



УНИВЕРСИТЕТ ЗА НАЦИОНАЛНО И СВЕТОВНО
СТОПАНСТВО
UNIVERSITY OF NATIONAL AND WORLD ECONOMY

Катедра „Индустриален бизнес“
Department "Industrial Business"

АДМИРА БОШНЯКУ

ADMIRA BOSHNYAKU

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТЕПЕНТА НА НАВЛИЗАНЕ НА ИНДУСТРИЯ
4.0 В БИЗНЕС ОРГАНИЗАЦИИТЕ В БЪЛГАРИЯ**

*RESEARCH ON THE LEVEL OF INDUSTRY 4.0 ADOPTION IN BUSINESS
ORGANISATIONS IN BULGARIA*

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен
„Доктор“

AUTHOR'S ABSTRACT

of a dissertation for the award of the educational and scientific degree "Doctor"

Професионално направление 3.8 „Икономика“, научна специалност
„Икономика и управление (Индустрия)“

*Professional field 3.8 "Economics", scientific specialty "Economics and
Management (Industry)"*



УНИВЕРСИТЕТ ЗА НАЦИОНАЛНО И СВЕТОВНО СТОПАНСТВО

ФАКУЛТЕТ: „БИЗНЕС ФАКУЛТЕТ“
КАТЕДРА: „ИНДУСТРИАЛЕН БИЗНЕС“

АДМИРА АДМИР БОШНЯКУ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТЕПЕНТА НА НАВЛИЗАНЕ НА ИНДУСТРИЯ 4.0 В БИЗНЕС ОРГАНИЗАЦИИТЕ В БЪЛГАРИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен
„Доктор“ , Професионално направление 3.8 „Икономика“, научна
специалност „Икономика и управление (Индустрия)“

Научен ръководител:

доц. д-р Доц. д-р Кирил Димитров
Катедра „Индустриален бизнес“

Дисертационният труд е обсъден и насочен за публична защита на заседание на катедра „Индустиален бизнес“ при Бизнес факултет на Университета за национално и световно стопанство (УНСС) – София с протокол № отг.

Авторът на дисертационния труд е задочен докторант към катедра „Индустиален бизнес“ при Бизнес факултет на Университета за национално и световно стопанство – София.

Темата на дисертационния труд е „Изследване на степента на навлизане на Индустрия 4.0 в бизнес организациите в България“. Състои се от общо 244 страници, в т.ч. 203 страници основен текст и 41 страници, съдържащи допълващи елементи: заглавна страница, съдържание, цитирани източници на информация и два броя приложения.

Дисертационният труд е структуриран в уводна част, три глави – критичен анализ на основните теоретични постановки, методически аспекти, анализ на резултатите от емпиричното изследване, и заключение.

Използваните литературни източници са 239, от които 38 са на български език и 201 на английски език. В дисертационния труд фигурират общо 38 фигури и 31 таблици.

Публичната защита на дисертационния труд ще се проведе на 11.12.2025г. от 14.00 ч. в зала № 2032А „Научни съвети“ на УНСС, София, България.

Научното жури е в състав:

- Проф. д.н. Николай Христов Щерев
- Доц. д-р Димитър Марчев Благоев
- Проф. д-р инж. Николай Карев Карев
- Доц. д-р Илиан Иванов Минков
- Доц. д-р Искра Маринова Пантелеева

Материалите по защитата са на разположение на интересувалите се в дирекция „Наука“, сектор „Научни съвети и конкурси“ към УНСС, както и на интернет страницата на университета – konkursi.unwe.bg.

СЪДЪРЖАНИЕ

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	4
<i>Актуалност и значимост на темата на дисертационния труд</i>	<i>4</i>
<i>Цел и задачи на изследването</i>	<i>7</i>
<i>Обект на изследването.....</i>	<i>8</i>
<i>Предмет на изследването</i>	<i>8</i>
<i>Теза на дисертационния труд</i>	<i>9</i>
<i>Ограничения на дисертационния труд.....</i>	<i>9</i>
<i>Изследователски методи и инструментариум</i>	<i>9</i>
<i>Структура на дисертационния труд</i>	<i>10</i>
<i>Информационно осигуряване</i>	<i>12</i>
II. СТРУКТУРА И СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	13
III. СИНТЕЗИРАНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА ОСНОВНИТЕ МОМЕНТИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	16
IV. ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА В АВТОРЕФЕРАТА.....	53
V. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	57
VI. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	57
VII. ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ	58

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност и значимост на темата на дисертационния труд

Бизнесът е основният стълб на националните и глобалната икономики. В Европа, бизнесът е представен предимно от МСП, които биват определяни като гръбнакът на европейската икономика поради факта, че съставляват около 99% от бизнеса на континента и осигуряват над 85 млн. работни места (European Commission, 2023).

През последното десетилетие обаче, бизнесът е изправен пред редица промени, чиито основен двигател е именно технологичният прогрес, който създаде нови реалности и въведе в обращение нови понятия като Интернет на нещата (IoT), изкуствен интелент (ИИ/AI), кибер-физически системи, облачни технологии, големи данни и други. Гореспоменатите понятия заедно с много други са част от четвъртата индустриална революция или Индустрия 4.0.

От самото наименование „Индустрия 4.0“ се подразбира, че концепцията е насочена към индустрията, а 4.0 представлява препратка към развитието на ИКТ технологиите web 1.0, web 2.0, web 3.0, web 4.0, а “4” обозначава началото на нова индустриална революция (Попова и колектив, 2018, с.5), която се свързва с повишаване нивото на дигитализация във всички процеси. И ако за развитието на първите две индустриални революции са били необходими два века, то третата и четвъртата се случват в рамките на последните три десетилетия. Тази динамика е пряко следствие от скъсяването на цикъла на разработка на нови технологии и продукти, нарастващите изисквания на потребителите и необходимостта от създаване на по-комплексни продукти, което на свой ред поставя все по-високи изисквания към бизнес организациите по отношение на срокове, качество, степен на персонализация на продуктите и услугите и др. Обявената през март, 2020г. пандемия COVID-19 (WHO, 2020) послужи като стрес тест на бизнес организациите в световен мащаб, резултатите от който потвърдиха необходимостта от въвеждане на промени в бизнес моделите, дигитализация на процесите и реструктуриране на веригите за създаване на стойност. Според проведена анкета на McKinsey през 2020г. сред над 400 компании от цял свят, технологиите базирани на Индустрия 4.0 значително са помогнали и продължават да помагат на предприятията за адаптиране на бизнес процесите им спрямо новосъздалата се пандемична обстановка (Agrawal et al. 2021). Тези тенденции направиха необходимостта от прехода към Индустрия 4.0 императивен за всички бизнес организации в национален, европейски и световен мащаб, които искат да запазят своята конкурентоспособност и да гарантират своето съществуване и устойчивото си развитие.

Именно поради гореизброените причини, концепцията за Индустрия 4.0 се характеризира с все по-голяма значимост и у нас, доказателство за което е разработената от Министерство на икономиката и индустрията (2017), Концепция за цифрова трансформация на българската индустрия (Индустрия 4.0) с хоризонт 2017-2030г., която е първата стъпка на държавно ниво към разработването на Стратегия за участието на България в Четвъртата индустриална революция. Друг стратегически документ на национално ниво, подчертаващ необходимостта от този индустриален преход за българската икономика е Национална програма цифрова България 2025 (Министерство на транспорта и съобщенията, 2019), сред чиито основни цели е именно “Цифровизиране на българските промишлени сектори и свързаните с тях услуги и развитие на икономика, основана на данни“. Макар и осъзната важността и необходимостта от преход към Индустрия 4.0, практическите мерки, насърчаващи този преход на национално, отраслово и организационно ниво са все още в начални стадии, поради което България и българският бизнес значително изостава по отношение на редица важни показатели, считани за предпоставки за успешния преход към Индустрия 4.0, както следва:

- *Първо*, дигиталните умения и компетентности на човешкия капитал са от съществено значение за адаптиране към изискванията на Индустрия 4.0 и успешен индустриален преход. По свързаните с това показатели, България се класира на 26-то място от 27-те страни-членки на ЕС, като след нея е само Румъния (DESI, 2024). Едва почти 8% от населението на България притежава над средните цифрови умения при среден процент за ЕС 27%; само 9% от българските предприятия при средно 22% за ЕС осигуряват обучение по ИКТ на своите служители (DESI, 2023).
- *Второ*, цифровизацията на бизнес процесите чрез внедряване на характерните за Индустрия 4.0 технологии като облачни изчисления, интернет на нещата, изкуствен интелект и др. представляват основна стъпка към успешния индустриален преход. По показателят „интегриране на цифрови технологии“ от бизнеса, част от Индекса на навлизане на цифрови технологии в икономиката и обществото (DESI), България е отново предпоследна със стойност на индекса 15,5, при средна за ЕС 36.1 (DESI, 2022). МСП в България с основно равнище на цифров интензитет т.е. използват между 7 и 9 вида цифрови технологии от общо 12, са само 28.4% при 57.7% средно за ЕС. Само 20% от предприятията обменят електронно информация при 42% средно за ЕС; 13.5% ползват облачни услуги при 38% за ЕС; 3.4% ползват изкуствен интелект при почти 2 пъти повече средно за ЕС (DESI, 2024). Сред целите на

цифровото десетилетие на ЕС за 2030г. е 75 % от дружествата в ЕС да използват облачни услуги/ изкуствен интелект/големи информационни масиви и над 90 % от МСП да имат поне базово равнище на цифров интензитет, като държави като Финландия и Дания вече са достигнали равнище на цифров интензитет от 88% (European Commission, 2021), а за България е 28% към 2023г.

- *Трето*, преходът към Индустрия 4.0 и предизвикателствата свързани с реализацията му, изискват отвореност към и управление на иновациите (Cugno et. al., 2021), тъй като и самите технологии свързани с тази революция се считат за иновативни. В същото време, българските компании са все още сред „скромните иноватори“ и се равняват на едва 20-25% от всички компании в страната (Благоев и Бояджиев, 2022) и макар да има разработена Иновационна стратегия за интелигентна специализация на страната, то практическата ѝ реализация е слаба поради липса на ефективно споделяне на знания, сътрудничество между бизнес и университети и адекватна научно-изследователска инфраструктура извън столицата и др. (Sterev & Idriz, 2022). В същото време дигиталната трансформация може значително да подобри иновационния процес в компаниите, ако бъде имплементирана чрез холистичен подход (Yordanova, 2024).

В дългосрочен план, масовото „изоставане“ на българските предприятия по отношение внедряването на цифрови технологии ще доведе до намаляване на конкурентоспособността им на европейския и световен пазар. Понастоящем българските предприятия са част от големи международни вериги за създаване на стойност, които обаче бяха сериозно разклатени от пандемията, липсата на гъвкавост и ниската степен на дигитализация в комбинация с процесите по пренареждане на глобалните вериги на стойността, може да доведе до изместването на родните компании от тях. За да бъде предотвратен този сценарий, е необходимо усилие в посока установяване на подготвеността и зрелостта на българските бизнес организации за осъществяване на този належащ индустриален преход, с цел очертаване на стратегии и насоки за фасилитирането му. Макар концепцията да набира популярност в световен мащаб от 2011 г. насам и вече дори в някои държави да се говори за Индустрия 5.0, то у нас концепцията за Индустрия 4.0 е все още слабо позната и в недостатъчна степен приложена, за което свидетелстват и представените данни от Индекса на навлизане на цифрови технологии в икономиката и обществото (DESI). Това заключение е особено приложимо за българските МСП. Познаването и прилагането на концепцията е по-скоро

характерно за ИТ компаниите и големите производствени компании с чуждестранно участие у нас. Нагласите на българските бизнес организации са, че технологичните решения, асоциирани с Индустрия 4.0 изискват големи инвестиции, характеризират се с висока сложност и са съпътствани от сериозни трудности при внедряването им. Новостта и неизвестността на ползите от тези технологии също играе огромна роля по отношение на ниската степен на внедряването им в българските компании. Не на последно място, предвид ниското ниво на познаване на концепцията, компаниите не разполагат и с необходимия инструментариум да оценят дали техните инвестиции и начин на организация на дейността всъщност подпомагат успешния преход към Индустрия 4.0, следователно не са наясно със степента си на готовност, както и с възможностите и потенциала си за повишаването ѝ. Не разполагат и с насоки как биха могли да повишат потенциала си, така че да подобрят степента си на готовност за адаптиране към изискванията на Индустрия 4.0. В същото време, една от основните препоръки в доклада на ЕК „Bulgaria 2024 Digital Decade Country Report“ (2024) е именно *да се предложат мерки за стимулиране на МСП към внедряване на цифрови технологии*, най-вече изкуствен интелект, тъй като страната ни значително изостава спрямо средното равнище в ЕС.

В тази връзка, дисертационният труд е насочен към изследването на готовността на българските малки и средни предприятия (МСП) за преход към Индустрия 4.0 и идентифицирането на конкретни действия за повишаване на потенциала им за осъществяване на този преход.

Цел и задачи на изследването

Основната цел на дисертационния труд е да определи степента на готовност за преход към четвъртата индустриална революция на българските МСП, опериращи в сектор С Преработваща промишленост и да предостави практически насоки и модели за повишаването на капацитета за преход на МСП към Индустрия 4.0 въз основа на идентифицирани ключови характеристики на компаниите като инвестиционна дейност, умения на служителите и др., детерминиращи успешния преход. Посредством проведеното теоретично проучване и емпирично изследване в рамките на дисертационния труд са формулирани препоръките и моделите за повишаване на нивото на готовност за Индустрия 4.0, насочени както към институциите, така и към мениджърите на МСП, с цел прилагане на синергичен и широкообхватен подход за повишаване на общото ниво на готовност в сектора.

За постигането на дефинираната цел са реализирани пет основни задачи, както следва:

1. Да се извърши преглед и критичен анализ на съществуваща научна литература в сферата на Индустрия 4.0 и да се изследват промените, предизвикани от това явление в основополагащи за бизнес организациите аспекти като ключови ресурси, процеси, стратегия за развитие.
2. Да се идентифицира и адаптира подходящ модел за оценка на готовността на бизнес организациите, отразяващ разглежданите ключови аспекти на бизнес организациите, върху които Индустрия 4.0 има отражение и да се дефинира методология за провеждане на изследването.
3. Да се осъществи емпирично изследване чрез приложението на методическите положения и анализ на резултатите от него, с цел дефиниране на нивото на готовност за преход към Индустрия 4.0 на бизнес организациите.
4. Да се изведат заключения относно степента на готовност на бизнес организациите от сектор Преработваща промишленост, участвали в изследването и да се направят препоръки за повишаване на готовността им въз основа на идентифицираните проблеми и нужди и ключови характеристики, детерминиращи успешния преход към Индустрия 4.0.
5. Да се формулират стъпкови модели за повишаване на готовността за Индустрия 4.0, които да се приложат на макро (институционално) и микро ниво от предприятията.

Обект на изследването

Обектът на изследване на дисертационния труд са микро, малки и средни предприятия (МСП), опериращи в Република България.

Предмет на изследването

Предмет на изследването са промените, предизвикани от Индустрия 4.0 в ключови организационни процеси, ресурси и стратегия за развитие и проучване на готовността за преход към Индустрия 4.0 на българските МСП, опериращи в сектор С Преработваща промишленост или с други думи в каква степен българските МСП са реагирани на тези промени. Готовността за Индустрия 4.0 е емпирично изследвана чрез проследяване на предприетите действия от страна на мениджърите в шест стратегически направления: 1) стратегия и организация; 2) интелигентна фабрика; 3) интелигентни операции; 4) интелигентни продукти; 5) услуги, управлявани от данни; 6) служители.

Теза на дисертационния труд

Изследователската теза на дисертационния труд е, че готовността на българските МСП, опериращи в сектор Преработваща промишленост е на незадоволително равнище за успешен преход към Индустрия 4.0. Под „незадоволително равнище“ в рамките на дисертационни труд се разбират нива от 0 до 2, които съответстват на категории „Начинаещ“ (нива 0 и 1) и „Учещ се“ (ниво 2). За достатъчно високо ниво на готовност за успешен преход ще се считат нива 3 (опитен), 4 (експерт) и 5 (топ изпълнител) или групата на т.нар. „Лидери“ според модела INDUSTRIE 4.0 READINESS (2015). Описаната теза е проверена чрез провеждането на анкетно проучване сред български МСП, опериращи в сектор С Преработваща промишленост и последващ анализ на готовността, въз основа на което се определя тяхното ниво на готовност за индустриален преход.

Ограничения на дисертационния труд

В рамките на дисертационния труд са възприети следните ограничения:

1. Изследваните компании са МСП и се характеризират с код на икономическа дейност, попадащ в сектор С Преработваща промишленост. „“, но въпреки това се оценява и готовността и на големи предприятия за целите на извършване на сравнителен анализ и проверка на влиянието на категорията на предприятието (микро, малко, средно, голямо) върху готовността за преход към Индустрия 4.0.
2. Предметът на емпиричното изследване се ограничава до изучаване на готовността на целевите бизнес организации за успешно функциониране в условията на Индустрия 4.0., понеже е констатирано наличието на единствено, проведено наскоро, изследване в тази сфера у нас (Колева и Пенева, 2019), а наблюденията на автора върху консултантския бизнес показват, че значителна част от висшите мениджъри в целевите компании не са добре запознати с понятието Индустрия 4.0., което лесно би ги тласнало по мисловната спирала „не познавам – не разбирам – не желая“, особено при традиционния недостиг на финансиране, типичен при голямата част от МСП (Попова и колектив, 2018).
3. Поради факта, че конкретно в България, Индустрия 5.0 е в ранна фаза на своето формиране, същата е разгледана в дисертационния труд единствено теоретично.

Изследователски методи и инструментариум

Използваните методи в дисертационния труд са, както следва:

- За целите на литературното проучване в Глава I и за формулиране на методическите положения в Глава II са приложени комплекс от класически методи на научното изследване. Използвани са анализ и синтез за систематизиране и осмисляне на наличната научна литература и стратегически документи в областта на Индустрия 4.0, като чрез анализа са идентифицираните ключовите теоретични постановки за дисертационния труд, а чрез синтеза са интегрирани в цялостната теоретична рамка. Приложени са методите на индукция, с цел извеждането на релевантни обобщения от конкретни примери и казуси, и на дедукция, с цел проверка на тези обобщения в по-широк контекст. Използван е дескриптивен анализ за описателно представяне на теоретични концепции за социалното, устойчивото, цифровото предприятие и др. в Глава I, както и за представяне на моделите за оценка на готовността за Индустрия 4.0 в Глава II, както и сравнителен анализ за идентифициране на разликите в процеси, ресурси, стратегия, отношения със заинтересовани страни в контекста на Индустрия 4.0 и традиционно, както и за оценка на различните модели за готовност и избор на най-подходящия такъв за целите на изследването.
- В Глава III, където се извършва анализ на резултатите и се формулират препоръки и модели за повишаване на готовността на предприятията за Индустрия 4.0, са приложени както класически, така и емпирично-статистически методи. Освен анализ, синтез, дескриптивен анализ, индукция и дедукция, е използван сравнителен анализ за съпоставка на резултатите между различни групи предприятия. Особен акцент е поставен върху прилагането на корелационен анализ, чрез който се установяват зависимостите между ключови фактори като приходи, категория на предприятието, предлагане интелигентни проудкти и услуги, основани на данни и нивото на готовност за Индустрия 4.0. Допълнително е проведен многофакторен регресионен анализ, който позволява оценка на едновременното въздействие на множество променливи (като сектор, категория, приходи, регионални характеристики и технологични показатели) върху готовността. Това осигурява по-задълбочен поглед върху взаимовръзките и създава основа за формулиране на практически ориентирани препоръки.

Структура на дисертационния труд

Дисертационният труд се характеризира със следната структура:

- Увод – този раздел има за цел да представи концептуалната рамка на дисертационния труд. Включва актуалността и причините за избор на темата; обекта и предмет на

изследването; цел и задачи на изследването; изследователската теза; ограничения на изследването; синтезирано представяне на съдържанието на дисертационния труд и ползваните методи и подходи.

