



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Ehituse ja arhitektuuri instituut

PEENETERALISE BETOONI KOOSTISE
VÄLJATÖÖTAMINE BETOONI 3D-PRINTERI
PROTOTÜÜBILE

Development of fine aggregate concrete mix design for a concrete 3D printer prototype
EA60LT

Üliõpilane: **Raili Mõim**

.....

Juhendaja: **Eneli Liisma**

.....

Kaasjuhendaja: **Tanel Tuisk**

.....

Tallinn, 2017.a.

SISUKOKKUVÕTE EESTI KEELES:

Magistritöö eesmärgiks oli välja töötada sobiv betoonisegu koostis peeneteralise betooni 3D-printeri prototüübile. Sobiva segu väljatöötlemiseks kasutati viit erinevat peentäitematerjali ning Kunda Nordic Tsemendi CEM I 42,5 N, CEM I 52,5 R ja CEM II/A-T 52,5 N tsemente.

Ruumiliseks printimiseks sobilikul segul peab olema teatavad omadused nagu pumbatavus, printeri poolt antud vormi hoidmine, veehoidvus, varajane tardumise algus ning varajane tugevus järgmiste kihtide koormuse vastu võtmiseks.

Tulemuste põhjal võib anda järgmised koostisosade ja mördi väärtused ning soovitused peeneteralise betooni 3D-printeri segu projekteerimiseks:

- Mördi töödeldavus, mis tagab nii pumbatavuse kui ka täidab printeri poolt segule antud kuju hoidmise võimet, peab jääma vahemikku 145-160 mm.
- Vältimaks vee eraldumist prinditud kihist, peab mördi veehoidvus olema vähemalt 98 %. Mördisegu veehoidvust mõjutab enim segu vesitsementtegur.
- Et iga prinditud alumine kiht suudaks võtta vastu järgmise kihi koormust, peab mördi tardumine algama hiljemalt 250. minutil, arvestades, et kihtide laotamise vahe on ligikaudu 15 minutit. Varasema tardumise aja annavad Kunda Nordic Tsemendi toodangust CEM I 52,5 R „ultratsement“ või väiksema vesitsementteguri kasutamine;
- Printimiseks sobiliku peentäitematerjali peenusmoodul peaks jääma vahemikku 2-2,5 ning terastikuline koostis sarnanema Kuusalu või Soome liivaga, mille sõelkõvera matemaatilised võrrandid on:

Kuusalu:

$$f(x)=(100,5 \cdot x^3 - 35,64 \cdot x^2 + 4,233 \cdot x - 0,1398) / (x^3 - 0,3536 \cdot x^2 + 0,11362 \cdot x + 0,008675)$$

Soome:

$$f(x)=101,6 \cdot e^{(-0,00411 \cdot x)} - 108,4 \cdot e^{(-2,048 \cdot x)}$$

- Suurimad kivistunud mördi survetugevused saadi segudega, milles kasutati Kunda Nordic Tsemendi toodangust CEM I 52,5 R „ultratsementi“. Tulemuste põhjal selgus, et tsemendi peenuse suurenedes 61% võrra suureneb 1-päevane survetugevus 66% ning 28-päevane survetugevus 28% võrra. Printimiseks sobilikud mördid omavad kivistumisel ka suuri survetugevusi.
- Prinditud kihi tihedus on väiksem standardi järgi valmistatud betooni tihedusest kuni 8% võrra.
-

Sobivaima segu koostis peeneteralise betooni 3D-printeri prototüübile on järgmine:

- tsement: ultratsement
- peentäitematerjal: Kuusalu liiv, peenusmooduliga 2,5, sõelkõvera matemaatilise võrrandiga

$$f(x)=(100,5 \cdot x^3 - 35,64 \cdot x^2 + 4,233 \cdot x - 0,1398) / (x^3 - 0,3536 \cdot x^2 + 0,11362 \cdot x + 0,008675)$$

- vesitsementtegur: 0,63
- tsemendi ja peentäitematerjali suhe: 1:3

Magistritöö katselise osa tulemusena saadi tsemendist, peentäitematerjalist ja veest koosnev segu koostis, millega õnnestus peeneteralise betooni 3D-printeri prototüübiga printida 8-kihiline, 18,6 cm kõrgune sein. 8-kihiline sein kokku vajumise põhjustajaks oli eelkõige algeline ja ebatäpne printeri prototüüp. Siiski on soovitatav segu number 4 koostist edasi arendada keemiliste lisanditega, mis vähendaks segu veesisaldust, suurendaks veehoidvust ja kiirendaks tardumist.

SUMMARY OF MASTER THESIS:

The aim of this master thesis was to develop a mix design for the prototype of fine-aggregate concrete 3D printer. Five different fine aggregates and three portland cements from Kunda Nordic Tsement (CEM I 42,5 N, CEM I 52,5 R and CEM II/A-T 52,5N) were used in the development of mix design. No admixtures were used in the mix design.

3D concrete printing is an innovative construction method that has numerous advantages over traditional construction technologies, such as reduction of the cost and time, decrease of injuries on construction sites, decrease of construction waste, optimizing construction time and creating elements with complicated design.

Suitable concrete mix and concrete 3D printer are needed for concrete printing. This paper focused on designing a mix for the prototype of 3D printer. Desired fresh properties for concrete printing are extrudability and buildability. To achieve the aim, the effect of fine aggregate and cement on mix fresh properties – workability, setting time and bleeding were examined.

It was found out that the suitable fine aggregate mix design for 3D printer prototype is:

- Cement : CEM II 52,5 R
- Fine aggregate: Kuusalu sand with fineness modulus 2,5 and grading curve equation

$$f(x)=(100,5 \cdot x^3 - 35,64 \cdot x^2 + 4,233 \cdot x - 0,1398) / (x^3 - 0,3536 \cdot x^2 + 0,11362 \cdot x + 0,008675)$$

- Cement - sand ratio: 1:3
- Water – cement ratio: 0,63

With this mix design, an 8-layer wall with a height of 18,6 cm was been able to build before collapsing.

The results showed that all three components: cement, fine aggregate and water amount have great influence on mix workability. In addition, bleeding is mostly effected by water-cement ratio and setting time by water-cement ratio and fineness of cement. Another outcome was that printed layers had smaller density than standard specimens. It can also be mentioned that suitable mix designs for concrete 3D printer prototype had a considerable compressive strength.

To sum up, a suitable mix design for 3D printing is achievable without using admixtures, though further research should be carried out with mixes using admixtures to achieve even better results.