

ВАРНЕНСКИ СВОБОДЕН УНИВЕРСИТЕТ „ЧЕРНОРИЗЕЦ ХРАБЪР“

АРХИТЕКТУРЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА „АРХИТЕКТУРА И УРБАНИСТКА“

Орли Талиосеф

**ОТНОШЕНИЕТО НА ПРОФЕСИОНАЛИСТИТЕ КЪМ 3D  
ПРИНТИРАНЕТО В АРХИТЕКТУРАТА И КОНСТРУКЦИИТЕ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**НА ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД**

за присъждане на образователна и научна степен „ДОКТОР“

Професионално направление

5.7 „Архитектура, строителство и геодезия“

Научна специалност

„Архитектура на сгради, конструкции, съоръжения и детайли“

Научни ръководители:

Чл. -кор. на БАН, проф. д.а.н. арх. Атанас Ковачев,

доц. д-р арх. Пламен Петров,

Варна, 2020

©Всички права запазени

Дисертационният труд съдържа 211 страници и се състои от Въведение, четири глави, Заключение, Използвана литература, Списък на публикациите и докладите на автора, Декларация за оригиналност и достоверност. Съдържа 26 фигури и 4 таблици, разработени от автора. В използваната литература са посочени 46 източника на латиница, сред които монографии, доклади от конференции, статии и публикации в печатни и електронни медии.

Докторантът е зачислен в редовна форма на обучение съгласно Заповед № 193/17.2.2017 г. на Ректора на ВСУ „Черноризец Храбър”. Отчислен е с право на защита със Заповед 1492 / 20.12.2019г. Дисертационният труд е обсъден и насочен към защита на Катедрен съвет на Катедра „Архитектура и Урбанистика” от 29.11.2019.

Защитата ще се състои на 10.07.2020г. от 16:00ч. в Заседателната зала на Ректора на ВСУ „Черноризец Храбър”.

Материалите за защитата са на разположение в канцеларията на Катедра „Архитектура и Урбанистика”, каб. А-245 на Варненски Свободен Университет „Черноризец Храбър”.

## Съдържание:

<b>Предговор</b> .....	6
• Дефиниране на проблема.....	7
• Актуалност на изследването.....	8
• Цел на изследването.....	9
• Предмет на изследването.....	9
• Обект на изследването.....	9
• Задачи на изследването.....	9
• Работна хипотеза.....	10
• Обхват на изследването.....	10
• Тематичен обхват.....	11
• Методи и инструменти на изследването.....	11
• Потребители на научното изследване.....	11
 <b>Въведение</b>	
 <b>Глава 1: Развитие и съвременни аспекти на 3D принтирането в архитектурата и строителството</b> .....	12
 <b>Глава 2: Съществуващи практики за триизмерно принтиране в архитектурата и строителството. Етапи на планиране и производство. Мотивация и предизвикателства</b> .....	13
2.1. Контурен крафтинг™ (Contour Crafting)™.....	13
2.2. Принтиране с бетон (Concrete Printing)™.....	14
2.3. D – образна форма (D-Shape™).....	16
2.4. Сравнение между различните системи за 3D принтиране в големи размери - сходства и различия:.....	17
2.5. Примери на строителни проекти, изградени с 3D принтиране.....	20
2.6 Мотивация и предизвикателства.....	22
2.6.1 Мотивация за използването на 3D принтиране в архитектурата и строителството.....	22

2.6.2 Предизвикателства пред 3D принтирането в архитектурата и строителството.....	23
<b>Глава 3 :Методология за 3D принтиране в архитектурата и строителството.....</b>	<b>27</b>
3.1. Цели на изследването .....	27
3.2. Методология.....	27
3.2.1 Теоретична рамка.....	27
3.2.2 Вид на изследването.....	27
3.2.3 Подбор на анкетираните.....	28
3.2.4 Инструмент на изследването и събиране на данни.....	28
3.2.5 Методи за обработка и анализ.....	29
<b>Глава 4 Анкети, констатации, изводи:.....</b>	<b>29</b>
4.1. Списък на анкетираните:.....	29
4.2 Резултати.....	31
4.2.1 Резултати от изследването.....	31
4.2.2 Знания и схващания за 3D принтирането.....	31
4.2.3 Мотиви за разработване на 3D принтиране.....	32
4.2.4 Първи ползватели на технологията за 3D принтиране? .....	32
4.2.5 Кой ще разработи технологията за 3D принтиране - научните среди или от пазара?.....	32
4.2.6 Дали промяната ще започне отгоре надолу или отдолу нагоре? ...	33
4.2.7 Последниците, които засягат ролята на архитекта.....	33
4.2.8 Последниците за различните роли в архитектурата и строителството	

4.2.9 Ниво на информираност на хората, ангажирани в архитектурата и строителството.....	33
4.2.10 Икономически последици.....	34
4.2.11 Социални последици.....	34
4.2.12 Културни последици.....	34
4.2.13 Бъдещето на технологията след 15-20 години.....	34
4.2.14 Основни недостатъци.....	34
4.2.15 Фактори, които благоприятстват технологията.....	35
4.3. Анализ.....	37
4.4 Ограничения на изследването.....	38
4.4.1 Изследването зависи от културата и от страната, в която е проведено.....	38
4.4.2 В различните страни има различни разпоредби.....	38
4.4.3 Анкетирани са предимно мъже (само една жена) .....	38
4.4.4 Авторът не е анкетирал специалисти, заети пряко в разработването на различни аспекти на технологията за 3D принтиране.....	39
5.1 Заключение.....	39
5.2 Приноси на изследването.....	43
5.3 Предложения за бъдещи изследвания.....	44

## Библиография

## Предговор:

Човечеството е изправено през последните години пред някои проблеми от световен мащаб, като глобалното затопляне и промените в климата, нарастването на броя на населението и необходимостта да се намерят по-бързи начини за строителство. Между 5 и 8% от причинените от човека въглеродните емисии по света са от циментовата индустрия. Имайки предвид глобалния стремеж за намаляване на емисиите на CO<sub>2</sub>, има нужда от иновативни строителни технологии, които не само да проправят пътя към бъдещето устойчивото строителство, но и да намалят разходите за управление на строителството и съоръженията, като същевременно осигурят конкурентно предимство.

Прилагането на методите за 3D принтиране намаляват използването на цимент, а също така са и стимул за разработването на нови материали за строителството. И най-вече, намалява се драстично времето за строителство и оттам и разходите.

Непрекъснато нарастващата конкуренция в световен мащаб принуждава производствения сектор да осъвременява старите си производствени стратегии с нови подходи. В резултат на това през последните десетилетия се разработва 3D принтирането за автоматизация в архитектурата и строителството. Адитивното производство (АП), известно още като дигитално производство, както и като 3D принтиране, е алтернативна технология и усъвършенстван метод за изграждане без отливки в областта на архитектурата и строителството. През годините в различни части на света триизмерното принтиране за целите на строителството се изследваше и разработваше. В днешно време темповете му на развитие са толкова бързи, че всяко изследване на съществуващи техники и примери е остаряло почти веднага след публикуването му.

Между основните предимства на тези методи в сравнение с традиционната техника, са ниските нива на емисии на въглероден диоксид (поради ниската употреба на цимент) и създаването на сложни геометрични форми в архитектурата, както и икономията на времето и разходите за строителство. Този автоматизиран производствен процес се прилага успешно в различни индустриални области като

аерокосмическата, автомобилната индустрия, медицината, бижутерията и

др. Настоящото изследване разглежда проектите, които са създадени чрез 3D принтиране и обобщава всички методи за 3D принтиране в строителството: *контурен крафтинг (Contour Crafting)*, *принтиране на бетон (Concrete Printing)*, *D – shape*, по-позната като адитивно производство. Този труд изследва мотивацията и предизвикателствата пред дигиталното производство в сравнение с традиционните строителни техники.

Това е технократската страна на новите технологии. От другата страна стоят хората – изпълнители и ползватели на създаваните продукти. Тяхното отношение е решаващо за бъдещето на 3D принтирането като строителна технология. Професионалните инженери и архитекти, както строителите и инвеститорите са основни бъдещи потребители на тези технологии. Настоящият дисертационен труд основно се занимава с изучаването и анализирането на техните възприятия и нагласи по отношение на 3D принтирането в архитектурата и строителството.

Ключови думи: *адитивно производство (АП)*, *адитивно производство на бетон*, *3D принтиране*, *алтернативна технология*, *принтиране на бетон*, *D-образна форма*, *контурен крафтинг*, *архитектурен дизайн*, *компютърно проектиране (CAD)*, *архитектура и строителство*

## **1. Въведение:**

Като първа от основните части на дисертацията, въведението обобщава съдържанието на дисертацията, дефинира проблема на изследване, обхвата и целта на дисертацията, методологията на анализа, концептуалния подход, метода на анализ и приносите.

### **Дефиниране на проблема**

През изминалото десетилетие нарастващата конкуренция в световен мащаб принуждава производствения сектор да осъвременява старите си производствени стратегии с нови подходи. В резултат на това през последните десетилетия се разработва 3D принтирането за автоматизация в архитектурата и строителството. Строителната

индустрия продължава да има по-висок процент на смъртност, нараняване и болести в сравнение с всички други професии. 3D принтирането в архитектурата и строителството, благодарение на процеса на автоматизация, намалява свързаните с работата наранявания и болести, които представляват продължаваща заплаха за здравето на строителния работник. Кофражът, който обикновено представлява 40% от общия бюджет при работа с бетон, може да бъде избегнат по време на процеса на изграждане, като в крайна сметка се намалява срокът за изпълнение на проекта, без да се налагат допълнителни разходи. Освен това, могат да се създават сложни форми на сгради, като се започне още в етапа на планиране, което позволява прилагането на форми по поръчка в архитектурата и строителството.

