



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

Машиностроителен факултет

Катедра "Автоматизация на дискретното производство"

маг. инж. Доминика Лотари

**Екологична устойчивост на
цифровизирано дискретно производство в
контекста на Industry 4.0**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1 „Машинно инженерство“

Научна специалност: „Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“

Научни ръководители: проф. д-р инж. Панчо Томов
проф. д-р Любомир Димитров

СОФИЯ, 2024 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра "Автоматизация на дискретното производство" към Машиностроителен факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 22.04.2024 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 04.07.2024 г. от 13,00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет - София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.1-49/22.05.2024 г. на Ректора на ТУ-София в **състав:**

1. проф. д-р Пламен Петров – председател
2. доц. д-р Стилиян Николов - научен секретар
3. проф. д-р Димитър Дамянов
4. проф. д-р Николай Стоименов
5. доц. д-р Станислав Гьошев

Рецензенти:

1. доц. д-р Стилиян Николов
2. проф. д-р Димитър Дамянов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Машиностроителния факултет на ТУ-София, блок № 3, кабинет № 3242

Дисертантът е задочен докторант към катедра "Автоматизация на дискретното производство" на Машиностроителен факултет на ТУ-София.

Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: маг. инж. Доминика Лотари

Заглавие: Екологична устойчивост на цифровизирано дискретно производство в контекста на Industry 4.0

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

1. Обща характеристика на дисертационния труд

Актуалност на проблема

Взаимодействието на ефектите от напредващата глобализация и Industry 4.0 с необходимостта от пестене на енергия, ресурси и вода, причинени от потреблението на ограничени изкопаеми горива, е авангардна изследователска тема и е част от някои важни съображения/обсъждания в областта на промишленото (дискретно) производство [4]. Безопасното снабдяване с питейна вода се превърна в сложен проблем в световен мащаб и на много места поради сушите, изменението на климата, нарастващото население и нарастващото битово и промишлено потребление на вода в повечето икономики [16]. Според Европейската комисия, Forum and Mistra, кръговата икономика и ефективното използване на ресурсите сега са сред най-важните стратегически възможности за създаване на стойност в индустрията. Тази стратегия включва целта за подобряване на производителността, намаляване на разходите, повишаване на ефективността и ефективността и подобряване на конкурентоспособността [17], [18], [19], [20]. Постоянно растящият обем данни, дължащ се на напредващата цифровизация на света и свързаното с това постоянно нарастващо потребление на енергия поради непрекъснатата индустриализация на страните, води до необходимостта от намаляване на потреблението на енергия. В същото време новите технологии като IoT, цифровизацията и Industry 4.0 могат успешно да се използват за целите на устойчивостта в енергийния сектор. Поради тази причина е от централно значение, особено за компаниите, занимаващи се с производствени технологии, поради стратегически причини, да приведат научноизследователските и развойните дейности в съответствие с текущата тема за устойчивост. Според Grigoroudis, Kouikoglou, Phillis и др., енергийната устойчивост е най-неотложната социална и екологична грижа днес сред различните аспекти на устойчивостта [21]. Досега въпросът за устойчивостта в (дискретното) производство е обсъждан само в ограничена степен. Освен това това е много обширна тема, за която все още има малко подходи. Темата за производството сама по себе си може да бъде разбрана по много начини и обхваща голяма част от веригата на стойността на предприемача, от самите сгради до бизнес процесите, които косвено и пряко влияят върху производството, производствените процеси, които се използват в производството до инсталациите, машините и самите продукти. Изрично изследователската ниша на дискретното производство досега почти не е разглеждана в изследванията и литературата. Поради тази причина има нужда от задълбочени изследвания по темата за устойчивостта и дигитализацията в контекста на Industry 4.0 в дискретното производство,

както и от класифициране –на взаимовръзки и противоречия, задълбочен анализ и емпирично изследване. В изследването на de Sousa Jabbour , Jabbour, Foropon и др. [22] ясно е подчертана необходимостта от по-нататъшни емпирични изследвания на устойчивостта в производствената индустрия. Тази необходимост е подчертана и в проучванията на Bag, Telukdarie, Pretorius и др. [23] и от Birkel, Veile, Muller, et al. [24], които допълнително предлагат пътища за бъдещи изследвания.

Дефиниране на проблема: Многобройните глобални предизвикателства, описани по-горе, остават нерешени в много области на дискретното производство в продължение на десетилетия въпреки напредващото технологично развитие и причината за това е неизвестна. Освен това не е известно кои подходи и методи трябва да бъдат избрани за определяне на дългосрочни цели за устойчивост в (дискретен) производствен сектор.

Авангардност

В тази глава терминологията е обяснена като кратък преглед на работата и е изяснено взаимодействието на отделните термини един с друг. Това допринася за по-задълбочено разбиране на темата. Последвалото проучване на литературата беше извършено с помощта на ключови думи като Digitalisation, Industry 4.0, Internet of Things и Sustainability във връзка с ключовата дума Discrete Manufacturing или Manufacturing, които също формират подразделите на глава 2. Преди прегледа на литературата беше също анализирано дали методите, представени в литературата в областта на дискретното производство, могат да се използват за повишаване на екологичната устойчивост. В резултат на това предварително сортиране 362 научни статии бяха намалени до 215 и обяснени по-подробно в литературния преглед на дисертацията. Бяха проучени и изследвани взаимовръзките между термините.

Дискретно производство

Дискретното производство се отнася до производствена среда, в която продуктите се произвеждат като изброими, разпознаваеми единици (бройки). При дискретното производство новите продукти се създават –от суровини и материали, както и от доставени компоненти. Следователно типичните дискретни производители са индустриални компании, например от секторите на автомобилостроенето, електрониката, производството на ПС или машиностроенето и инсталациите. Обратното на дискретното производство е процесно ориентираното производство. Това включва, наред с други неща, производството или обработката на течности, газове, смеси или гранулати. Продуктите, ориентирани към процеса, не се броят директно и зависят от рецептата. Примери за производители, ориентирани към

процеса, са химическата и фармацевтичната промишленост, хранително-вкусовата промишленост и петролните рафинерии [26], [27]. Reichl [26] обяснява в работата си термина „дискретно производство –“, както е споменато: „Дискретното производство често се характеризира с индивидуално или отделно производство на единици. Единиците могат да бъдат произведени в малък обем с много висока сложност или големи обеми с ниска сложност. Производството с малък обем/висока сложност води до необходимостта от изключително гъвкава производствена система, която може да подобри качеството и скоростта на пускане на пазара, като същевременно намалява разходите. Производството с голям обем/ниска сложност поставя високи премии върху контрола на запасите, сроковете за изпълнение и намаляването или ограничаването на разходите за материали и отпадъците“ [28]

Дигитализация

Дигитализацията означава според Neugebauer [35, р. 9] двоичното представяне на текстове, изображения, звуци, филми, както и свойства на физически обекти под формата на нанизани заедно –последователности от "1" и "0", които могат да бъдат обработени от съвременните компютри с изключително висока скорост, а именно милиарди инструкции за секунда. За превод се използва дигитализация , която прави данните от различни източници обработваеми за компютър и по този начин предоставя –много възможности, които иначе биха били немислими. Това включва например сложни анализи и симулации на обекти, машини, процеси, системи и дори човешкото тяло и органи. Комплексните анализи на машини и системи, както и процеси в областта на промишленото производство обхващат голяма част от сега дигитализирания свят. Според Neugebauer [25, р. 13] съвременните машини вече са се превърнали в кибер-физически системи (CPS). Това е комбинация от механични, електронни и цифрови компоненти, които могат да комуникират чрез интернет. Industry 4.0 се основава на това къде производствените предприятия и системи са свързани в мрежа. Компютри, интернет връзки, сензорни измервания в реално време, дигитални системи за подпомагане и сътрудничаещи робот системи са сред компонентите на бъдещите производствени съоръжения. Използват се и цифрови копия на машини, дигиталните близнаци. Във виртуалното пространство те са оборудвани с всички свойства, които могат да станат оперативно приложими при реални условия. По този начин възможностите за оптимизация и потенциалните грешки могат да бъдат разпознати на ранен етап и поведението им може да бъде широко тествано предварително при променящи се условия. Industry 4.0 има за цел да помогне за подобряване на условията на труд за хората и да произвежда евтини индивидуализирани

продукти и да оптимизира процесите по ефективен от гледна точка на ресурсите начин. Желателно е също така да се направи устойчиво енергийното управление на производството. Kagermann , Wahlster и Helbig [36, р. 10] показваха, че в сравнение с класическото производство, интелигентната фабрика обещава увеличение на производителността, ефективността на ресурсите, гъвкавостта и адаптивността чрез използването на свойствата на CPS. Установено е, че ресурсната ефективност се постига чрез използването на интелигентни решения и по този начин допринася за устойчивостта на компанията. Ако се вземе предвид огромното увеличение на общото търсене на електроенергия поради нарастващата визуализация на бизнес данни, които се прогнозира да се увеличат с прибл. 20 % във времевата рамка от 2012 г. до 2020 г., добавката за устойчивост на CPS може да бъде под въпрос.