- Глава I Теоретични аспекти на Индустрия 4.0. В първа глава с помощта на методите на анализ и синтез и др. е направен теоретичен преглед по темата включващ: еволюция и дефиниция на понятието „Индустрия 4.0“; анализ на технологиите и принципите свързани с Индустрия 4.0; на теориите за развитие на предприятията в контекста на Индустрия 4.0; на ефекта на Индустрия 4.0 върху ключови атрибути на бизнес организациите (стратегия, ресурси и процеси) и извеждане на заключения.
- Глава II Методологически аспекти на емпиричното изследване. Този раздел включва: обзор на съществуващи до момента метрики и инструментариум за оценка на готовността за Индустрия 4.0; представяне на концепцията на емпиричното изследване; обосновка за избора и представяне на избрания модел за оценка на готовността на българските МСП за преход към Индустрия 4.0, на който се основава емпиричното изследване. Представени са основните параметри на емпиричното изследване: извадка, цели и задачи, изследователски въпроси, изследователска теза, географски и времеви обхват на изследването, инструментариум за събиране на първична информация и за последващата ѝ обработка и анализ.
- Глава III Анализ на резултатите от емпиричното изследване. В рамките на тази глава след провеждане на емпиричното изследване: а) е представена характеристика на извадката; б) извършен е дескриптивен анализ на резултатите от анкетното проучване; в) дефинирана е степента на готовност на бизнес организациите за преход към Индустрия 4.0; г) извършен е корелационен и регресионен анализ за установяване на зависимости между степента на готовност за индустриален преход и ключови характеристики на предприятията; д) направени са заключения относно пречките пред българските МСП за преход към Индустрия 4.0; е) очертавани са препоръки за преодоляването им и ж) са формулирани стъпкови модели за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 на микро и макро ниво.
- Заключение – представя разсъждения и изводи по отношение на готовността на българските МСП за преход към Индустрия 4.0, направени въз основа на теоретичното и емпирично изследвания и представя становище по отношение отхвърляне или потвърждаване на изследователската теза и постигане целта на изследването.
- Източници на информация

- Приложения.

Информационно осигуряване

Ресурсната обезпеченост с достатъчно на брой материали, данни и информация за реализация на анализа на съществуващата литература, адаптация на методически положения и провеждането на емпиричното изследване в дисертационния труд е гарантирана чрез:

- **търсене, подбор, систематизиране и анализ на литературни източници**, публикувани в реномирани научни списания и бази данни (например *ScienceDirect, Scopus, Elsevier, SpringerLink, Google Scholar*), включващи статии, монографии, доклади и приложни изследвания в областта на дигиталната трансформация, индустриалните политики и управлението на организационната готовност за Индустрия 4.0 и 5.0;
- **използване на стратегически документи, доклади и анализи на държавни и международни институции** (Европейска комисия, Световен икономически форум, Eurostat, НСИ, Министерство на иновациите и растежа), свързани с цифровизацията на индустрията, приоритетите на Иновационната стратегия за интелигентна специализация (ИСИС) 2021–2027, както и развитието на МСП в България;
- **използване на интернет ресурси** на европейски и национални институции, професионални и браншови организации, които съдържат актуална информация за индустриалната дигитализация, дигиталните иновационни хъбове и тестбеди, както и за състоянието на българските предприятия;
- **участие в научни конференции, семинари, кръгли маси и проекти**, както и преглед на материали от проведени форуми, посветени на Индустрия 4.0, дигитализацията на МСП и управлението на иновации, които са спомогнали за дообогатяване на изследователския контекст;
- **провеждане на емпирично изследване сред български МСП от сектор „Преработваща промишленост“**, включващо събиране на първични данни чрез анкетно проучване и последваща обработка с помощта на статистически методи (корелационен и многофакторен регресионен анализ), за да се оцени тяхното ниво на готовност за Индустрия 4.0 и да се формулират препоръки и стъпкови модели за повишаването му.

II. СТРУКТУРА И СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

УВОД

ГЛАВА I: ТЕОРЕТИЧНИ АСПЕКТИ НА ИНДУСТРИЯ 4.0

- 1.1. Същност, еволюционно развитие и принципи на понятието „Индустрия 4.0“*
 - 1.1.1. Еволюция в развитието на схващането относно Индустрия 4.0*
 - 1.1.2. Същност на понятието „Индустрия 4.0“*
 - 1.1.3. Принципи и цели на Индустрия 4.0*
- 1.2. Възможни управленски решения при изграждане на технологичното портфолио, свързано с Индустрия 4.0*
- 1.3. Стратегически направления за развитие на организацията в условията на Индустрия 4.0*
 - 1.3.1. Прилагане на принципите на теорията за интелигентната фабрика*
 - 1.3.2. Акцентирание върху теорията за цифровото предприятие*
 - 1.3.3. Възприемане на подход, основан на теорията на разширеното предприятие*
 - 1.3.4. Приоритизиране на теорията за социалното предприятие*
 - 1.3.5. Извеждане на преден план на теорията за устойчивото предприятие*
- 1.4. Влиянието на портфолиото от технологии, въплътени в Индустрия 4.0 върху важни атрибути на бизнес организацията*
 - 1.4.1. Протичащите процеси в бизнес организацията*
 - 1.4.2. Взаимоотношения със заинтересованите страни в контекста на Индустрия 4.0*
 - 1.4.3. Използваните ресурсите в бизнес организацията*
 - 1.4.4. Общата стратегия за развитие на компаниите*
- 1.5. Идентифициране на важни характеристики за бизнес организациите с потенциал да оперират в контекста на Индустрия 4.0*
- 1.6. Обобщения и изводи*

ГЛАВА II: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИ АСПЕКТИ НА ЕМПИРИЧНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

- 1.1. Модели за оценка на готовността на бизнес организациите за преход към Индустрия 4.0*

- 1.1.1. *Модел на зрялост за класифициране на ИТ и софтуерното състояние в цялото предприятие, фокусиран върху Индустрия 4.0 (SIMMI 4.0) разработен от Leyh, Schäffer, Bley и Forstenhäusler*
- 1.1.2. *Модел за оценка на зрелостта на свързаното предприятие, разработен от Rockwell Automation*
- 1.1.3. *IMPULS – Готовност за Индустрия 4.0*
- 1.1.4. *Модел за оценка на зрелостта и готовността за преход към Индустрия 4.0 на производствените предприятия, разработен от Andreas Schumacher и колектив*
- 1.1.5. *Индекс на зрялост спрямо Индустрия 4.0, разработен от Германската национална академия за наука и инженерство (acatech)*
- 1.1.6. *Инструмент за самооценка на дигиталната зрялост на PriceWaterhouse Coopers*
- 1.1.7. *Модел за оценка спрямо Индустрия 4.0: Industry 4.0-MM, разработен от Gökalp и колектив*
- 1.1.8. *Open DMAT – Инструмент за оценка на цифровата зрялост на Европейската комисия*
- 1.2. *Обосновка на избор на модел за оценка на готовността на бизнес организациите за преход към Индустрия 4.0*
- 1.3. *Методологическа рамка на емпиричното изследване*
 - 1.3.1. *Методологическа рамка на модела „IMPULS – Готовност за Индустрия 4.0*
 - 1.3.2. *Цели и обхват на емпиричното изследване*
 - 1.3.3. *Инструментариум за събиране, обработка и анализ на първичните данни*

ГЛАВА III: АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

- 3.1. *Организация и провеждане на емпиричното изследване*
- 3.2. *Характеристика на извадката*
- 3.3. *Анализ на резултати относно нивото на готовност на българските МСП за Индустрия 4.0*
 - 3.3.1. *Резултати за аспект „Стратегия и организация“*
 - 3.3.2. *Резултати за аспект „Интелигентна фабрика“*
 - 3.3.3. *Резултати за аспект „Интелигентни операции“*
 - 3.3.4. *Резултати за аспект „Интелигентни продукти“*
 - 3.3.5. *Резултати за аспект „Услуги, базирани на данни“*

- 3.3.6. Резултати за аспект „Служители“*
- 3.3.7. Определяне на общото ниво на готовност за преход към Индустрия 4.0 на българските МСП*
- 3.4. Изследване на зависимостта между нивото на готовност за преход към Индустрия 4.0 и ключови характеристики на предприятията*
- 3.5. Препоръки за успешен преход на българската индустрия към четвъртата индустриална революция*
- 3.6. Проектиране на модел за успешен преход на българската индустрия към четвъртата индустриална революция*
 - 3.6.1. Институционален модел за стимулиране прехода към Индустрия 4.0*
 - 3.6.2. Модел за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 на микро ниво*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ИЗТОЧНИЦИ НА ИНФОРМАЦИЯ

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1: Обхват на икономическите дейности, попадащи в сектор С Преработваща промишленост според Класификация на икономическите дейности (КИД 2008) на НСИ

Приложение 2: Въпросник за определяне на готовността за преход към Индустрия 4.0

III. СИНТЕЗИРАНО ПРЕДСТАВЯНЕ НА ОСНОВНИТЕ МОМЕНТИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава I: Теоретични аспекти на Индустрия 4.0

Първа глава е пряко обвързана с една от задачите на дисертационния труд, а именно да се реализира преглед и критичен анализ на съществуваща научна литература в сферата на Индустрия 4.0 и да се изследват промените, предизвикани от това явление в основополагащи за бизнес организациите аспекти като ключови ресурси, процеси, стратегия за развитие и отношения със заинтересованите страни.

Първа глава е разпределена в **шест основни параграфа**. Първият. разглежда теоретичните аспекти на Индустрия 4.0, като акцентира върху еволюционното развитие, същността, принципите и целите на концепцията.

При анализа на индустриалните революции се заключава, че те са пряко свързани с цикъла на развитие на новите технологии, който неминуемо води радикални промени в начините на производство и консумация и се скъсява все повече. Пример за това, е фактът, че за развитието на първите две индустриални революции са били необходими два века, а третата и четвъртата се случват в рамките на последните четири десетилетия. Следователно, при запазването на този темп на развитие на новите технологии, може да се очаква скъсяване на времевите периоди между индустриалните революции. Доказателство за това е и фактът, че само 10г. след зараждането на концепцията за четвъртата индустриална революция, вече се говори и за Индустрия 5.0. Това заключение е пряко обвързано с необходимостта от мерки за преход към Индустрия 4.0 и свързаните с нея технологии за българските компании.

След представянето на пътя на развитие на Индустрия 4.0, подробно е анализирано понятието и неговото развитие във времето – от възникването му през 2011г. като стратегическа инициатива, част от Стратегията на германското правителство за високи технологии 2020, която днес е под името Platform Industrie 4.0 (European Commission, 2017, р. 3) до превръщането му в нарицателно за четвъртата индустриална революция. Разгледани са дефиниции на водещи изследователи в сферата и големите четири консултантски компании. Например, Schwab (2015) разглежда Индустрия 4.0 като сливане или обединяване на технологии, което размива границите между физическата, дигиталната и биологичната сфери, докато Бостънската консултантска група (2021), например я определя като съвкупност от девет основни технологии като кибер-физически системи, автономни роботи и др.

Въз основа на направения анализ е изведена и авторова дефиниция на понятието „Индустрия 4.0“ – *„управленско решение за заемане на стратегическа позиция от компанията на упорито и неотклонно следване на засилваща се технологична тенденция, която чрез непрекъснато внедряване на обновяващ се набор от високи технологии допринася за обединяване на физическия и дигиталния свят, създавайки предпоставки за интеграция на компаниите с техните заинтересовани страни в цялостна екосистема/ мрежа за създаване на стойност.“*. Дефиницията отразява многоаспектните промени, които разглежданият феномен предизвиква не само вътре в организациите, но и в тяхната обкръжаваща среда, и не само в технологичен, но и организационен и стратегически аспект, което налага разглеждането на аспекти като формулиране на стратегията, отношения със заинтересованите страни и др. по-нататък в дисертационния труд.

В последната част от параграф 1.1. са разгледани шестте основни принципа на Индустрия 4.0: 1) оперативна съвместимост и свързаност; 2) модулност; 3) прозрачност на информацията; 4) децентрализация; 5) възможности в реално време; 6) ориентираност към услуги, с цел да се достигне до по—задълбочено разбиране на начините на интеграция на подходите и технологиите, свързани с Индустрия 4.0 в рамките на предприятието.

В параграф 1.2. са изложени възможните управленски решения, свързани с изграждането на технологично портфолио като са разгледани и дефинирани технологиите, считани за двигатели на четвъртата индустриална революция и чрез които разглежданите принципи следва да се приложат в предприятията, а именно: големите данни, добавена реалност, облачни изчисления, кибер-физически системи вкл. и производствени, интернет на нещата вкл. и индустриален, дигитални близнаци, изкуствен интелект, 3D печат, автономни роботи, производствени изпълнителни системи, вградени системи, и радиочестотна идентификация.

В следващия параграф е направен критичен анализ на няколко ключови стратегически направления за развитие на бизнес организациите в условията на дигитална трансформация. В тази връзка се анализират ключови теоретични подходи, включително тези за интелигентната фабрика, цифровото, разширеното, социалното и устойчивото предприятие като се разглежда как всеки от тези бизнес модели би могъл да бъде подпомогнат, изменен и подобрен чрез прилагане на разгледаните технологии, свързани с Индустрия 4.0 и представените принципи.

По-нататък в главата се изследва как портфолиото от технологии, въплътени в Индустрия 4.0 променя основните атрибути на бизнес организацията – протичащите вътрешни процеси, отношенията със заинтересованите страни, използваните ресурси и общата стратегия за развитие.

В първата част на четвъртия параграф е направен сравнителен анализ между традиционната верига на доставки в компанията, вкл. процесите по разработка, планиране, снабдяване, производство, доставки и клиентско обслужване и цифровата мрежа на доставки или верига на доставки 4.0. Традиционното виждане за веригата на доставка е, че представлява линейна последователност от участващите в логистичната система звена, които осигуряват придвижването и съхранението на материалните потоци (Георгиев и колектив, 2008, сс 172-173). За разлика от традиционните вериги за доставка, в цифровата мрежа за доставка всички участници и респективно процеси са свързани и обменят информация в реално време, което прави веригата много по-гъвкава, адаптивна и реагираща спрямо промените от външната среда. Процесите в цифровата мрежа за доставка се изменят в разработка на интелигентни продукти, синхронизирано планиране; интелигентно снабдяване, интелигентна фабрика, динамично изпълнение и свързаност с клиента (Mussomeli, et. al, 2016. Deloitte University press). Въз основа на извършеното подробно сравнение и идентифициране на измененията във всеки един от процесите, вследствие на технологиите базирани на Индустрия 4.0 се заключава, че макар като наименование и етимология процесите да звучат сходно, по своята същност и начин на осъществяване те се различават съществено. Постигането на висока степен на интегрираност на всички процеси в цялостна мрежа/екосистема за създаване на стойност изисква внимателно планиране, адаптиране на стратегията, оценка на ползите и разходите, технологична модернизация и обучение, повишаване на квалификацията и преквалификация на служителите, следователно преходът към Индустрия 4.0 не е просто инвестиция, а комплексен и времеемък процес, който обхваща всички структури, процеси и ресурси в бизнес организацията и респ. променя бизнес модела ѝ.

Във втората част на четвъртия параграф са анализирани промените във взаимоотношенията със заинтересованите страни в контекста на Индустрия 4.0. Основният извод е, че в сравнение с традиционните виждания за заинтересованите страни (доставчици, служители, акционери и др.), в контекста на Индустрия 4.0 те включват и академичните институции, държавата, другите участници в индустриалната екосистема и обществото или т.нар. модел на четворната спирала, показвайки че дигиталната трансформация е колективен процес, изискващ сътрудничество, а не

индивидуални усилия на отделната компания и нейната близка обкръжаваща среда. Освен, това организациите опериращи в контекста на Индустрия 4.0 са част от мрежи за създаване на стойност и постоянният обмен на големи обеми информация между всички точки (заинтересовани страни) в мрежата позволява вземането на холистични решения с оглед информацията, получена от всички страни.

Извършен е критичен анализ и на промените, които Индустрия 4.0 предизвиква в начина на използване на основните ресурси във всяко предприятие вкл. материални, човешки, финансови и нематериални (информация). Анализът показва нарастващо значение на информацията като ресурс, тъй като в контекста на Индустрия 4.0, всички останали ресурси се захранват с информация чрез интелигентни системи. Очертана е необходимостта от промени в уменията и квалификацията на човешкия капитал, тъй като според Световния икономически форум (2025) делът на основните умения, които ще се променят до 2030 г., е 39%.

В последната част на четвърти параграф Индустрия 4.0 е разгледана като вътрешен фактор, детерминиращ растежа на предприятията, като се заключава, че технологиите свързани с нея не просто подпомагат прилагането на стратегиите за растеж, а в бъдеще, ще бъдат императивен фактор за тяхното осъществяване.

В петият параграф от първа глава са идентифицирани основните характеристики, които са критични за компаниите с потенциал да оперират успешно в контекста на Индустрия 4.0, където се прави връзката и между първата и втората глава от дисертационния труд, тъй като са представени, както важни технологични, така и организационни характеристики на компаниите, водейки до извода, че за успешен преход към Индустрия 4.0 са нужни промени и действия от страна на мениджмънта и двете направления. Това заключение, както и целият анализ реализиран в първа глава дават основа да се твърди, че за адекватно измерване и оценка на готовността за преход към Индустрия 4.0 на българските предприятия следва да се избере модел, отразяващ, както организационните промени, така и технологичните такива, тъй като този преход представлява комплексен процес, изискващ холистичен модел за оценка.

Глава първа завършва с обобщения и изводи, които служат като теоретична основа за следващите части на изследването.

Глава II: Методологически аспекти на емпиричното изследване

Втора глава от дисертационния труд е пряко обвързана с една от основните му задачи, а именно тя има за цел да идентифицира и адаптира подходящ модел за оценка

на готовността на бизнес организациите в България, който да отразява разглежданите ключови аспекти на бизнес организациите, върху които Индустрия 4.0 има отражение, както и да дефинира методическите положения за провеждане на емпиричното изследване.

Втора глава е разпределена в три основни параграфа, като първият е насочен към критичен преглед и сравнителен анализ на различни модели за оценка на готовността за преход към Индустрия 4.0 и цифровата зрялост; вторият излага мотивирана обосновка за избора на конкретен модел, а третият представя методологическата рамка на изследването.

В Таблица 1 е представено синтезирано сравнение на подробно анализирани модели за оценка на готовността за Индустрия 4.0 в дисертационния труд.

Таблица 1. Сравнение на разглеждани модели за оценка на готовността за преход към Индустрия 4.0

№.	Модел	Автори и година на създаване	Оценявани категории	Класиране на компаниите (оценка)
1	Модел на зрялост за класифициране на ИТ и софтуерното състояние с фокус върху Индустрия 4.0 (SIMMI 4.0)	Leyh, Schäffer, Bley и Forstenhäusler, (2016)	4 категории: Вертикална интеграция Хоризонтална интеграция; Разработване на цифрови продукти; Междусекторни технологични критерии	5 степени: най-ниската е Степен 1: Основно ниво на цифровизация, а най-високата Степен 5: Оптимизирана пълна дигитализация;
2	IMPULS – Готовност за Индустрия 4.0	фондация IMPULS на Германската инженерна федерация (VDMA), (2015)	6 категории: Стратегия и организация; Интелигентна фабрика; Интелигентни операции; Интелигентни продукти; Услуги, управлявани от данни; Служители	3 категории: Лидери; Учещи се; Начинаещи
3	Модел за оценка на зрелостта на свързаното предприятие	Rockwell Automation, (2014)	Не са упоменати.	5 степени на зрялост: Оценка на всички аспекти на съществуващата ОТ/ИТ мрежа на организацията; Сигурна и надстроена мрежа и контроли; Дефиниран и организиран оборотен капитал от данни; Анализ; Сътрудничество.
4	Модел за оценка на зрелостта и готовността за преход към Индустрия 4.0	Andreas Schumacher и колектив, (2016)	9 категории: Стратегия; Лидерство; Клиенти; Продукти; Операции Култура; Хора; Управление; Технологии	Правят се среднопретеглени оценки от 1 до 5 за всяка от категориите.