### **Актуалност на изследването**

Развитието на строителните технологии и материали, като приложение на нови олекотени конструкции и нано-технологии е неразривно свързано и с усъвършенстването на 3D принтирането. Настоящото изследване подчертава предимствата на технологията за 3D принтиране в строителната индустрия, както и множеството предизвикателства, пред които е изправена.

### **Цел на изследването**

Целта на изследването е да се анализират нагласите на професионалистите към най-новите цифрови технологии за моделиране и производство на архитектурни обекти, което в архитектурата и строителството се нарича 3D принтиране, в контекста на предимствата на тези технологии.

Целите на изследването са описание, анализ, интерпретация и оценка на възприятията и нагласите на професионалисти като архитекти, инженери и предприемачи по отношение на 3D принтирането в архитектурата и строителството.

Тази иновативна технология може да промени начина ни на живот и да създаде нова среда за социално слабите в отдалечени места, развиващите се страни например, и дори да трансформира баланса на силите в



развитите страни, тъй като бездомните и младите двойки ще имат възможност да закупят жилище.

Следователно целта на изследването се състои в разработване на теория, която, през погледа на професионалистите, хвърля светлина върху предимствата и предизвикателствата, пред които е изправена тази нова иновативна технология.

### **Предмет на изследването**

Предмет на изследването е отношението на професионалистите към 3D принтирането в архитектурата и конструкциите. Разгледани са критериите, при които дигиталният дизайн и моделиране определят условията за цифрово производство. Представени са ползите и предизвикателствата на иновативната технология, наречена 3D принтиране в архитектурата и строителството.

### **Обект на изследването**

Обект на изследването са технологиите на 3D принтиране, както и вижданията и нагласите на професионалистите към тези технологии.

### **Задачи на изследването**

- Проучване на историческото развитие на 3D принтирането като инструмент за моделиране и производство в архитектурата и строителството;
- Проучване на основните характеристики на 3D принтирането в архитектурата и строителството за моделиране, производство и проучване на ползите от него, както и предизвикателства пред, които ни изправя;
- Изучаване на нагласите на професионалистите към използването на 3D принтирането в архитектурата и строителството за моделиране и производство на архитектурни обекти;
- Проучване на нагласите на професионалистите към ролята на архитекта и другите роли в архитектурата и строителството в наше време;

- Анализирани на всички интервюта, направени с професионалистите, като след това се сравняват различни подходи за 3D принтиране в архитектурата и строителството;
- Дефиниране и предлагане на подходяща методология провеждане на интервюта, които засягат темата за 3D принтиране за цифрово моделиране и производство в архитектурата и строителството

### **Работна хипотеза:**

Процесите на цифрово моделиране и цифрово производство, наречени 3D принтиране в архитектурата и строителството, не могат да се разглеждат като достигнали технологична зрялост. Този иновативен метод съществува повече от три десетилетия и все още се счита, че е в най-ранния си стадий. Предстои много експериментална работа, преди тази технология да бъде използвана масово. Вижданията и нагласите на професионалистите към тези проблеми са от ключово значение за успешното им решаване.

### **Обхват на изследването**

Стремежът е да бъдат включени възможно повече мнения. Изследването пресича страни и континенти. Повечето от анкетирания са от Израел, но има интервюирани от България, Южна Корея и Северна Америка.

### **Тематичен обхват**

Тематичният обхват е ограничен в областта на цифровото моделиране и производство с фокус върху 3D принтирането и компютърно контролирани машини за производство в областта на архитектурата и строителството. Приложението на технологията за триизмерно принтиране се отнася главно до скелетната работа на многоетажна сграда и архитектурни павилиони.

### **Методи и инструменти на изследването**

Теоретични методи - Целта на изследването е да се прегледа и проучи наличната литература. Бяха интервюирани различни професионалисти като архитекти, предприемачи и инженери. Интервюто беше проведено по въпросник, свързан с целта на изследването. Имаше възможност за

отворени въпроси и всеки интервюиран можеше свободно да изрази мнението си. Анализът на тезата е от качествен характер. Установи се, че качественото изследване, което включва използването на „обоснована теория“ е подходящо за нуждите на научните изследвания. След анализ на нагласите на анкетираните, заключенията бяха описани в табличен вид в Excel.

### **Потребители на научното изследване**

- Професионалисти като председателят на Асоциацията за строителство, изпълнители и предприемачи, работещи в областта на архитектурата и строителството, които искат да разберат повече за предимствата на моделирането и производствените процеси на 3D принтиране в архитектурата и строителството.
- Висши държавни служители и политици.
- Крайни потребители, които ще действат като предприемачи и ще се опитат да построят собствена градска къща.
- Изследователи на критериите за иновации в строителството като такива, които разработват нови материали и нови методи на строителство.

## **ГЛАВА 1: РАЗВИТИЕ И СЪВРЕМЕННИ АСПЕКТИ НА 3D ПРИНТИРАНЕТО В АРХИТЕКТУРАТА И СТРОИТЕЛСТВОТО**

От 90-те години на миналия век се разработват технологии за производство на твърди обекти чрез роботизирано депозиране, без отливки, в подобни на камък материали, в мащаб, съответстващ на сградите. Използвани са различни стратегии за депозиране, работи, принтерни глави и материали.(Freek Bos et al, 2016) Строителната индустрия продължава да има по-висок процент на смъртност, наранявания и заболявания на строителните работници. Това налага повишаване на безопасността на работното място.( Тау, Yi Wei Daniel, et al 2017)

Строителната индустрия традиционно разчита на спецификации и двуизмерни (2D) чертежи, за да предаде свойства на материала, подробности за експлоатацията и информация за местоположението - използване на дребно мащабни модели за създаване на обекта за оценка като част от процеса на проектиране. Все по-често спецификациите и 2D чертежите се заменят от 3D моделиране във виртуална среда.

Алтернатива на 3D моделирането е използването на усъвършенствани техники за триизмерно 3D моделиране в комбинация с цифрови методи за производство. В процеса на дигитално изработване 3D обектите са „нарязани“ и представени като поредица от 2D слоеве, като методите свързани основно със слоевете, последователно добавят всеки слой, за да се изгради желаният обект. Именно селективността и контролът на материала позволява свободата да се изгради всяка желана геометрична форма, което е основното предимство на тези процеси. (Buswell, R., Soar et al, 2007)

3D принтирането показва своята ефективност и ползи в различни индустриални сектори като аерокосмическата, автомобилната индустрия и медицината. Той продължава да се развива с добавянето на нови технологии, методи и приложения. (Tau et al, 2017)

Представеният труд се занимава с отношението на специалистите (архитекти, инженери и предприемачи) към 3D принтирането в областта на архитектурата и строителството. Първо, разглеждат се съществуващите техники за 3D принтиране, които в момента се използват, както и основното им приложение в различни области. Следва обобщение на трите основни метода на едромасщабни системи за 3D принтиране и идентифициране на техните връзки и ограничаващи фактори. Следваща стъпка е преглед на основната мотивация за използването на едромасщабното 3D принтиране в областта на архитектурата и строителството, както и предизвикателствата пред него. В заключение са представени бъдещите перспективи на 3D принтирането в архитектурата и строителството.

## **ГЛАВА 2: СЪЩЕСТВУВАЩИ ПРАКТИКИ ЗА ТРИИЗМЕРНО ПРИНТИРАНЕ В АРХИТЕКТУРАТА И СТРОИТЕЛСТВОТО. ЕТАПИ НА ПЛАНИРАНЕ И ПРОИЗВОДСТВО. МОТИВАЦИЯ И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА**

Понастоящем има три основни приложения на 3D принтирането в архитектурата и строителството, които са разгледани по-долу:

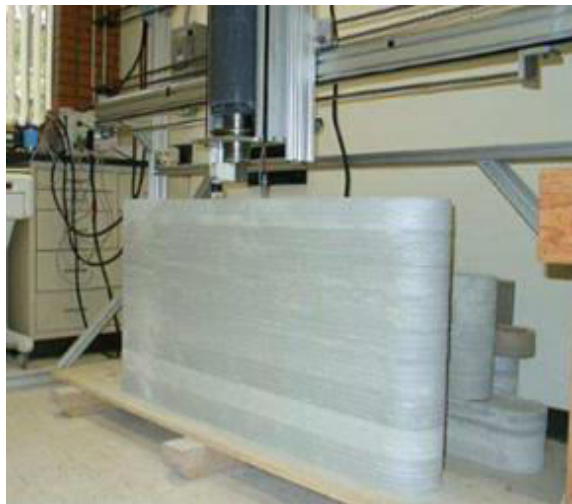
### **2.1. Контурен крафтинг™ (Contour Crafting)™**

Контурният крафтинг (КК) е устройство, монтирано на кран, за приложение на място (Фиг. 1). Това е по-цялостна технология за адитивно производство, при която се екструдира паста на циментова основа срещу ограничителна пластина по контура на стената – нейната външна и вътрешна обвивка, което позволява гладко покритие на повърхността, създадено чрез натрупване на следващи слоеве (Фиг. 2), които по-късно се пълнят с бетон или други материали като стоманена армировка, облицовка на подове и стени, водопровод, електрически системи и боядисване. Всички тези процеси могат да бъдат автоматизирани и инсталирани без нужда от човешка намеса, което води до спестяване на разходи и време. (Yi Wei, Tay et al, 2016), (Peng Wu, Jun Wang, et al, 2016), (Hongxi, Yin et al., 2018)