Industry 4.0 и Интернет на нещата (IoT)

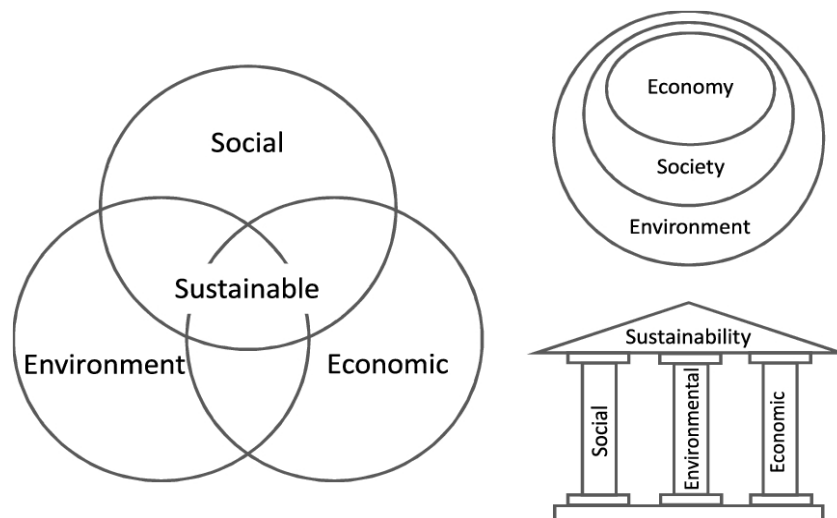
Според Борда на редакторите ВITКОМ е. V. [37, р. 8] „Терминът Industry 4.0 (I 4.0) означава четвъртата индустриална революция, ново ниво на организация и контрол на цялата верига на стойността през жизнения цикъл на продуктите. Този цикъл е ориентиран към все по-индивидуализирани желания на клиентите и се простира от идеята, поръчката, чрез разработката и производството, доставката на продукт до крайния клиент, до рециклирането, включително свързаните с него услуги. Основата е наличието на цялата необходима информация в реално време чрез работата в мрежа на всички субекти, участващи в създаване на стойността, както и способността да се извлече оптимален поток за създаване на стойност по всяко време от данните. Чрез свързване на хора, обекти и системи се създават динамични, оптимизирани в реално време и самоорганизиращи се мрежи за създаване на стойност между компаниите, които могат да бъдат оптимизирани според различни критерии като разходи, наличност и потребление на ресурси. [37, р.8] Според Anderl, Dumitrescu, Eigner et al. [45, р. 20] стъпката, която диференцира четвъртата от третата индустриална революция може да бъде свързана с три фактора. Първо, дигиталните компоненти като сензори, задвижващи механизми, камери или микрофони сега могат да бъдат произведени толкова малки и толкова евтини, че да могат да се използват за обучение на нещата да виждат, чуват и чувстват. Второ, Интернет протокол версия 6 (IPv6), стандарт, който може да се използва по целия свят, съществува от 1998 г. и позволява да се даде на почти всяко нещо собствен интернет адрес. Това им позволява да установяват контакт с други устройства и хора и да изпращат и получават данни. И накрая, като трети фактор, компютърните науки като инженерна дисциплина са узрели и са на път да се превърнат в най-важната

от всички дисциплини. Това е необходимо, за да се помогне на мрежовите, чувствителни неща да действат разумно и все по-автономно. В този смисъл връзката между Industry 4.0 и Интернет на нещата е ясна. Голямата задача, пред която е изправена индустрията, е да разработи и произведе поддържащи интернет комуникационни продукти, които да се превърнат в хранилище на данни. Освен това, отвъд нещата, да се разработят услуги и бизнес модели, които позволяват създаване на допълнителна стойност с тези нови видове продукти. И накрая, индустрията трябва да използва новите възможности, за да оптимизира собствените си процеси чрез интернет и постепенно наличните данни за нещата и да се обърне към новите технологии [45, стр. 20]. IoT е дефиниран от Международния съюз по телекомуникации (ITU) като „Глобална инфраструктура за информационното общество, която позволява разширени услуги чрез свързване на (физически и виртуални) неща, базирани на съществуващи и развиващи се оперативно съвместими информационни и комуникационни технологии“. Функциите, реализирани с IoT технологии, позволяват взаимодействие между хората и всякакви електронни системи, свързани чрез тях, както и между самите системи. Те също могат да поддържат хората в техните дейности в индустриалното, дискретно производство. Все по-малките вградени компютри са предназначени да поддържат хората, без да бъдат разсейващи или дори забелязващи се. Целта на IoT е автоматично да събере съответната информация от реалния свят, да я свърже и да я направи достъпна в мрежата“ [49]. Понастоящем много гореща изследователска тема е така наречения Зелен IoT, тъй като традиционните енергийни ресурси бързо намаляват и потреблението на енергия нараства експоненциално [51]. Зеленият IoT включва визия, основана на концепцията за намаляване на потреблението на енергия от IoT устройства и опазване на околната среда. Вдъхновени от постигането на устойчива среда за IoT, Arshad, Zahoor, Shah и др. [51] предоставиха първия преглед на зелен IoT и предизвикателствата, породени от прекомерната употреба на енергоемки IoT устройства. Авторите обсъдиха и оцениха стратегиите, които могат да се използват за минимизиране на потреблението на енергия в IoT, като проектиране на енергийно ефективни центрове за данни, предаване на данни от сензори по енергийно ефективен начин и проектиране на енергийно ефективни политики. Те анализираха критично и зелените IoT стратегии и предлагат пет принципа, които могат да бъдат приложени за постигане на зелен IoT.

Устойчивост

Според Pufé в [52, р. 22], Устойчивостта е описана като принцип на действие, включващ целите на „защита на човешкото съществуване, опазване на глобалните екологични ресурси като физическа основа на

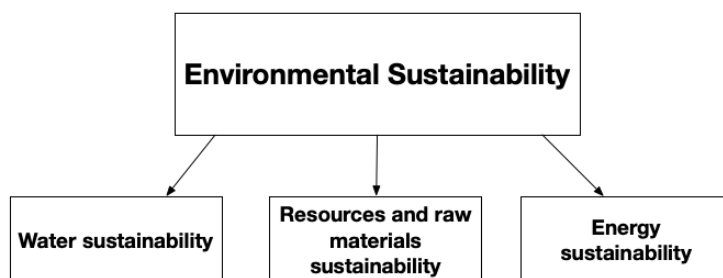
живота, запазване на производствения потенциал на обществото и гарантиране на възможностите за действие и развитие на настоящите и бъдещите поколения в световен мащаб". Според Purvis, Mao и Robinson в [53] концепцията от три стълба за (социална, икономическа и екологична) устойчивост, обикновено представена от три пресичащи се кръга с цялостна устойчивост в центъра, е станала повсеместна. Трите стълба на устойчивостта са представени на Фигура 2.4. Многобройните представяния на стълбовете на устойчивостта се основават на различни идеи за това как тези стълбове трябва да се допълват един друг, например да надграждат един друг, да се преплитат взаимно или да допринасят еднакво за цялостната устойчивост.



Фигура 2.4: Три стълба на устойчивостта представяне като три пресичащи се кръга и в алтернативни изображения [53].

В [54] пише, че всички стълбове са еднакво претеглени и класирани, тъй като концепцията за устойчивост се основава на идеята, че устойчивото развитие може да бъде постигнато само ако екологичните, икономическите и социалните цели се изпълняват едновременно и еднакво, като различните цели са взаимно зависими. По този начин трябва да се гарантират и подобрят екологичните, икономическите и социалните резултати на едно общество. Екологичната устойчивост включва опазването на околната среда, включително природните ресурси. Компаниите и държавите трябва да работят за съзнателно използване на водата, енергията и ограничените суровини. Стълбът също означава да се вземат толкова невъзобновяеми суровини от земята, колкото могат да бъдат заменени с възобновяеми суровини. Това се прави, за да се избегне увреждане на екосистемата и вместо това да се насърчи биоразнообразието. Това също означава, че емисиите трябва да са толкова ниски, че да не причиняват никакви щети. Стълбът обаче означава и напълно обмислен подход към човешкото здраве: вещества, които са вредни за здравето, като PEG и

производни на PEG, са несъвместими с екологичната устойчивост [54]. Социалната устойчивост поставя хората в центъра: човешкото достойнство и свободното развитие на личността не трябва да се отказват на никое човешко същество. Това основно предположение е абсолютният минимум, който не бива да се пренебрегва. Поради това експлоатацията, както и принудителният и детският труд противоречат на социалната устойчивост. Позитивно формулиран, „социалният” стълб изисква справедливо заплащане, реализиране на интересите на работниците, както и възможност за образование и обучение –и безплатно професионално развитие. Стълбът отчита и социалните интереси; например държавите или компаниите, които действат устойчиво, също трябва да действат по начин, който е ориентиран към общото благо [54]. Икономическата устойчивост изисква добра икономическо управление. Устойчивите предприятия също трябва да реализират достатъчно печалби, за да могат да ги инвестират, например в модерни машини, нови служители и допълнително обучение. Въпреки това, максимизирането на печалбата не трябва да бъде единствената цел. Вместо това компаниите трябва да следват дългосрочни стратегии. Справедливата търговия също е част от това. Освен това устойчивите компании могат да преследват нови цели, като подобряване на качеството на живот или насърчаване на проекти за опазване на околната среда [54]. Екологичното измерение на устойчивостта се състои от три основни групи: вода, енергия и ресурси, включително суровини. Графично представяне на това е представено на Фигура 2.5. Дискретното производство предлага множество възможности за оптимизиране на екологичната устойчивост. Процесите за пестене на материали, вода, енергия и ресурси могат непрекъснато да се развиват в областта на производството.



