

3D PRINTĒŠANAS TEHNOLOĢIJAS BŪVNICĪBĀ

Autors: Juris MIKELSONS

RCK Arhitektūras katedras diplomands

e-pasts: mikelsons.juris95@gmail.com

Darba vadītājs : Mg. arch. Gunta ĀBELE



ANOTĀCIJA

Lietišķā pētījuma „3D printēšanas tehnoloģijas būvniecībā” mērķis ir izpētīt un analizēt šīs tehnoloģijas un to īpatnības.

Darba struktūra - 4 tematiskas sadaļas, 38 lapas, kā arī attēli ar 3D printētiem objektiem un tehniku. Pētījuma veikšanai tika izmantoti 47 informācijas avoti, analizēti dati par līdzšinējiem 3D printēšanas tehnoloģiju panākumiem, kā arī izdarīti salīdzinājumi ar esošo būvniecības metožu rezultātiem.

Darba izstrādē autors ir izmantojis dažādas informācijas apkopošanas metodes, piedalījies starptautiskā studentu sadarbības projektā „3D Printed Homes for Families in Developing Countries. 2019”, kā arī veicis aptauju, lai noskaidrotu sabiedrības izpratnes un informētības līmeni.

ABSTRACT

The goal of the applied research paper "3D printing technologies in construction" is to study and analyze these technologies and their characteristics.

The structure of the paper: 4 topics, 38 pages, as well as images with depictions of 3D printed objects and the equipment. For the creation of the work 47 sources of literature were used, data on the success of 3D printing technology to date was analyzed, and comparisons with the results of existing construction methods were made also.

The author has used various methods of collecting and compiling information for the creation of the paper, has participated in an international cooperative student programme „3D Printed Homes for Families in Developing Countries. 2019. ”, as well as a survey that was conducted to discover society's level of understanding and awareness of this technology.

IEVADS

3D printēšana būvniecībā ir, iespējams, nākamais „lielais lēciens” būvniecības nozarē. No guļbaļķiem līdz dzelzsbetonam – vēsturiski ēkas izbūve vienmēr ir sevī iekļāvusi tiešu cilvēka līdzdalību celtniecības procesā.

Ar 3D printēšanas tehnoloģijām tiek panākta šī procesa automatizācija un, attiecīgi, cilvēciskā faktora samazināšana - ar samērā minimālu cilvēka pārraudzību pirmo reizi būvniecības nozarē viens ēkas celtniecības posms var tikt pilnīgi automatizēts.

Šāda veida ēkas būvniecība visādā ziņā ir ērtāka nekā klasiskā būvniecība – ēkas printēšana ir lētāka, rada mazāk atkritumu, tā ir ātrāka, klusāka, samazina darbinieku traumēšanās risku un spēj izveidot pat ļoti sarežģītas būvformas.

Printēšanas tehnoloģija paredz, ka šāda veida mājas ir piemērotas dzīvošanai arī reģionos, kur reizēm iespējamas viesuļvētras vai valda skarbi laika apstākļi.

Ēku būvniecībā iespējams izmantot ekoloģiskus materiālus un dabisku elektroenerģiju. Kā piemēru var minēt itāliešu uzņēmumu WASP, kurš printēšanas masu veido no vietējiem produktiem, bet robotisko roku darbina saules, vēja vai ūdens saražotā elektrība. Šobrīd 3D printēšana būvniecībā ir vēl samērā maz pazīstama tēma. Ņemot vērā šo tehnoloģiju lielo potenciālu un priekšrocības, ir svarīgi veicināt nozares speciālistu un sabiedrības izpratni par to. Par pētāmo objektu tiek uzskatīti būvniecībā 3D printētie objekti un to izveidē pielietotās tehnoloģijas un īpatnības.

1. TEHNOLOĢIJAS ANALĪTISKAIS APSKATS

1.1. Kas ir 3D printēšana būvniecībā

“3D printēšana, dažreiz saukta par piedevu ražošanu, (*angļu: Additive Manufacturing (AM)*), ir datoru kontrolēta materiālu secīga slāņošana, lai panāktu trīsdimensiju formu izveidi [2].” Termins ir attiecināms uz tehnoloģijām, kuras pamatā izmanto 3D printēšanu kā galveno metodi ēku vai to elementu būvniecībā.