Контурният крафтинг е разработен като отговор на необходимостта от високоскоростна автоматизирана конструкция и чрез използването на съвременни депозиращи глави е възможно да се положи материал, за да създаде структурна стена с пълна ширина, с минимална употреба на материал. (Behrokh, K., et al, 2006)



Фигура 1. Строителен принтер за контурен крафтинг



Фигура 2. Бетонна стена, изградена чрез контурен крафтинг

## 2.2. Принтиране с бетон (Concrete printing)

Принтиране с бетон е производствен процес, който се извършва с триизмерен принтер, поставен на рамка. Процесът представлява екструдирание на разтвор на циментова основа, където се депозират последователни слоеве (Wang, et al, 2016) с един накрайник, което

означава, че за изграждането се депозира само необходимият обем материал (Фиг.3).(Tibaud A, et al, 2014)

Този метод на изграждане дава възможност за изработване на сграда и сложни триизмерни геометрични форми, а също така може да включва функционални кухни в структурата. (Wang, et al, 2016) (Castaneda, E., et al, 2015) Необходима е по-малка разделителна способност за депозирание, за да се постигнат по-големи нива на 3D свобода и по-добър контрол върху вътрешните и външните геометрични форми. (Lim S, et al, 2012) (Scott, C., 2017)

Принтирането с бетон произвежда оребрено покритие, което може да бъде контролирано и проектирано, за да се използва ефектът от него. Ако обаче е необходимо гладко покритие, нужна е последваща обработка - или мокрият материал се шпаклюва по време на процеса на изграждане, или принтираното покритие се шлифова, за да се получи гладка повърхност. Всичко това трябва да бъде извършено ръчно, защото тази стъпка все още не е автоматизирана.(Bos F., et al, 2016)



Фигура 3. 3D бетонов принтер в Технически университет, Айндохвен



Фигура 4. 3D бетонов принтер в експлоатация

### 2.3. D – образна форма (D-Shape TM)

D – образната форма е процес на нанасяне, който включва слоеве прах, при който „прахът“ селективно се втвърдява с помощта на свързващо вещество, почти по същия начин както при обичайния процес на 3D принтиране (Фиг.5).

Всеки слой от материала се полага до желаната дебелина, уплътнява се и след това дюзите, монтирани върху рамка, депозират свързващото вещество, където компонентът трябва да бъде твърд (Фиг. 6). След като компонентът е завършен, той се изкопава от пласта насипен прах. (Lim S, et al, 2012) Тази автоматизирана система за изграждане, която използва пясък и свързващо вещество за създаване на каменноподобни структури със свободна форма, дава възможност за изграждане на сгради от пясъчник в пълен размер, без човешка намеса.

При процесът на D-образната форма може да се използва всякакъв подобен на пясък материал, а количеството произведен отпадък е малко, тъй като остатъчният пясък, който не е залепнал за обекта, може да се използва повторно другаде. Всички използвани материали са естествени; изискват много малко обработка, преди да се използват в процеса на производство, така че крайният продукт е много подобен на естествен камък.(Tibaud A, et al, 2014)





Фигура 5. 3D принтер с D-образна форма



Фигура 6. Технология на принтиране с D-образна форма (принтиран слой)

## 2.4. Сравнение между различните системи за 3D принтиране в големи размери - сходства и различия:

### Прилики:

- Трите разгледани технологии използват адитивен принцип на изграждане (чрез добавяне на материал), без приложение на кофражни форми.
- Служат за изграждане на цялостни, голямо форматни обекти.
- Материалът и при трите техники добива своите крайни якостни характеристики чрез процес на втвърдяване.

- С цел прецизното нанасяне на материала, разглежданите системи използват портално рамо, движещо се по трите основни посоки на картезианската мрежа –  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . (Daniel Delgado Camacho et al, 2018)

### Различия:

- *Contour CraftingTM*, и *Concrete PrintingTM* използват „мокър“ процес за полагане на материала (наподобяващ циментова паста), докато методът *D-shapeTM* използва сух, прахообразен материал и лепило.
- Приложение директно на строителната площадка или в заводска среда: *Contour CraftingTM* е единствената система за работа на обекта. Останалите две, *Concrete PrintingTM* и *D-shapeTM* са предназначени за производство в закрити помещения, но е възможно чрез съответни модификации да бъдат приложими на мястото на строителство.( S. Lim et al.,2012)
- Размер на „резолюция на принтиране“ – количеството материал, което се полага при всяко преминаване на принтиращата глава. В това отношение *Concrete PrintingTM* има предимство пред метода *Contour CraftingTM* поради по-малките количества полаган материал и от там и по-добрия контрол върху сложните геометрично-пространствени форми.( Guowei, Li, and Yang, 2018). Най-висока е резолюцията на принтиране при *D-shapeTM* –  $4\div 6$ мм материал, при *Concrete PrintingTM* количеството е  $6\div 625$ мм, докато *Contour CraftingTM* използва 13мм от материала. Основният компромис е между височината на всеки слой и скоростта на принтиране – при по-малка височина се увеличава времето за принтиране, но се постига по прецизно детайлиране.( Isaac Perkins and Martin Skitmore, 2015)
- По отношение на размерите на принтирания обект единствено *Contour CraftingTM* няма ограничения. Другите две системи имат технически заложиени ограничения поради размера на носещите портални рамки.
- Скоростта на принтиране също варира. Методът *Contour CraftingTM* предлага принтирането на един слой само с 2

преминавания на главата. При използване на *D-shapeTM* се извършва само едно преминаване за един слой, но материалът се депозира посредством многобройни дюзи, което води до използването на голямо количество материал, за да захрани системата. Методът *Concrete PrintingTM* използва само една дюза и точно необходимото количество материал, но изисква повече време за изграждане на всеки слой. (Tibaut, Rebolj, and Nekrep Perc, 2015), (Estéfana Castañeda et al, 2015), (R. S Paoletti, I., & Naboni, 2012)

- Трите метода на принтиране се различават и в начините по които разрешават технически проблеми като наличие на конзолни елементи в принтирания обект. Поради факта, че принтирането се извършва винаги от долу нагоре, наличието на конзола е проблематично. Има три начина за решаване на това. Материал от принтера се депозира по начин, който създава структура подобна на кофраж, която се премахва в последствие. Друг метод е да се използва различен материал за подпора, който се премахва в последствие. Трети вариант, използван в прахообразното полагане на материал (*D-shapeTM* технология) е използването на незалепващ материал, който поддържа цялата структура и се премахва след процеса на втвърдяване на градивния материал.
- Методът *Contour CraftingTM* изгражда вертикални елементи работещи на натиск и когато врата или прозорец са необходими в структурата е необходимо да се постави шурц над отвора, за да продължи наслагването на материал върху него. (Lim et al, 2016) (David Ian Wimpenny, Pulak M Pandey, and L Jyothish Kumar, 2017). Този метод не позволява принтирането на цяла сграда с врати, прозорци и покрив в един непрекъснат процес. (Guowei, Li, and Yang, 2018)

**2.5. Примери на строителни проекти, изградени с 3D принтиране.**  
(Фиг. 7)



Фигура 7А – Офис сграда в Дубай, Генслер архтекти, 2016



Фигура 7Б – Офис Апис Корп, Ступино, Москва, 2016



Фигура 7В – 2-етажна вила, Китай, 2016

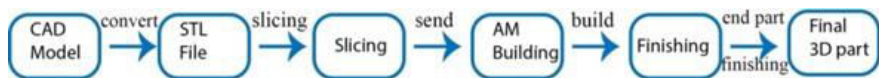


Фигура 7Г – 5-апартаментен блок, Джандзу, Китай, 2014

- а) Офис сграда на Gensler в Дубай, Обединени арабски емирства, 2016. Площ - 240 квадратни метра. Архитектура на конструкцията: Gensler, работа по конструкцията – Торнтън Томасети и Сиска Хенеси.
- б) Aris Cor в град Ступино, Московска област, Русия, с площ 38 квадратни метра, 2016. Архитектура на конструкцията: Aris Cor & РИК (стартъп компания в Сан Франциско).
- в) Двуетажна вила в Китай, 2016. Архитектура на конструкцията: Hua Shang Tengda.

г) Пететажна сграда (1100 м2) в провинция Дзянсу, Китай, 2014 г. Архитектура на конструкцията: Winsun.

Стъпките, свързани с технологията за адитивно производство, са илюстрирани на Фиг.. 8.



Фигура 8. Пет основни стъпки на техниката за адитивно производство

## 2.6 Мотивация и предизвикателства

3D принтирането има няколко значителни предимства в областта на архитектурата и строителството. Пред него стоят и някои основни предизвикателства, с които трябва да се справи и които не представляват проблем за методите традиционното строителство.

### 2.6.1 Мотивация за използването на 3D принтиране в архитектурата и строителството

1. 3D принтирането позволява в кратък срок да се създадат форми със свободен дизайн и сложни 3D обекти със сложни детайли.(Kazemian A., et al, 2017) (Sakin M., et al, 2017)Възможността за използване на криволинейни форми, а не праволинейни (правоъгълни форми) разкрива нови възможности в проектирането. (Sakin M., et al, 2017)

2. Персонализиране – Дизайн на конструкцията по поръчка. Възможността за принтиране на елементи според нуждите, премахват необходимостта от склад за инвентар.