Фигура 2.5: Три основни групи екологична устойчивост [54].

Ефективността на материалите и ресурсите все повече се превръща в основен фактор за разходите и успеха на индустрията. Съществуващият и бъдещ недостиг на определени суровини, нарастващите разходи за материали и зависимостта на много страни от вноса на много суровини допринасят за това, особено защото наличността на съответните суровини

често е ограничена или техните депозити са ограничени до няколко региона [55, стр. 8-10]. Поради това беше отбелязано, че „Подобряването на материалната ефективност спомага за намаляване на генерирането на промишлени отпадъци, както и потреблението на ресурси“ [20]. Според Европейската комисия, Forum и Mistra кръговата икономика и ефективността на ресурсите сега са сред най-важните стратегически възможности за създаване на стойност в индустрията. Целта на тази стратегия е да се подобри производителността, да се намалят разходите, да се повишат ефективността и ефикасността и да се повиши конкурентоспособността. В кръговата икономика и ефективността на ресурсите, материалната ефективност е точка от огромно значение. Това включва намаляването на промишлените отпадъци и възстановяването на суровините, намаляването на въглеродните емисии и намаляването на общото потребление на енергия [17], [18], [19], [20]. Фокусът на много научни статии пада главно върху енергийната устойчивост. Това се случва поради непрекъснато нарастващото търсене на големи обеми данни поради напредващата цифровизация на света и връзката му с все по-високото потребление на електроенергия. Поради тази причина е от централно значение, особено за производствените технологични компании, поради стратегически причини да се съсредоточат научноизследователските и развойните дейности върху текущата тема за устойчивостта. Според Grigoroudis, Kouikoglou, Phillis и др. в [21] сред различните аспекти на устойчивостта, енергийната устойчивост е най-неотложната социална и екологична грижа днес. Енергията също е централен компонент на международната политика и основен компонент на всички икономически дейности \neg . Тъй като енергията е ограничена и често генерира външни ефекти, важен фундаментален въпрос е нейната устойчивост. Оценката на устойчивостта на енергията е важна, тъй като тя играе централна роля в почти всеки промишлен сектор. Производството на енергия обаче създава голямо бреме за околната среда и обикновено е свързано с ограничени ресурси. Според Mangla, Luthra, Jakhar и др. [56] почти 80 % от световното производство на енергия зависи от изкопаемите горива, като по този начин оставя ужасни екологични отпечатъци [4]. Според Prashar [57] непрекъснато нарастващото глобално търсене на енергия обикновено се посреща с повишено потребление на изкопаеми горива, което води до нежелани условия като подкисляване, глобално затопляне, замърсяване на въздуха и деградация на земята. В преследване на глобалната тенденция за устойчивост секторът на дискретното производство има огромен потенциал. Под натиска на правителствата на различни страни и пазара, големите производствени компании започнаха да докладват за своите усилия за

устойчивост по отношение на установените насоки. Очаква се делът на енергията от устойчив произход в (дискретния) производствен сектор да расте непрекъснато. Ghobakhloo и Fathi [4, р. 3], са описали в тази архитектура взаимодействие на 19-те най-важни фактора за енергийна устойчивост. Авторите дадоха представа за факторите, които са пряко свързани с интелигентната фабрика и разгледаха влиянието на тези фактори върху организацията на една компания, включително управление, управление на заинтересованите страни, мрежа от доставчици, управление и контрол на запасите в реално време, интелигентни продукти и интелигентни (свързани) клиенти. Факторите, които са пряко свързани с интелигентната фабрика са:

- Адитивно / усъвършенствано производство, което допринася за намаляване на времето за пускане на пазара и повишаване на енергийната ефективност в производството чрез индивидуализирано масово производство, наред с други неща.
- Разширената и виртуална реалност ще помогнат за намаляване на човешките грешки, ще осигурят помощ при поддръжката и управлението на безопасността, ще подобрят качеството на обучението и ще поддържат дизайна и визуализацията.
- Автоматизацията и промишлената роботика могат да помогнат за съкращаване на времената на цикъла, намаляване на отпадъците и повишаване на безопасността, качеството и енергийната ефективност.
- Големите анализи на данни трябва да позволяват добре обосновани решения и прогнози за поведението на клиентите и да допринасят за проучване на пазара.
- Блокчейн може да се използва в областите на интелигентно договаряне, сигурност на финансовите транзакции, управление на историята на активите и енергийно счетоводство.
- Облачните данни и изчисленията могат да допринесат за възстановяване след бедствие, мащабируемост, наличност на данни и ефективност на разходите.
- По отношение на киберсигурността, сигурността на данните и подобряването на надеждността трябва да бъдат висок приоритет.
- Кибер-физическите производствени системи могат да позволят наблюдение на производството в реално време, поддържана от AI автономна диагностика, създаване на по-висока стойност, проактивност в случай на аномалии и непрекъснат мониторинг на потреблението на енергия.

- Интернет на услугите може да допринесе за проектирането на бизнес модели продукт като услуга, оптимизация на използване на продукта и създаване на по-висока стойност.
- Интернет на хората може да доведе до подобрена ангажираност на клиентите, подобрена поддръжка на клиенти и наблюдение на поведението на клиентите.
- Индуриалният интернет на нещата помага за вземане на информирани решения, подобряване на повторемостта на машините, постигане на конкурентни предимства в реално време, наблюдение на производството – в реално време и извършване на поддръжана от AI автономна диагностика.
- Семантичните технологии трябва да позволяват гъвкава интеграция, машинно обучение, контекстно изчисление и взаимно свързване на данни, съдържание и процеси.
- Симулацията и моделирането (дигитален близък) може да помогнат за минимизиране на риска, повишаване на производителността, подобряване на обслужването на клиентите и надеждността на производството.

2. Цели и задачи

Въз основа на формулировката на проблема в тази работа бяха идентифицирани шест задачи за изследване:

Какво е текущото състояние на изследванията и технологиите по отношение на дейностите за устойчивост на околната среда в дискретното производство?

Какво влияние има I4.0 върху екологичното измерение на устойчивостта в дискретното – производство?

Какви методи и подходи са налични за повишаване на екологичната устойчивост при дискретно производство?

До каква степен може да се подобри устойчивостта на околната среда в дискретното производство чрез използване на цифровизация и I4.0 технологии?

До каква степен състоянието на научните изследвания и технологиите се допълват взаимно?

Какви подходи трябва да се предприемат за прилагане и поддръжане на дългосрочна – стратегия за устойчивост в отделен производствен сектор?

Въз основа на така формулираните задачи бяха определени целите на изследването, които са представени по-долу. Беше направен много изчерпателен преглед на литературата по темата за устойчивостта в производството. Въз основа на това изследване могат да се направят

заклучения във връзка с дискретното производство. Така първата цел на изследването беше дефинирана, както следва:

Настоящото състояние на научните изследвания и технологиите по отношение на дейностите за екологична устойчивост в дискретното производство е определено на базата на многобройния и изчерпателен преглед на литературата. На изследователски въпрос 2 беше отговорено с помощта на прегледа на литературата и следния анализ на литературата (класификация и корелации). Експертното интервю предостави допълнителна точка за допълнение към анализа на тази изследователска цел.

Влиянието на I4.0 технологиите върху екологичното измерение на устойчивостта в дискретното производство е определено и обяснено. За да се отговори на третия изследователски въпрос, беше предприето обширно проучване на литературата, заедно с нейното структуриране чрез класифициране и изработване на корелациите. Това формира основата за ИВ 3.

Дефинират се и се обсъждат методите и подходите за повишаване на екологичната устойчивост в дискретното производство, свързани с използването на дигитализация и Industry 4.0 за повишаване на екологичната устойчивост при дискретното производство. Представени, класифицирани и описани са рамката, методите, различните подходи и начинът, по който дигитализацията и Industry 4.0 могат да допринесат за повишаване на екологичната устойчивост. За да се потвърди действителното използване на тези методи в промишлеността, степента на познаване беше определена чрез онлайн проучване. Сравнението беше направено чрез сравняване на резултатите от научния анализ на структурирано съдържание и библиометрията с резултатите от онлайн проучването.

За да се определи действителното приложение на методите, идентифицирани в научните анализи в бизнеса и индустрията, нивото на информираност беше определено чрез онлайн проучване. Изследователски въпрос 6 се отнася до най-важната точка от изложението на проблема. Множество методи и технологии за повишаване на екологичната устойчивост в областта на дискретното производство бяха идентифицирани, анализирани и сравнени със състоянието на техниката в предишните стъпки на тази докторска дисертация. Следователно понастоящем е възможно да се определи причината, поради която тези методи и технологии все още не са напълно използвани.