5	Индекс на зрялост спрямо Индустрия 4.0	Германска национална академия за наука и инженерство (acatech), (2017)	4 категории: Ресурси; Информационни системи; Организационна структура; Култура	6 степени на зрялост от най-ниската към най-високата: компютъризация; свързаност; видимост; прозрачност; предсказуемост; адаптивност.
6	Инструмент за самооценка на дигиталната зрялост	PriceWaterhouse Coopers, (2016)	7 категории: дигитални бизнес модели и достъп до клиентите; цифровизация на предлаганите продукти и услуги; дигитализация и интеграция на вертикалните и хоризонтална вериги на стойност; анализ на данни като ключова способност; гъвкава ИТ архитектура; данъчно, правно съответствие и сигурност; организация, служители и дигитална култура	4 категории: дигитален новак; вертикален интегратор; хоризонтален сътрудник; дигитален шампион
7	Модел за оценка спрямо Индустрия 4.0: Industry 4.0-MM	Gökalp и колектив, (2017)	5 категории: Управление на активите; Управление на информацията; Управление на приложенията; Привеждане в съответствие; Трансформация на процесите:	6 степени на готовност: Ниво 0: Незавършен Ниво 1: Изпълнен Ниво 2: Управляван Ниво 3: Установен Ниво 4: Предсказуем Ниво 5: Оптимизиран
8	Open DMAT – Инструмент за оценка на цифровата зрялост на Европейската комисия	Европейска комисия, 2023	6 категории: Цифрова стратегия на организацията; Цифрова готовност; Цифровизация, ориентирана към човека; Управление на данни; Автоматизация и изкуствен интелект;. Екологосъобразна цифровизация.	Цялостната степен на зрялост на цифровите технологии от 0 до 100% и оценка от 0 до 100% за всяка от шестте категории.

Източници: Собствена систематизация, базирана на: Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Bay, L., 2017. The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. *AMCIS 2017 Proceedings 6*. Available at: <https://aisel.aisnet.org/amcis2017/Enterprise/Presentations/6>; Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Forstenhäusler, S., 2016. SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2016, pp. 1297-1302.; IMPULS, 2015. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses. IMPULS. Available at: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>; Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W., 2016. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness

and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP* 52, pp. 161-166; Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., ten Hompel, M., 2020. Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY), Munich 2020.; Gökalp, E., Şener, U., Eren, P.E., 2017. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In: Mas, A., Mesquida, A., O'Connor, R., Rout, T., Dorling, A. (eds) Software Process Improvement and Capability Determination. SPICE 2017. *Communications in Computer and Information Science*, vol 770. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10; European Commission. n.d. European Digital Innovation Hubs Network: Open DMAT - Оценка на цифровата зрялост. [online]. European Commission. Available at: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/bg/open-dma>

Вторият параграф представя мотивирана обосновка за избора на конкретен модел за провеждане на емпиричното изследване на готовността за Индустрия 4.0 на българските МСП в сектор „Преработваща промишленост“, а именно моделът „Готовност за Индустрия 4.0“, разработен от фондация IMPULS и Германската асоциация на машиностроителната индустрия (VDMA). Аргументите за избор на конкретния модел могат да бъдат синтезирани, както следва:

- Първо, за разлика от други модели като Industry 4.0-MM и SIMMI 4.0, моделът на фондация IMPULS обхваща и оценява състоянието, както на техническите, така и на организационните аспекти, които са необходими за успешен индустриален преход, което представлява един от основните изводи от литературното изследване в първа глава.
- Второ, моделът се базира на реална емпирична информация от бизнеса и е добре теоретично и практически аргументиран. След първоначалната си разработка, моделът е тестван и валидиран на два етапа – веднъж с 489 немски компании и втори път с 289 немски компании с различен размер, опериращи в сферата на производството и машиностроенето.
- Трето, налични са подробно описание на методологията и инструментариума за събиране и анализ на данните.
- Четвърто, моделът е успешно използван и прилаган за определяне готовността за преход към Индустрия 4.0 в редица проучвания в различни държави като Германия (IMPULS Foundation, 2015), Бразилия (Moura, Kohl, 2020), Турция (Nuroğlu, 2018), което е индикация за приложимостта и актуалността на модела и заложената методология.
- Пето, моделът на фондация IMPULS сравнение с другите модели е по-приложим, тъй като българската икономика е силно зависима от малки и средни предприятия, които представляват над 99% от всички фирми и осигуряват над 75% от заетостта (НСИ, 2024). Повечето от тях са активни в традиционни индустрии – текстил, хранително-вкусова промишленост, машиностроене и

услуги. Тези сектори обикновено имат по-ниска степен на дигитализация и ограничен капацитет за инвестиции в сложни технологични системи. IMPULS е създаден именно за да диагностицира реалното състояние на подобни компании и да очертае постижими стъпки към дигитална трансформация.

- Шесто, моделът е специално разработен за компании, опериращи в сферата на производството и машиностроенето, което съвпада с ограниченията поставени по отношение на обекта на изследването.

В третия и последен параграф от втора глава е разгърната методологическата рамка за провеждане на емпиричното изследване. В подточка 2.3.1. подробно е представен моделът на фондация IMPULS, който определя готовността на дадена бизнес организация за индустриален преход посредством оценка на шест основни измерения, които са представени на фиг. 1. Всяко от шестте измерения се свързва с 18 на брой аспекти, които се асоциират с определени изисквания и на тази база се определя степента на готовност за Индустрия 4.0 (Lichtblau et al, 2015).

Фиг. 1. Категории и аспекти на модела INDUSTRIE 4.0 READINESS на фондация IMPULS



Източник: IMPULS, 2015. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses. IMPULS. Available at: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>

Моделът, въз основа на специално заложен изисквания (критерии) за всеки от 18-те аспекта, определя готовността на дадена организация на 6 нива – от 0 до 5 за всяка от шестте оценявани категории. Всяка от шестте категории се характеризира с определено тегло (вж. Таблица 2) и максимален брой точки въз основа на което накрая се определя цялостен коефициент на готовност на компанията на база на среднопретеглената стойност от получените средни оценки за всеки от шестте аспекта. Максималният брой точки, който дадена компания може да получи общо за шестте категории и респ. да бъде класирана на най-високото ниво е 100 точки.

Таблица 2. Разпределение на теглата и точките за всяка от шестте категории на модела *INDUSTRIE 4.0 READINESS*

	Категория	Тегло	Точки
1	Стратегия и организация	0,254	25
2	Интелигентна фабрика	0,143	14
3	Интелигентни операции	0,102	10
4	Интелигентни продукти	0,185	19
5	Услуги, управлявани от данни	0,138	14
6	Служители	0,179	18
	Общо	1.00	100

Източник: Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. *INDUSTRIE 4.0 READINESS*. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Представените в Таблица. 2 тегла на шестте аспекта са дефинирани за целите на изследване на немски компании. Въпреки това, в рамките на изследването и за българските компании са приложени същите тегла, поради убежденията на изследователя, че българската индустрия е строго зависима от немската такава като аргументите за това са подробно изложени в дисертационния труд,

В тази част от дисертационния труд, моделът на фондация IMPULS е подробно разгледан и представен. Представени са дефинираните изисквания (критерии) за измерване на готовността за Индустрия 4.0 във всяка от шестте области, които трябва да бъдат изпълнени, за да може дадена бизнес организация да се класира в по-високо ниво на готовност.

Таблица 3. Класификация и изисквания за категория „Стратегия и организация“

Ниво	Изисквания
Ниво 5 Топ изпълнител	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Стратегията е изпълнена и редовно преразглеждана ✓ Правят се инвестиции в Индустрия 4.0 за цялото предприятие ✓ Установено е единно управление на иновациите в цялото предприятие
Ниво 4 Експерт	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Стратегията е в процес на изпълнение и се преразглежда спорадично ✓ Правят се свързани с Индустрия 4.0 инвестиции в множество области ✓ Иновациите се управляват в множество отдели
Ниво 3 Опитен	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Формулирана стратегия за преход към Индустрия 4.0 ✓ Осъществяват се свързани с Индустрия 4.0 инвестиции в няколко области ✓ Управление на иновациите в изолирани области
Ниво 2 Средно напреднал	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Разработена е стратегия за Индустрия 4.0 и е дефинирана система от индикатори ✓ Свързаните с Индустрия 4.0 инвестиции са на ниско ниво
Ниво 1 Начинаещ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Стартирани са пилотни инициативи в някои отдели ✓ Осъществени са първоначални инвестиции в Индустрия 4.0
Ниво 0 Аутсайдер	Нито едно изискване не е изпълнено

Източник: Адаптирано от Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung, Cologne

Таблица 4. Класификация и изисквания за категория „Интелигентна фабрика“

Ниво	Изисквания
Ниво 5 Топ изпълнител	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Инфраструктурата на оборудването е в съответствие с бъдещите функционалности ✓ Всички данни се събират и използват ✓ Осигурена е цялостна интегрирана системна ИТ поддръжка на процесите
Ниво 4 Експерт	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Текущата инфраструктура на оборудването отговаря на изискванията на Индустрия 4.0 или може да се надгражда ✓ Повечето данни се събират, само някои данни се използват ✓ Цялостна ИТ поддръжка на процесите (системно интегрирана)

Ниво 3 Опитен	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Бъдещи функционалности са (частично) удовлетворени или могат да бъдат изцяло надградени ✓ Релевантни данни се събират цифрово и се използват само в някои области ✓ Някои процеси се поддържат от ИТ системи и са свързани чрез интерфейси
Ниво 2 Средно напреднал	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Бъдещите функционалности са (частично) удовлетворени или могат да бъдат надградени до известна степен ✓ Данните се събират (но до голяма степен ръчно) и се използват само за някои дейности ✓ Някои области в рамките на компанията са интегрирани и се поддържат от ИТ системи
Ниво 1 Начинаещ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Настоящата инфраструктура на оборудването удовлетворява някои от бъдещите изисквания ✓ Поне един основен бизнес процес се поддържа от ИТ система
Ниво 0 Аутсайдер	Нито едно изискване не е изпълнено

Източник: Адаптирано от Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung, Cologne

Таблица 5. Класификация и изисквания за категория „Интелигентни операции“

Ниво	Изисквания
Ниво 5 Топ изпълнител	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Цялостно интегрирано в системата споделяне на информация ✓ Внедрени са автономни процеси на управление и реакция ✓ Внедрени са решения за цялостна ИТ сигурност и облачни решения
Ниво 4 Експерт	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Широкообхватно и системно интегрирано споделяне на информация ✓ Тестване на процеси за автономно управление и реакции ✓ Имплементирани са механизми за широкообхватна ИТ сигурност и са въведени облачни решения в употреба
Ниво 3 Опитен	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Частично системно интегрирано споделяне на информация ✓ Частично внедрени решения за ИТ сигурност ✓ Внедряване на първоначални решения за облачен софтуер за съхранение и анализ на данни
Ниво 2 Средно напреднал	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Частично въведено вътрешно споделяне на информация ✓ Множество планирани решения за ИТ сигурност или първоначални решения в процес на разработка

Ниво 1 Начинаещ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Първи стъпки към вътрешно, интегрирано в системата споделяне на информация ✓ Планирани първоначални решения за ИТ сигурност
Ниво 0 Аутсайдер	Нито едно изискване не е изпълнено

Източник: Адаптирано от Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Таблица 6. Класификация и изисквания за категория „Интелигентни продукти“

Ниво	Изисквания
Ниво 5 Топ изпълнител	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Продуктите разполагат с цялостни допълнителни функции, базирани на ИКТ ✓ Цялостно използване на събраните данни по време на употреба за различни функции
Ниво 4 Експерт	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Продуктите разполагат с допълнителни функции, базирани на ИКТ в различни области ✓ Целенасочено използване на събраните данни по време на употреба за определени функции
Ниво 3 Опитен	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Продуктите имат множество взаимосвързани допълнителни функции, базирани на ИКТ ✓ Някои от събраните данни по време на употреба за използват за анализ
Ниво 2 Средно напреднал	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Продуктите имат първи имплементирани допълнителни функции, базирани на ИКТ ✓ Събират се данни по време на употреба, но не се анализират/ използват от организацията
Ниво 1 Начинаещ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Продуктите имат първи признаци на допълнителни функции базирани на ИКТ
Ниво 0 Аутсайдер	Нито едно изискване не е изпълнено

Източник: Адаптирано от Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Таблица 7. Класификация и изисквания за категория „Услуги, управлявани от данни“

Ниво	Изисквания
Ниво 5 Топ изпълнител	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Услуги, управлявани от данни чрез интеграция с клиента ✓ Приходи, генерирани от услуги, базирани на данни (>10%) ✓ Висок процент на използване на данни (>50% от събраните данни)
Ниво 4 Експерт	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Услуги, управлявани от данни чрез интеграция с клиента ✓ Приходи, генерирани от услуги, базирани на данни (<10%)

	✓ Използване на данни (20%–50% от събраните данни)
Ниво 3 Опитен	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Услуги, управлявани от данни, но без да са интегрирани с клиента ✓ Ниски приходи, генерирани от услуги, базирани на данни (<7,5%) ✓ Използване на данни (20%–50% от събраните данни)
Ниво 2 Средно напреднал	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Услуги, управлявани от данни, но без интеграция с клиента ✓ Ниски приходи, генерирани от услуги, базирани на данни (<2,5%) ✓ Слабо използване на данни от фазата на използване (<20% от събраните данни)
Ниво 1 Начинаещ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Услуги, управлявани от данни, но без интеграция с клиента ✓ Първоначални приходи, генерирани от услуги, базирани на данни (<1%)
Ниво 0 Аутсайдер	Нито едно изискване не е изпълнено

Източник: Адаптирано от Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Таблица 8. Класификация и изисквания за категория „Служители“

Ниво	Изисквания
Ниво 5 Топ изпълнител	✓ Служителите имат всички необходими умения в множество релевантни области
Ниво 4 Експерт	✓ Служителите имат адекватни умения в множество релевантни области
Ниво 3 Опитен	✓ Служителите имат адекватни умения в някои релевантни области
Ниво 2 Средно напреднал	✓ Служителите имат ниско ниво на умения в няколко релевантни области
Ниво 1 Начинаещ	✓ Служителите имат ниско ниво на умения само в една релевантна област
Ниво 0 Аутсайдер	Нито едно изискване не е изпълнено

Източник: Адаптирано от Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

За да се оцени готовността за преход към Индустрия 4.0, всяка компания, попълнила въпросника получава оценка по всяко едно от шестте направления от 0 до 5. Тази оценка се умножава по съответното тегло от Таблица 2. За да се получи цялостната оценка на готовността от 0 до 5, се събират получените оценки от шестте аспекта и се умножават по 100 съгласно следната формула:

$$\text{Ниво на готовност}^1 = ((\text{СО} \times 0.254) + (\text{ИФ} \times 0.143) + (\text{ИО} \times 0.102) + (\text{ИП} \times 0.185) + (\text{ИОД} \times 0.138) + \text{С} \times 0.179)) \times 100$$

На база на получената финална оценка, съответната организация се класира в едно от следните нива, които се асоциират с три категории, изразяващи степента на подготвеност, както следва:

- „Начинаещ“ – като такива се класират компании, които не са направили нищо или много малко за реализиране на индустриален преход и попадат на ниво 0 (аутсайдер) и ниво 1 (начинаещ).
- „Учещ се“ – тук попадат компаниите, чиято подготовка съответства на ниво 2 (напреднал) и които са реализирали успешно първите стъпки от своя индустриален преход.
- „Лидери“ – като такива се определят компаниите, чиято подготовка съответства на нива 3 (опитен); 4 (експерт) и 5 (топ изпълнител). Тези компании вече са на път успешно да инкорпорират принципите на Индустрия 4.0 в своята дейност (Lichtblau et. al, 2015).

В подточка 2.3.2. са изложени целта, обекта, изследователската теза и изследователските въпроси, на които цели да отговори емпиричното изследване.

Основната цел на емпиричното изследване е да осигури първична информация в шест основни направления (Стратегия и организация; Интелигентна фабрика; Интелигентни операции; Интелигентни продукти; Услуги, управлявани от данни; Служители) въз основа на която е определено общото ниво на готовност на група от български МСП, опериращи в сектор С Преработваща промишленост и са формулирани препоръки и модели за повишаване на готовността за преход към Индустрия 4.0.

Обектът на емпиричното изследване са български МСП, чийто код на икономическа дейност съгласно Класификацията на икономическите дейности (КИД-2008) от 01.01.2008 година на НСИ, попада в група С Преработваща промишленост.

¹ Където:

- СО = Стратегия и организация, а 0.254 е теглото на аспекта.
- ИФ = Интелигентна фабрика, 0.143 представлява теглото на аспекта.
- ИО = Интелигентни операции с тегло 0.102.
- ИП = Интелигентни продукти с тегло в общото ниво на готовност 0.185.
- УОД = Услуги, основани на данни с тегло 0.138.
- С= Служители с тегло 0.179.

Изследователската теза е, че готовността на българските МСП, опериращи в сектор Преработваща промишленост е на незадоволително равнище за успешен преход към Индустрия 4.0. Като „незадоволително равнище“ се дефинират нива от 0 до 2, които съответстват на категориите „Начинаещ“ (нива 0 и 1) и „Учещ се“ (ниво 2). За достатъчно високо ниво на готовност за успешен преход ще се считат нива 3 (опитен), 4 (експерт) и 5 (топ изпълнител) или групата на т.нар. „Лидери“ според модела INDUSTRIE 4.0 READINESS (2015). Компаниите, които са начинаещи и учещи се (на нива от 0 до 2 вкл.) са такива компании, които или не са предприели никакви стъпки в посока Индустрия 4.0 или са реализирали успешно първоначални стъпки (ниво 2), което свидетелства за наличието на потенциал за преход в определени аспекти, което обаче може да се дължи на моменти нужди на предприятието в конкретни области и не е гаранция за успешно прилагане на принципите на Индустрия 4.0 в рамките на цялата организация. Компаниите, които се класират като Лидери съответно на нива от 3 до 5 вече се характеризират с имплементиране на принципите на Индустрия 4.0 в множество аспекти (ниво 3) или в почти всички или всички аспекти (нива 4 и 5) на дейността си, което е показател за висок потенциал и предпоставка за цялостен успешен преход към Индустрия 4.0.

Изследователските въпроси, чиито отговор се търси при провеждане на изследването са, както следва:

1. Какви мерки/действия в организационен и технологичен аспект са предприели българските бизнес организации, опериращи в сектор С Преработваща промишленост за осъществяване на преход към Индустрия 4.0?
2. Какво е нивото на готовност за преход към Индустрия 4.0 на групата от бизнес организации, опериращи в сектор С Преработваща промишленост?
3. Кои са пречките за българските бизнес организации, опериращи в сектор С Преработваща промишленост за осъществяване на преход към Индустрия 4.0?
4. Има ли зависимост между размера (категорията съгласно ЗМСП (lex.bg, 2020)) на предприятията и нивото им на готовност спрямо Индустрия 4.0?
5. Има ли зависимост между приходите на предприятията и нивото им на готовност спрямо Индустрия 4.0?
6. Има ли зависимост между географското разположение на бизнес организациите и степента им на готовност за индустриален преход?

7. Има ли зависимост и ако, да, в каква степен между инвестиционната активност на бизнес организациите и степента им на готовност за Индустрия 4.0?
8. В каква степен между нивото на уменията на служителите на бизнес организациите оказва влияние върху степента им на готовност за Индустрия 4.0?
9. В каква степен между технологичното равнище на бизнес организациите влияе върху степента им на готовност за Индустрия 4.0?
10. В каква степен наличието на автономни процеси в компаниите от сектор „Преработваща промишленост“ оказва влияние върху нивото им на готовност за Индустрия 4.0?
11. В каква степен предлагането на интелигентни продукти и услуги, базирани на данни оказва влияние върху готовността на преход на компаниите в извадката?
12. Какъв подход/стъпки биха могли да предприемат българските мениджъри на МСП, за да повишат готовността на управляваните от тях предприятия за Индустрия 4.0?
13. Какви действия биха могли да се предприемат на институционално ниво, за да се подпомогнат българските МСП в прехода им към Индустрия 4.0 и повишаването на тяхната цифрова зрялост?