3. Безопасност на труда – Решение, при което рискът за работниците намалява - производствени операции се извършват извън строителната площадка, а частите се доставят и сглобяват на място, като по този начин се намалява количеството труд на обекта.

4. Квалифицирана работна сила – 3D принтирането Използването на адитивно производство в строителството би трябвало да намали

търсенето на квалифицирани работници, като в същото време ще отвори нови възможности за работни места с различен набор от умения.

5. Устойчивост - 3D принтирането може да доведе до почти нулеви материални отпадъци, тъй като строителният материал се добавя слой по слой; използва се единствено материалът, необходим за получаване на крайния елемент/обект. Освен това 3D принтерът е машина с електрическо захранване, без емисии. Шумът, произвеждан в процеса на строителство, ще бъде драстично редуциран. Общите енергийни спестявания могат да бъдат в рамките от 41% до 64%.

6. Ползи по отношение на разходите - Намаляване на разходите за експлоатационен цикъл и материалните разходи, както и разходите за работна ръка, поради редуциране на човешката намеса. (Lim S, et al, 2012)

7. Дистанционно принтиране - Клиентите имат възможност да принтират продукти в отдалечени места, като се вземе предвид фактът, че Интернет в днешно време е широко разпространен, а в някои страни дори е законно право на гражданите. (Bassoli E., et al, 2007)

## **2.6.2 Предизвикателства пред 3D принтирането в архитектурата и строителството**

3D принтирането е нова, разрушаваща останалите модели технология в архитектурата и строителството. За да се трансформира и да се изведе на пазара, тя е изправена пред редица предизвикателства.

1. Създаване на STL файл - STL файлът представлява приблизително копие на триизмерния модел, като за наподобяване на външните му повърхности се използват множество плоски триъгълници чрез процеса на „теселация“. В резултат на това преобразуване могат да възникнат много грешки в данните.(Chao H., et al, 2011)

2. Нарязване на STL файла - 3D виртуалният модел се реже в хоризонтална равнина. Две основни предизвикателства се появяват пред извитата геометрична форма: ефектът на стълбището и проблемът с излизането на някои от триъгълниците извън общата им равнина, причинен от процеса на „теселация“ в хоризонталната плоскост. Тези

предизвикателства са причина за лошото качество на повърхността, както и за някои неточности. (Oropallo W., et al, 2016)

3. Ефект на стълбицата – свързан е главно с дебелината на нишките и работната резолюция. (Lim S., et al, 2016)

4. Оптимизация на топологията – Това е математически инструмент, използван в идейната фаза на проектирането, за да отговори на изискванията за намаляване на теглото. (Moosavi H., et al, 2013)

5. Подготовка на данни - „Свърхпринтиране“, което означава, че твърде много материал се натрупва в определена точка, което води до ненужно издуване на принтираната част, а „Непълно принтиране“ е, когато липсва натрупан материал в точка, което може да причини счупване по време на принтиране. (Lim S., et al, 2016)

6. Ефект на мащабиране - Целта е увеличаване на модела от настолен 3D принтер до размера на строителна площадка. Принтираните триизмерни модели нямат същите свойства като сградата в пълен размер. (Jackson, P., 2005)

7. Размер на едромашабния 3D принтер - Има ограничение на размера на проекта според обема на 3D принтера. (Zhang X., et al, 2018)

8. Скорост на принтиране – Ускоряването при принтиране непременно ще бъде за сметка на точността при принтиране. (Guowei, M., et al, 2018)

9. Размер на 3D принтера - Едромашабните 3D принтери създават усложнения поради транспортирането и трудоемката инсталация на такава система. (Delgado D., et al., 2018)

10. Ортогонално депозиране – Задвижващата системата тип „портал“ позволява само екструдиране на материал перпендикулярно на повърхността на изграждане, ограничаване на извивките само във хоризонталната равнина. Роботизираните ръце увеличават свободата и имат нужда от по-малко пространство от задвижващата портална система. (Dimitrov D., et al., 2006)



11. Свойства на материала - Бетонната смес трябва да отговаря на пет параметъра за приложение на адитивното производство като: 1) Възможност за екструдирание - способността на материала да се движи през дюзите на принтиращата глава; 2) Обработваемост - способността на материала да се смесва, поставя и завършва, за да образува хомогенна смес; 3) устойчив на наслагване - способността на материала да се натрупва и да запази формата си; 4) Отворено време - периода от време, през който материалът може да се съхранява, като запазва течното си състояние, така че да може да се изпомпва и придвижва от резервоара за съхранение до дюзата; (Hongxi Y., et al., 2018) 5) Адхезия на слоевете /здрави на връзката - след като всички слоеве са наслоени, доброто свързване трябва да се поддържа, за да издържи силите на срязване и да се избегне срутване на конструкцията при силни дъждове или вятър.( Uppala S., et al., 2017), (Wei Y., et al., 2016).

12. Дизайн на дюзите - Диаметърът на дюзата има пряка връзка със свойствата на бетонната смес, по-специално с нейната флуидност. (Bos F., et al., 2016)

13. Конструкция на резервоара и помпата - помпата трябва да може да се справи с определена бетонна смес и да отчита максималния размер на агрегата и съотношението между вода и цимент. Това пряко влияе върху скоростта, с която се излива бетонът.( Malaeb Z., et al., 2015)

14. Хидратация – Реакцията между циментиращите материали и водата започва от момента, когато те се смесват в смесителната помпа близо до съоръжението за принтиране. Към края, извличането на бетона става трудно. (Bos F., et al., 2016)

15. Реология - Това е измерване на вискозитета на бетонните разтвори. Реологичното свойство определя способността за обработка и уплътняване на прясно приготвен бетон.(Guowei, M., et al, 2018)

16. Бетонна тиксотропия – Тиксотропията е дефинирана като намаление на вискозитета, когато се прилага срязване. С течение на времето може да се загуби и известно количество вода поради изпаряване от сместа, което води до намалено качество на принтиране.

17. Свойства на принтираните обекти - Произведените обекти могат да имат същата геометрия като традиционно произведените елементи, но обикновено имат различни свойства на материала. Слоевете може да не се втвърдят равномерно. (Kurfess T., et al, 2014)

18. Анизотропия - 3D принтираните структури носят както изотропни, така и анизотропни свойства, когато са ориентирани в различни посоки, за разлика от традиционно отлетите образци, при които свойствата на материала са равномерно разпределени във всички посоки. (Bos F., et al., 2016), (Tay Y., et al., 2016)

19. Поддръжка - Може да не се постигнат желаните кухини, освен ако не се използва система за поддръжка. (Uppala S., et al., 2017)

20. Завършване на повърхността - необходими са действия след принтирането, например да се премахнат опори, да се подобри качеството на повърхността (шлайфане или шпакловане) или довършване на специфични характеристики. (Gibson I., et al., 2010), (Oropallo W., et al, 2016)

21. Качество и надеждност - Да се гарантира качество и надеждност. Трябва да се извърши мониторинг в реално време на околната среда, материалите и геометричните свойства, като температура, скорост на охлаждане, вискозитет и дефекти. (Wimpenny D., et al., 2017)

### **Обобщение:**

Съществуват три основни метода за 3D принтиране, които са разработени за строителната индустрия: Contour crafting, Concrete Printing and D-Shape. Те всички имат своите предимства и недостатъци. Компаниите които ги разработват имат да решават многобройни предизвикателства за да могат да бъдат внедрени в строителната индустрия.

## **ГЛАВА 3: МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ТРИИЗМЕРНО ПРИНТИРАНЕ В АРХИТЕКТУРАТА И СТРОИТЕЛСТВОТО**

### **3.1. Цели на изследването**

Главната цел на изследването е описание, анализ, интерпретация и бъдеща визия за развитието на 3D принтирането, свързани с професионалната практика на архитектите, инженерите, предприемачите и строителите.

Изследването разглежда следните въпроси:

1. Какво е отношението на професионалистите спрямо разработването на едромасщабна технология за 3D принтиране, която позволява принтирането на жилища като нов начин на строителство? Това ли е технологията на бъдещето? Това ли е архитектурата на бъдещето?

2. Какво би била ролята на архитектите и другите професии в архитектурата и строителството в новата ера? Какво трябва да направят, за да се подготвят за промяната, която ще настъпи с използването на технологията за 3D принтиране на къщи??

3. Какви са икономическите, социалните и културни последици от технологията на 3D принтирането на къщи в бъдещето?

### **3.2. Методология**

#### **3.2.1 Теоретична рамка**

Достъпът до данни беше осъществен чрез бази данни с висока академична достоверност като тези на ProQuest, Taylor и Francis, Springer и ScienceDirect.

#### **3.2.2 Вид на изследването**

Авторът счита, че качествените проучвания, които включват използването на „обоснованата теория“ са подходящи за нуждите на изследването. Целта на качественото проучване е да се изследват различни интерпретации на една и съща реалност. Това проучване анализира феномена "отношението на професионалиста към едромасщабния 3D принтиране за нуждите на архитектурата и строителството".

### **3.2.3 Подбор на анкетираните**

Селектирани са двадесет души, подбрани като представителна извадка от предварително по-широкомащабно проучване, включващо 98 анкетиранци първоначално.. Участниците са основно от Израел, и частично от чужбина - България, САЩ и Южна Корея, с различна степен на познания относно използването на едромашабните 3D принтери в архитектурата и строителството.

### **3.2.4 Инструмент на изследването и събиране на данни**

Инструментът на изследването е интервю, което не се провежда по график. Допуска се промяна на въпросите на произволен принцип и анкетираният може да изрази свободно мнението си. Въпросникът е одобрен от научните ръководители.