Комбинацията от методи, използвани в тази докторска дисертация, позволява идентифицирането на бъдещи тенденции в използването на методи за увеличаване на екологичното измерение на устойчивостта в

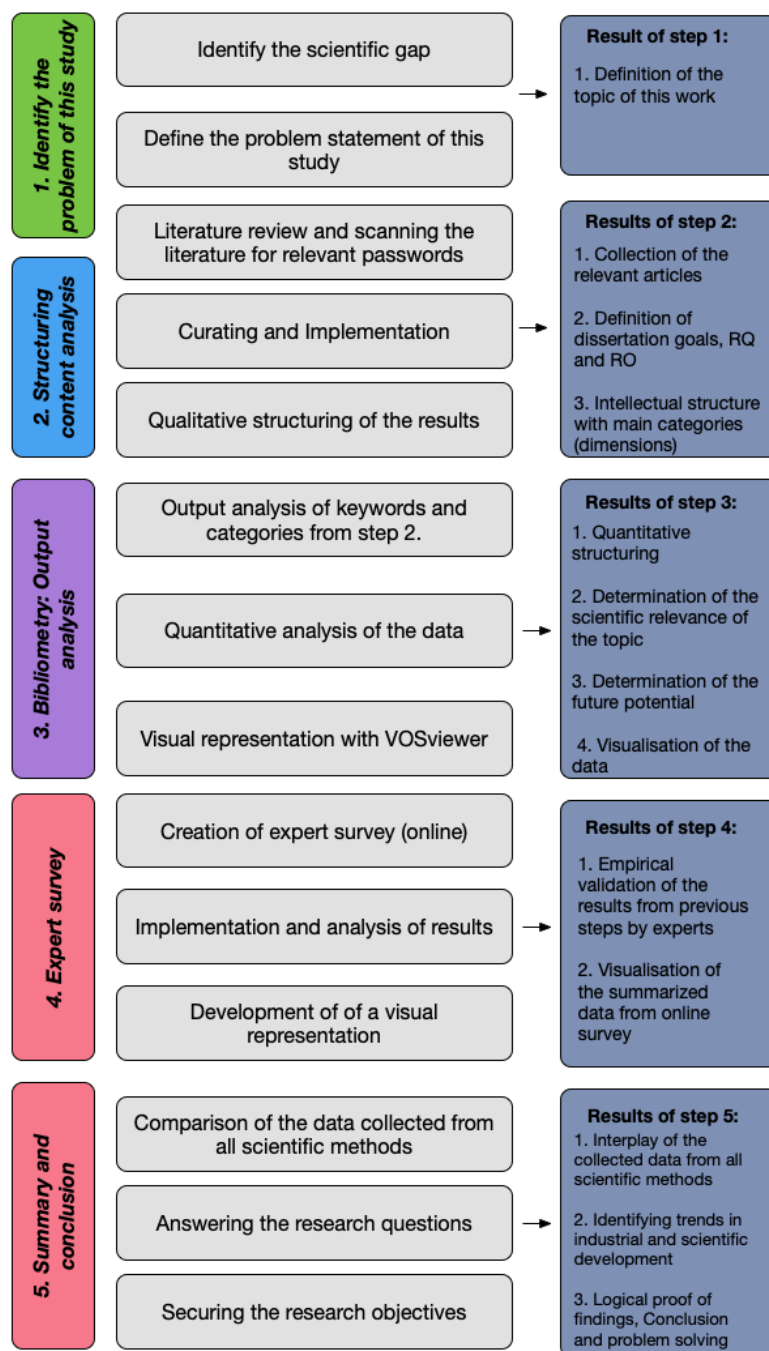
дискретното производство. Освен това проблемът може да бъде решен и може да се отговори на изследователски въпрос 6. Това ще идентифицира подходите, които трябва да се следват за прилагане и поддържане на дългосрочна стратегия за устойчивост в дискретното производство.

Целта на тази докторска дисертация е да получи добре обоснована представа за степента, в която дигитализацията допринася за повишаване на устойчивостта в (дискретния) производствен сектор и по какъв начин може да се разгледа холистичната тема за устойчивостта, за да се гарантира дългосрочното здраве на нашата планета и качеството на живот на бъдещите поколения. Освен това ще бъдат идентифицирани, емпирично валидирани, научно обсъдени и предложени конкретни технологични подходи за увеличаване на устойчивите практики в (дискретния) производствен сектор, за да се повиши осведомеността за текущата глобална ситуация, да се насърчи обществената ангажираност по въпросите на околната среда, да се използват по-ефективно ресурсите, да се наблюдава замърсяване и намаляване на емисиите в околната среда, оптимизиране на потреблението на ресурси, насърчаване на ефективен енергиен подход, установяване на кръгова икономика и запазване на баланса на екосистемите.

3. Изследователски методи

Използваният подход е смесен, тъй като е приложен, за да квалифицира и измери изследваните събития за анализ на данни и да улови разбирането и дълбочината на данните ([182], [251], [252]). Беше проведен двуетапен анализ, включващ библиометричен и структуриращ анализ на съдържанието, за да се развие интелектуалната структура на изследваната литература [253]. Третият етап от използваната методология се състоеше от емпирично валидиране на резултатите чрез онлайн експертно проучване. Където е посочено, че: „Онлайн проучванията са заели законно място в инструментариума на изследователите на проучванията.“ [254]

Свързаното изследване използва ясно дефиниран протокол (Фигура 4.1), който започва с дефинирането на тема от интелектуален интерес и след това преминава през четири последователни стъпки, за да предостави насоки за по-нататъшното развитие на изследванията по тази тема. За по-добра четливост основните стъпки са показани в различни цветове на Фигура 4.1. Тези стъпки със стъпки доказателство са били подразделени на по-малки стъпки, които са маркирани в сиво. Очакваните резултати бяха извлечени от тези стъпки и маркирани в тъмно синьо на фигурата. Първата стъпка от това научно изследване беше да се определят целите на работата. За тази цел първо беше идентифицирана научната празнина, описани са задачите и е започнат прегледът на литературата.



Фигура 4.1: Протокол за изследователските методи, използвани в това проучване (собствено представяне въз основа на [253])

В резултат на тази стъпка беше определена темата на тази докторска дисертация. Втората стъпка в протокола започна с проучването на литературата, започнато в първата стъпка, което беше посочено тук и сканирано за подходящи низове за търсене. Това беше последвано от куриране и прилагане на структуриращ анализ на съдържанието. Резултатите от този анализ бяха структурирани, което първо позволи събирането на подходяща литература и накрая създаването на

интелектуална структура с основните измерения. Третата стъпка от научните методи на тази докторска дисертация включва библиометрия, по-специално анализ на резултатите. За да се създаде това, бяха използвани ключовите думи от 39-те измерения на анализа на съдържанието. Данните бяха анализирани и оценени количествено и накрая представени визуално. Резултатите от тази стъпка бяха количественото структуриране на работата и по този начин определянето на научната релевантност на темата. Въз основа на това беше определен бъдещият потенциал на темата. Последващата стъпка включваше експертно проучване с обхвата на емпирично валидиране на предишните стъпки от експерти. Като последна стъпка всички методи и свързаните с тях резултати от цялата докторска теза бяха свързани заедно, а данните бяха визуализирани. След това беше възможно да се отговори на изследователските въпроси и да се изпълнят целите и задачите на изследването.

Структуриращ анализ на съдържанието

Анализът на съдържанието е качествен метод, който изследователите използват, за да извлекат резултатите от изследването и неговите цели/задачи [255]. Това проучване включва структуриран анализ на съдържанието за изследване на преобладаващата логика, подход, фокус и ограничения на 39-те измерения на съществуващи научни изследвания по темата за екологичната устойчивост в цифровизираното дискретно производство.

Библиометрия : Анализ на резултатите

Библиометрията е изследване на измерването на научните публикации. Библиометрията като област на изследване се занимава със статистически анализ на библиографска информация. Тя придоби значение преди всичко с изследването на потока от публикации на статии в научни списания. Основата на цялото по-нататъшно агрегиране и тълкуване е първо определянето на честотните разпределения чрез просто преброяване на публикации, цитати, автори и т.н. Библиометрията не може да се използва за изказване на каквито и да е изявления относно качеството на научните публикации, а се занимава изключително с техните количества. По този начин има опит да се определят, например, емпирични закономерности в нарастването на броя на публикациите на книги, например във връзка с определени предметни области, разпределението на темите в специализираните списания и броя на цитирания на статия в списание [253], [268]. Библиометричният анализ е популярен изследователски метод, който позволява на учените да изследват миналото и да предоставят прогнози за бъдещ растеж на научни трудове в определени области [269], [270], [271]. Библиометричните анализи предоставят информация за възприемането на

публикации от изследователска група или институт в професионалната област. Те предоставят информация за въздействието на тези публикации и свързаните с тях научни резултати. Те са инструмент за получаване на информация за ефективността на научните публикации, интеграцията в научния пейзаж и международната видимост на резултатите от научните изследвания [272]. Библиометрията предлага много практически възможности за подпомагане на учените и научните мениджъри в ежедневната им работа. Чрез използването на библиометрия отговорът на научната продукция/резултат става измерим. Това означава, че е възможно да се разгледа репутацията на автора. В случая на резонансния анализ, изходният анализ предоставя важна информация за това кои видове публикации са били възприети най-добре. От това могат да се получат важни прозрения за поведението и възприемането на публикацията за бъдещето [272]