Jēdziens -3D printēšana būvniecībā - ir salīdzinoši jauns un vēl nav pārliecinoši iesakņojies ikdienas leksikā.

“Es patiešām ticu, ka 3D printeris nākotnē kļūs par izvēlēto vārdu sistēmai, kas detaļas izstrādā secīgi slāņos. Terminu ir viegli izrunāt un saprast, ņemot vērā, ka vairums cilvēku saprot trīs dimensiju un printēšanas pamatus. Apvienojot abus vārdus, tiek precīzi izklāstīts, kas šajās mašīnās notiek tehniskā ziņā. Es ticu, ka būs maz to, kas nesapratīs.” *J.B. Gardiners.*

Lai interesentam rastos skaidrāks priekšstats par 3D printēšanu, ir jāizprot pats tehnoloģiskais process – kāpēc to sauc par 3D un kāpēc - par printēšanu.

Sākotnēji tiek izstrādāts izgatavojamā objekta digitāls 3D modelis, izmantojot CAD (*angļu: Computer Assisted Design*) programmas. Printeris nolasa modeļa rādītājus un noklāj būvpamatnes virsmu ar secīgiem izvēlētiem materiāla slāņiem. Process pieļauj formu dažādību.

1.2. Potenciālās priekšrocības

Lai gan prakse var ar laiku uzrādīt arī ko neparedzamu, 3D printēšanas tehnoloģijas būvniecības nozarē tiek attīstītas, lai sasniegtu konkrētus mērķus:

- Būvniecības laika samazināšana būvlaukumā;
- Darba drošības paaugstināšana, novēršot celtnieku iesaisti bīstamos darbos (piemēram, strādājot augstumā vai pārvietojot smagus priekšmetus);
- Datorzinātnēs un modernā tehnikā bāzētu jaunu darba vietu radīšana;
- Būvniecībā iespējamo kļūdu samazināšana, pateicoties precīzākam būvdarbu procesam;
- Ilgtspējīgas būvniecības principu pielietošana;
- Arhitektonisko un sarežģītu dizaina formu daudzveidības palielināšana;
- Daudzfunkcionalitātes nodrošināšana nesošajos un arhitektūras elementos, izmantojot sarežģītās ģeometrijas formu priekšrocības;
- Būvniecības izmaksu samazināšana 3 kategorijās - tehnikas ekspluatācija, materiāli un darbaspēks.

Mašīnas darbības izmaksas - vairums 3D printeru izmanto tādu pašu jaudu kā klēpjdatore. Rūpnieciskās ražošanas tehnoloģijas iekārtas patērē lielu enerģijas daudzumu vienas būvkonstrukcijas izstrādei. Spēja radīt sarežģītas ģeometrijas, pie tam mazās tirāžās, nodrošina lielāku efektivitāti un procesa atkārtojamību. Mašīnas ekspluatācijas izmaksas parasti ir vismazākā kopējo ražošanas izmaksu daļa.

Materiālu izmaksas piedevu ražošanai tehnoloģijās ievērojami atšķiras. Atsevišķu tipu printeri izmanto plastmasas stieples spoles, kas maksā aptuveni 20 EUR/kg, bet citiem drukāšanai nepieciešami sveķi ~ 100 EUR litrā. Piedevu ražošanai pieejamo materiālu klāsts nav tieši salīdzināms ar tradicionālās ražošanas materiāliem.

Viena no galvenajām 3D drukas priekšrocībām ir zemās darbaspēka izmaksas. Lielākajā procesa daļā ir nepieciešams tikai 3D printera operatora darbs, jo iekārtas darba process ir pilnībā automatizēts. Salīdzinājumā ar tradicionālo ražošanu, kur ir nepieciešams daudz kvalificētu būvspeciālistu darbs, 3D printera darbaspēka izmaksas ir salīdzinoši zemas.