Анкетата включва три вида въпроси, както следва:

А. Въпроси, които описват конкретно място или време или описание на определена задача. Например: „Беше ли Вашата първа среща с тази технология свързана с проект, по който сте работили...?“

Б. Въпроси, които доразвиват, разширяват и дават пример, следствие на въпросите, свързани с изследването, например: „Каква е вашата позиция относно използването на 3D принтери при изграждането на архитектурни структури?“

В. Въпроси, които произтичат от изследването: Например: „Мислите ли, че архитектурата и строителството са готови за промени, свързани с автоматизацията на работата, която се извършва днес“?

В началото на интервюто авторът се представя и обяснява целта на изследването, като разяснява естеството на анкетата (базирана на отворени въпроси). Анкетираният е уведомен, че ще бъде записван и че записът ще бъде използван само за целите на изследването. Анкетираните са дали своето съгласие. Целта на този подход е да се създаде доверие между авторът и анкетираните.

### **3.2.5 Методи за обработка и анализ**

Операционната единица, използвана за анализ на интервюто, е изявление/твърдение. Данните, които имаха помежду си силни връзки, бяха групирани в една по-голяма категория, а тези без силна връзка трябваше да бъдат групирани в категория с по-широк обхват.

- Надеждност и валидност - Най-важното в изследването е да се спазват стандартите за надеждност. Качествено-интерпретационното изследване е записано на устройство, за да се минимализират неточностите.

## **Професионална етика**

- Етика при писането
- Съгласието на анкетирания за запис е дадено в началото на интервюто.
- В две от интервютата анкетираните пожелават записващото устройство да бъде изключено. Авторът уважава техните искания.

## **Обобщение:**

Авторът използва методите на „качествено изследване“. Интервюираните представляват представителна извадка от големи групи от професионалисти в проектирането и строителството. Подбрани са хора от различни държави и дори континенти. Използван е въпросник с фокусирани, подбрани въпроси, които са одобрени от научните ръководители. Интервюираните имат възможност да изразят свободно своите виждания.

## **Глава 4: АНКЕТИ, КОНСТАТАЦИИ, АНАЛИЗ, ПРИНОС И БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ:**

### **4.1. Списък на анкетираните**

Списъкът на анкетираните е показан в Таблица 1.

	<b>Име</b>	<b>Професия</b>	<b>Държава</b>	<b>Пол</b>
1	Austern Gai	Architect	Israel	Male
2	Einat Moshe	Engineer	Israel	Male
3	Alhadif Itzik	Architect	Israel	Male
4	Feiglin Hain	Engineer and Contractor	Israel	Male
5	Konstantin	Architect	Bulgaria	Male
6	Yasha Grubman	Architect	Israel	Male
7	Plato Zachi	Engineer	Israel	Male
8	Blonder Ariel	Architect	Israel	Female
9	Duvashani Gilad	Architect	Israel	Male
10	Paul Teicholz	Architect	USA	Male
11	Zur Tal	Engineer	Israel	Male
12	Shaked Tom	Architect	Israel	Male
13	Hardon Danny	Engineer	Israel	Male
14	Liani Michael	Engineer	Israel	Male
15	Chang Lee	Architect	S. Korea	Male
16	Weiss Ariel	Engineer	Israel	Male
17	Lipsker Danny	Architect	Israel	Male
18	Meir Eisenberg	Engineer	Israel	Male
19	Madgasi Shlomo	Engineer	Israel	Male
20	Schwartz Yaron	Engineer	Israel	Male

Таблица 1. Списък на анкетираните

Както е видно от таблицата, повечето анкетирани са от Израел, а само трима интервюирани са от България, САЩ и Южна Корея. Освен това, по-голямата част от анкетираните са мъже и има само една жена.

Авторът среща затруднения с намиране на предприемачи, които да се съгласят да бъдат интервюирани, най-вече поради липсата на познания в областта на технологията за 3D принтиране.

## **4.2 Резултати**

### **4.2.1 Резултати от изследването**

На този етап авторът констатира, че основните категории съответстват на целта на изследването на тема: „Отношението на професионалистите към 3D принтирането в архитектурата и конструкциите”. Процесът на констатиране включва гледните точки на анкетираните.

Обработка на резултатите

### **4.2.2 Знания и схващания за 3D принтирането**

Повечето анкетирани познават технологията за 3D принтиране от личен опит или от медиите. Те твърдят, че всички сгради, които са строени досега в различни държави, са стъпка назад в строителството, защото изглеждат шаблонни и някак детински, наподобяват играчка и все още не са подходящи за обитаване от хората.

Според тях технологията все още се използва за модели, а не за планиране и изграждане на сгради. Те смятат, че 3D принтирането все още е в съвсем начален стадий и интеграцията му в строителната индустрия има определени положителни и отрицателни характеристики. Недостатъците са натоваване на конструкцията, разработване на нови материали, съвместимост на 3D принтери и методи за работа без отливки.

Също така, трябва да се отчете невъзможността да се строи на място, когато постройката е с твърде големи размери, за да се избегнат грешки. В допълнение, подобряването на гладкостта и завършването на конструкцията също са фактори, които трябва да се вземат предвид. Предимствата на 3D принтирането са създаването на сложни

геометрични форми, работа със заоблени ъгли, висока прецизност, намаляване на трудовите злополуки, устойчивост и по-ниски цени на жилищата. Освен това анкетираните смятат, че бъдещето на тази технология е обещаващо и може да бъде пробив в архитектурата и строителството и дори да доведе до еволюционни промени, които ще засегнат живота ни.

#### **4.2.3 Мотиви за разработване на 3D принтиране**

Относно мотивацията за усвояване на технологията е, че тя има предимства пред традиционните методи, такива като: нови геометрични форми, по-ниски разходи за поддръжка през периода на жизнения цикъл, достъпна цена на 3D принтера, надеждност на принтера, изграждане, което отговаря на стандартите, бърз и точен процес, достъпен интерфейс, издаване на патенти на учени, развиване на знания за технологичен език, участие на правителството, големи финансови инвестиции, учебни центрове за строителната индустрия, сътрудничество между общностите и маркетинговата система.

#### **4.2.4 Първи ползватели на технологията за 3D принтиране**

Тези, които ще се ползват от 3D принтиране се очаква да бъдат малки строителни фирми или големи строителни компании за обществените сгради или изпълнители с ресурси за изграждане на градски къщи или такива в серийно строителство.

#### **4.2.5 Кой ще разработи технологията за 3D принтиране - бъде направено от научните среди или от пазара?**

Счита се, че разработването ще започне от научните среди предвид поощряването на проучвания, но реализацията ще се случи само посредством частния пазар, най-вече чрез предприемачите. Причината за това е, че научните среди нямат достатъчен ресурс.

#### **4.2.6 Дали промяната ще започне отгоре надолу или отдолу нагоре?**

Възможността за налагане на промени на строителния пазар ще бъде направена само отгоре надолу, от различни министерства чрез нови регулации и предоставяне на стимули на изпълнителите.



#### **4.2.7 Последниците, които засягат ролята на архитекта**

Последниците от 3D принтирането, които засягат ролята на архитектите - тя ще остане такава каквато е и сега, без промени, но архитектите ще трябва да възприемат новите възможности на технологията поради новите геометрични форми и процеси и може би, техният работен ритъм ще бъде по-бърз. Освен това архитектът ще носи по-голяма отговорност и следователно ще получава по-голямо възнаграждение.

#### **4.2.8 Последниците за различните роли в архитектурата и строителството**

Отражението на технологията върху различните роли в строителната индустрия като строители, мазачи, каменоделци, се смята, че ще доведе до безработица сред производствените работници; някои професии ще изчезнат и много работници ще трябва да получат различна специализация. Освен това ще се появят нови роли като специализирани софтуерни инженери, инструктори за работа, оператори на монитори, оператори на работи и работници за работа с материали, проектанти, контролбори и инспектори по качество.

#### **4.2.9 Ниво на информираност на хората, ангажирани в архитектурата и строителството**

Становището на анкетираните относно това доколко са запознати предприемачите, изпълнителите и подизпълнителите разкрива, че има частична информираност в областта на архитектурата и строителството по отношение на 3D принтирането и за повечето от тях е просто нещо за което са чували. Беше предложено, за да се постигне повече информираност е необходимо да се изгради качествена сграда с технология за 3D принтиране, която да бъде обитаема. Допълнително предложение е да се осъществяват диалози между различните общности, както и обединяване на заинтересуваните страни в консорциум.

#### **4.2.10 Икономически последици**

Икономическите последици се определят от анкетираните като „третата революция в производството“ и те са понижаване на цените на жилищата, справяне с безработицата и икономия на енергия. От друга

страна, има твърдения, че цените на жилищата няма да бъдат засегнати, защото се определят от пазарната цена и от психологическия компонент.

#### **4.2.11 Социални последици**

Що се отнася до социалните последици, ще имаме повече безопасност на труда, отколкото днес, а различни хора, такива като младите двойки, бездомните, хората от развиващите се страни, ще имат възможност да купуват по-малки апартаменти. Освен това се очаква заможните да поискат къщите им да бъдат направени по поръчка.

#### **4.2.12 Културни последици**

По отношение на културните последици, беше казано, че ще видим промяна в потребителските навици и ще има нарушения на авторските права.