Внедряване, анализ и констатации

215-те научни източника, разгледани в изследването на литературата, бяха категоризирани в 39 измерения – с помощта на структуриращ анализ на съдържанието. Измеренията бяха зададени ръчно на статиите в програмата BibTeX, така че резултатите да могат да бъдат визуализирани в следващата стъпка. Класификацията беше направена чрез присвояване на категориите на тематично подходящите статии или на статиите, в които категорията вече е спомената, както и на тези, за които съответната категория би могла да бъде решение. Към една статия могат да бъдат присвоени няколко категории. Логическото присвояване беше извършено чрез съвпадащи ключови думи. В мрежовата визуализация елементите са представени от техните етикети, а също и от кръг по подразбиране. Размерът на етикета и кръга на запис се определя от теглото на записа. Колкото по-голямо е теглото на даден артикул, толкова по-голям е етикетът и кръгът на артикула. За някои артикули етикетът може да не се показва. Това се прави, за да се избегне припокриването на етикетите. Цветът на даден запис се определя от клъстера, към който принадлежи записът. Редовете между записите представляват връзки. По подразбиране се показват максимум 1000 реда, представляващи 1000-те най-силни връзки между статиите. Разстоянието между две ключови думи във визуализацията приблизително показва свързаността на ключовите думи по отношение на връзките за съвместно възникване. Като цяло, колкото по-близо са две ключови думи една до друга, толкова по-силна е връзката им. Най-силните връзки на съвместно възникване между ключовите думи също са представени от появата на редове. В раздела Анализ можете да актуализирате оформлението и групирането на текущо активната карта. Това се прави с помощта на

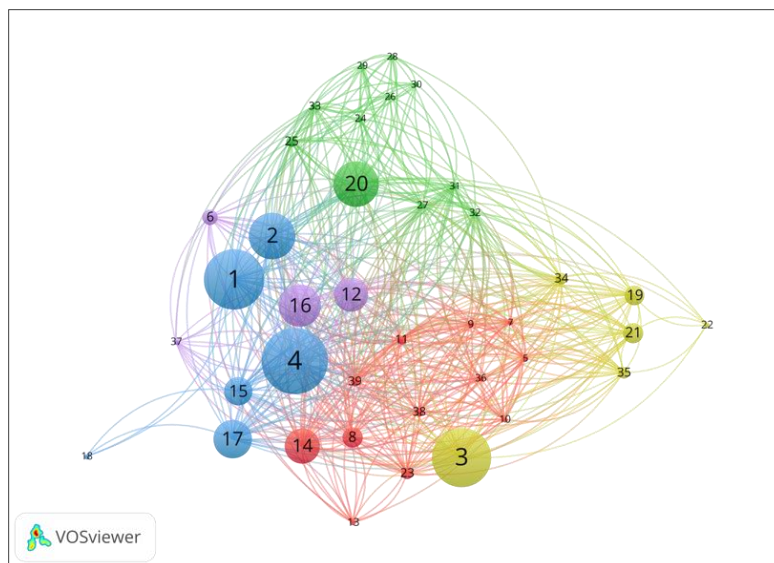
техниката за оформление VOS и техниката за клъстериране VOS. В раздела Анализ параметрите на тези техники също могат да се променят. Следните опции са налични в раздела Анализ. Падащото меню „Метод на нормализиране“ се използва за определяне на начина, по който се нормализира силата на връзките между елементите. Нормализираната сила на връзката се използва като вход за техниката на оформление VOS и техниката на клъстериране VOS. Следните опции са налични в падащото меню Метод на нормализиране [285]:

Без нормализиране . Когато е избрана тази опция, не се извършва нормализиране.

Сила на асоциацията. Когато тази опция е избрана, методът за сила на асоциране се използва за нормализиране на силата на връзките между елементите. С изключение на мултипликативната γ -константа, този метод е идентичен с уравнението. (6) в работата от Van Eck и Waltman [286].

Фракционализация. Когато е избрана тази опция, методът на фракциониране се използва за нормализиране на силата на връзките между елементите. С изключение на мултипликативна константа, този метод е идентичен с уравнението. (6) в работата от Van Eck и Waltman [286].

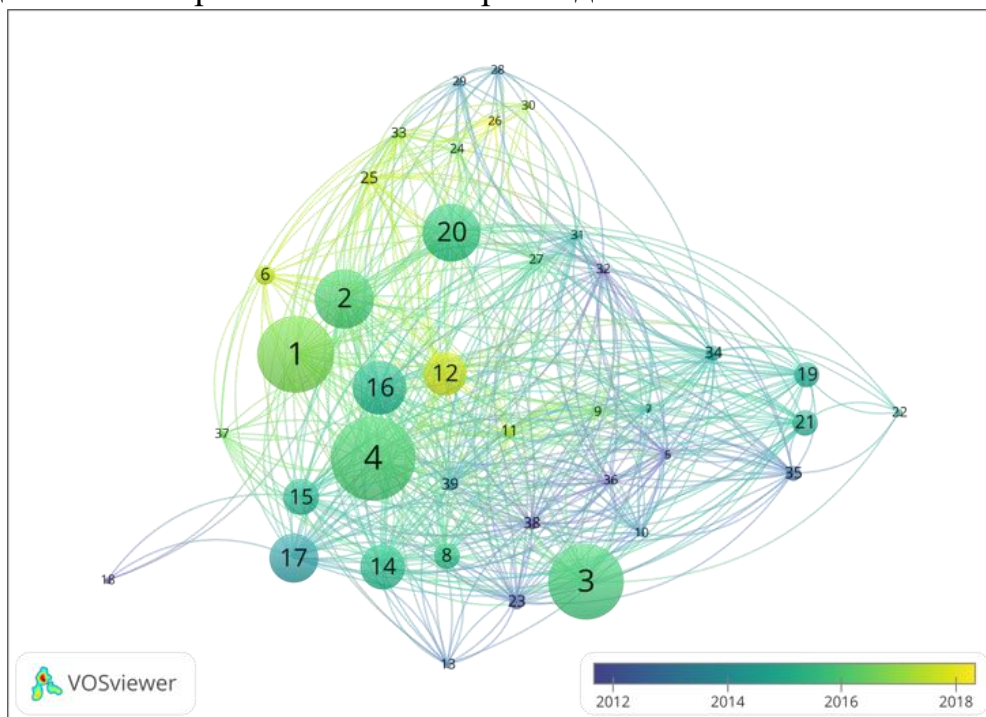
LinLog /Модулност. Когато тази опция е избрана, нормализацията се извършва по същия начин, както при техниката за оформление LinLog и техниката за модулно клъстериране. За повече информация относно тези техники вижте [287], [288] и [289]. На Фигура 4.2 визуализацията на библиометричния анализ се извършва посредством мрежовия анализ (сила на асоциацията) на това изследване.



Фигура 4.2: Мрежова визуализация на библиометричните данни от това изследване (сила на асоциацията)

Въз основа на мрежовата визуализация може да се види, че измерения 1, 2, 3, 4, 12, 14, 15, 16, 17 и 20 са били обсъждани и анализирани в повечето статии. Освен това връзките между тези теми са ясно видими. Измерения 8, 19, 21, 25, 34 и 35 също бяха споменати в много статии. Измерения 5, 7, 18, 28, 29 и 30 са най-слабо проучени.

Беше отбелязано, че: „Визуализацията на наслагването е идентична с визуализацията на мрежата, с изключение на това, че елементите са оцветени по различен начин. Ако елементите имат рейтинг, цветът на даден елемент се определя от рейтинга на елемента, като цветовете варират от синьо (най-ниска оценка) до зелено до жълто (най-висока оценка) по подразбиране.“ [285] Лента с цвятова скала се показва в долния десен ъгъл на визуализацията на Фигура 4.5. Цветната лента се показва само ако цветовете се определят от резултатите на елементите. В показаната по-долу визуализация с наслагване цветовете показват годината, от която произхождат повечето елементи с този термин. Термини, оцветени в синьо са присвоени на елементи, които датират от 2012 г. или по-рано, тези, оцветени в зелено, от 2014-2016 г., а тези, оцветени в жълто 2018 г. или по-късно [285]. На фигура 4.5 е представена насложената визуализация на библиометричните данни от това изследване. 39-те измерения от структуриращия анализ на съдържанието бяха открити в статии основно от 2012 – 2018 г. Индивидуални статии, които са били приписани на изследваните измерения са писани през годините 2003 - 2012 и 2018 - 2021.



Фигура 4.5: Визуализация с наслагване на библиометричните данни от това изследване

Експертно проучване

За откритите измерения и настройката в библиометричния анализ беше направен опит те да бъдат проверени чрез интервюиране на експерти. Под Изпълнение е обяснено изпълнението на проучването. Тази глава завършва с Оценка, включваща оценка на проучването.

Изпълнение

Въпросникът беше попълнен и успешно създаден. С избраната целева група от експерти впоследствие се свързаха за участието им в очакваното проучване. Анкетата е публикувана в социалните мрежи. Езикът на анкетата беше английски. Първоначално е генерирано мотивационно писмо и е определен периодът на проучването от 28.12.2022 г. до 15.01.2023 г. На 29.12.2022 г. експертното проучване беше успешно публикувано.