В подточка 2.3.3. подробно е представен инструментариумът за събиране, обработка и анализ на първичните данни от изследването. Избраният инструментариум за събиране на първична информация е индивидуална анонимна анкета, част от модела INDUSTRIE 4.0 READINESS. В рамките на тази подточка анкетната карта е подробно представена и анализирана, като за целите на отразяване на някои ключови характеристики на българските МСП са добавени и адаптирани някои от демографските въпроси вкл. приходи в хил. лв. през последните две години, брой служители, регион, в който се намира предприятието и др. Целта на добавените демографски въпроси е да позволи изследването на зависимостите между приходите, категорията, географското местоположение и сектора на операции на компаниите и нивото им на готовност за Индустрия 4.0.

По-нататък в същия раздел е представен *инструментариумът*, който е приложен за *анализ на данните* от анкетата включва качествени и количествени (статистически методи). Качественият инструментариум включва:

- *Дескриптивен анализ* – този тип анализ е приложен за определяне на категориите на готовност въз основа на анкетите, което осигурява ориентация в предварително

обработените данни и е опосредства преминаването към същинската статистическа обработка на събраните данни.

- *Анализ* – този метод е приложен за определяне на връзките и зависимостите между различните аспекти (стратегия, служители и др.) в рамките на предприятията за определяне на готовността за преход към Индустрия 4.0.
- *Метод на индукция* – този метод е приложен при извеждане на заключения относно категориите на готовност за преход към Индустрия 4.0. Въз основа на отделните наблюдения са направени заключения по отношение на съответните категории.
- *Метод на дедукция* – този метод е приложен при определяне на конкретните пречки за преход към Индустрия 4.0 за всяка от категориите, тъй като те са предварително дефинирани в модела за всяка от категориите. Следователно при класифициране на дадено предприятие в конкретна категория, то съответните пречки за преход към Индустрия 4.0 за конкретната категория се считат за присъщи за него, тъй като са вече потвърдени в изследването INDUSTRIE 4.0 READINESS.
- *Сравнителен анализ (сравнение)* – този метод е приложен с цел идентифициране на сходствата и различията между различните категории на готовност на българските бизнес организации в целевия сектор, както и по отношение на идентифициране на сходства и различия в „поведението“ на организациите по отношение на Индустрия 4.0 според тяхната категория, приходи и географска локация.
- *Метод на синтез* – този метод е използван за целите на извеждане на заключения въз основа на резултатите извършените наблюдения относно нивото на готовност за преход към Индустрия 4.0 на бизнес организациите в сектор С Преработваща промишленост в България, както и за формулиране на препоръки според различните категории на готовност за повишаване на готовността за успешен преход.

Приложеният статистически инструментариум включва:

- *Корелационен анализ* – за целите на установяване на зависимости между готовността за Индустрия 4.0 и ключови организационни и технологични характеристики на компаниите в извадката е приложен корелационен анализ. За целта първо е приложен *методът на кодиране на емпирична информация*, при който качествени променливи (например: микро, малко, средно, голямо предприятие) са преведени в количествени стойности, позволяващи тяхното статистическо моделиране. Променливите, които не се характеризират с градация са дефинирани чрез фиктивни

(dummy) променливи като например региона, в който компаниите оперират – Югозападен, Северозападен и т.н. Корелационният анализ е реализиран с помощта на програмата Excel, функция „Correlation“ като е изследвано наличието на корелация (зависимост) между определената категория (начинаещ, учещ, лидер) и категорията на предприятията (микро, малко, средно, голямо), тяхното местоположение, сектор и приходите им за последните две финансови години, предхождащи попълването на анкетата; наличие на автономни процеси; предлагане на интелигентни продукти и услуги, основани на данни; умения на служителите. В корелационния анализ са включени 4 основни характеристики (размер (категория), приходи, сектор на дейност и географско местоположение) и 6 допълнително изведени такива. За целите на обогатяване на корелационния анализ и регресионния модел са изведени допълнителни демографски характеристики на компаниите, участвали в изследването чрез класифицирането им в конкретни категории въз основа на отговорите на респондентите на някои от ключовите за определяне нивото на готовност за Индустрия 4.0 въпроси в анкетата, както следва:

- 1) Въз основа на отговорите на респондентите на въпрос 4 от анкетната карта **„В кои области от дейността на компанията Ви инвестирахте с цел внедряване на Индустрия 4.0 през последните две години? от секция „Стратегия и организация“**, е дефиниран фактор „Инвестиционна активност“, според който компаниите са разграничени на: 1) Компании с ниска инвестиционна активност във връзка с Индустрия 4.0 – компании с преобладаващо (4+) малки реализирани инвестиции през последните 2г.; 2) Компании със средна инвестиционна активност – преобладаващо средни инвестиции през последните 2 г.; 3) Компании с висока инвестиционна активност – реализирали са преобладаващо големи инвестиции през последните 2 г. Целта е да се идентифицира в каква степен инвестиционна активност има значение за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 в МСП.
- 2) Въз основа на резултатите от въпрос 2 **„Какви технологии използвате във вашата компания?“** от секция Стратегия и организация е дефиниран фактор „Технологично ниво“, въз основа на който, компаниите са разграничени на: 1) Компании с ниско технологично ниво – използват 2 или по-малко от изброените 7 технологии; 2) Компании със средно технологично ниво – използват >2 технологии; 3) Компании с високо технологично ниво – използват 5 или повече

- технологии. Целта е да се идентифицира каква е тежестта на технологичния арсенал по отношение повишаването на нивото на готовност за Индустрия 4.0.
- 3) Въз основа на отговорите на респондентите на въпрос 1 **„Вашата компания предлага ли продукти, оборудвани със следните допълнителни функционалности, базирани на информационни и комуникационни технологии?“** от секция Интелигентни продукти е дефиниран фактор „Предлагане на интелигентни продукти (ИП)“, а компаниите са разграничени на такива, които предлагат интелигентни продукти и такива, които не го правят. Целта е да се идентифицира какво е значението на производството на интелигентни продукти за повишаване на зрелостта по отношение на Индустрия 4.0.
- 4) Фактор „Наличие на автономни процеси (АП)“ е дефиниран на база на отговорите на въпрос 2 от секция Интелигентни операции **“Визията на Индустрия 4.0 е детайл/изделие, който се ръководи самостоятелно в производството. Вашата компания има ли вече процеси/операции, при които детайлите/ изделията се движат самостоятелно в производството?“**. На база отговорите на този въпрос, компаниите са разграничени на такива, които имат и които нямат автономни процеси като се цели да се установи в каква степен нивото на готовност на компаниите, които имат такива процеси/операции е по-висока от тази на тези, които нямат.
- 5) Въз основа отговорите на респондентите на въпрос 1 от анкетната карта **„Как оценявате уменията на служителите си, когато става въпрос за бъдещите изисквания на Индустрия 4.0?“** от секция „Служители“ е формулиран фактор „Умения на служителите“ като компаниите са разграничени на: 1) Компании с ниска степен на подготвеност на служителите;; 2) Компании със средна степен на подготвеност на служителите;; 3) Компании с висока степен на подготвеност на служителите.
- 6) Факторът „Услуги, базирани на данни“ е формулиран въз основа на информацията, получена чрез въпрос 1 от секция „Услуги, базирани на данни“ **„Данните за процесите, събрани в производството и във фазата на използване, дават възможност за нови услуги. Предлагате ли такива услуги?“** . Компаниите са разграничени на: 1) Компании, които не предлагат такива услуги; 2) Компании, които предлагат услуги базирани на данни без

интеграция с клиента; 3) Компании, които предлагат услуги базирани на данни, интегрирани с клиента.

- *Многофакторен регресионен анализ* – за да се оценят факторите, определящи нивата на готовност за Индустрия 4.0 сред фирмите в изследването е направен многофакторен линеен регресионен анализ чрез използване на функция „Regression” за статистически анализ в Excel.

Глава III: Анализ на резултатите от изследването

Третата глава е пряко свързана с изпълнение на останалите три задачи на дисертационния труд, а именно чрез провеждане на емпиричното изследване да се определи готовността на преход към Индустрия 4.0 на предприятията от сектор „Преработваща промишленост“, участвали в изследването; да се формулират препоръки към мениджърите за повишаване на готовността на компаниите, както и да се разработят стъпкови модели на макро (институционално) и микро (предприятие), чрез които да се стимулира индустриалният и цифров преход.

Третата глава на дисертационния труд е структурирана в шест основни параграфа, предоставящи подробна информация за начина на организация и провеждане на емпиричното изследване; характеристика на извадката; подробен анализ на резултатите от анкетната карта и дефиниране на готовността за Индустрия 4.0 в шестте оценявани направления на модела на фондация IMPULS, както и дефиниране на общо ниво на готовност на компаниите, участвали в изследването. Четвъртият параграф има за цел да установи чрез корелационен и многофакторен регресионен анализи наличието на зависимости между общото ниво на готовност за Индустрия 4.0 на компаниите в извадката и техни ключови характеристики вкл. (приходи, категория, сектор, географско местоположение, инвестиционна активност, предлагане на услуги, базирани на данни и др.). Петият параграф очертава ключовите пречки пред предприятията, участвали в изследването за повишаване на нивото им на готовност за Индустрия 4.0 и предоставя препоръки към мениджърския състав по всеки от шестте оценявани аспекта на модела на фондация IMPULS. Финалният параграф представя авторските модели за повишаване на нивото на готовност за Индустрия 4.0 на институционално ниво и на микро ниво в самите компании.

Първи и втори параграф се фокусират върху начина на провеждане на изследването и охарактеризиране на извадката. В рамките на изследването са взели участие общо 50

български микро, малки, средни и големи предприятия, опериращи в целевия сектор, като целевият размер на извадката за целите на изследването е изпълнен на 100%.

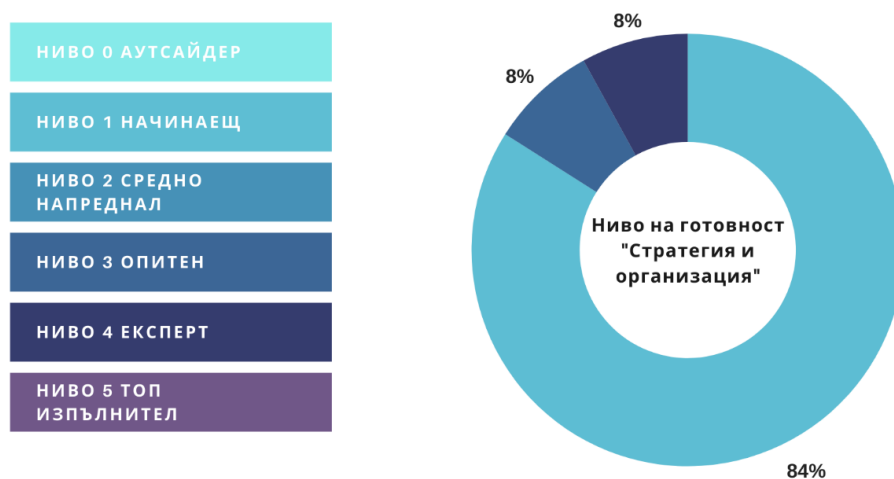
Според данни от НСИ към края на 2023г. в сектор С „Преработваща промишленост“ оперират общо 30 125 компании, което представлява изследваната генералната съвкупност. При разпространение на анкетата е достигнато до 1/3 от генералната съвкупност (10 000 компании в сектора), но са получени отговори от 50 компании.

Според направения анализ на отговорите, предоставени на въпросите в раздел „Общи въпроси за Вашата компания“, са направени следните заключения:

- 78% (39 фирми) от компаниите попадат в сектор „Производство“ и 22% (11 фирми) в сектор „Машиностроене“;
- Извадката обхваща компании, опериращи във всички региони на планиране на територията на Р. България, като преобладават компании от Югозападен регион (36%) и Южен централен (28%). Разпределението сред другите региони вкл. - Северозападен (8%), Северен централен (20%), Североизточен (10%), Югоизточен (14%).
- Въз основа на дефинициите за МСП съобразно ЗМСП (lex.bg, 2020), 88% от компаниите, попадащи в извадката са МСП, тъй като средносписъчният брой на служителите им през последните 2 приключени финансови години към момента на провеждане на анкетата са под 249 души. 12% (6 фирми) принадлежат към категория големи предприятия, тъй като през последните 2 приключени финансови години, предхождащи изследването са имали над 250 и повече служители. Следователно, в извадката има представители на всички категории предприятия, което позволи изследване на наличието на зависимост между категорията на компаниите и напредъка по отношение на Индустрия 4.0. За целите на сравнимост между всички категории бе оценена и готовността на големите предприятия, но дефинираните препоръки и дефинирани модели за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 са отправени към МСП.
- 56% от компаниите са имали приходи до 3.9 млн. лв. за последните две години; 26% имат приходи до 19.5 млн. лв.; 12% - до 97.5 млн. лв. и 6% над 97.5 млн. лв.

Параграф 3.3. от дисертационния труд представя подробен анализ на нивото на готовност за Индустрия 4.0 във всеки от шестте аспекта, оценявани в модел на фондация IMPULS: 1) Стратегия и организация; 2) Интелигентна фабрика; 3) Интелигентни операции; 4) Интелигентни продукти; 5) Услуги, базирани на данни; 6) Служители и отговаря на изследователски въпроси 1 и 2.

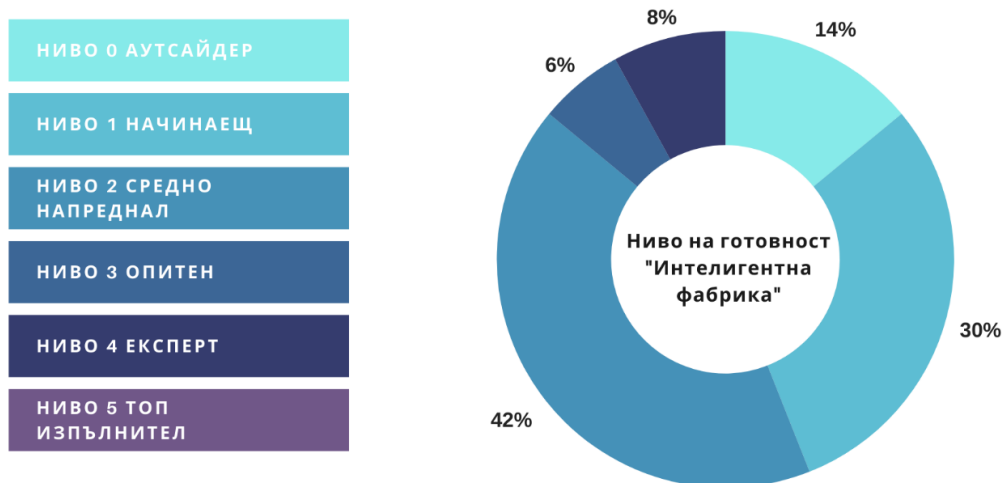
Анализът на резултатите по отношение на аспекта „Стратегия и организация“ (вж. Фиг. 2) , показва, че 84% от компаниите, участвали в изследването са на ниво на готовност 1 „Начинаещи“, 8% са на ниво 3 „Опитен“ и 8% са на ниво 4 „Експерт“. Средното ниво по отношение на тази категория е 0.37, което съответства на „Начинаещи“ при максимално 1.27, което съответства на ниво „Топ изпълнител“.



Фиг. 2 Ниво на готовност на компаниите според категория „Стратегия и организация“

Ако се причисли към крайните нива на готовност, може да се заключи, че 84% (42 компании) попадат в категория „Начинаещи“, 16% (8 компании) попадат в категория „Лидери“. Този резултат е индикация, че преходът към Индустрия 4.0 все още не е основен стратегически приоритет за компаниите или поне не и осъзнат такъв, тъй като се допуска, че някои от респондентите може да не са достатъчно информирани относно Индустрия 4.0 поради което да са отговорили негативно на някои въпроси.

Според резултатите от Фиг. 3 относно аспекта „Интелигентна фабрика“, най-много компании (42% - 21 компании) се намират на ниво на готовност 2 „Средно напреднали“, почти 1/3 (15 компании) са все още на ниво 1 „Начинаещи“, 14% (7 компании) все още не покриват нито едно от изискванията на интелигентната фабрика и са „Аутсайдери“, 8% (4 компании) са на ниво 4 „Експерт“ и 6% или 3 компании са на ниво 3 и са опитни по отношение на този аспект. Средното ниво по отношение на тази категория е 0.23, което съответства на „Начинаещи“ при максимално 0.71, което съответства на ниво „Топ изпълнител“.

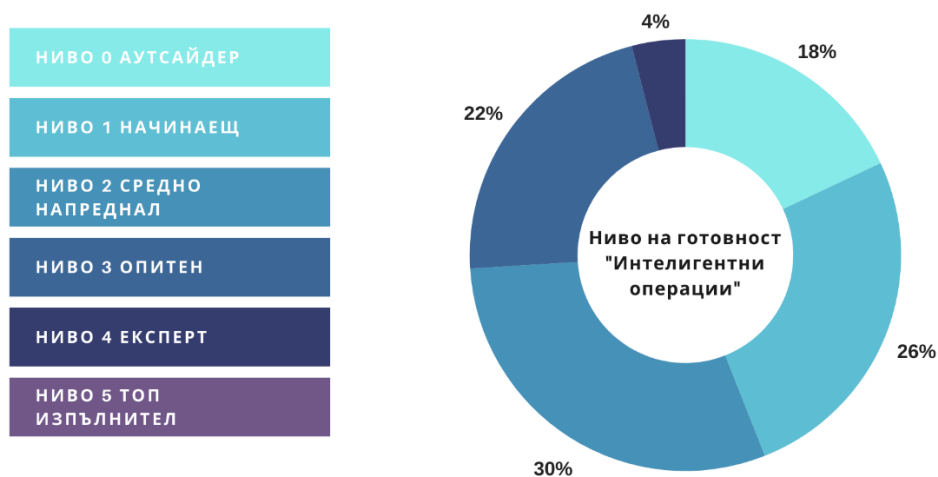


Фиг. 3 Ниво на готовност на компаниите според категория „Интелигентна фабрика“

Ако съотнесем петте нива към трите основни категории на готовност, може да се заключи, че мнозинството от компаниите в изследването 44% (23 компании) са на нива 0 до 1 и съответно са все още начинаещи по отношение на Индустрия 4.0, 42% (21 компании) попадат в категория „Учещи се“ и 7 компании са в категория „Лидери“. Този резултат показва все още сравнително ниско ниво на преход към Индустрия 4.0 и респ. никакво и/или ограничено прилагане на технологии като дигитално моделиране, липса на адекватна инфраструктура и/или неподлежаща на надграждане такава, ниска степен на събиране и използване на данни от процесите и машини и липса и/или ограничена употреба на интелигентни ИТ системи за управление на процесите.

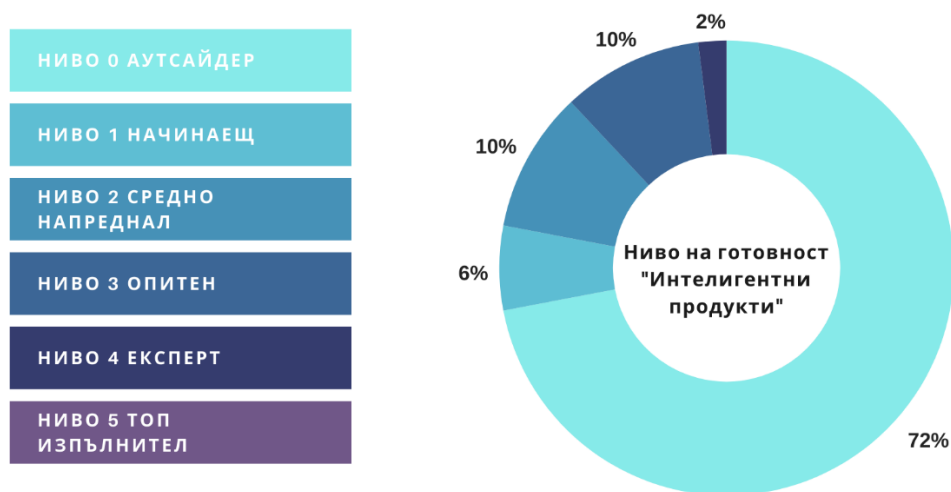
По отношение на аспекта „Интелигентни операции се наблюдава по-равномерно разпределение на компаниите на всички нива, но липсва компания на ниво 5 „Топ изпълнител“. Най-много са компаниите на ниво 2 „Средно напреднал“ – 30% (15 компании), следвани от ниво 1 „Начинаещ“, където попадат 13 компании, ниво 3 „Опитен“, където са 11; на нулево ниво 9 компании и само 2 са на ниво 4 „Експерти“.