#### **4.2.13 Бъдещето на технологията след 15-20 години**

Мнението на анкетираниите относно технологията за 3D принтиране е, че след 15-20 години възможностите ѝ да се справи с днешните предизвикателства и да използва пълноценно своя потенциал изглеждат обещаващи. Освен това разработването ще бъде завършено дотогава и промяната ще се случи със сигурност, еволюционно или революционно. Част от тях казаха, че името на революцията е „Производствена революция“.

#### **4.2.14 Основни недостатъци**

Липса на инвестиции: Въпреки че в наши дни принтираните сгради не са подходящи за живеене, това не се дължи на технологична бариера, а поради липсата на инвестиции в изследвания за поощряване интегрирането на тези фактори.

Стоманобетон: Анкетираниите казаха, че ако има разработен циментов материал, който е подсилен с въглеродни, кевларни или базалтови влакна, това ще направи циментовата смес много скъпа, ще забави производствения процес и ще повлияе на приемането на наредбите. Това

е изненадващ фактор, тъй като противоречи на изследванията на Тай, според които композитните материали (цимент армиран с влакна) имат висока якост на опън и гъвкавост, за разлика от традиционния цимент. (Tau Y., et al., 2016) Освен това анкетираният смята, че без стоманобетон не може да се изгради здрава и стабилна сграда.

#### **4.2.15 Фактори, които благоприятстват технологията (ползи)**

**Изработка извън строителната площадка:** едно от предимствата на технологията за 3D принтиране е подобреното качество на сградата, благодарение на изработката извън строителната площадка.

Това означава, принтиране на компоненти с различни размери, произведени във фабрика, транспортирани до строителни площадки и инсталирани от работи на място. Този метод елиминира необходимостта от принтиране на цялата сграда на място, както е при традиционната технология. Това се дължи на ограниченията на размера при 3D принтирането, което допринася за неточности в големи толеранси и сериозни дефекти в конструкцията, тъй като едромашабните принтери с роботизирани ръце са по-малко точни от малките настолни 3D принтери за принтиране на модели.

3D принтирането извън строителната площадка допринася за устойчивост и по-малко замърсяване на въздуха, тъй като фабриците са изградени в контролирана атмосферна среда и води до по-високи и по-надеждни строителни стандарти и, разбира се, до безопасност на труда, както е представено в изследователските трудове на Гардинер, (Gardiner J., et al., 2016) Делгадо (Delgado D., et al., 2018) и Джексън (Jackson P., 2005)

**Свобода на дизайна:** Резултатите показват също, че професионалистите в архитектурата и строителството смятат, че 3D принтирането в строителството е по-добро в сравнение с днешните традиционни технологии по отношение на свободните геометрични форми дължащо се на способността на 3D принтирането да изгражда извити и здрави форми и да не се ограничава до прави линии и правоъгълни форми, които са по-слаби. От друга страна, беше изказано противоречивото твърдение, че сградите ще останат със същите форми и геометрични

структури, а възможността за сложни геометрични форми е теоретична и неприложима, тъй като има ограничения произтичащи от различните елементи като тръби, алуминиеви профили и интерфейсни системи, които ще останат такива каквито са и днес.

**По-ниски разходи за жизнен цикъл:** Разходите за проектиране и строителство ще бъдат по-ниски, тъй като триизмерното принтиране е по-евтино от традиционните строителни методи.

**Безопасност на труда:** Резултатите показват също важен фактор, свързан с поддържането на безопасността на труда и намаляване на броя на инцидентите на строителната площадка и промяната на кривата на аварии надолу. Известно е, че конвенционалното строителство е рисков фактор за живота и безопасността на работниците. Много от злополуките, смърт на работниците или тежки наранявания са причинени поради неспазване на правилата за безопасност.

**Без кофражни форми:** Потенциалът на едромасщабната технология за 3D принтиране е бърз процес, без работа с кофраж, което ще доведе до по-голяма производителност и съкратени срокове за производство.

**Устойчивост:** При процеса се наблюдава оптимално използване на материала, тъй като системата е автоматична и изисква само необходимото количество материал. Освен това количеството на емисиите на CO<sub>2</sub>, отделяни по време на производството на цимент, както и енергийните изисквания ще намалееят и по този начин ще предотвратим глобалното затопляне и унищожаването на природни ресурси и ще запазим устойчивостта, както се вижда в статията на Демейд и Куинтас от 2006 г.(Demaid A., et al., 2006) и при Геблер. (Gebler M., et al., 2014)

**Принтиране на отдалечени места, както и в космоса или под водата:** технологията за 3D принтиране на сгради дава големи предимства при масовото изграждане на многоетажни блокове и може да се използва за строеж в космоса или под вода, както и на други обекти при сложни географски условия; трябва да се докаже, че технологията за 3D принтиране е осъществима на тези места.

**Търсени ползи в сравнение с традиционната технология:** намаляване на експлоатационните разходи по време на проекта като евтини материали, намиране на подходяща ниша за прилагане на технологията като комплексни разработки и надежден 3D принтер, който е евтин за поддръжка и лесен за експлоатация. Предложено е създаване на Центрове за подготовка на изпълнителите. Там ще обучавани на технологична грамотност, включително компютърни езици, и това трябва да бъде въведено и включено в образователната система, за да се обучи следващото поколение.

### 4.3. Анализ

3D принтирането за изграждането на сгради е в началните етапи на реализация, но има голям потенциал при комбинирането с архитектура и строителство. Повечето от анкетиранияте смятат, че е дошло времето за въвеждане на иновации в строителния бранш. Те са на мнение, че технологията ще бъде реализирана един ден след като се инвестира в научни разработки. Освен това има голяма липса на осведоменост за 3D технологията, която трябва да се запълни от обучителни центрове.

Мненията на изпълнители, архитекти и инженери по отношение на здравината на сградата се различават. Един от Изпълнителите твърди, че най-важното предизвикателство е здравината на сградата и ако тя не отговаря на регулациите и не издържа на натоварванията, това обезмисля проекта.

Архитектите са съгласни с това, като твърдят, че армираният бетон придава на сградата здравина, когато е подложена на натоварвания, вятър и земетресения. Приема се, че същите качества могат да бъдат постигнати с използването на циментов материал, армиран с въглеродни, кевларни или базалтови влакна, както е показано по-долу в изследванията на Тай, според които композитните материали (армиран с влакна цимент) имат издръжливост на опън и гъвкавост, за разлика от традиционния бетон. (Gay Y., et al., 2016)

Друг архитект предлага да се реши проблемът с укрепването на сградата не чрез разработване на нов материал, а чрез геометрично проектиране на сграда въз основа на 3D принтиране.; Създаването на уникална

геометрична конструкция на сградата, която ще има различна форма от която и да е сграда днес; ще осигури необходимите параметри, изисквани от наредбите.

#### **4.4 Ограничения на изследването**

Въпреки че резултатите от изследването са важни, твърде вероятно е, те да са частични и може би дори непълни. Следват някои примери за ограничения в изследването:

##### **4.4.1 Изследването зависи от културата и от страната, в която е проведено.**

Анкетираният в моето изследване бяха от различни страни (повечето от Израел, а някои от България, Южна Корея и САЩ). Те имат различни професии (повечето анкетирани са архитекти, някои изпълнители на строителни работи, а други инженери) Тази извадка не представлява цялото население.

##### **4.4.2 В различните страни има различни разпоредби.**

Може да има държави, които имат по-малко строги регулации от другите.

##### **4.4.3 Анкетирани са предимно мъже (и само една жена).**

Следователно, анкета, която съдържа равен брой мъже и жени, може да даде различни резултати.

##### **4.4.4 Авторът не е анкетирал специалисти, които работят пряко в разработването на различни аспекти на технологията за 3D принтиране.**

Ако бяха интервюирани, приносът на тези хора би имал по-задълбочено разбиране по отношение на съществуващите проблеми, свързани с разработката на материали, разработката на софтуер и машини, и различните начини за решаване на тези проблеми.

## **Обобщение:**

Повечето от интервюираните считат, че време да се внедрят иновации в строителната индустрия. 3D принтирането има голям потенциал за това. Тази технология е в етап на развитие непрестанно и сме свидетели на нови разработки и статии в професионалната литература. Болшинството от интервюираните вярват, че 3D принтирането ще бъде внедрено в строителството в недалечно бъдеще. Наблюдава се липса на информираност относно тези технологии, което може да бъде разрешено чрез създаване на центрове за популяризирането им.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ПРИНОСИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ**

### **5.1 Заключение**

Технологията на 21-ви век е предизвикателство към схващанията на професионалистите по пътя на овладяване и.

Това изследване показва, че 3D принтирането в строителството все още не е приложимо и трябва да се справи с две предизвикателства. Първото е развитието на технологията, а второто е нейната реализация в архитектурата и строителството, когато е готова за използване. Първото ниво е справянето на технологията на 3D принтирането във фазата на планиране с подготовката на информация, която включва STL файл, който да не съдържа грешки и е максимално най-близък до модела, планиран с САД софтуер, а също и нарязването на файла в двуизмерни пластове и ефектът на стълбата, получен при процеса на триангулация.