Оценка

Има два вида статистики за оценка на резултатите: дескриптивна статистика и индуктивна – статистика (инференциална статистика) [292, стр. 4]. Беше отбелязано, че: „Инференциалната статистика се отнася до цялата област на теорията и метода на инференциалната статистика, т.е. процедурите, които въз основа на тестово разпределение позволяват да се направи заключение от характерните стойности на извадковото разпределение до параметрите на населението [263, стр. 178].“ Обратно, наблюдава се, че: „Докато дескриптивната статистика се задоволява – с изследването и описанието на общите суми или подмножества от общите суми (напр. чрез средни стойности, проценти, мерки за дисперсия, коефициенти на корелация и т.н.), за разлика от това, инференциалната статистика (аналитична статистика, инференциална статистика) изследва например само представителна подгрупа от съвкупността и прави заключения от тази подгрупа относно характеристиките на съвкупността. По този начин обикновено се изследват само относително малък брой единици от съвкупността и характеристиките на съвкупността се извеждат от резултатите“. [293, р. 9] Дескриптивната статистика се занимава с обобщението на данните и представянето на значими характеристики на набор от данни, докато инференциалната статистика включва изследване на въпроса дали научните резултати се дължат на случайност или се основават на редовно настъпване (значителен резултат). След това наличните данни за оценка трябва да бъдат обобщени, поради което в настоящия случай се използват дескриптивни статистики. Не се изискват други дескриптивни форми на представяне като модални стойности , МЕДИАН (средно), средно аритметично (средно), дисперсия и стандартно отклонение .

4. Реализация

От 39 измерения, идентифицирани въз основа на структуриращия анализ на съдържанието, 10 измерения бяха извлечени от библиометричния анализ на резултатите, на които се приписва най-голямо значение в научната литература. Въз основа на Визуализацията на Мрежата може да се види, че измерения 1, 2, 3, 4, 12, 14, 15, 16, 17 и 20 са били обсъждани и анализирани в повечето статии. Всичките 39 измерения бяха емпирично валидирани с помощта на онлайн проучването. Валидирането на резултатите беше основно свързано с установяване на степента на познаване на методите в икономическа среда, с фокус върху производствените, дигитализирани и дискретните индустрии. Уместността на методите в областта на дискретното производство се подразбира въз основа на логично разглеждане на всички подсектори на индустрията. В резултат на приложените методи на изследване бяха идентифицирани 10 измерения с най-висока релевантност. Това са (започвайки с най-проучените)::

- Иновативни производствени системи и методи чрез дигитализирани връзки чрез CPS
- Нови, интелигентни, дигитализирани и свързани в мрежа производствени технологии и материали, напр. процеси на формоване (леене), AM
- Кръгова икономика или кръгово управление (Иновативни процеси за пестене на енергия, ресурси и вода в производството и оптимизиране на управлението на процесите и производството)
- Използване на сензори или роботи
- Дигитализация на цялата верига на стойността
- Устойчиво инженерство и продуктово дизайн (екодизайн)
- Прилагане на подхода Lean Green и методите Green IoT
- Подобро планиране и контрол на производството чрез наблюдение на цифровото производство във всички стъпки е. ж. наблюдение в реално време
- Иновация на нов бизнес модел
- Използване на интелигентни системи за управление на енергията

Представените 39 измерения дават насока за научно развитие. 10-те измерения, извлечени от него, описват възможните сценарии за развитие на тенденция в научните изследвания в тази област. Това развитие на тенденцията беше емпирично валидирано с помощта на онлайн проучването. От оценката на резултатите от това проучване бяха получени икономическите съображения за тези тенденции. В професионалната среда най-следваните тенденции включват (започвайки с най-използваните):

- Подобрено планиране и контрол на производството чрез наблюдение на цифровото производство във всички стъпки напр. наблюдение в реално време
- Използване на интелигентни системи за управление на енергията
- Използване на сензори или роботи
- Нови, интелигентни, дигитализирани и свързани в мрежа производствени технологии и материали, напр. процеси на формоване (леене), АМ
- Кръгова икономика или кръгово управление (Иновативни процеси за пестене на енергия, ресурси и вода в производството и оптимизиране на управлението на процесите и производството)
- Дигитализация на цялата верига на стойността
- Иновация на нов бизнес модел
- Устойчиво инженерство и продуктов дизайн (екодизайн)
- Иновативни производствени системи и методи чрез дигитализирани връзки чрез CPS
- Прилагане на подхода Lean Green и методите Green IoT

При сравнение с честотата на изследване на съответните измерения, могат да се определят разликите спрямо честотата на промишлена употреба. Те са представени в таблица 5.1. Числата представляват реда на възникване на измеренията в науката (въз основа на библиометричен анализ) и бизнеса (въз основа на емпирично валидиране). Номер 1 означава най-изследваният в науката или най-присъстващият в икономиката. Номер 10, от друга страна, означава най-малко проучен в науката или най-малко присъстващ в бизнеса.

Таблица 5.1: Сравнение на резултатите по реда на важност на първите 10 измерения в областите на науката и бизнеса.

ИЗМЕРЕНИЕ	Брой въз основа на библиометричния анализ	Брой базиран на емпирична валидация
Иновативни производствени системи и методи чрез дигитализирани връзки чрез CPS	1	9
Нови, интелигентни, дигитализирани и свързани в мрежа производствени технологии и материали	2	4

напр.формовъчни процеси (леене), АМ		
Кръгова икономика или кръгово управление	3	5
Използване на сензори или работи	4	3
Дигитализация на цялата верига на стойността	5	6
Устойчиво инженерство и продуктов дизайн (екодизайн)	6	8
Приложение на подхода Lean Green и методите Green IoT	7	10
Подобрено планиране и контрол на производството чрез наблюдение на цифровото производство във всички стъпки	8	1
Иновация на нов бизнес модел	9	7
Използване на интелигентни системи за управление на енергията	10	2

5. Апробиране на резултатите

Централна част от глава 6 е свързана с проверката на целите на изследването. В този раздел са дадени отговори на изследователските въпроси и по този начин е решен основният проблем на тази докторска дисертация. Демонстрират се научните и приложните, както и приложните приноси.

Проверка на целите на изследването

Четири задачи и целите на тази докторска дисертация бяха:

Какво е текущото състояние на изследванията и технологиите по отношение на дейностите за екологична устойчивост в дискретното производство?

Настоящото състояние на научните изследвания и технологиите по отношение на дейностите за екологична устойчивост в дискретното производство се определя въз основа на многобройния и изчерпателен преглед на литературата. Беше направен много изчерпателен преглед на литературата по темата за устойчивостта в производството. Въз основа на

това изследване могат да се направят заключения във връзка с дискретното производство. Въз основа на обширното проучване на литературата бяха идентифицирани множество научни статии, които са важни за темата за повишаване на екологичната устойчивост в рамките на Industry 4.0 в производствената индустрия. След логична интерпретация на всички научни статии бяха представени само тези, които могат да се използват и в областта на дискретното производство.

Какво влияние оказва I4. 0 върху екологичното измерение на устойчивостта в дискретното производство?

Определено и изяснено е влиянието на технологиите на I4. 0 върху екологичното измерение на устойчивостта в дискретното производство. На изследователски въпрос № 2 беше отговорено с помощта на информацията, получена от прегледа на литературата и следния анализ на литературата (класификация и корелации). Експертното интервю предостави допълнителна точка на допълнение към анализа на тази изследователска задача. Отговорите, дадени в интервютата, могат да бъдат използвани за валидиране на този изследователски въпрос.

Влиянието на Industry 4.0 върху екологичната устойчивост може да се определи в много големия брой научни статии по тази тема. Въз основа на това беше приложен библиометричният метод за анализ на резултатите, който беше използван за намиране на съответните влияния и определяне на 10-те най-важни измерения въз основа на многобройните събития в научния анализ. За визуализиране на резултатите от библиометричния анализ е използвана програмата VOSviewer. В мрежовата визуализация елементите бяха представени от техните етикети, а също и от кръг по подразбиране. Размерът на етикета и кръгът на записа се определя от теглото на записа. Колкото по-голямо е теглото на даден елемент, толкова по-голям е етикетът и диаметърът на кръга на елемента. Визуализацията на библиометрията е представена на Фигура 4.2..

Какви методи и подходи са налични за повишаване на екологичната устойчивост при дискретно производство?

Дефинират се и се обсъждат методите и подходите за повишаване на устойчивостта на околната среда в дискретното производство. За да се отговори на третия изследователски въпрос, беше предприето проучване на литературата, нейното структуриране чрез класификация и изработване на корелациите.

Има многобройни методи и подходи, които могат да се използват за повишаване на екологичната устойчивост при дискретно производство. Те бяха категоризирани в 39 измерения. За да се определи тяхното практическо значение, беше използван друг научен метод за емпирично валидиране на

тези измерения във връзка с практическото им приложение в индустрията: онлайн проучване. Емпиричното сравнение на степента на познаване на измеренията, определени чрез анализ на научно съдържание и библиометрия, със степента на познаване в индустрията е представено в таблица 5.1 и е обсъдено подробно

До каква степен може да се подобри устойчивостта на околната среда в дискретното производство чрез използване на дигитализация и технологиите Industry 4.0?