Средното постигнато ниво е 0.17, което съответства на „Начинаещи“ при максимално 0.51, което съответства на ниво „Топ изпълнител“ в категорията „Интелигентни операции“.



Фиг. 4. Ниво на готовност на компаниите според категория „Интелигентни операции“

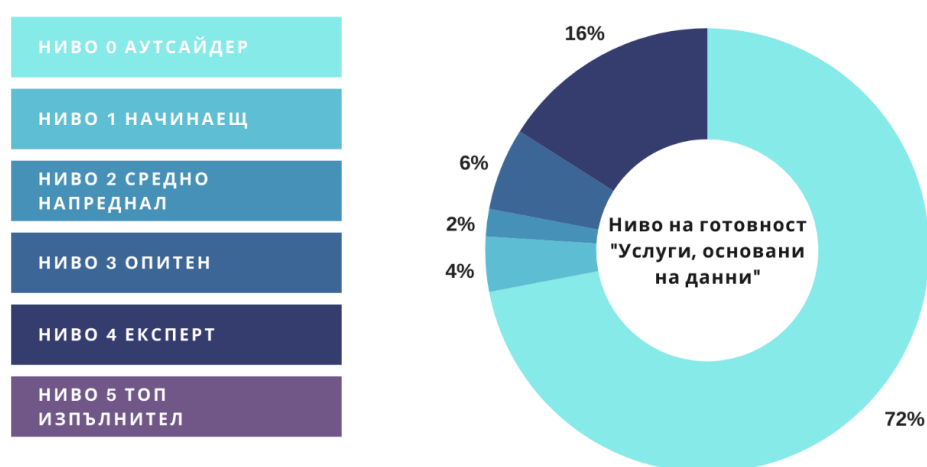
Въз основа на посоченото разпределение, и в този аспект се наблюдава най-голям дял на начинаещите (от ниво 0 до 1 вкл.) – 40% (22 от общо 50 компании); 15 компании (30%) са „Учещи се“ и 13 предприятия (30%) са „Лидери“ в контекста на интелигентните операции като част от Индустрия 4.0.



Фиг. 5. Ниво на готовност на компаниите според категория „Интелигентни продукти“

Резултатите по отношение на аспекта „Интелигентни продукти“, илюстрирани на фиг. 5, индикираха, че тази категория се характеризира с най-много „Аутсайдери“ (компаниите, намиращи се на ниво 0) спрямо предходните аспекти. Този резултат показва, че над 70% от компаниите не произвеждат продукти с каквито и да е интелигентни функционалности. 10% от компаниите са на ниво 2 „Средно напреднали“, което означава, че тези компании са имплементирали някакви ИКТ функционалности в продуктите си и се събират данни от тях, които обаче не се анализират. 10% са „Опитни“

– продуктите имат редица ИКТ функционалности, събират се данни и някои от тях се анализират. 6% са „Начинаещи“ т.е. предприели са първи стъпки по въвеждане на ограничени ИКТ функционалности на своите продукти и само една компания е на ниво 4 „Експерт“, което значи, че продуктите имат множество ИКТ функционалности, а компанията събира целенасочено данни от продуктите си по време на тяхната употреба и ги използват за надграждане конкретни функционалности. Компанията „Експерт“ е голямо предприятие (над 250 души) от Югозападен регион и оперира в сектора на машиностроенето, което предразполага към широка интеграция на ИКТ функционалности в крайния продукт. В тази връзка, следва да се отчете, че в зависимост от вида на производството някои продукти като електронни компоненти, например, имат по-широко поле за интеграция на ИКТ функционалности сравнение с продукти като облекла и текстил, които освен ако нямат специализирани здравни и спортни приложения, традиционно не се характеризират с ИКТ функционалности. Следователно, причината за ниското ниво на готовност сред изследваните компании би могла да се дължи на естеството на произвежданите продукти. В тази категория също няма нито една компания, която да попада на ниво „Топ изпълнител“.



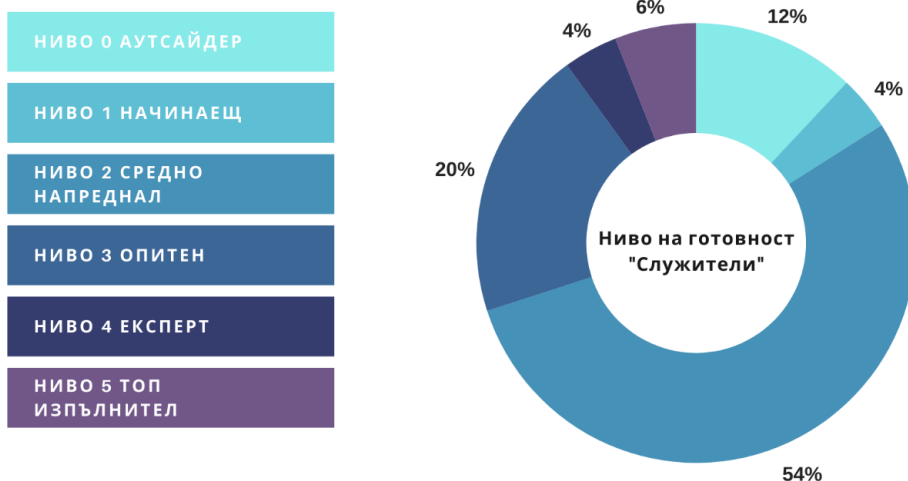
Фиг. 6 Ниво на готовност на компаниите според категория „Услуги, основани на данни“

На фиг. 6 са представени цялостните резултати по отношение на готовността за преход към Индустрия 4.0 в контекста на еволюцията на бизнес моделите в посока предоставяне на услуги, основани на данни, придружаващи продуктите. Подобно на категорията за интелигентните продукти, и тук се наблюдава тенденцията на множество компании (72%), които не покриват нито едно от условията в тази категория и съответно са класифицирани като „Аутсайдери“. За сравнение, немските компании (IMPULS, 2015) на това ниво са били 84.1%, 10 г. по-рано. Интересно е да се отбележи, че втората най-

голяма група сред българските предприятия са „Експерти“ (16% - 8 компании) – това са компаниите, които предлагат услуги, базирани на данни, които са интегрирани с клиента, генерират приходи от тези услуги и използват 20-50% от събираните данни за формулиране и подобряване на тези услуги. 4% са определени като „Начинаещи“ – предлагат услуги без интеграция с клиента, генериращи приход $<1\%$; 6% попадат на ниво „Опитни“ – предлагат услуги, базирани на данни без интеграция с клиента, генерираните приходи са под 7.5% от общите такива и използват между 20-50% от събираните данни за предлагане на такива услуги. Само една компания попада на ниво 2 „Средно напреднал“ – предлага услуги без интеграция с клиента, приходите от които не надвишават 2.5% и използва под 20% от събираните данни.

Общото средно ниво за всички изследвани компании по отношение на тази категория е 0.12, което съответства на ниво 0 „Аутсайдер“, тъй като необходимият коефициент за достигане до ниво 1 „Начинаещи“ за тази категория е 0.14.

Резултатите на фиг. 7 показват, че повече от половината от предприятията, взели участие в изследването, са на ниво 2 „Средно напреднали“, което показва, че служителите им имат ограничени умения само в няколко релевантни области за Индустрия 4.0. 20% (10 компании) са класифицирани като „Опитни“, което означава, че техните служители имат адекватни умения в няколко релевантни области. Само 8 компании са на ниво 0 (6 компании) или ниво 1 (2 компании), следователно служителите им нямат умения в нито една от релевантните области или имат ограничени такива само в една област. Две предприятия са на ниво 4 „Експерт“ и три са на ниво „Топ изпълнител“, което говори, че техните служители съответно имат адекватни или всички необходими умения в множество релевантни области. Този аспект е единственият от всички шест, оценявани в модела, където се наблюдават предприятия, попадащи на ниво 5 „Топ изпълнител“. Предприятията на това ниво са микро, средно и голямо като и трите са съсредоточени в Югозападен регион, което затвърждава хипотезата, че предприятията в южна България, и най-вече Югозападен регион, където попада и столицата, са по-напреднали в прехода си към Индустрия 4.0 сравнение с онези, които са локализирани в северна България.



Фиг. 7 Ниво на готовност на компаниите според категория „Служители“

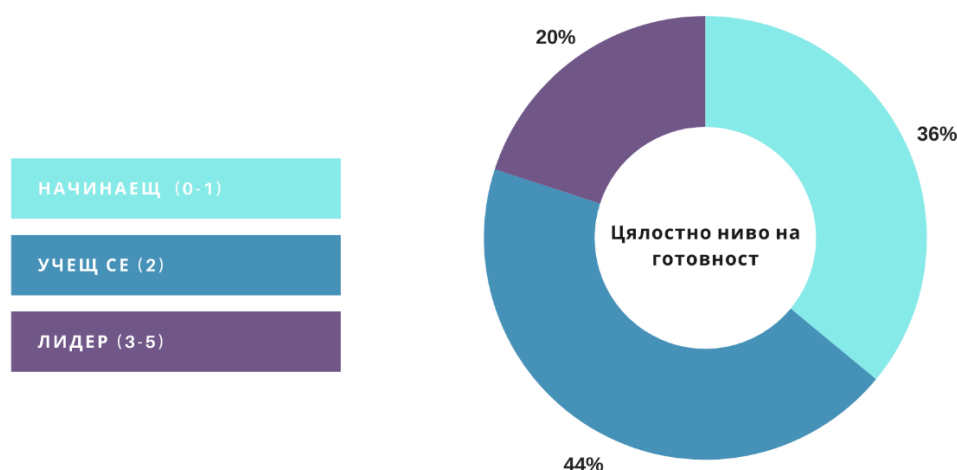
Средният резултат за аспект „Служители“ е 0,39 при максимално възможно 0.89, което показва, че повечето фирми са на ниво средно напреднали или опитни. Това показва, че българските предприятия разполагат с квалифицирани кадри, които при имплементиране на подходящи програми за повишаване на квалификацията и/или преквалификация биха могли да подпомогнат прехода на предприятията към по-високо ниво на готовност за Индустрия 4.0. Именно в аспект „Служители“, българските предприятия отбелязват и най-високия си резултат. Същата тенденция се наблюдава и в изследването на фондация IMPULS (2015) сред немските компании, където на нива между 0 и 2 като начинаещи или средно напреднали са били класирани 75.5% от предприятията, а в настоящото изследване на тези нива попадат 70% от българските предприятия, взели участие в изследването. Това явление би могло да се дължи и на факта, че респондентите са мениджъри и служители в съответните компании и биват питани относно техните подчинени и колеги, към които потенциално могат да имат и емоционална привързаност, което създава предпоставки за пристрастни и/или завишени оценки относно уменията им вследствие индивидуалните възприятия на респондента.

След подробният анализ и дефиниране на нивата на готовност от 0 до 5 за всеки от шестте аспекта на модела, е определено и цялостното ниво на готовност за Индустрия 4.0 на предприятията в извадката. В този раздел е представен крайният резултат от оценката на ниво на готовност за преход към Индустрия 4.0 на българските МСП, взели участие в изследването. Крайният коефициент на готовност е изчислен съобразно следната формула за среднопретеглена стойност:

$$\text{Ниво на готовност} = ((\text{СО} \times 0.254) + (\text{ИФ} \times 0.143) + (\text{ИО} \times 0.102) + (\text{ИП} \times .185) + (\text{ИОД} \times 0.138) + \text{С} \times 0.179)) \times 100$$

Където:

- СО = Стратегия и организация, а 0.254 е теглото на аспекта.
- ИФ = Интелигентна фабрика, 0.143 представлява теглото на аспекта.
- ИО = Интелигентни операции с тегло 0.102.
- ИП = Интелигентни продукти с тегло в общото ниво на готовност 0.185.
- УОД = Услуги, основани на данни с тегло 0.138.
- С= Служители с тегло 0.179.



Фиг. 8 Крайна оценка на нивото на готовност за преход към Индустрия 4.0

В края на параграф 3.3 е изложена и общата крайна оценка според модела на фондация IMPULS и Германската инженерна федерация (VDMA), която класифицира предприятията в три основни категории:

- **Категория „Начинаещ“** обхваща предприятията, чиято кумулативна оценка по шестте аспекта попада в диапазона между 0 и 1 респ. това са т. нар. аутсайдери и начинаещи.
- **Категория „Учещ се“** – тук са класифицирани организациите, чиято обща оценка е над 2, но по-малка от 3 или това са средно напредналите компании (ниво 2).
- **Категория „Лидери“** – тук попадат всички компании, чиято кумулативна оценка от шестте аспекта, оценяващи готовността за Индустрия 4.0 е над 3 до максимум 5.

Обобщеният анализ на готовността на българските МСП, опериращи в сектор С „Преработваща промишленост“ показва, че 80% от анкетираните 50 компании се характеризират с ниво на готовност между 0 (Начинаещ) и 2 (Учещ се), които се считат за незадоволителни за гарантиране на успешния преход в контекста на Индустрия 4.0. Само 20% или 10 предприятия от общо 50 попадат в категорията на „лидерите“ на нива

от 3 нагоре, като повече са именно на ниво 3, което е най-ниското стъпало за по-подготвените предприятия. Тези резултати *потвърждават изследователската теза на дисертационния труд, че в по-голямата си част, българските компании в разглеждания сектор все още се характеризират с незадоволително ниво на готовност спрямо Индустрия 4.0*, което е индикатор за необходимост от реализацията на целеви действия, както на макро ниво – от институциите за насърчаване на техния преход, така и на микро ниво (в предприятията) от страна на мениджмънта, за повишаване нивото на готовност и цифрова зрялост.

Четвъртият параграф на глава три има за цел да изследва наличието на зависимост между общото ниво на готовност на компаниите в извадката и ключови техни характеристики, както и да се установи в каква степен е възможно нивото на готовност на една компания да се атрибутира на тази комбинация от фактори и/или на всеки поотделно. Конкретните фактори, с които са анализирани зависимостите са: категория на предприятията, приходи, местоположение по регион на планиране в страната; сектор; предлагане на интелигентни продукти и услуги, базирани на данни; умения на служителите; наличие на автономни процеси/операции; инвестиционна дейност и технологично ниво. Чрез изследването на зависимостите именно с тези фактори се дава отговор на изследователски въпроси 4 до 11.

За да се установи дали има корелация между изброените фактори и нивото на готовност за Индустрия 4.0 е направено подходящо кодиране на качествените променливи в количествени и фиктивни променливи. За целите на корелационния анализ беше използвана приставка в програмата Excel за статистически анализ и беше приложена функция “Correlation” за генериране на корелационна матрица (вж. Таблица 9) чрез която да се установи това кои променливи имат значима или потенциално важна връзка с „Ниво на готовност за Индустрия 4.0“ – основната зависима променлива в изследването.

Таблица. 9. Корелационна матрица

	Ниво на готовност	Сектор	Категория	Приходи	Югозападен район	Южен централен район	Югоизточен район	Северозападен район	Североизточен район	Северен централен район	Инвестиционна дейност	Технологично ниво	Предлагане на ИП	Наличие на АП	Умения на служителите	Услуги, базирани на данни
Ниво на готовност	1															
Сектор	-0.12918	1														
Категория	0.094186	0.037172	1													
Приходи	0.123147	0.02563	0.662362	1												
Югозападен район	0.238739	0.197145	-0.12157	-0.01106	1											
Южен централен район	-0.04067	-0.01541	-0.18846	-0.09278	-0.44456	1										
Югоизточен район	-0.15969	0.047543	0.189541	0.334883	-0.27696	-0.21889	1									
Северозападен район	-0.16615	-0.27242	0.044363	-0.09686	-0.18948	-0.14976	-0.0933	1								
Североизточен район	-0.16615	-0.27242	-0.12627	-0.19	-0.18948	-0.14976	-0.0933	-0.06383	1							
Северен централен район	0.098142	0.075137	0.28495	0.015299	-0.3026	-0.23916	-0.14899	-0.10194	-0.10194	1						
Инвестиционна дейност	0.383903	0.173555	0.117381	0.129687	0.05235	-0.15754	0.025776	0.091113	-0.2028	0.179034	1					
Технологично ниво	0.40393	0.088749	-0.04426	0.037712	0.142083	0.088674	0.04263	0.029166	-0.19519	-0.23494	0.170147	1				
Предлагане на ИП	0.513107	-0.38982	0.159167	0.038614	-0.12729	0.109449	0.026861	-0.1654	0.018377	0.113201	0.236092	0.191844	1			
Наличие на АП	0.176033	-0.06401	0.109776	0.015299	-0.18252	0.023653	0.02838	-0.10194	0.140768	0.169435	0.179034	0.07217	0.364758	1		
Умения на служителите	0.526009	0.19932	0.246952	0.140233	-0.03481	0.062746	0.033273	-0.13245	-0.02897	0.048158	0.451112	0.32602	0.246671	0.260618	1	
Услуги, базирани на данни	0.626744	-0.22552	0.241922	0.113711	0.198083	-0.02899	-0.21434	-0.14664	-0.03026	0.084435	0.209324	0.14064	0.524735	0.243746	0.34096	1

Резултатите от корелационния анализ подчертават приоритета на „Услуги, базирани на данни“, „Умения на служителите“ и „Предлагане на интелигентни продукти“ като основни детерминанти на готовността, което е в съответствие с теоретичните рамки на IMPULS (IMPULS-Stiftung, 2015), акцентиращи върху интеграцията на данни и човешки ресурси. Умерената корелация с „Технологично ниво“ и „Югозападен район“ наемва за потенциален ефект от технологичната база и регионални предимства (напр. София), но слабите връзки с приходите и сектора предполагат, че финансовият мащаб не е решаващ фактор в текущия контекст на българските МСП. Отрицателните корелации с някои региони могат да отразяват неравномерното развитие на инфраструктурата, което е типично за преходните икономики като България.

В тази връзка, с цел по-задълбочено изследване на влиянието на тези фактори върху нивото на готовност, беше приложен многофакторен линеен регресионен анализ, където зависимата променлива е нивото на готовност за Индустрия 4.0.

За целите на регресионния анализ беше използвана приставка в програмата Excel за статистически анализ и беше приложена функция “Regression”, като получените резултати са представени в Таблици 10, 11 и 12.

Таблица. 10 Регресионна статистика

Regression Statistics	
Multiple R	0.829681
R Square	0.68837
Adjusted R Square	0.535146
Standard Error	0.493745
Observations	50

Резултатите от регресионния анализ показват, че моделът е статистически значим и обяснява съществена част от вариацията в зависимата променлива – „ниво на готовност“. Получената стойност на Multiple R = 0.83 индикира висока степен на линейна зависимост между готовността за Индустрия 4.0 и избраните предиктори. $R^2 = 0.69$, което означава че приблизително 69% от вариацията в нивата на готовност може да се обясни с независимите променливи, включени в модела.

$R^2 = 0.535$, след корекция за броя на независимите променливи, обяснителната сила намалява до около 54%. Това показва, че моделът включва фактори с различна степен на значимост, като някои имат ограничен принос като сектора, приходите, категорията и др.

Таблица. 11 Резултати от ANOVA анализ

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	15	18.84756	1.256504	5.522328	1.82E-05
Residual	35	8.532436	0.243784		
Total	50	27.38			

Резултатите от анализа на дисперсията ANOVA потвърждават общата статистическа значимост на модела. С 15 степени на свобода за регресията и 35 за остатъка, F-статистиката от 5.522 със съответстваща значимост F (p-стойност) от 1.82E-05 ($p < 0.01$), значително под конвенционалния праг от 0.05 се *отхвърля нулевата хипотеза за липса на ефект на предикторите*. Общата сума на квадратите (SS Total = 27.38) се разпределя между регресионна (SS Regression = 18.84) и остатъчна (SS Residual = 8.53) компоненти, като средните квадратни стойности подчертават, че вариацията, обяснена от модела (MS Regression = 1.26) значително надхвърля необяснената такава (MS Residual = 0.24).