Следва разработването на материали, които са подходящи за метода на адитивното производство, които представят качествата на здравия материал, както се изискват според стандартите. За да се постигнат тези цели, е необходимо да се продължи разработването на материали, които ще заменят бетона, който е евтин материал, но е труден за работа с технологията за 3D принтиране. Освен това е необходимо материалът да се адаптира към технологията на адитивното производство, тъй като той изсъхва бързо и се втвърдява, а помпената система се блокира и спира да работи. Необходимо да се разработят и нови методи вместо технологията на адитивното производство. Необходимо е да се подобри изотропията в принтираната структура и да се намери заместител на кофражните форми, които се използват за поддържане на отворите в някои от принтираните елементи, - за врата, прозорец или тавански конструкции. Освен това, разработването на подходящ 3D принтер ще бъде следващият етап, за да съответства на разработването на материали и на подходящ метод на работа. Една от трудностите днес е принтирането на армиран бетон. Всички сгради, които са построени досега чрез 3D принтер, са допълнително подсилени с помощта на метални подпори. В този контекст изненадващ фактор са различните становища на предприемачи, архитекти и инженери. Предприемачите твърдят, че 3D принтирането без използване на стоманобетон, няма бъдеще. За разлика от тях, архитектите и инженерите са на мнение, че е възможно да се постигне желаните технически параметри на строителството с други материали, различни от бетон, или чрез използване на различна геометрична форма на сградата.

Друга трудност, пред която е изправена технологията за 3D принтиране, е качеството на окончателната 3D принтирана сграда - засега те са малки по размер и не са подходящи за жилища.

В допълнение, способността на принтера да принтира конструкция на място също е фактор, който трябва да се вземе предвид. Досега някои от компонентите на сградите са принтирани първо във заводски условия и след това сглобени на място, за да се получи желаната сграда. По този начин размерът на принтираните компоненти е по-малък от цялата конструкция и това позволява 3D принтери с по-малък размер и дори допринася за постигане на устойчиво строителство. Някои от



построените досега сгради са принтирани на място, но все още има ограничение на размера на конструкцията, свързан с максималния размер на 3D принтера. Освен това, за да се насърчи технологичното развитие, необходимо е да се издадат патенти, които се съхраняват в университети и частни компании, и да се даде възможност за отворен код, който да позволи необходимия достъп до патенти, за да продължат разработките, вместо да се започва от нулата.

На второто ниво, което е внедряване на технологията за 3D принтиране в архитектурата и строителството, се очертават няколко трудности. Първата е да се повишат знанията на специалистите, които работят в областта на архитектурата и строителството за конструкции, които се изработват с технологията за триизмерно принтиране. Предлага се да се изгради представителна конструкция, в която да живеят хора, за да се повишат познанията на специалистите в областта на архитектурата и строителството.

Друга трудност, която не е лесно да се преодолее, е да се убедят изпълнителите да променят методите на строителство, които те използват днес, и да приспособят метода на строителство към технологията за 3D принтиране. Основната трудност е, че промяната ще доведе до безработица или промяна на професията и ще изисква обучение на работници. Няма съмнение, че някои професии, като мазачи и строители, ще изчезнат почти напълно. Вместо това ще се появят нови професии, които не са съществували, като строителен надзор и управление на работния процес, а настоящите работници ще трябва да се адаптират чрез придобиването на нови умения, необходими за технологията за 3D принтирането.

За да се насърчат изпълнителите на строителни работи да прилагат технологията за 3D принтиране, цената на жизнения цикъл на сградата трябва да бъде по-ниска в сравнение с цената, когато се използва конвенционалният метод, без да се прави компромис със здравината на сградата и при спазване на стандартите. Промяната ще се случи отгоре надолу, държавата ще насърчава изпълнителите чрез предоставяне на финансови стимули и дори ще има промяна на стандартите, които да отговарят на технологията за 3D принтиране.

Освен това има нужда от центрове за подготовка на служители, които ще бъдат обучавани на нов технологичен език, който ще бъде създаден. Тези, които ще използват технологии за принтиране на конструкции ще бъдат малки изпълнители на строителни работи с финансови ресурси или строителни компании, които се занимават с типово строителство или строеж на градски къщи.

Ролята на архитекта е да внесе съдържание в човешкия живот и да борави с пространството. Броят на архитектите в новата епоха ще се запази. Архитектът обаче ще трябва да се пригоди към новото и да приеме възможностите на технологията за 3D принтиране. Мотивът да се замени традиционната технология с нова е главно безопасност на труда и създаването на нови геометрични конструкции, които не беше възможно да бъдат изградени досега, а творческите способности на архитектите бяха ограничавани. Освен това увеличава се броя на жилищата по поръчка едновременно с изкисванията за устойчивост чрез намаляване на консумацията на електрическа енергия. Тъй като цената на сградата е по-ниска, отколкото при традиционната технология, младите двойки, бездомните и дори хората, които живеят на отдалечено географски място, ще могат да закупят апартамент и да се чувстват в безопасност под собствения си покрив.

Този труд разглежда състоянието на най-съвременните системи за 3D принтиране. Има три основни метода на 3D принтиране и всеки от тях има прилики и разлики с останалите, както и всеки от тях има своите предимства и недостатъци.

Триизмерното принтиране има потенциал да подобри допълнително традиционното производство; освен това той ще става все по-важен за настоящата производствена индустрия.

Очаква се през следващите години тази нова сфера да се разрасне значително и да бъде революцията в производството.

## **5.2 Приноси на изследването**

Настоящото изследване:

- Прави преглед на съществуващите изследвания по темата за 3D принтиране в архитектурата и строителството, включително историческото развитие през годините и постиженията на действителните проекти, направени чрез методите на 3D принтиране;
- Извършва критичен анализ на най-съвременната технология за 3D принтиране;
- Анализира липсващите знания и правилните и грешни схващания на специалистите в областта на архитектурата и строителството. Тезата допринася за създаване на нови познания;
- Изследва нагласите на професионалисти (архитекти, инженери и предприемачи), които трябва да използват метода за 3D принтиране в архитектурата и строителството и отразява различни гледни точки;
- Разкрива разликата между разработките в изследователските лаборатории и реализацията им на пазара;
- Създава основа за по-голямо поле за изследвания, което вероятно ще се развие около 3D принтирането в архитектурата и строителството;
- Изявява предизвикателствата, които трябва да се преодолеят, за да бъде приложен 3D принтерът;
- Създава методология за обективно изследване на темата за 3D принтиране в областта на архитектурата и строителството посредством интервюта на професионалисти;

### **5.3 Предложения за бъдещи изследвания**

Това изследване и резултатите от него събуждат въображението и отварят прозорец за по-нататъшни проучвания. Необходимо е да се преодолеят ограниченията на този труд и да се проучат нови насоки, произтичащи от настоящето изследване. Ето няколко примера:

Провеждането на сравнителни изследвания зависи от съответната култура. Необходимо е да се осъществи сравнително проучване на значението на 3D принтиране в архитектурата и строителството между развиваща се държава и развита държава (например Китай спрямо САЩ или спрямо европейска държава).

Необяснима констатация са разликите в гледните точки на изпълнителите на строителни работи и архитектите по отношение на технологията за 3D принтиране. В представеното изследване изпълнителите са малцинство сред анкетираните. Препоръчва се да се направи сравнително количествено проучване, което да изследва еднакъв брой изпълнители и архитекти.

Друго предложение е да се проведат бъдещи количествени изследвания с по-голям брой анкетираните. Възможно е, изследваните променливи да са значителни, ако подборът на анкетираните беше по-разнообразен и широк.

Препоръчва се да се проведе проучване на въздействието на частните компании, които се интересуват от строеж на място с триизмерно принтиране.

### **Обобщение:**

В тази глава са разгледани заключенията и приносите на това изследване. 3D принтирането има своите проблеми не само в производствения процес, но също така и в етапа на планиране (софтуер и хардуер), по време на продукцията и последващи процедури. 3D принтирането ще донесе много промени в строителната индустрия, но всички интервюирани са единодушни, че това няма да промени ролята на архитектите. Възможно е те да получат по-големи отговорности в процесите. Болшинството от интервюираните са на мнение, че тази технология е приложима в близко бъдеще, щом бъдат разрешени разглежданите проблеми на проектиране и на производството.

### **Публикации на Автора по темата на дисертацията:**

1. **New reality - print me a house?** VIII Международна научна конференция по Архитектура и строителство ArCivE 2017, ВСУ „Черноризец Храбър“, юни, 2017,
2. **Large scale printing in architecture: Motivation Vs Challenges**, ДСВ 2018 - X Юбилейна международна научни конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 20-22 септември 2018 г, Варна

3. **Sustainable houses by a BIM-Based 3D printing, IX** Международна научна конференция по Архитектура и Строителство, ArCivE 2019, 31 Май -02 Юни 2019, Варна, ISSN 2535-0781

## **БИБЛИОГРАФИЯ:**

1. Ayalon, Y. And Tsabar Ben Yehoshua, N. The Process of Content Analysis by Theory Is Grounded Theory. Edited by M. (Editors) Kasan, L. And Kromer Nevo. Beer Sheva: Ben Gurion University (Hebrew), 2010.
2. Bassoli, Elena, Andrea Gatto, Luca Iuliano, and Maria Grazia Violante. “3D Printing Technique Applied to Rapid Casting.” *Rapid Prototyping Journal* 13, no. 3 (June 5, 2007): 148–55. <https://doi.org/10.1108/13552540710750898>.
3. Bos, Freek, Rob Wolfs, Zeeshan Ahmed, and Theo Salet. “Additive Manufacturing of Concrete in Construction: Potentials and Challenges of 3D Concrete Printing.” *Virtual and Physical Prototyping* 11, no. 3 (2016): 209–25. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
4. Bowen, A. G. *Grounded Theory and Sensitizing Concepts*. International Journal of Qualitative Methods, 2006
5. Buswell, R. A., R. C. Soar, A. G F Gibb, and A. Thorpe. “Freeform Construction: Mega-Scale Rapid Manufacturing for Construction.” *Automation in Construction*, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.05.002>.
6. Camacho, Daniel Delgado, Patricia Clayton, William J O ’brien, Carolyn Seepersad, Maria Juenger, Raissa Ferron, and Salvatore Salamone. “Applications of Additive Manufacturing in the Construction Industry – A Forward-Looking Review.” *Automation in Construction* 89, no. October 2017 (2018): 110–19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.031>.
7. Castaneda, E., B. Lauret, J.M. Lirola, G. Ovando, and G. Ovando. “Free-Form Architectural Envelopes: Digital Processes Opportunities