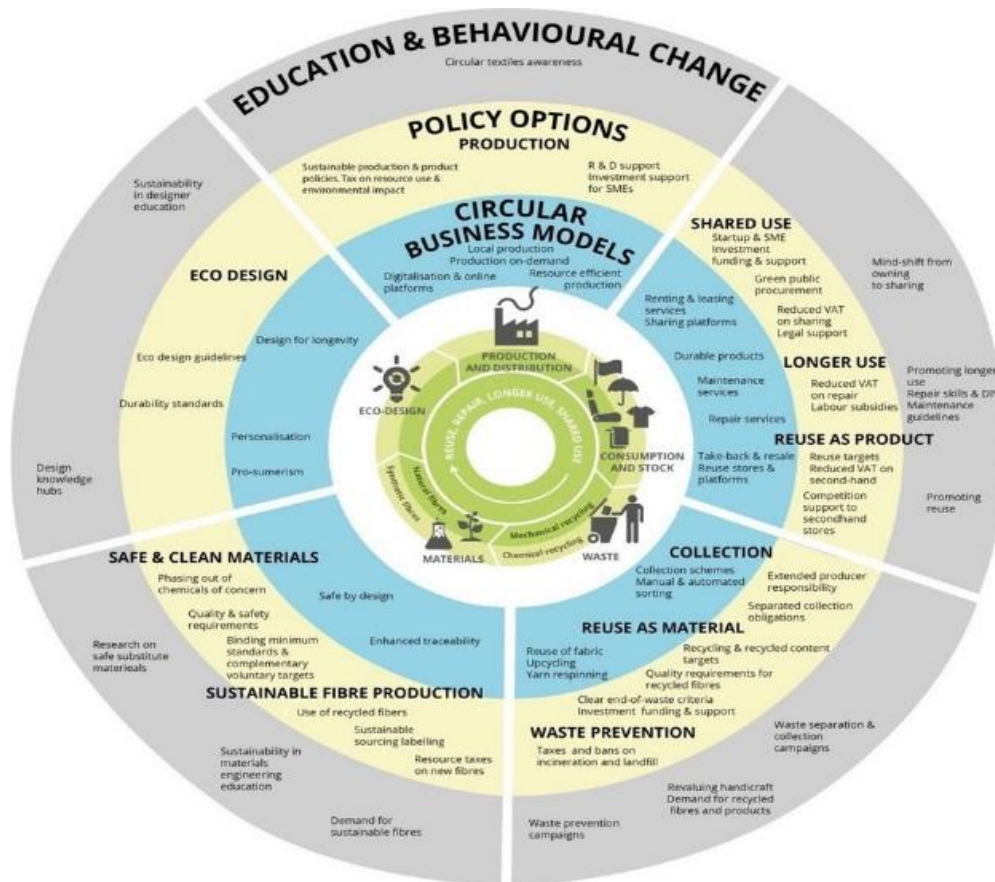
Тук са представени, класифицирани и описани рамката, методите, различните подходи и начинът, по който дигитализацията и Industry 4.0 могат да допринесат за повишаване на екологичната устойчивост. Изследователски въпрос № 4 се занимава с използването на дигитализацията и Industry 4.0 за повишаване на устойчивостта на околната среда в дискретното производство. Отговорено е въз основа на литературни изследвания.

Степента на влияние на отделните измерения вече е спомената в описанието на всяка отделна статия. 39-те измерения формират тенденциите на бъдещото развитие, необходимо за повишаване на екологичната устойчивост в дискретното дигитализирано производство. От тях 10 измерения бяха определени с помощта на библиометричен анализ на резултатите като най-уместни в науката. Подробно беше обсъдено сравнението на релевантността в научната и икономическата среда. Класификацията на резултатите показва, че всички компоненти трябва да си взаимодействат на различни нива, за да се постигне целта за повишаване на устойчивостта чрез дигитализация в дискретно производство. Взаимодействието между политическите аспекти, регулациите, промяната на менталитета и повишаването на образованието по тези теми, включително използването на кръгови икономики и кръгови бизнес модели, допринася за увеличаване на шансовете за успех на смяната на парадигмата. Трансформацията на всеки бизнес към модел на устойчива икономика изисква взаимодействие на много фактори и трябва да се разглежда като всеобхватен процес. По този начин, за да се увеличи екологичната устойчивост в дискретното производство в контекста на Industry 4.0, не е достатъчно да се съсредоточите единствено върху самото производство. Един от всеобхватните подходи е политическото насърчаване на методи за повишаване на екологичната устойчивост. Този подход се счита за двигател за всички вътрешни и външни дизайни на компанията. Важни моменти са социо-културните фактори, като менталитет, екологично съзнание, поведение и култура в производствената компания. Процесите и ИТ на една компания са важни точки за постигането на повишена екологична

устойчивост напр. чрез намаляване на консумацията на енергия. Съвременните бизнес модели напр. NBMI може да се използва за минимизиране на загубата на важни ресурси, както и за разглеждане на устойчиви методи. Многобройни технологии, но също и използването на методи в областта на разработката и инженеринга, допринасят за устойчивия дизайн на продукта. Използването на модерни машини, роботи и сензори играе важна роля за увеличаване на екологичното измерение на компаниите. За да се предотврати загубата на ресурси, могат да се използват мерки за мониторинг, както се предлага в литературата, получена в настоящото изследване на литературата. Поради нарастващия достъп до възобновяеми енергийни източници през последните няколко години се установи мегатенденция на устойчива кръгова икономика. През последните години бяха взети политически решения за увеличаване на дела на кръговата икономика. Фигура 6.1 предлага преглед на взаимодействието на изследваните измерения. Подобен анализ на взаимодействието на различни стълбове за устойчивост спрямо този, представен в тази работа на влияещите фактори, беше илюстриран от Али в [297], виж Фигура 6.1. Това включва, както е представено и в тази теза, измерения на много нива: от образование и промяна на поведението (маркирани в сиво), политика (маркирани в жълто), кръгови бизнес модели (маркирани в синьо) до производство и дистрибуция (маркирани в зелено).

Именно чрез компилацията от тези многобройни фактори се предизвиква промяната на парадигмата в човешкото поведение, както и свързания с него манталитет. Във връзка с това съображение авторът споменава текстилната промишленост, но резултатите също съответстват на тези от настоящата докторска дисертация и следователно могат, след логична преценка, да бъдат свързани и с дискретната производствена индустрия. Али отбелязва, че: „Кръгови бизнес модели, ефективни политики и промени в образованието и поведението могат да стимулират кръгова текстилна икономика. Частните компании и публичните власти все повече виждат потенциалните икономически, социални, екологични и климатични ползи от кръговата текстилна система. Напоследък се появили кръгови бизнес модели, фокусирани върху кръгов текстилен дизайн, споделяне, рециклиране и повторна употреба на текстил. Такива бизнес модели не могат да бъдат надстроени изолирано - необходима е промяна в цялата система, подкрепена от регулиране и други политики. Образованието и промяната в поведението са важна част от преминаването към кръгова текстилна икономика, за да се постигне промяна в поведението в цялата система – от производството и преработката до транспорта, потреблението и отпадъците. Фигурата по-долу илюстрира текстилна система и показва

опции за кръгови бизнес модели, регулиране и промяна на поведението във всяка фаза от жизнения цикъл.“ [297]



фигура 6.1: Кръговите бизнес модели, ефективните политики, образованието и промяната на поведението могат да насърчат кръгова икономика [297]

До каква степен състоянието на научните изследвания и технологиите се допълват взаимно?

За да се определи действителното приложение на методите, идентифицирани в научните анализи в бизнеса и индустрията, нивото на информираност беше определено чрез онлайн проучване. Изследователски въпрос 5 се отнася до трансфера на научни открития към индустрията по отношение на използването на дигитализация и Industry 4.0 за повишаване на екологичната устойчивостта при дискретно производство. Сравнението беше направено чрез сравняване на резултатите от научния структуриран анализ на съдържание и библиометрията с резултатите от онлайн проучването..

Бяха получени нови прозрения чрез сравняване на най-съвременните научни изследвания и технологии. В областта на 10-те измерения стана ясно, че не всеки метод, известен в изследванията, се прилага в бизнеса. Резултатите от сравненията са показани в таблица 5.1. Степента на

познаване варира значително в измеренията „Иновативни производствени системи и методи чрез дигитализирани връзки чрез CPS“, „Използване на интелигентни системи за управление на енергията“ и „Подобрено планиране и контрол на производството чрез наблюдение на цифровото производство във всички стъпки“. Първото измерение, споменато по-горе, „Иновативни производствени системи и методи чрез дигитализирани връзки чрез CPS“, беше най-известното и проучено в областта на научните изследвания, но според резултатите от онлайн проучването, то е малко познато в бизнеса. За разлика от това, измеренията „Използване на интелигентни системи за управление на енергията“ и „Подобрено планиране и контрол на производството чрез наблюдение на цифровото производство във всички стъпки“ бяха идентифицирани като по-малко известни в изследванията, но много добре известни в бизнеса. Резултатите от сравнението на степента на познаване на други от 10-те измерения в областта на научните изследвания и бизнеса показват приблизително еднакво ниво. Въз основа на отговора на този изследователски въпрос, могат да бъдат определени хипотези за възможните причини за неравномерното разпределение на степента на запознаване в изследванията и бизнеса, което води до решението на проблема на тази докторска степен..