Таблица. 12 Коефициенти на регресия

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.2858	0.3604	0.7930	0.4331	0.4459	1.0176	-0.4459	1.0176
Сектор	-0.2935	0.2415	-1.2154	0.2323	0.7838	0.1967	-0.7838	0.1967
Категория	-0.1678	0.1158	-1.4489	0.1562	0.4029	0.0673	-0.4029	0.0673
Приходи	0.1381	0.1189	1.1619	0.2531	0.1032	0.3796	-0.1032	0.3796
Югозападен район	0.5588	0.3607	1.5491	0.1303	0.1735	1.2912	-0.1735	1.2912

Южен централен район	0.2386	0.3477	0.6864	0.4969	0.4672	0.9445	-0.4672	0.9445
Югоизточен район	0.1200	0.4024	0.2982	0.7672	0.6969	0.9370	-0.6969	0.9370
Северозападен район	0.1472	0.4602	0.3198	0.7509	0.7871	1.0816	-0.7871	1.0816
Североизточен район	0	0	65535	#NUM!	0	0	0	0
Северен централен район	0.6607	0.3842	1.7193	#NUM!	0.1194	1.4408	-0.1194	1.4408
Инвестиционна дейност	0.0854	0.1590	0.5370	0.5946	0.2374	0.4082	-0.2374	0.4082
Технологично ниво	0.2016	0.1088	1.8531	0.0723	0.0192	0.4226	-0.0192	0.4226
Предлагане на интелигентни продукти	0.3364	0.2301	1.4616	0.1527	0.1308	0.8037	-0.1308	0.8037
Наличие на автономни процеси/операции	-0.1380	0.2280	-0.6053	0.5488	0.6009	0.3248	-0.6009	0.3248
Умения на служителите	0.3208	0.1154	2.7795	0.0086	0.0865	0.5551	0.0865	0.5551
Услуги, базирани на данни	0.2991	0.1343	2.2260	0.0325	0.0263	0.5719	0.0263	0.5719

Според статистическата си значимост, включените в модел фактори могат да бъдат разграничени, както следва:

- **Значими фактори** ($p < 0.05$) - най-високо значим е факторът „Умения на служителите“ ($\beta = 0.321$; $p = 0.009$), което ясно показва, че предприятията с по-голям човешки капитал и дигитални компетентности са съществено по-подготвени за Индустрия 4.0. Следователно, повишаването на квалификацията на персонала би следвало да е отправна и приоритетна точка за българските мениджъри за повишаване нивото на готовност. Вторият значим фактор са Услуги, базирани на данни ($\beta = 0.299$; $p = 0.033$), което показва, че компаниите които събират и управляват информационните потоци в компанията по адекватен начин, който бива и монетизиран в контекста на Индустрия 4.0, демонстрират по-висока зрялост.
- **Гранично значими фактори** ($0.05 < p < 0.10$)- такъв фактор е технологичното ниво ($\beta = 0.202$; $p = 0.072$), следователно колкото по-високо е технологичното ниво, толкова по-висока е готовността, но ефектът е граничен. Това предполага, че част от предприятията може да разполагат с технологии, но да не ги използват ефективно.

- **Незначими фактори:** Останалите, включително приходи, категория, сектор, „Инвестиционна дейност“, „Предлагане на интелигентни продукти“, „Наличие на автономни процеси“ и регионалните индикатори не са значими, с доверителни интервали, включващи нула.

Тези резултати показват, че най-съществена роля по отношение на готовността за Индустрия 4.0 играят уменията на служителите. Това е така, тъй като макар и технологиите, базирани на Индустрия 4.0 в компаниите с висока готовност да се самоуправляват в голяма степен, то това не означава, че нуждата от човешки капитал е по-малка, а даже обратното за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 и ефективно прилагане на тези технологии е нужен човешки капитал с адекватни умения като комплексно решаване на проблеми, умения за киберсигурност, работа с ИИ и др. Другият важен фактор е предлагането на услуги, базирани на данни. Това е така, тъй като за предоставянето на такива услуги преди това е нужно да са изпълнени редица условия като използване на технологии за събиране на информация (напр. сензори, датчици и др.) и обработка на големи данни (напр. изкуствен интелект, машинно самообучение и др.). Освен това често услугите, базирани на данни са пряко свързани с предлагането на интелигентни продукти, от които също се събират данни. За да са налице всички тези предпоставки, се изискват инвестиции в технологии, тяхното внедряване и човешки ресурс в нужните умения да превърне информацията в услуги, генериращи приход. Следователно, може да се твърди, че компаниите, разполагащи с хора с адекватни умения и предлагащи услуги, базирани данни, се характеризират с високи нива на зрялост по отношение на Индустрия 4.0.

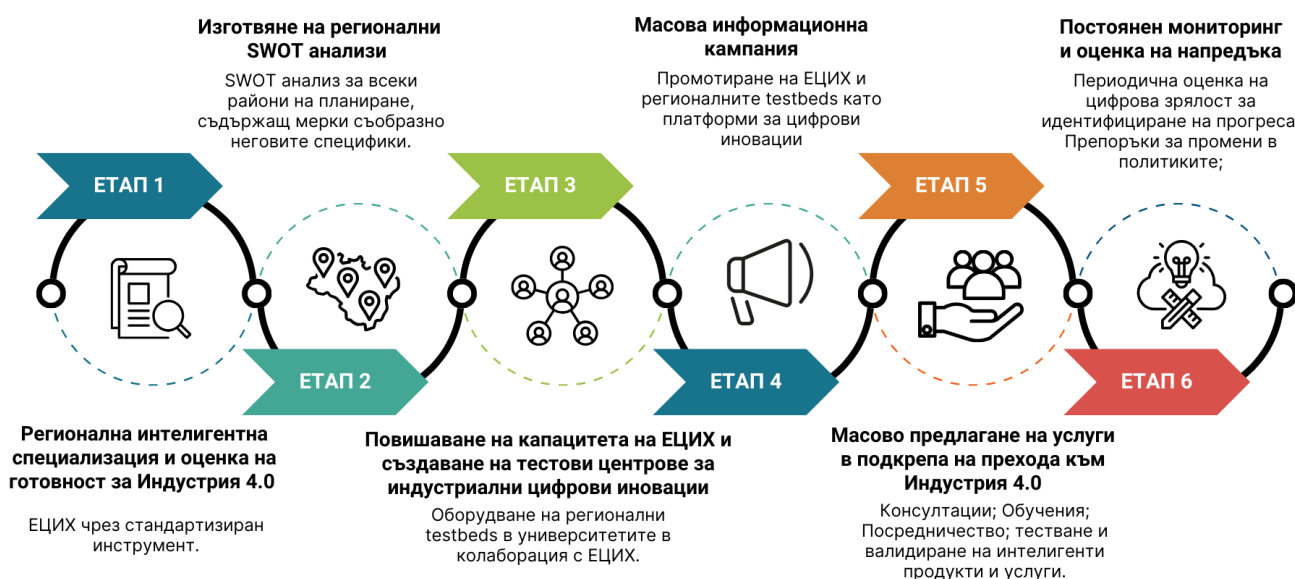
В обобщение на параграф 3.4., корелационната матрица и регресионният анализ разкриват, че услугите, базирани на данни, и уменията на служителите са ключови фактори за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 в българските предприятия, което трябва да насочи препоръките към мениджърите на МСП към стратегическо инвестиране в цифрова трансформация.

Параграф 3.5. на дисертационния труд дава отговор на изследователски въпрос 3 като въз основа на идентифицираните пречки и пропуски във всеки от шестте оценявани аспекта по отношение на Индустрия 4.0, както и на резултатите от точка 3.4. предлага препоръки на две нива:

- Насочени към българските мениджъри на МСП – как да повишат нивото на готовност (отвътре) във всеки от аспектите стъпка по стъпка;
- Насочени към институциите – как да допълнят, подпомогнат и стимулират (отвън) действията на мениджърите на микро ниво по отношение на всеки от шестте аспекта, така че да се постигне синергичен подход за успешен индустриален преход.

Шестият параграф на трета глава се основава на схващането, че за да се повиши цялостното ниво на готовност на българския бизнес в целевия сектор за успешен преход към Индустрия 4.0 са необходими усилия, както на микро ниво – от бизнес мениджърите, така и на макро (институционално) ниво, тъй като една от ключовите характеристики на Индустрия 4.0 е именно работата в интегрирана мрежа по веригата на създаване на стойност. В рамките на тази секция са представени два модела чрез които се отговаря на изследователски въпроси 12 и 13: 1) Институционален модел за стимулиране прехода към Индустрия 4.0 и 2) Модел за повишаване на готовността за Индустрия 4.0.

На фиг. 9 схематично са представени предложените стъпки, които биха могли да бъдат предприети на макро ниво чрез обособяването на регионални тестови операционни среди за Индустрия 4.0 в комбинация с вече съществуващи и обособени структури като ЕЦИХ, чиято роля е именно да стимулират двойния преход (цифров и екологичен) на българския бизнес.

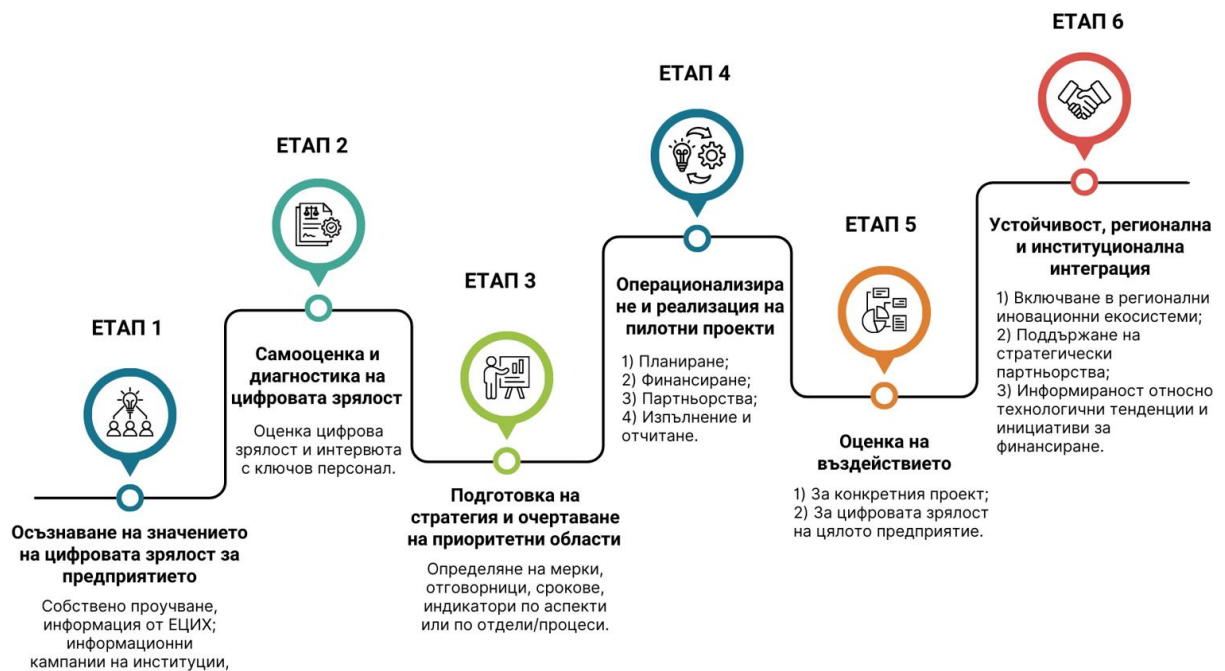


Фиг. 9 Институционален модел за стимулиране прехода към Индустрия 4.0

Въз основа на дефинирания модел, на институционално ниво, българската индустриална политика следва да акцентира върху:

- Регионална дезагрегация чрез оценка на готовността за Индустрия 4.0 в шестте региона на страната и планиране създаването на регионални тестови центрове (testbeds) за индустриални цифрови иновации, основани на дефинираните в Иновационната стратегия за интелигентна специализация (ИСИС) 2021-2027(МИР, 2022) ключови сектори с висок потенциал за всеки регион.
- Регионален анализ на силни и слаби страни (SWOT анализ по региони) – тясно обвързване на портфолиото от услуги на европейските цифрови иновационни хъбове (ЕЦИХ) в подкрепа на прехода към Индустрия 4.0 спрямо регионалните специфики, нива на готовност и нужди на предприятията, тъй като понастоящем услугите са по-скоро стандартизирани и сходни. Дефиниране на нуждите от тестови центрове за индустриални цифрови иновации в съответствие с приоритетите на ИСИС 2021–2027 и идентификация на академична и индустриална инфраструктура за тяхното разполагане.
- Следващите стъпки вкл. повишаване на капацитета на ЕЦИХ и създаване на тестови центрове за индустриални цифрови иновации и последващото им промотиране чрез редица информационни събития и кампании, които да привлекат бизнеса и да повишават информираността му по отношение на възможностите за цифрова трансформация и ползите от това. Търсеният ефект е предлагане на „меки“ мерки чрез ЕЦИХ (консултации за финансиране, киберсигурност, оценка на готовността и др.) и по-„твърди“ и специализирани мерки чрез тестови платформи за реално разработване, тестване и валидиране на технологии съобразени с регионалната интелигентна специализация и в сътрудничество с индустриалната екосистема (четворната спирала).
- Масово предлагане на услуги в подкрепа на прехода към Индустрия 4.0 – предоставяне на целеви услуги съобразени с регионалните специфики на бизнеса за повишаване на капацитета за преход към Индустрия 4.0.
- Постоянен мониторинг и оценка на напредъка – регулярна регионална оценка на напредъка на бизнеса във всеки район по отношение на Индустрия 4.0, с цел динамична адаптация на портфолиото от услуги съобразно текущите нужди на бизнеса в региона.

Целта на модела насочен към предприятията (вж. фиг. 10) е да предостави на мениджърите на МСП ясен и лесен за изпълнение план за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 и цифровата зрялост на техните предприятия.



Фиг. 10 Модел за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 на микро ниво

Моделът за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 на микро ниво вкл. следните стъпки:

- Осъзнаване на значението на цифровата зрялост за предприятието;
- Самооценка и диагностика на цифровата зрялост на предприятието (чрез стандартизирани инструменти и интервюта с ключов персонал);
- Подготовка на стратегия и очертаване на приоритетни области на интервенция – определяне на мерки/проекти; срокове; отговорници; средства и индикатори за проследяване на изпълнението;
- Операционализиране и реализация на пилотни проекти – внедряване на ново високотехнологично оборудване; изграждане и/или надграждане на ИТ системи; разработка интелигентни продукти и услуги, базирани на данните; инвестиране в обучение и вътрешно развиване на дигитални компетентности на персонала;
- Оценка на въздействието чрез оценка на индикатори за изпълнение на конкретните проекти и регулярна оценка на цялостната цифрова зрялост;
- Регионална и институционална интеграция чрез установяване на сътрудничество с образователни, научноизследователски институции, кълъстери и др.

В *заклучението* на дисертационния труд са изложени ключовите изводи от проведеното теоретично проучване и емпиричното изследване на готовността на българските МСП в сектор „Преработваща промишленост“, като е изложено изпълнението на задачите на дисертационния труд и потвърдението на изследователската теза.

Разработеният дисертационният труд представлява цялостно изследване на готовността на българските малки и средни предприятия в сектор „Преработваща промишленост“ за навлизане в епохата на Индустрия 4.0. На базата на извършеното теоретично проучване и приложното емпирично изследване се потвърди тезата за незадоволителното ниво на цифрова зрялост и ограничената способност на предприятията да интегрират ключови технологии и практики на дигиталната трансформация. Чрез прилагане на корелационен и регресионен анализ бяха идентифицирани основните фактори, които оказват влияние върху нивото на готовност, като се очерта ролята на уменията на служителите и наличието на услуги, базирани на данни.

Разработените в дисертацията стъпкови модели и препоръки предоставят практически инструментариум за повишаване на капацитета на предприятията за повишаване на готовността за Индустрия 4.0, както и на институциите в подпомагането им в процеса чрез надграждане на ролята на Европейските цифрови иновационни хъбове и очертаване на необходимостта от изграждане на тестови среди (testbeds), съобразени с приоритетите на ИСИС 2021–2027.

В края на заключението, дисертационният труд подчертава необходимостта от целенасочени усилия от самите предприятия и от държавата, насочени към повишаване на цифровата зрялост и готовността за Индустрия 4.0 на българската индустрия, на първо място чрез развиване на човешкия капитал и повишаване на капацитета за управление на информацията като ресурс. Синергията между институционални усилия, управленски инициативи и достъп до знание и технологии е ключовият фактор, който ще определи дали българските предприятия от сектора на преработващата промишленост ще успеят да реализират устойчив преход към Индустрия 4.0 или ще се загубят по пътя на цифровата трансформация.

IV. ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА В АВТОРЕФЕРАТА

1. Благоев, Д., Бояджиев, Р., 2022. Иновативните фирми – фактор за икономически растеж на националната икономика. *Икономически и социални алтернативи*, 28(3), сс. 5-17. DOI: <https://doi.org/10.37075/ISA.2022.3.01> [Accessed: 10 September 2022]
2. Георгиев, Ив. и колектив, 2008. *Икономика на предприятието*. София: Университетско издателство „Стопанство“.
3. Европейска комисия, 2022. Индекс за навлизането на цифровите технологии в икономиката и обществото (DESI), 2022 г. *European Commission*. достъпно на: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-bulgaria> [Accessed: 24 September 2022]
4. Колева, Н., Г. Пенева. 2019. Емпирично изследване на готовността на българските МСП за внедряване на Индустрия 4.0, XI Международна научна конференция —Е- Управление & Е-Коммуникации, ISSN 2534-8523. Достъпно на: http://e-university.tu-sofia.bg/e-publ/files/3955_EMPIRI4NO%20IZSLEDVANE%20%204.0.pdf [Accessed: 24 September 2022]
5. Министерство на икономиката и индустрията, 2017. Концепция за цифрова трансформация на българската индустрия (Индустрия 4.0). *Министерство на икономиката и индустрията*. Достъпно на: <https://www.mi.government.bg/bg/themes/koncepciya-za-cifrova-transformaciya-na-balgarskata-industriya-industriya-4-0-1862-468.html> [Accessed: 24 September 2022]
6. Министерство на иновациите и растежа, 2022. Иновационна стратегия за интелигентна специализация 2021-2027. МИР. Достъпно на: <https://www.mig.government.bg/wp-content/uploads/2022/12/isis-2021-2027.pdf> [Accessed: 31 July 2025]
7. Министерство на транспорта и съобщенията, 2019. Национална програма цифрова България 2025. *Министерство на транспорта и съобщенията*. Достъпно на: <https://www.mtc.government.bg/bg/category/85> [Accessed: 24 September 2022]
8. НСИ, 2024. БРОЙ НА НЕФИНАНСОВИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ГРУПИ СПОРЕД БРОЯ НА ЗАЕТИТЕ В ТЯХ ЛИЦА И ИКОНОМИЧЕСКИ ДЕЙНОСТИ. НСИ. Достъпно на: <https://www.nsi.bg/bg/content/8225/%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B9->

- [%D0%BD%D0%B0-%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B0](#) [Accessed: 21 April 2025]
9. Попова, М., Овчарова, Ж., Маргенов, С., Тодоров, Г., Камберов, К., Славков, В., и Констов, Л., 2018. „Индустрия 4.0 – Предизвикателства и последици за икономическото и социалното развитие на България“. [pdf] София: Фондация Фридрих Еберт | Бюро България, Available at: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/sofia/14601.pdf> [Accessed 04 July 2021]
 10. Agrawal, M., Eloom, K., Mancini, M. and Patel, A., 2021. Industry 4.0: Reimagining manufacturing operations after COVID-19. [online] *McKinsey & Company*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-40-reimagining-manufacturing-operations-after-covid-19> [Accessed: 06 July 2021].
 11. Boston Consulting Group, 2021. Putting Industry 4.0 to Work. Boston Consulting Group, [online] Available at: <https://www.bcg.com/capabilities/manufacturing/industry-4.0> [Accessed: 06 February 2021].
 12. DESI, 2024. DESI indicators. [online] *Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology*. https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts/desi-indicators?indicator=desi_sme_di3_gelo&indicatorGroup=desi2023-1&breakdown=ent_sm_xfin&period=desi_2024&unit=pc_ent&country=AT,BE,BG,HR,CY,CZ,DK,EE,EU,FI,FR,DE,EL,HU,IE,IT,LV,LT,LU,MT,NL,PL,PT,RO,SK,SI,ES,SE [Accessed: 21 April 2025].
 13. European Commission, 2017. Digital Transformation Monitor. Germany: Industrie 4.0. [pdf] European Commission. Available at: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%204.0_DE.pdf [Accessed: 12 July 2021].
 14. European Commission. 2024. Bulgaria 2024 Digital Decade Country Report. [online]. *European Commission*. Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/bulgaria-2024-digital-decade-country-report> [Accessed: 21 April 2025].
 15. European Commission. n.d. European Digital Innovation Hubs Network: Open DMAT - Оценка на цифровата зрялост. [online]. *European Commission*. Available at: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/bg/open-dma>