- of Industrial Production at a Reasonable Price.” *Journal of Facade Design and Engineering* 3, no. 1 (January 1, 2015): 1–13. <https://doi.org/10.7480/jfde.2015.1.914>.
8. Chao, Hu, Yang Li, and Zhang Ying-ying. “Research on Repair Algorithms for Hole and Cracks Errors of STL Models,” 2011, 42–47.
  9. Demaid, Adrian, and Paul Quintas. “Knowledge across Cultures in the Construction Industry: Sustainability, Innovation and Design.” *Technovation* 26, no. 5–6 (2006): 603–10. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.06.003>.
  10. Denscombe, Martyn. *The Good Research Guide: For Small-Scale Social Research Projects*, 2007.
  11. Dini, Enrico. “D-SHAPE - REPORT,” 2016
  12. Gardiner, J B, S Janssen, and N Kirchner. “A Realisation of a Construction Scale Robotic System for 3D Printing of Complex Formwork,” no. Isarc (2016).
  13. Gebler, Malte, Anton J M Schoot Uiterkamp, and Cindy Visser. “A Global Sustainability Perspective on 3D Printing Technologies.” *Energy Policy* 74, no. C (2014): 158–67. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033>.
  14. Gibson, I, D. W. Rosen, and B. Stucker. “Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.” *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, 2010, 1–459. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9>.
  15. Guowei, M A, Wang Li, and J U Yang. “State-of-the-Art of 3D Printing Technology of Cementitious Material — An Emerging Technique for Construction.” *Science China Technological Sciences* 61, no. 4 (2018): 475–95. <https://doi.org/10.1007/s11431-016-9077-7>.
  16. Jackson, Peter. “SIZE MATTERS WHY BODY ARCHITECTURE IS THE FUTURE,” 2005, 76–83.
  17. Kazemian, Ali, Xiao Yuan, Evan Cochran, and Behrokh Khoshnevis. “Cementitious Materials for Construction-Scale 3D Printing: Laboratory Testing of Fresh Printing Mixture.” *Construction and Building Materials* 145 (2017): 639–47. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.015>.

18. Khoshnevis, Behrokh, Dooil Hwang, Ke-Thia Yao, and Zhenghao Yah. "Mega-Scale Fabrication by Contour Crafting." *Int. J. Industrial and Systems Engineering* 1, no. 3 (2006): 301–20. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2006.009791>.
19. Lim, S., R. A. Buswell, T. T. Le, S. A. Austin, A. G.F. Gibb, and T. Thorpe. "Developments in Construction-Scale Additive Manufacturing Processes." *Automation in Construction* 21, no. 1 (2012): 262–68. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.06.010>.
20. Lim, Sungwoo, Richard A. Buswell, Philip J. Valentine, Daniel Piker, Simon A. Austin, and Xavier De Kestelier. "Modelling Curved-Layered Printing Paths for Fabricating Large-Scale Construction Components." *Additive Manufacturing* 12 (2016): 216–30. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.06.004>.
21. Ma, Guowei, and Li Wang. "A Critical Review of Preparation Design and Workability Measurement of Concrete Material for Largescale 3D Printing." *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 2017, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11709-017-0430-x>.
22. Ma, GuoWei, Li Wang, and Yang Ju. "State-of-the-Art of 3D Printing Technology of Cementitious Material—An Emerging Technique for Construction." *Science China Technological Sciences*, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11431-016-9077-7>.
23. Malaeb, Zeina, Hussein Hachem, Adel Tourbah, Toufic Maalouf, Nader El Zarwi, and Farook Hamzeh. "3D Concrete Printing: Machine and Mix Design." *International Journal of Civil Engineering and Technology* 6, no. April (2015): 14–22.
24. [http://www.researchgate.net/profile/Farook\\_Hamzeh/publication/280488795\\_3D\\_Concrete\\_Printing\\_Machine\\_and\\_Mix\\_Design/links/55b608c308aec0e5f436d4a1.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Farook_Hamzeh/publication/280488795_3D_Concrete_Printing_Machine_and_Mix_Design/links/55b608c308aec0e5f436d4a1.pdf).
25. Oropallo, William, and Les A. Piegl. "Ten Challenges in 3D Printing." *Engineering with Computers* 32, no. 1 (2016): 135–48. <https://doi.org/10.1007/s00366-015-0407-0>.
26. Perrot, A., D. Rangedard, and A. Pierre. "Structural Built-up of Cement-Based Materials Used for 3D-Printing Extrusion Techniques." *Materials and Structures*, 2016, 1213–20. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0571-0>.

27. R. Rezaie, M. Badrossamay\*, A. Ghaie, H. Moosavi. "Topology Optimization for FDM.Pdf," 2013.
28. Rahman, S., T. Molyneaux, and I Patnaikuni. "Ultra High Performance Concrete (UHPC): Applications and Research." *Australian Journal of Civil Engineering* 8353, no. August (2004): 12–20. <https://doi.org/10.1080/14488353.2005.11463913>
29. Sakin, Mehmet, and Yusuf Caner Kiroglu. "3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM." *Energy Procedia* 134 (2017): 702–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.562>.
30. "3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM." *Energy Procedia* 134 (October 1, 2017): 702–11. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.09.562>.
31. Scott, Clare. "Contour Crafting Prepares for Series Production of Robotic Construction 3D Printers," 2017. <https://3dprint.com/178100/contour-crafting-series-production/>.
32. Shkedi, A. *Words That Try to Touch: Qualitative Research - Theory and Practice*. Tel Aviv: Ramot (Hebrew), 2003.
33. Shkedi, A. *The Meaning behind the Words. Methodologies in Qualitative Research - in Practice*. Tel Aviv: Ramot, 2011.
34. Shlasky Simcha, Alpert Bracha. *Ways of Writing Qualitative Research: From Deconstructing Reality to Its Construction as Text*. Tel Aviv: The Mofet Institute (Hebrew), 2007.
35. Tay, Yi Wei Daniel, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed Noor Mohamed, Ming Jen Tan, and Kah Fai Leong. "3D Printing Trends in Building and Construction Industry: A Review." *Virtual and Physical Prototyping* 12, no. 3 (2017): 261–76. <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>.
36. Tay, Yi Wei, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Ming Jen Tan, Shun Zhi Qian, Kah Fai Leong, and Chee Kai Chua. "Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing." *Materials Science Forum* 861 (2016): 177–81. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.861.177>.
37. Tibaut, Andrej, Danijel Rebolj, and Matjaž Nekrep Perc. "Interoperability Requirements for Automated Manufacturing Systems in Construction." *Journal of Intelligent Manufacturing* 27,



- no. 1 (February 10, 2014): 251–62. <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0862-7>.
38. Tsabar Ben-Yehoshua N. *Traditions and Trends in Qualitative Research*. Tel Aviv: Tel Aviv: Dvir Publishing (Hebrew), 2001.
  39. Uppala, Sai Sandeep, and Muralidhara Rao Tadikamalla. “A Review on 3D Printing of Concrete-The Future of Sustainable Construction.” *I-Manager’s Journal on Civil Engineering* 7, no. 3 (2017): 49–62. [https://search.proquest.com/docview/1947284862?accountid=26629%0Ahttp://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?url\\_ver=Z39.88-2004&rft\\_val\\_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&genre=article&sid=ProQ:ProQ%3Amaterialsengineering&atitle=A+Review+on+3D+Print](https://search.proquest.com/docview/1947284862?accountid=26629%0Ahttp://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&genre=article&sid=ProQ:ProQ%3Amaterialsengineering&atitle=A+Review+on+3D+Print).
  40. W, Kurfess T Cass. “Rethinking Additive Manufacturing and Intellectual Property Protection.” *Research-Technology Management* 57, no. 5 (2014): 35–42.
  41. Wimpenny, David Ian, Pulak M Pandey, and L Jyothish Kumar. *Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies*, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0812-2>.
  42. wu, Peng, Jun Wang, and Xiangyu Wang. “A Critical Review of the Use of 3-D Printing in the Construction Industry.” *Automation in Construction* 68 (2016): 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>.
  43. Yin, Hongxi, Ming Qu, Haiyan Zhang, and Yechan Lim. “A Technology Review and Future Outlook.” *Technology | Architecture + Design 3D Printing and Buildings*, 2018. <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1420968>.
  44. Yin, Hongxi, Ming Qu, Haiyan Zhang, and YeChan Lim. “3D Printing and Buildings: A Technology Review and Future Outlook.” *Technology|Architecture + Design* 2, no. 1 (2018): 94–111. <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1420968>.
  45. Zarif, Tayyaba. “Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business Grounded Theory Method: An Overview,” 2012.
  46. Zhang, Xu, Mingyang Li, Jian Hui Lim, Yiwei Weng, Yi Wei, Daniel Tay, and Hung Pham. “Automation in Construction Large-Scale 3D Printing by a Team of Mobile Robots.” *Automation in Construction*

95, no. April (2018): 98–106.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.004>.