1.3. Tehnoloģiskās prasības

Būvmateriāliem jābūt ar konkrētām īpašībām, lai tos varētu izmantot tieši 3D printēšanā, piemēram, ātrai sacietēšanai. Cementam jābūt ar konkrētu viskozitātes pakāpi, lai to varētu izspiest cauri printera sprauslai. Turklāt, betonam jābūt spējīgam savstarpēji sasaistīties, lai secīgi uzklātie slāņi (1.att.) mēreni sacietētu kopā. Bet, tai pat laikā, zemāk esošajiem, jau uzklātajiem slāņiem, ir jābūt pietiekami ātri, lai atbalstītu turpmākos slāņus bez sabrukšanas.



1.att. Printēšanas slāņi

2. IESPĒJAMO PIELIETOŠANAS VEIDU PIEMĒRI

2.1. Gājēju tilti

Madridē tika atklāts uz vietas saliekams, iepriekš printēts moduļveidīgs betona tilts gājējiem, un tas ir pasaulē pirmais šāda veida 3D printēts tilts (2.att.). Tas ir 12 m garš un 1,75m plats.



2.att. Alkobendas 3D printētais betona gājēju tilts

2.2. Restaurēta ūdens strūklaka

Krievijas pilsēta Paleka ir izpelnījusi atzinību ar to, ka 2018. gadā kāda sena pilsētas ūdens strūklaka tika renovēta, izmantojot 3D printēšanas tehnoloģijas. (3.att.)



3.att. Palekas ūdens strūklaka (celtniecības procesā)

3. VADOŠĀS FIRMAS 3D PRINTĒŠANAS JOMĀ

- **Apis Cor**- izbūvēja divstāvīgu administratīvo ēku Varsanas municipalitātei Dubajā (4att.). Pēc vairāk nekā gadu ilgas testēšanas un precizēšanas objekts Varsānā ir atklāts un tam ir piešķirts pelnītais ieraksts Ginesa rekordu grāmatā. Tā ir 9,5 m augsta, ar platību 640 m² un ir līdz šim lielākā 3D drukātā ēka. Atzīmējams fakts, ka to izbūvēja tikai 15 cilvēki.



4.att. 'Warsan' ēka - šobrīd pasaulē lielākā 3D printētā ēka

- **XtreeE**- izmanto robotisku roku (5.att.), kas ir spējīga izveidot 3m augstus un 5m platus objektus. XtreeE tiecas panākt betona taupīšanu būvniecībā no 40% līdz pat 70%. Firma sniedz iespēju arhitektiem, dizaineriem un ražotājiem attīstīt savus projektus kā optimizētu un ilgtspējīgu ēku sistēmu. Tiek piedāvāti risinājumi sākot no projektēšanas līdz ražošanai - parametriskā projektēšana un optimizācija, 3D drukāto elementu prototipēšana un izgatavošana, jaunu materiālu pētniecība un attīstība.



5.att. XtreeE izmantotais printeris

CyBe Construction - bāzēta Nīderlandē. Globāli nodarbojas ar mazstāvu, kā arī daudzstāvu ēku būvniecību. Līdzīgi kā Apis Cor, arī CyBe Construction ir cieša sadarbība ar arābu reģionu, kur 1 nedēļas laikā tika uzcelta 80m² liela "3D Studio 2030" māja Sauda Arābijas tuksnesī (6.att).



6.att. Māja „3D Studio 2030”

4. 3D PRINTĒŠANAS IESPĒJU UN ESOŠO TEHNOLOĢIJU SALĪDZINĀJUMS

4.1.Pirmā pastāvīgi apdzīvotā 3D printētā māja

Nantesā, Francijā uz pastāvīgu dzīvošanu 3D printētā piecistabu mājā (7.att.) tika izmitināta kāda trūcīga franču ģimene vietēja sociāla atbalsta projekta ietvaros. Mājas platība ir 94.94m² un tās dobo ārsienu kontūru izprintēšanai bija nepieciešamas tikai 54 stundas. Šīs kontūras pēc tam aizpildīja ar betonu.