16. Gökalp, E., Şener, U., Eren, P.E., 2017. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In: Mas, A., Mesquida, A., O'Connor, R., Rout, T., Dorling, A. (eds) *Software Process Improvement and Capability Determination. SPICE 2017. Communications in Computer and Information Science*, vol 770. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10;
17. Idriz, F. and Sterev, N., 2022. The IM (Possible) Transition Towards the Digital Economy in Bulgaria. *Economic Alternatives*, 1(1), pp. 142-150. DOI: <https://doi.org/10.37075/EA.2022.1.09> [Accessed: 28 July 2025]
18. IMPULS, 2015. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses. *IMPULS*. Available at: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>. [Accessed: 02 August 2022]
19. Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Forstenhäusler, S., 2016. SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2016, pp. 1297-1302.;
20. Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Bay, L., 2017. The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. *AMCIS 2017 Proceedings 6*. Available at: <https://aisel.aisnet.org/amcis2017/Enterprise/Presentations/6>;
21. Moura, L.R., Kohl, H., 2020. Maturity Assessment in Industry 4.0 – A Comparative Analysis of Brazilian and German Companies. *Emerging Science Journal* 4 (5). Available at: <https://ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/385> [Accessed: 05 September 2022]
22. Mussomeli, A., Gish, D. and Laaper, S., 2016. *The rise of the digital supply network*. [pdf] Deloitte University press. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supply-network/DUP_Digital-supply-network.pdf [Accessed: 09 July 2021]
23. Nuroğlu, H. H., 2018. INDUSTRY 4.0 IMPACT ON FRANCHISING NETWORK GOVERNANCE. In: Istanbul S. Zaim University, *14th International Conference on Knowledge, Economy and Management*. Istanbul, Turkey, 20-22 April 2018.
24. Platform Industrie 4.0., 2019. Technology Scenario ‘Artificial Intelligence in Industrie 4.0’ (Working paper). [pdf] *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)*. Available at: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/AI-in-Industrie4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Accessed: 14 July 2021]

25. Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., ten Hompel, M., 2020. Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY), Munich 2020.;
26. Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W., 2016. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP* 52, pp. 161-166;
27. Schwab, K., 2015. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. [online] World Economic Forum. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> [Accessed: 06 July 2021]
28. World Economic Forum, 2025. The Future of Jobs 2025 Report. *World Economic Forum* [online]. Available at: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/> [Accessed: 31 March 2025]
29. World Health Organization, 2020. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020. WHO, [online] Available at: <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020> [Accessed: 12 February 2021]
30. Yordanova, Z. (2024). Digital Transformation of the Firm's Innovation Process – a Bibliometric Analysis. *Economic Alternatives*, 30(3), pp. 508–528. doi:10.37075/EA.2024.3.03. [Accessed 10 August 2025].
Cugno, M., Castagnoli, R., Büchi, G., 2021. Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120756> [Accessed: 10 September 2022]

V. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Приносите на дисертационния труд се проявяват в следните направления:

1. Проучвания относно готовността на българските индустриални предприятия по отношение на Индустрия 4.0 не са правени с изключение на едно (Колева и Пенева, 2019), в което обаче не е представена ясна оценка на готовността и препоръки за подобряването ѝ, каквито са представени в рамките на дисертационния труд.
2. Въз основа на данните от реализираното емпирично изследване относно готовността за Индустрия 4.0 са формулирани конкретни практически препоръки и насоки за повишаване на готовността на микро ниво – насочени към бизнес мениджърите на МСП, така и на институционално (макро) ниво. Препоръките са базирани на идентифицираните пропуски във всеки от шестте оценявани технологични и организационни аспекти, детерминиращи степента на готовност за Индустрия 4.0.
3. Въз основа на теоретичното и емпиричното изследвания в рамките на дисертационния труд са очертани два авторови модела за повишаване на готовността за Индустрия 4.0 на институционално ниво и на микро ниво в самите предприятия.
4. Моделът на фондация IMPULS и на Германската инженерна федерация (VDMA) е приложен и адаптиран за първи път към контекста на българската индустрия за оценка на готовността на българските бизнес организации за преход към Индустрия 4.0.

VI. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Научни статии:

[1] Бошняку, А. 2023. Особенности на бизнес средата в контекста на Индустрия 4.0. *Електронно списание Диалог на СА „Д. А. Ценов“ – Свищов*, 22(1), 15–29. Достъпно на: <https://dialogue.uni-svishtov.bg/title.asp?title=2805>

[2] Бошняку, А. 2023. Технологиите, основани на Индустрия 4.0, като инструмент за прилагане на стратегии за диверсифициран растеж. *Икономически и социални алтернативи*, 29(1), 38–49. Достъпно на: <https://doi.org/10.37075/ISA.2023.1.03>

Доклади:

[3] Boshnyaku, A. 2023. The Impact of Industry 4.0 on Business Models. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) The 16th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Inter-Eng 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 605. Springer, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-22375-4_40

[4] Бошняку, А. 2022. Влиянието на Индустрия 4.0 върху веригата на доставки. В: *Сборник доклади от Четвърти национален научен форум „Бизнесът в XXI-ви век“ (УНСС)*, Сборник с доклади. София: Издателски комплекс – УНСС, с. 196–201

[5] Бошняку, А. 2022. Стратегически направления за развитието на компаниите в условията на Индустрия 4.0. В: *Сборник доклади от Четвърти национален научен форум „Бизнесът в XXI-ви век“ (УНСС)*, Сборник с доклади. София: Издателски комплекс – УНСС, с. 226–231

VII. ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ

Декларирам, че настоящият дисертационен труд е изцяло авторски продукт и в неговото разработване не са използвани чужди публикации и разработки в нарушение на авторските им права. Литературните източници, научните трудове, документите и базите данни са цитирани добросъвестно.



UNIVERSITY OF NATIONAL AND WORLD ECONOMY

BUSINESS FACULTY
DEPARTMENT "INDUSTRIAL BUSINESS"

ADMIRA ADMIR BOSHNYAKU

RESEARCH ON THE LEVEL OF INDUSTRY 4.0 ADOPTION IN BUSINESS ORGANISATIONS IN BULGARIA

AUTHOR'S ABSTRACT

of a dissertation work for the award of an educational and scientific degree
"Doctor", professional field 3.8 "Economics", scientific specialty "Economics
and Management (Industry)"

Scientific supervisor:

Assoc. Prof. Dr. Kiril Dimitrov
Department of Industrial Business

Sofia, 2025

The dissertation has been discussed and referred for public defence at a meeting of the Department of Industrial Business at the Faculty of Business of the University of National and World Economy (UNWE) – Sofia, with Protocol No. of

The author of the dissertation is a part-time doctoral student at the Department of Industrial Business at the Faculty of Business of the University of National and World Economy – Sofia.

The topic of the dissertation is "Research on the degree of penetration of Industry 4.0 in business organisations in Bulgaria". It consists of a total of 244 pages, including 203 pages of main text and 41 pages containing supplementary elements: title page, table of contents, cited sources of information and two appendices.

The dissertation is structured into an introduction, three chapters – a critical analysis of the main theoretical propositions, methodological aspects, analysis of the results of the empirical study, and a conclusion.

A total of 239 literary sources are used, of which 38 are in Bulgarian and 201 are in English.

The dissertation contains a total of 38 figures and 31 tables.

The public defence of the dissertation will take place on 11.12.2025 at 14.00h in room No. 2032A "Scientific Councils" at the UNWE, Sofia, Bulgaria.

The scientific jury consists of:

- Prof. D.Sc. Nikolai Hristov Shterev
- Assoc. Prof. Dr. Dimitar Marchev Blagoev
- Prof. Dr. Eng. Nikolay Karev Karev
- Assoc. Prof. Dr. Ilian Minkov
- Assoc. Prof. Dr. Iskra Panteleeva

The defence materials are available to interested parties at the Science Directorate, Scientific Councils and Competitions Sector at UNWE, as well as on the university's website – konkursi.unwe.bg.

CONTENTS

- I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION..... 4**
 - Relevance and significance of the dissertation topic 4*
 - Aim and objectives of the research 7*
 - Object of the research..... 8*
 - Subject of the research 8*
 - Thesis of the dissertation..... 9*
 - Limitations of the dissertation 9*
 - Research methods and tools 9*
 - Structure of the dissertation 10*
 - Information provision 12*
- II. STRUCTURE AND CONTENT OF THE DISSERTATION..... 13**
- III SUMMARY OF THE MAIN POINTS IN THE DISSERTATION 16**
- IV. LITERATURE USED 53**
- V. CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION..... 57**
- VI. PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION 57**
- VII. DECLARATION OF ORIGINALITY..... 58**

VIII. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

Relevance and significance of the topic of the dissertation

Business is the main pillar of national and global economies. In Europe, business is mainly represented by SMEs, which are defined as the backbone of the European economy due to the fact that they account for about 99% of the continent's business and provide over 85 million jobs (European Commission, 2023).

Over the last decade, however, business has faced a number of changes, the main driver of which is technological progress, which has created new realities and introduced new concepts such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), cyber-physical systems, cloud technologies, big data and others. The above concepts, along with many others, are part of the fourth industrial revolution or Industry 4.0.

The very name "Industry 4.0" implies that the concept is aimed at industry, and 4.0 refers to the development of ICT technologies web 1.0, web 2.0, web 3.0, web 4.0, with "4" denoting the beginning of a new industrial revolution (Popova et al., 2018, p. 5), which is associated with an increase in the level of digitisation in all processes. While the first two industrial revolutions took two centuries to develop, the third and fourth have taken place within the last three decades. This dynamic is a direct consequence of the shortening of the cycle of development of new technologies and products, the growing demands of consumers and the need to create more complex products, which in turn places ever higher demands on business organisations in terms of deadlines, quality, degree of personalisation of products and services, etc. Announced in March 2020 COVID-19 pandemic (WHO, 2020) served as a stress test for business organisations worldwide, the results of which confirmed the need to introduce changes in business models, digitise processes and restructure value chains. According to a 2020 McKinsey survey of more than 400 companies worldwide, Industry 4.0-based technologies have significantly helped and continue to help companies adapt their business processes to the newly created pandemic situation (Agrawal et al. 2021). These trends have made the transition to Industry 4.0 imperative for all business organisations at national, European and global level that want to remain competitive and ensure their existence and sustainable development.

It is precisely for the above reasons that the concept of Industry 4.0 is becoming increasingly important in Bulgaria, as evidenced by the Concept for the Digital Transformation of Bulgarian Industry (Industry 4.0) with a horizon of 2017-2030, which is the first step at the state level towards the development of a Strategy for Bulgaria's participation in the Fourth Industrial Revolution. Another strategic document at national level emphasising the need for

this industrial transition for the Bulgarian economy is National Programme Digital Bulgaria 2025 (Ministry of Transport and Communications, 2019), whose main objectives include "Digitisation of Bulgarian industrial sectors and related services and development of a data-driven economy". Although the importance and necessity of the transition to Industry 4.0 is recognised, the practical measures promoting this transition at national, sectoral and organisational level are still in their early stages, which is why Bulgaria and Bulgarian businesses are lagging significantly behind in terms of a number of important indicators considered prerequisites for a successful transition to Industry 4.0, as follows:

- *First*, the digital skills and competences of human capital are essential for adapting to the requirements of Industry 4.0 and a successful industrial transition. In terms of related indicators, Bulgaria ranks 26th out of the 27 EU member states, followed only by Romania (DESI, 2024). Only about 8% of Bulgaria's population has above-average digital skills, compared to an EU average of 27%; only 9% of Bulgarian enterprises provide ICT training to their employees, compared to an EU average of 22% (DESI, 2023).
- *Secondly*, the digitisation of business processes through the implementation of Industry 4.0 technologies such as cloud computing, the Internet of Things, artificial intelligence, etc. is a key step towards a successful industrial transition. In terms of the "integration of digital technologies" indicator from the business section of the Digital Economy and Society Index (), Bulgaria is again second to last with an index value of 15.5, compared to an EU average of 36.1 (DESI, 2022). Only 28.4% of SMEs in Bulgaria have a basic level of digital intensity, i.e. they use between 7 and 9 types of digital technologies out of a total of 12, compared to an EU average of 57.7%. Only 20% of enterprises exchange information electronically, compared to an EU average of 42%; 13.5% use cloud services, compared to 38% for the EU; 3.4% use artificial intelligence, compared to almost twice the EU average (DESI, 2024). Among the objectives of , the EU's digital decade for 2030 is for 75% of companies in the EU to use cloud services/artificial intelligence/big data, and for over 90% of SMEs to have at least a basic level of digital intensity, with countries such as Finland and Denmark already having reached a digital intensity level of 88% (European Commission, 2021), and for Bulgaria it is 28% by 2023.
- *Thirdly*, the transition to Industry 4.0 and the challenges associated with its implementation require openness to and management of innovation (Cugno et. al., 2021), as the technologies associated with this revolution are themselves considered innovative. At the same time, Bulgarian companies are still among the "modest innovators" and account for only 20-25%

of all companies in the country (Blagoev and Boyadziev, 2022). Although an Innovation Strategy for Smart Specialisation has been developed for the country, its practical implementation is weak due to a lack of effective knowledge sharing, cooperation between business and universities, and adequate research infrastructure outside the capital, among other factors (Stereov & Idriz, 2022). At the same time, digital transformation can significantly improve the innovation process in companies if implemented through a holistic approach (Yordanova, 2024).

In the long term, the widespread "lag" of Bulgarian enterprises in terms of digital technology adoption will lead to a decline in their competitiveness on the European and global markets. Currently, Bulgarian enterprises are part of large international value chains, which, however, have been severely shaken by the pandemic. The lack of flexibility and low level of digitisation, combined with the processes of rearranging global value chains, could lead to the displacement of domestic companies from them. To prevent this scenario, efforts are needed to establish the readiness and maturity of Bulgarian business organisations to implement this urgent industrial transition, with a view to outlining strategies and guidelines for its facilitation. Although the concept has been gaining popularity worldwide since 2011 and some countries are already talking about Industry 5.0, in Bulgaria, the concept of Industry 4.0 is still little known and insufficiently applied, as evidenced by the data presented in the Digital Economy and Society Index (DESI). This conclusion is particularly applicable to Bulgarian SMEs. Knowledge and application of the concept is more of a " " characteristic of IT companies and large manufacturing companies with foreign participation in Bulgaria. Bulgarian business organisations tend to believe that the technological solutions associated with Industry 4.0 require large investments, are highly complex and are accompanied by serious difficulties in their implementation. The novelty and uncertainty of the benefits of these technologies also play a huge role in their low level of implementation in Bulgarian companies. Last but not least, given the low level of awareness of the concept, companies do not have the necessary tools to assess whether their investments and way of organising their activities actually support the successful transition to Industry 4.0, and are therefore unaware of their level of readiness and their opportunities and potential for improving it. They also lack guidance on how they could increase their potential in order to improve their readiness to adapt to the requirements of Industry 4.0. At the same time, one of the main recommendations in the EC report "Bulgaria 2024 Digital Decade Country Report" (2024) is precisely *to propose measures to encourage*

SMEs to implement digital technologies, especially artificial intelligence, as our country lags significantly behind the EU average.

In this regard, the dissertation focuses on researching the readiness of Bulgarian small and medium-sized enterprises (SMEs) for the transition to Industry 4.0 and identifying specific actions to increase their potential for making this transition.

Aim and objectives of the study

The main objective of the dissertation is to determine the degree of readiness for transition to the fourth industrial revolution of Bulgarian SMEs operating in the manufacturing sector and to provide practical guidelines and models for increasing the capacity of SMEs to transition to Industry 4.0 based on identified key characteristics of companies such as investment activity, employee skills, etc., which determine the success of the transition. Through the theoretical study and empirical research conducted within the framework of the dissertation, recommendations and models for increasing the level of readiness for Industry 4.0 have been formulated, aimed at both institutions and SME managers, with the aim of applying a synergistic and comprehensive approach to increase the overall level of readiness in the sector.

To achieve the defined goal, five main tasks have been implemented, as follows:

6. To review and critically analyse existing scientific literature in the field of Industry 4.0 and to examine the changes caused by this phenomenon in aspects fundamental to business organisations, such as key resources, processes and development strategy.
7. To identify and adapt a suitable model for assessing the readiness of business organisations, reflecting the key aspects of business organisations that are affected by Industry 4.0, and to define a methodology for conducting the research.
8. Conduct empirical research by applying the methodological provisions and analysing the results in order to define the level of readiness for the transition to Industry 4.0 of business organisations.
9. To draw conclusions about the degree of readiness of business organisations in the manufacturing sector that participated in the research and to make recommendations for increasing their readiness based on the identified problems and needs and key characteristics determining the successful transition to Industry 4.0.
10. To formulate step-by-step models for increasing readiness for Industry 4.0, to be applied at the macro (institutional) and micro levels by enterprises.

Subject of the study

The subject of the dissertation is micro, small and medium-sized enterprises (SMEs) operating in the Republic of Bulgaria.

Subject of the study

The subject of the study is the changes brought about by Industry 4.0 in key organisational processes, resources and development strategy, and to examine the readiness of Bulgarian SMEs operating in the manufacturing sector to transition to Industry 4.0, or in other words, the extent to which Bulgarian SMEs have responded to these changes. Readiness for Industry 4.0 has been empirically studied by tracking the actions taken by managers in six strategic areas: 1) strategy and organisation; 2) smart factory; 3) smart operations; 4) smart products; 5) data-driven services; 6) employees.

Thesis of the dissertation

The research thesis of the dissertation is that the readiness of Bulgarian SMEs operating in the manufacturing sector is at an unsatisfactory level for a successful transition to Industry 4.0. In the context of the dissertation, "unsatisfactory level" refers to levels 0 to 2, which correspond to the categories "Beginner" (levels 0 and 1) and "Learner" (level 2). Levels 3 (experienced), 4 (expert) and 5 (top performer) or the group of so-called "Leaders" according to the INDUSTRIE 4.0 READINESS model (2015) will be considered a sufficiently high level of readiness for a successful transition. The thesis described above was tested by conducting a survey among Bulgarian SMEs operating in the manufacturing sector and a subsequent analysis of their readiness, based on which their level of readiness for industrial transition was determined.

Limitations of the dissertation

The following limitations were adopted within the scope of the dissertation:

4. The companies studied are SMEs and are characterised by an economic activity code falling within the manufacturing sector. However, the readiness of large enterprises is also assessed for the purposes of comparative analysis and verification of the impact of the enterprise category (micro, small, medium, large) on the readiness for transition to Industry 4.0.
5. The subject of the empirical study is limited to examining the readiness of the target business organisations to operate successfully in the conditions of Industry 4.0, as there is only one recent study in this field in Bulgaria (Koleva and Peneva, 2019), and the author's observations of the consulting business show that a significant proportion of senior managers in the target companies are not well acquainted with the concept of Industry 4.0, which could easily push them into the mindset of "I don't know – I don't understand – I don't

want to," especially given the traditional lack of funding typical of most SMEs (Popova et al., 2018).

6. Due to the fact that, specifically in Bulgaria, Industry 5.0 is in the early stages of its formation, it is only discussed theoretically in the dissertation.

