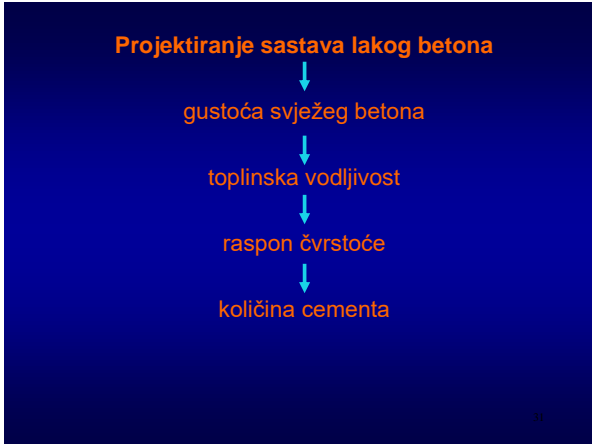


Tlačna čvrstoća pri visokim temperaturama



Vlačna čvrstoća cijepanjem pri visokim temperaturama

30



31

Prema DIN definirane su sljedeće marke lakog betona

| Marka lakog betona | Nazivna čvrstoća (najmanja pojedinačna čvrstoća kocke) MPa | Srednja vrijednost čvrstoće partije betona MPa |
|--------------------|--|--|
| LB 2 | 2,0 | 5,0 |
| LB 5 | 5,0 | 8,0 |
| LB 8 | 8,0 | 11,0 |
| LB 10 | 10 | 13 |
| LB15 | 15 | 18 |
| LB 25 | 25 | 29 |
| LB35 | 35 | 39 |
| LB 45 | 45 | 49 |
| LB 55 | 55 | 59 |

32

Razredi tlačne čvrstoće za lagane betone

| Razred tlačne čvrstoće | Najmanja karakteristična čvrstoća valjka, $f_{ck,valj}$ (N/mm ²) | Najmanja karakteristična čvrstoća kocke ^a , $f_{ck,koc}$ (N/mm ²) |
|------------------------|--|--|
| LC8/9 | 8 | 9 |
| LC12/13 | 12 | 13 |
| LC16/18 | 16 | 18 |
| LC20/22 | 20 | 22 |
| LC25/28 | 25 | 28 |
| LC30/33 | 30 | 33 |
| LC35/38 | 35 | 38 |
| LC40/44 | 40 | 44 |
| LC45/50 | 45 | 50 |
| LC50/55 | 50 | 55 |
| LC55/60 | 55 | 60 |
| LC60/66 | 60 | 66 |
| LC70/77 | 70 | 77 |
| LC80/88 | 80 | 88 |

^a Mogu se rabiti i druge vrijednosti ako je korelacija između njih i čvrstoće reprezentativnog valjka utvrđena i dokumentirana s dovoljnom točnošću.³³

33

Razredi gustoće i moduli elastičnosti lakih betona prema DIN 4219

| Gustoća, t/m ³ | Granične vrijednosti gustoće suhog betona, t/m ³ | Modul elastičnosti, GPa |
|---------------------------|---|-------------------------|
| 1,0 | 0,80...1,00 | 5 |
| 1,2 | 1,01...1,20 | 8 |
| 1,4 | 1,21...1,40 | 11 |
| 1,6 | 1,41...1,60 | 15 |
| 1,8 | 1,61...1,80 | 19 |
| 2,0 | 1,81...2,00 | 23 |

34

PROJEKTIRANJE SASTAVA LAKOG BETONA

Optimalizacija tri parametra:

- (1) gustoće betona,
- (2) čvrstoće i
- (3) toplinske provodljivosti betona.

$$\rho : \lambda : f_c$$

$$C \text{ (kg/m}^3\text{)} : f_c$$

35

Određena čvrstoća lakog betona

↓

podešavanje izborom razreda čvrstoće cementa i vodocementnog omjera, kao kod običnog betona

Čvrstoća laganog betona je ograničena čvrstoćom agregata.

36

Obradljivost laganih betona obično se bira u razredu konzistencije slijeganjem S2 –S3.

Količina cementa ne bi trebala biti veća od 450 kg/m³, a kod armiranog i prednapetog betona ne bi smjela biti manja od 300 kg/m³.

Laki agregati se moraju dozirati volumno.

Uvjet gustoće postavlja se za prosušeni lagani beton (105°C), a točnost je ±50 kg/m³.

37

Karakteristični sastavi betona

| gustoća: | kg/m ³ | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 |
|---------------|-------------------|---------------------------|-----|------|------|------|------|
| Aditiv MEPS-1 | | | | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Aditiv MEPS-2 | l/m ³ | | 4 | | | | |
| Aditiv MEPS-3 | | 4 | | | | | |
| EPS granule | l/m ³ | 550 | 470 | 390 | 310 | 235 | 155 |
| cement | kg/m ³ | pijesak kg/m ³ | | | | | |
| | | 95 | 300 | 500 | 700 | 900 | 1100 |
| | | 25 | 220 | 430 | 640 | 830 | 1040 |
| | | 0* | 150 | 360 | 570 | 760 | 970 |

*420 kg/m³ cementa

38

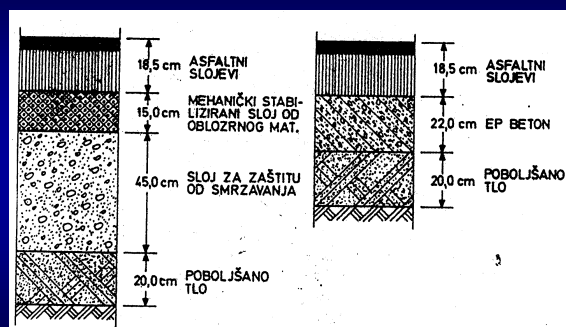
OSNOVNE KARAKTERISTIKE MEPS BETONA

| KARAKTERISTIKA | MEPS beton | | | | | |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 |
| ρ [kg/m ³] | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 |
| λ [W/mK]* | 0,143 | 0,185 | 0,240 | 0,310 | 0,402 | 0,520 |
| f _{bc} [MPa] | 1,8 | 3,6 | 8,0 | 10,3 | 15,2 | 22,0 |
| f _{bb} [MPa] | 0,4 | 0,8 | 1,4 | 2,3 | 3,5 | 5,0 |
| E [MPa] | 2500 | 3500 | | | | |

* navedene su računске vrijednosti λ.

39

PRIMJENA EPS BETONA U KOLNICIMA



40



41



42

Scotia Plaza, Toronto Ontario



Lako-agregatni blokovi

49

49



Lightweight concrete hollow blocks, e.g. made of pumice or expanded clay



Aircrete ("Ytong", "Hebel", "Si-porex", "Durox", "Gretsel")



Pumice solid brick (in general usage termed breeze block), solid brick made of light expanded clay aggregate e.g. "Lispor", "Leca"

50

50