Какви подходи трябва да се предприемат за прилагане и поддържане на дългосрочна стратегия за устойчивост в дискретен производствен сектор?

Комбинацията от методи, използвани в тази докторска дисертация, позволява идентифицирането на бъдещи тенденции в използването на методи за увеличаване на екологичното измерение на устойчивостта в дискретното производство. Освен това проблемът може да бъде решен и може да се отговори на изследователски въпрос 6. Това ще идентифицира подходите, които трябва да се следват за прилагане и поддържане на дългосрочна стратегия за устойчивост в дискретното производство. Изследователски въпрос 6 се отнася до най-важната точка от изложението на проблема. Множество методи и технологии за повишаване на устойчивостта в околната среда в областта на дискретното производство бяха идентифицирани, анализирани и сравнени със състоянието на техниката в предишните стъпки на тази докторска дисертация. Следователно понастоящем е възможно да се определи причината, поради която тези методи и технологии все още не са напълно използвани.

Класификацията на резултатите показва, че всички компоненти трябва да си взаимодействат на различни нива, за да се постигне целта за увеличаване на устойчивостта чрез дигитализация в дискретно производство, наред с други неща. Взаимодействието между политическите

аспекти, регулациите, промяната на менталитета и повишаването на образованието по тези теми чак до използването на кръгови икономики и кръгови бизнес модели допринасят за увеличаване на шансовете за успех на промяната на парадигмата. Трансформацията на всеки бизнес, за да се вмести в устойчива икономика, изисква взаимодействие на много фактори и трябва да се разглежда като всеобхватен процес. По този начин, за да се увеличи екологичната устойчивост в дискретното производство в контекста на Industry 4.0, не е достатъчно да се съсредоточите само върху самото производство. Един от всеобхватните фактори за промяна е политическото насърчаване на методи за повишаване на екологичната устойчивост. Този фактор се счита за движеща сила за целия вътрешен и външен дизайн на компанията. Важни моменти са социокултурните компоненти, като менталитет, екологично съзнание, поведение и култура в производствената компания. Процесите и ИТ на компанията са важни точки за повишаване на екологичната устойчивост чрез напр. намаляване на консумацията на енергия. Съвременните бизнес модели напр. NBMI може да минимизират загубата на важни ресурси, както и да включат използването на устойчиви методи. Многобройни технологии, но също и използването на определени методи в областта на разработката и инженеринга допринасят за устойчивия дизайн на продукта. Използването на модерни машини, роботи и сензори играе важна роля за увеличаване на екологичното измерение на компаниите. За да се предотврати загубата на ресурси, могат да се използват мерки за мониторинг, както е отбелязано в литературата, свързана с настоящото изследване. Поради променливия достъп до възобновяеми енергийни източници се установи мегатенденция на устойчивата кръгова икономика. През последните години бяха взети политически решения за увеличаване на дела на кръговата икономика.

6. Научно приложни и приложни приноси

Научно приложни приноси

1. Дефиниран е подход за разработване и внедряване на дигитални решения в дискретното производство, базиран на холистичният поглед върху производствения процес и последваща специализация на темите и тяхното разпределяне към съответни бизнес или производствени области. Това води до подобрена устойчивост във всички фази, до минимизиране на загубата на ресурси и замърсяването на околната среда, повишаване на ефективността, въвеждане на иновативни процеси и бизнес модели.

2. Определени са трите стълба на холистичният подход към екологичната устойчивост, което може да бъде постигнато чрез повишаване на осведомеността и въвеждане на проблемите на околната среда в

образованието и ежедневието (социална устойчивост), въвеждане на иновативни бизнес модели (икономическа устойчивост) и холистичен поглед на темата в производствения сектор (сгради, процеси, фабрики и др.).

3. Установено е, че най-важните отправни точки за значително повишаване на екологичната устойчивост чрез дигитализация в Industry 4.0 са:

- минимизиране на отпадъците (на енергия, вода и ресурси)
- намаляване на потреблението чрез повишаване на ефективността на инсталациите и сградите, оптимизиране на веригите за доставки и подобряване на дизайна и инженеринга с акцент върху устойчивостта.
- намаляване на замърсяването чрез използване на възобновяема енергия, генериране на синергични ефекти и използване на иновативни процеси и материали.
- оптимизиране на използването на материали чрез опазване, споделяне, лизинг и подобрени методи за рециклиране, както и използване на процеси и оборудване за пестене на ресурси.

Приложни приноси

1. Адаптирани за практическа употреба за повишаване на ефективността на дискретното производство са интелигентни системи за управление на енергията и подобро планиране и контрол на производството чрез наблюдение на цифровото производство на всички етапи.

2. Доказано е, че прилагането на кръгова икономика и кръгово управление е силно препоръчително за холистичния преглед.

3. Експериментирано е в реални условия и доказано на практика, че методите Lean Green и Green IoT могат значително да намалят загубата на ресурси, чрез използване на работи, и голяма част от енергията може да бъде спестена.

4. Извършена е емпирична проверка на теоретичната формулировка на проблема за определяне на точките на загуба на дигитализация на цялата верига на стойността, която показва, че за практическа употреба иновативният бизнес модел в комбинация с няколко дигитални приложения е често прилагано и силно препоръчително решение.

5. Комбинацията от иновативни производствени системи и методи чрез дигитализирани връзки чрез CPS (кибер-физически системи) и нови, интелигентни, дигитализирани и мрежови производствени технологии и материали е силно препоръчителна

7. Списък на публикациите по дисертационния труд

1. Dominika Lothary: „The new geopolitics of global development: socioeconomic dynamics and their impact on sustainability worldwide“, ICSD 2024 под печат
2. Dominika Lothary: „ESG strategies as a driver of sustainable corporate innovation: New business models and circular corporate governance“, ICSD 2024 под печат
3. Dominika Lothary: „Strategies to promote the circular economy: approaches at social, local and global level“, ICSD 2024
4. Dominika Lothary: „Zur Notwendigkeit einer nachhaltigen Transformation: Нцхстprioritдт von Wirtschaft und Industrie auf цкологische Nachhaltigkeitsziele“, WBH-WiFo 2023, под печат
5. Dominika Lothary, Pancho Tomov, Lubomir Dimitrov; Combination of an ERP system with other technological approaches to increase sustainability in discrete manufacturing. AIP Conf. Proc. 21 February 2024; 3063 (1): 060013. <https://doi.org/10.1063/5.0195806>
6. Dominika Lothary, Prof. Dr.-Ing. Dierk Schoen: “Bioelektrochemische Energieumwandlung фър Energy Harvesting: Anwendungen in Medizin und Verfahrenstechnik”, January 2021 https://www.researchgate.net/publication/359108355_Bioelektrochemische_Energieumwandlung_fur_Energy_Harvesting_Anwendungen_in_Medizin_und_Verfahrenstechnik_ShortPaper

8. Summary

One of the objectives of the present doctoral thesis was to determine the methods and approaches needed for increasing environmental sustainability in the context of Industry 4.0 in the discrete manufacturing industry. These were determined on the basis of the extensive literature research, where a total of 362 articles were examined. Relevant studies were selected in three sequential steps, namely scanning, curating and analyzing. After the logical assignment of the relevance of these items to the discrete manufacturing industry, these items were presorted. Thereafter, there remained 215 articles, which are described in detail in the dissertation work. Based on the methods used, 10 dimensions for increasing ecological sustainability within the framework of Industry 4.0 in the manufacturing (discrete) industry were determined. These are:

- Improved planning and control of production through monitoring of digital production in all steps e. g. real-time monitoring
- Use of intelligent energy management systems
- Using sensors or robots

- New, smart, digitalized and networked manufacturing technologies and materials e. g. molding processes (casting), AM
- Circular economy or circular management (Innovative, energy-, resource- and water- saving processes in production and optimization of process and production management)
- Digitalization of the entire value chain
- New business model innovation
- Sustainable engineering and product design (eco-design)
- Innovative production systems and methods by means of digitalized connections through CPS
- Application of the Lean Green approach and Green IoT methods

The numerous global challenges described above have remained unaddressed in many areas of discrete manufacturing for decades despite advancing technological developments. The main goal of this PhD thesis was also to determine what the root cause is. The classification of the results shows that all components must interact at various levels in order to achieve the goal of increasing sustainability through digitization in discrete production, among other things. Processes and IT of the company are important points to increase environmental sustainability by e. g. reducing energy consumption. The modern business models e. g. NBMI can minimize the waste important resources as well as involve the use of the sustainable methods. Numerous technologies, but also the use of certain methods, in the areas of development and engineering contribute to the sustainable design of the product. The use of modern machines, robots and sensors plays a significant role in increasing the ecological dimension of the companies. To prevent any waste of resources, monitoring measures can be used as noted in the literature related to current research. Due to the variable accessibility to renewable energies a megatrend of the sustainable circular economy has been established.