7.att. Yhnova 5-istabu dzīvojamā māja, Francija

4.2.Vienā dienā izprintēta telpa

Singapūrā, 13 stundu laikā tika izprintēta 9m² un 2,76m augstas telpas konstrukcija (8.att.). Tālākā gaitā telpa tika aprīkota ar logiem, durvīm, kā arī sienās tika manuāli iestrādāts tērauda stiegrojums stiprības nodrošināšanai. Pēc firmas speciālistu apgalvotā, telpas izbūve, pielietojot standarta metodes, aizņemtu vairāk par 2 mēnešiem.



8.att. Singapūrā 3D printētā telpa

4.3. Labiekārtojuma elementi un mēbeles

Berlīnē 2018. gadā tika printēti soliņi, kuri svara ziņā ir ievērojami vieglāki nekā līdzīgu izmēru standarta betona soliņi (9.att.). Printēšanas laiks ~ 20 minūtes.



9.att. Soliņu dizains ar pītas virsmas struktūru

5. SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

5.1. Secinājumi

Šīs jaunās tehnoloģijas veiksmīga pilnīga ieviešana var radikāli mainīt ne tikai būvniecības nozari, bet visu, kas no tās izriet, tai skaitā, arī sabiedrisko dzīvi un pat apkārtējo vidi.

Darbā analizētie piemēri liecina par 3D printēšanas tehnoloģiju pielietojuma daudzpusību un ekonomisko izdevīgumu:

Darba ietvaros veiktajā aptaujā Latvijā iesaistījās 102 respondenti, Rietumeiropā un ASV -33 respondenti. Analizējot aptaujas rezultātus, tiek secināts, ka jaunās tehnoloģijas - ēku 3D printēšana - ir jau ieguvusi pietiekamu lielu sabiedrības interesi, kā arī guvusi atzinību būvniecības nozares speciālistu vidū.

5.2. Priekšlikumi

- Ņemot vērā 3D printēšanas tehnoloģijas lielo potenciālu, ir vērts analizēt un modelēt iespējamus veidus, kā tā varētu tālāk attīstīties nākotnē.
- Konkretizēt, pie kādiem ekonomiskiem un politiskiem apstākļiem šī tehnoloģija būtu ieviešama Latvijā. Ekonomikas uzplaukums vienmēr kalpo kā bāze visam jaunajam, un, ņemot vērā 3D printēšanas potenciālo spēju ievērojami mazināt būvniecības izmaksas un laiku, tās pielietošanai ir potenciāls ekonomikas veicināšanai.
- Ieteicams izvērtēt, kā šī tehnoloģija tiks sasaistīta ar būvju informācijas modelēšanu (BIM);
- Ņemot vērā to, ka lielākā daļa uzņēmumu, kuri strādā ar 3D printeriem, izgatavo paši savus īpatnējos betona veidus, būtu ieteicams analizēt un izstrādāt iespējamu universālu betona maisījuma sastāvu 3D printēšanas vajadzībām.
- Turpināt apsekot 3D objektus ilgtermiņā un Latvijā popularizēt pasaules jaunāko tehnoloģiju sasniegumus, kā arī profesionāli piedalīties ēku 3D printēšanas procesa attīstībā.

6. BIBLIOGRĀFISKO NORĀŽU SARAKSTS

- Termini.gov. Pieejams: <https://termini.gov.lv/atrast/computer-aided%20design/en>
3D printing in construction. designingbuildings, 2019. Pieejams:
https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/3D_printing_in_construction
Construction 3D printing. Wikipedia. Pieejams:
https://en.wikipedia.org/wiki/Construction_3D_printing
AMT-SPECAVIA builds Europe's first habitable 3D printed building. 3ders, 2017. Pieejams:
<http://www.3ders.org/articles/20171024-amt-specavia-builds-europes-first-habitable-3d-printed-building.html>

Michael Molitch-Hou. Construction of world's 1st 3d printed bridge begins in Amsterdam. 3dprintingindustry, 2015. Pieejams: <https://3dprintingindustry.com/news/construction-of-worlds-1st-3d-printed-bridge-begins-in-amsterdam-60110/>

Spain unveils world's first 3D printed pedestrian bridge made of concrete. 3ders , 2016. Pieejams: <http://www.3ders.org/articles/20161214-spain-unveils-worlds-first-3d-printed-pedestrian-bridge-made-of-concrete.html>

Phoebe Weston. Would YOU walk over it? World's first 3D printed bridge is unveiled in Madrid - and experts say the technology could be the future of construction. dailymail, 2017. Pieejams: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4184104/World-s-3D-printed-pedestrian-bridge-Madrid.html>

JEN KINNEY. Spanish City Installs 3D-Printed Bridge. Next City, 2016. Pieejams: <https://nextcity.org/daily/entry/first-3d-printed-bridge-spain-concrete>

Brian Obudho. 2019 Biggest Companies Building 3D Printed Houses. ALL3DP, 2019. Pieejams: <https://all3dp.com/2/2019-best-companies-building-3d-printed-houses/>

Apis-Cor. Pieejams: <https://www.apis-cor.com/>

Apis-Cor, Dubai project. Apis-Cor, 2019. Pieejams <https://www.apis-cor.com/dubai-project>

Nick Webster. Dubai unveils world's largest 3D printed two-storey building. Thenational, 2019. Pieejams: <https://www.thenational.ae/uae/dubai-unveils-world-s-largest-3d-printed-two-storey-building-1.927590#11>

Abu Dhabi and Dubai | Construction Costs - Update May 2019. 2.colliers, 2019. Pieejams: <https://www.2.colliers.com/en-AE/Research/Dubai/Abu-Dhabi-and-Dubai-Construction-Costs-Update-May-2019>

Colin Drury. World's first 3D-printed home unveiled in France. Independent, 2018. Pieejams: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/3d-printed-home-world-first-france-a8298446.html>

Peter Kotecki Oct. A French family just became the first to permanently live in a 3D-printed home — take a look. Business insider, 2018. Pieejams: <https://www.businessinsider.com/french-family-is-first-to-live-in-3d-printed-home-2018-9>

French Batiprint3D project to construct house with “inside-out” 3D printing. 3dprintingindustry, 2017. Pieejams: <https://3dprintingindustry.com/news/french-batiprint3d-project-construct-house-inside-3d-printing-110099/>

Michael Cowan. The world's first family to live in a 3D-printed home. BBC, 2018. Pieejams: <https://www.bbc.com/news/technology-44709534>

Corey Clark. Apis cor 3D prints a house in one day, 3dprintingindustry, 2017. Pieejams: <https://3dprintingindustry.com/news/apis-cor-3d-prints-house-one-day-106783/>

Our Top 27 3D printed housing and construction projects. 3ders, 2016. Pieejams: <http://www.3ders.org/articles/20160926-our-top-26-3d-printed-houses-construction-projects.html>

Josh Corder. Dubai creates world’s largest 3D printed building. Esquireme, 2019. Pieejams: <https://www.esquireme.com/content/40309-dubai-creates-worlds-largest-3d-printed-building>

Sarah Saunders. 3D Printed Concrete Pedestrian Bridge Built in Madrid, City Representatives Call It a 3D Printing Milestone. 3dprint, 2016. Pieejams: <https://3dprint.com/158826/3d-printed-concrete-bridge-madrid/>

Luis Murato. Castilla-La Mancha Park 3D-Printed Bridge. Atlas Obscura. Pieejams: <https://www.atlasobscura.com/places/3d-printed-bridge>

Tom Ravenscroft. World’s first 3D printed bridge completed. BIM+, 2017. Pieejams: <http://www.bimplus.co.uk/news/worlds-fir6st-3d-pri8nted-bri9dge-completed/>

Lauren Flum. Netherlands Has World’s First 3D-Printed Concrete Bridge Thanks to Eindhoven University of Technology. TUN, 2018. <https://www.tun.com/blog/netherlands-3d-printed-bridge-eindhoven-university/>

USD historical exchange rates. Pieejams: <https://www.x-rates.com/historical/?from=USD&amount=1&date=2020-01-18>

Aarni Heiskanen. South-East Asia's Largest 3D-printer for Construction Operational in Singapore. AEC business, 2019. Pieejams: <https://aec-business.com/south-east-asias-largest-3d-printer-for-construction-operational-in-singapore/>

Singapore HDB Uses a Concrete 3D Printer for Construction & Landscape Furniture. 3D printing, 2019. Pieejams: <https://3dprinting.com/news/singapore-hdb-uses-concrete-3d-printer-for-construction-landscape-furniture/>

Katie de Klee. Collection of benches woven in 3D-printed concrete. De zeen, 2018. Pieejams: <https://www.dezeen.com/2018/08/27/3d-printing-woven-concrete-benches-xtreee-studio-75-design/>

Rawal Ahmed. Studio 7.5 Prints 3D 'Woven' Concrete Benches in Berlin. 3D printing, 2018. Pieejams: <https://3dprinting.com/news/studio-7-5-prints-3d-woven-concrete-benches-berlin/>

Asphalt 3D Printing Drone Repairs Roads. 3D printing, 2018. Pieejams: <https://3dprinting.com/news/asphalt-3d-printing-drone-repairs-roads/>

Road repairs take to the air. World Highways, 2018. Pieejams: <https://www.worldhighways.com/categories/asphalt-paving-compaction-testing/features/road-repairs-take-to-the-air/>

XtreeE. Pieejams: <https://www.xtreee.eu/>

Sam Davies. XtreeE begins deployment of connected construction printers with production site in Dubai. TCT Magazine, 2019. Pieejams: <https://www.tctmagazine.com/3d-printing-news/xtreee-deployment-connected-construction-printers-dubai/>

Sarah Saunders. CyBe Construction Unveils New Mobile 3D Concrete Printer, the CyBe RC 3Dp. 3D print, 2016. Pieejams: <https://3dprint.com/158972/cybe-mobile-3d-concrete-printer/>

CyBe. Pieejams: <https://cybe.eu/case/3d-studio-2030/>

CyBe helps shape first 3D printed homes. Gulf Construction, 2019. Pieejams: https://www.gulfconstructionworldwide.com/news/1623889_CyBe-helps-shape-first-3D-printed-homes.html

Artificial Reef. CyBe. Pieejams: <https://cybe.eu/solution/artificial-reef/>

Clate Scott. World's Largest 3D Printed Coral Reef Now Resides in the Maldives. 3D print, 2018. Pieejams: <https://3dprint.com/222891/largest-3d-printed-coral-reef/>

Davide Sher. Ancient water fountain in Russia fully restored using 3D printing by AMT SPETSAVIA. 3dprintingmedia, 2018. Pieejams: <https://www.3dprintingmedia.network/ancient-water-fountain-in-russia-restored-using-3d-printing-by-amt-spetsavia/>

<http://www.3ders.org/articles/20180615-britain-is-testing-robots-with-3d-printers-that-can-fill-in-potholes-within-a-minute.html>

Britain is testing robots with 3D printers that can fill in potholes within a minute. 2018. Pieejams: <http://www.3ders.org/articles/20180615-britain-is-testing-robots-with-3d-printers-that-can-fill-in-potholes-within-a-minute.html>

Bathroom Units Developed by NTU in Record Time with Concrete 3D Printer. 3D printing.com, 2019. Pieejams: <https://3dprinting.com/news/printed-bathroom-units-developed-ntu-record-time/>

Shabana Begum. NTU robot can print bathroom in 9 hours. The Straits Times, 2019. Pieejams: <https://www.straitstimes.com/singapore/ntu-robot-can-print-bathroom-in-9-hours>

Gardiners J.B., Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing. The Royal Melbourne Institute of Technology, 2011, 382lpp;

Wu P., Wang J., Wang X., A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. Pērta:Kurtinas universitāte, 27lpp;

Krastiņš J., Rīgas Arhitektūras meistari. Rīga: Jumava, 2002, 359lpp;

Sanyan J.G., Nazari A., Nematollahi B., 3D Concrete Printing Technology: Construction and Building Applications. Oksforda, Butterworth-Heinemann, 2019, 425lpp.