Research methods and tools

The methods used in the dissertation are as follows:

- For the purposes of the literature review in Chapter I and the formulation of methodological positions in Chapter II, a set of classical scientific research methods has been applied. Analysis and synthesis were used to systematise and interpret the available scientific literature and strategic documents in the field of Industry 4.0, with the analysis identifying the key theoretical premises for the dissertation and the synthesis integrating them into the overall theoretical framework. Induction methods were applied to derive relevant generalisations from specific examples and case studies, and deduction methods were applied to verify these generalisations in a broader context. Descriptive analysis is used to present theoretical concepts for the social, sustainable, digital enterprise, etc. in Chapter I, as well as to present models for assessing readiness for Industry 4.0 in Chapter II, and comparative analysis is used to identify differences in processes, resources, strategy, relationships with stakeholders in the context of Industry 4.0 and traditionally, as well as to evaluate the different readiness models and select the most appropriate one for the purposes of the study.
- In Chapter III, where the results are analysed and recommendations and models for increasing the readiness of enterprises for Industry 4.0 are formulated, both classical and empirical-statistical methods are applied. In addition to analysis, synthesis, descriptive analysis, induction and deduction, comparative analysis is used to compare the results between different groups of enterprises. Particular emphasis is placed on the application of correlation analysis, which establishes the relationships between key factors such as revenue, enterprise category, offering of intelligent data-based products and services, and the level of readiness for Industry 4.0. In addition, a multivariate regression analysis was performed to assess the simultaneous impact of multiple variables (such as sector, category, revenue, regional characteristics, and technological indicators) on readiness. This provides a more in-depth look at the interrelationships and creates a basis for formulating practical recommendations.

Structure of the dissertation

The dissertation has the following structure:

- Introduction – this section aims to present the conceptual framework of the dissertation. It includes the relevance and reasons for choosing the topic; the object and subject of the research; the aim and objectives of the research; the research thesis; the limitations of the research; a summary of the content of the dissertation and the methods and approaches used.
- Chapter I Theoretical aspects of Industry 4.0. In the first chapter, with the help of methods of analysis and synthesis, etc., a theoretical review of the topic is made, including: the evolution and definition of the concept of "Industry 4.0"; an analysis of the technologies and principles associated with Industry 4.0; theories of enterprise development in the context of Industry 4.0; the effect of Industry 4.0 on key attributes of business organisations (strategy, resources and processes) and conclusions.
- Chapter II Methodological aspects of empirical research. This section includes: an overview of existing metrics and tools for assessing readiness for Industry 4.0; presentation of the concept of empirical research; justification for the choice and presentation of the selected model for assessing the readiness of Bulgarian SMEs for the transition to Industry 4.0, on which the empirical research is based. The main parameters of the empirical study are presented: sample, goals and objectives, research questions, research thesis, geographical and temporal scope of the study, tools for collecting primary information and for its subsequent processing and analysis.
- Chapter III Analysis of the results of the empirical study. Within the framework of this chapter, after conducting the empirical study: a) the characteristics of the sample are presented; b) a descriptive analysis of the results of the questionnaire survey is performed; c) the degree of readiness of business organisations for the transition to Industry 4.0 is defined; d) a correlation and regression analysis is performed to establish dependencies between the degree of readiness for industrial transition and key characteristics of enterprises; e) conclusions have been drawn about the obstacles facing Bulgarian SMEs in their transition to Industry 4.0; f) recommendations for overcoming these obstacles have been outlined; and g) step-by-step models have been formulated for increasing readiness for Industry 4.0 at the micro and macro levels.
- Conclusion – presents reflections and conclusions regarding the readiness of Bulgarian SMEs for the transition to Industry 4.0, made on the basis of theoretical and empirical

research, and presents an opinion on the rejection or confirmation of the research thesis and the achievement of the research objective.

- Sources of information
- Appendices.

Information provision

The availability of sufficient materials, data and information for the analysis of the existing literature, the adaptation of methodological positions and the conduct of empirical research in the dissertation is ensured by:

- **searching, selecting, systematising and analysing literary sources** published in renowned scientific journals and databases (e.g. *ScienceDirect*, *Scopus*, *Elsevier*, *SpringerLink*, *Google Scholar*), including articles, monographs, reports and applied research in the field of digital transformation, industrial policies and management of organisational readiness for Industry 4.0 and 5.0;
- **use of strategic documents, reports and analyses of state and international institutions** (European Commission, World Economic Forum, Eurostat, NSI, Ministry of Innovation and Growth) related to the digitisation of industry, the priorities of the Innovation Strategy for Smart Specialisation (ISSS) 2021-2027, and the development of SMEs in Bulgaria;
- **use of Internet resources** of European and national institutions, professional and industry organisations containing up-to-date information on industrial digitalisation, digital innovation hubs and test beds, as well as on the state of Bulgarian enterprises;
- **participation in scientific conferences, seminars, round tables and projects**, as well as a review of materials from forums dedicated to Industry 4.0, the digitalisation of SMEs and innovation management, which have helped to enrich the research context;
- **conducting empirical research among Bulgarian SMEs in the manufacturing sector**, including the collection of primary data through a questionnaire survey and subsequent processing using statistical methods (correlation and multivariate regression analysis) to assess their level of readiness for Industry 4.0 and to formulate recommendations and step-by-step models for its improvement.

IX. STRUCTURE AND CONTENT OF THE DISSERTATION

INTRODUCTION

CHAPTER I: THEORETICAL ASPECTS OF INDUSTRY 4.0

1.7. Essence, evolutionary development and principles of the concept of "Industry 4.0"

1.7.1. Evolution in the development of the concept of Industry 4.0

1.7.2. Essence of the concept of "Industry 4.0"

1.7.3. Principles and objectives of Industry 4.0

1.8. Possible management decisions when building a technology portfolio related to Industry 4.0

1.9. Strategic directions for the development of the organisation in the context of Industry 4.0

1.9.1. Application of the principles of the smart factory theory

1.9.2. Focus on the theory of the digital enterprise

1.9.3. Adopting an approach based on the extended enterprise theory

1.9.4. Prioritising the theory of the social enterprise

1.9.5. Bringing the theory of the sustainable enterprise to the fore

1.10. The impact of the portfolio of technologies embodied in Industry 4.0 on important attributes of the business organisation

1.10.1. Ongoing processes in business organisation

1.10.2. Relationships with stakeholders in the context of Industry 4.0

1.10.3. Resources used in business organisation

1.10.4. The overall development strategy of companies

1.11. Identification of important characteristics for business organisations with the potential to operate in the context of Industry 4.0

1.12. Summaries and conclusions

CHAPTER II: METHODOLOGICAL ASPECTS OF EMPIRICAL RESEARCH

1.4. Models for assessing the readiness of business organisations for the transition to Industry 4.0

1.4.1. Maturity model for classifying IT and software status across the entire enterprise, focused on Industry 4.0 (SIMMI 4.0) developed by Leyh, Schäffer, Bley and Forstenhäusler

1.4.2. Model for assessing the maturity of the connected enterprise, developed by Rockwell Automation

1.4.3. IMPULS – Readiness for Industry 4.0

- 1.4.4. *Model for assessing the maturity and readiness of manufacturing companies for the transition to Industry 4.0, developed by Andreas Schumacher and colleagues*
- 1.4.5. *Industry 4.0 maturity index developed by the German National Academy of Science and Engineering (acatech)*
- 1.4.6. *PriceWaterhouse Coopers' digital maturity self-assessment tool*
- 1.4.7. *Industry 4.0 assessment model: Industry 4.0-MM, developed by Gökalp et al.*
- 1.4.8. *Open DMAT – European Commission's digital maturity assessment tool*
- 1.5. *Justification for the choice of an assessment model for the readiness of business organisations to transition to Industry 4.0*
- 1.6. *Methodological framework of the empirical study*
 - 1.6.1. *Methodological framework of the IMPULS – Readiness for Industry 4.0 model*
 - 1.6.2. *Objectives and scope of the empirical study*
 - 1.6.3. *Tools for collecting, processing and analysing primary data*

CHAPTER III: ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE RESEARCH

- 6.1. *Organisation and conduct of the empirical study*
- 6.2. *Characteristics of the sample*
- 6.3. *Analysis of results regarding the level of readiness of Bulgarian SMEs for Industry 4.0*
 - 6.3.1. *Results for the "Strategy and Organisation" aspect*
 - 6.3.2. *Results for the "Smart Factory" aspect*
 - 6.3.3. *Results for the "Smart Operations" aspect*
 - 6.3.4. *Results for the "Smart Products" aspect*
 - 6.3.5. *Results for the "Data-driven services" aspect*
 - 6.3.6. *Results for the "Employees" aspect*
 - 6.3.7. *Determining the overall level of readiness for transition to Industry 4.0 among Bulgarian SMEs*
- 6.4. *Examination of the relationship between the level of readiness for transition to Industry 4.0 and key characteristics of enterprises*
- 6.5. *Recommendations for the successful transition of Bulgarian industry to the fourth industrial revolution*
- 6.6. *Designing a model for the successful transition of Bulgarian industry to the fourth industrial revolution*
 - 6.6.1. *Institutional model for stimulating the transition to Industry 4.0*

6.6.2. Model for increasing readiness for Industry 4.0 on micro level

CONCLUSION

SOURCES OF INFORMATION

APPENDICES

Appendix 1: Scope of economic activities falling within sector C Manufacturing according to the Classification of Economic Activities (NACE 2008) of the NSI

Appendix 2: Questionnaire for determining readiness for transition to Industry 4.0

X. SUMMARY OF THE MAIN POINTS IN THE DISSERTATION

Chapter I: Theoretical aspects of Industry 4.0

The first chapter is directly related to one of the objectives of the dissertation, namely to review and critically analyse the existing scientific literature in the field of Industry 4.0 and to examine the changes caused by this phenomenon in aspects that are fundamental to business organisations, such as key resources, processes, development strategy and stakeholder relations. The first chapter is divided into **six main sections**. The first section examines the theoretical aspects of Industry 4.0, focusing on the evolutionary development, essence, principles and objectives of the concept.

The analysis of industrial revolutions concludes that they are directly related to the cycle of development of new technologies, which inevitably leads to radical changes in the modes of production and consumption and is becoming increasingly shorter. An example of this is the fact that the first two industrial revolutions took two centuries to develop, while the third and fourth have taken place within the last four decades. Therefore, if this pace of development of new technologies is maintained, we can expect the time periods between industrial revolutions to become shorter. Proof of this is the fact that only 10 years after the concept of the fourth industrial revolution was born, there is already talk of Industry 5.0. This conclusion is directly linked to the need for measures to transition to Industry 4.0 and related technologies for Bulgarian companies.

After presenting the development path of Industry 4.0, the concept and its development over time are analysed in detail – from its emergence in 2011 as a strategic initiative, part of the German government's High-Tech Strategy 2020, which today goes by the name Platform Industrie 4.0 (European Commission, 2017, p. 3) to its transformation into a byword for the fourth industrial revolution. Definitions by leading researchers in the field and the four major consulting companies are examined. For example, Schwab (2015) views Industry 4.0 as a fusion or convergence of technologies that blurs the boundaries between the physical, digital and biological spheres, while the Boston Consulting Group (2021), for example, defines it as a set of nine key technologies such as cyber-physical systems, autonomous robots, etc.

Based on the analysis, the author's definition of the term "Industry 4.0" is derived: *"a management decision to take a strategic position by persistently and unwaveringly following a growing technological trend, which, through the continuous implementation of a constantly updated set of high technologies, contributes to the unification of the physical and digital worlds, creating conditions for the integration of companies with their stakeholders into a comprehensive ecosystem/network for value creation."* The definition reflects the multifaceted changes that the phenomenon in question causes not only within organisations but also in their surrounding environment, and not only in technological but also in organisational and strategic

terms, which requires consideration of aspects such as strategy formulation, relationships with stakeholders, etc. later in the dissertation.

The last part of paragraph 1.1. examines the six basic principles of Industry 4.0: 1) interoperability and connectivity; 2) modularity; 3) transparency of information; 4) decentralisation; 5) real-time capabilities; 6) service orientation, in order to achieve a deeper understanding of how to integrate Industry 4.0 approaches and technologies within the enterprise.

Paragraph 1.2. sets out the possible management decisions related to the development of a technology portfolio, examining and defining the technologies considered to be the drivers of the fourth industrial revolution and through which the principles discussed should be applied in enterprises, namely: big data, augmented reality, cloud computing, cyber-physical systems, including manufacturing, the Internet of Things, including industrial, digital twins, artificial intelligence, 3D printing, autonomous robots, manufacturing execution systems, embedded systems, and radio frequency identification.

The following paragraph provides a critical analysis of several key strategic directions for the development of business organisations in the context of digital transformation. In this regard, key theoretical approaches are analysed, including those for the smart factory, digital, augmented, social, and sustainable enterprises, examining how each of these business models could be supported, modified, and improved by applying the technologies discussed in relation to Industry 4.0 and the principles presented.

The chapter goes on to examine how the portfolio of technologies embodied in Industry 4.0 changes the basic attributes of business organisation – internal processes, stakeholder relations, resources used and overall development strategy.

The first part of the fourth paragraph provides a comparative analysis between the traditional supply chain in the company, including the processes of development, planning, procurement, production, delivery and customer service, and the digital supply network or supply chain 4.0. The traditional view of the supply chain is that it represents a linear sequence of units participating in the logistics system that ensure the movement and storage of material flows (Georgiev et al., 2008, pp. 172-173). Unlike traditional supply chains, in the digital supply network all participants and processes are connected and exchange information in real time, which makes the chain much more flexible, adaptive and responsive to changes in the external environment. The processes in the digital supply network are changing into intelligent product development, synchronised planning, intelligent sourcing, intelligent factory, dynamic execution and customer connectivity (Mussomeli, et. al, 2016. Deloitte University press). Based

on a detailed comparison and identification of the changes in each of the processes as a result of Industry 4.0-based technologies, it can be concluded that although the names and etymology of the processes sound similar, they differ significantly in their essence and implementation. Achieving a high degree of integration of all processes into a comprehensive network/ecosystem for value creation requires careful planning, strategy adaptation, cost-benefit assessment, technological modernisation and training, upskilling and reskilling of employees. Therefore, the transition to Industry 4.0 is not simply an investment, but a complex and time-consuming process that encompasses all structures, processes and resources in the business organisation and, respectively, changes its business model.

The second part of the fourth paragraph analyses the changes in stakeholder relations in the context of Industry 4.0. The main conclusion is that, compared to traditional views of stakeholders (suppliers, employees, shareholders, etc.), in the context of Industry 4.0, they also include academic institutions, the state, other participants in the industrial ecosystem and society, or the so-called quadruple helix model, showing that digital transformation is a collective process requiring cooperation rather than individual efforts by individual companies and their immediate environment. In addition, organisations operating in the context of Industry 4.0 are part of value creation networks, and the constant exchange of large volumes of information between all points (stakeholders) in the network allows for holistic decisions to be made based on the information received from all parties.

A critical analysis has also been carried out of the changes that Industry 4.0 is bringing about in the way basic resources are used in every enterprise, including material, human, financial and intangible (information) resources. The analysis shows the growing importance of information as a resource, since in the context of Industry 4.0, all other resources are fed with information through intelligent systems. The need for changes in the skills and qualifications of human capital is outlined, as according to the World Economic Forum (2025), the share of basic skills that will change by 2030 is 39%.

In the last part of the fourth paragraph, Industry 4.0 is considered as an internal factor determining the growth of enterprises, concluding that the technologies associated with it not only support the implementation of growth strategies, but will also be an imperative factor for their implementation in the future.

The fifth paragraph of the first chapter identifies the key characteristics that are critical for companies with the potential to operate successfully in the context of Industry 4.0, where the link between the first and second chapters of the dissertation is made, as both both important technological and organisational characteristics of companies, leading to the conclusion that a

successful transition to Industry 4.0 requires changes and actions on the part of management in both areas. This conclusion, as well as the entire analysis carried out in the first chapter, provide a basis for arguing that, in order to adequately measure and assess the readiness of Bulgarian enterprises for the transition to Industry 4.0, a model should be chosen that reflects both organisational and technological changes, as this transition is a complex process requiring a holistic assessment model.

Chapter I concludes with summaries and conclusions that serve as a theoretical basis for the following parts of the study.

Chapter II: Methodological aspects of empirical research

The second chapter of the dissertation is directly related to one of its main tasks, namely to identify and adapt a suitable model for assessing the readiness of business organisations in Bulgaria for Industry 4.0, which reflects the key aspects of business organisations affected by Industry 4.0, as well as to define the methodological provisions for conducting the empirical study. Chapter II is divided into three main sections, the first of which focuses on a critical review and comparative analysis of different models for assessing readiness for the transition to Industry 4.0.

The second chapter is divided into three main sections, the first of which focuses on a critical review and comparative analysis of different models for assessing readiness for the transition to Industry 4.0 and digital maturity; the second presents a reasoned justification for the choice of a specific model, and the third presents the methodological framework of the study.

Table 1 presents a summary comparison of the models for assessing readiness for Industry 4.0 that are analysed in detail in the dissertation.

Table 1. Comparison of models considered for assessing readiness for transition to Industry 4.0

No.	Model	Authors and year of creation	Categories assessed	Company ranking (assessment)
1	Maturity model for classifying IT and software status with a focus on Industry 4.0 (SIMMI 4.0)	Leyh, Schäffer, Bley and Forstenhäusler, (2016)	4 categories: Vertical integration Horizontal integration; Digital product development; Cross-sector technology criteria	5 levels: the lowest is Level 1: Basic level of digitalisation, and the highest is Level 5: Optimised full digitalisation;
2	IMPULS – Readiness for Industry 4.0	IMPULS Foundation of the German Engineering	6 categories: Strategy and organisation; Smart factory; Smart	3 categories: Leaders; Learners; Beginners

		Federation (VDMA), (2015)	operations; Smart products; Data-driven services; Employees	
3	Connected Enterprise Maturity Assessment Model	Rockwell Automation, (2014)	Not mentioned.	5 degrees of maturity: Assessment of all aspects of the organisation's existing OT/IT network; Secure and upgraded network and controls; Defined and organised data working capital; Analysis; Collaboration.
4	Model for assessing maturity and readiness for transition to Industry 4.0	Andreas Schumacher et al., (2016)	9 categories: Strategy; Leadership; Customers; Products; Operations Culture; People; Management; Technology	Average scores from 1 to 5 are given for each of the categories.
5	Maturity Index for Industry 4.0	German National Academy of Science and Engineering (acatech), (2017)	4 categories: Resources; Information systems; Organisational structure; Culture	6 degrees of maturity from lowest to highest: computerisation; connectivity; visibility; transparency; predictability; adaptability.
6	Digital maturity self-assessment tool	PriceWaterhouse Coopers, (2016)	7 categories: digital business models and customer access; digitisation of products and services offered; digitisation and integration of vertical and horizontal value chains; data analysis as a key capability; flexible IT architecture; tax, legal compliance and security; organisation, employees and digital culture	4 categories: digital novice; vertical integrator; horizontal collaborator; digital champion
7	Industry 4.0 assessment model: Industry 4.0-MM	Gökalp et al. , (2017)	5 categories: Asset management; Information management; Application management; Compliance; Process transformation:	6 readiness levels: Level 0: Unfinished Level 1: Implemented Level 2: Managed Level 3: Established Level 4: Predictable Level 5: Optimised
8	Open DMAT – European Commission's Digital Maturity Assessment Tool	European Commission, 2023	6 categories: Organisation's digital strategy; Digital readiness; Human-centred digitalisation; Data management;	Overall digital maturity score from 0 to 100% and a score from 0 to 100% for each of the six categories.

			Automation and artificial intelligence; Eco-friendly digitalisation.	
--	--	--	--	--

Sources: Own systematisation based on: Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Bay, L., 2017. The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. *AMCIS 2017 Proceedings* 6. Available at: <https://aisel.aisnet.org/amcis2017/Enterprise/Presentations/6>; Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Forstenhäusler, S., 2016. SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on Industry 4.0. *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2016, pp. 1297-1302.; IMPULS, 2015. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses. IMPULS. Available at: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>; Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W., 2016. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness, and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP* 52, pp. 161-166; Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., ten Hompel, M., 2020. Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY), Munich 2020.; Gökalp, E., Şener, U., Eren, P.E., 2017. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In: Mas, A., Mesquida, A., O'Connor, R., Rout, T., Dorling, A. (eds) *Software Process Improvement and Capability Determination. SPICE 2017. Communications in Computer and Information Science*, vol 770. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10; European Commission. n.d. European Digital Innovation Hubs Network: Open DMAT - Digital Maturity Assessment. [online]. European Commission. Available at: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/bg/open-dma>

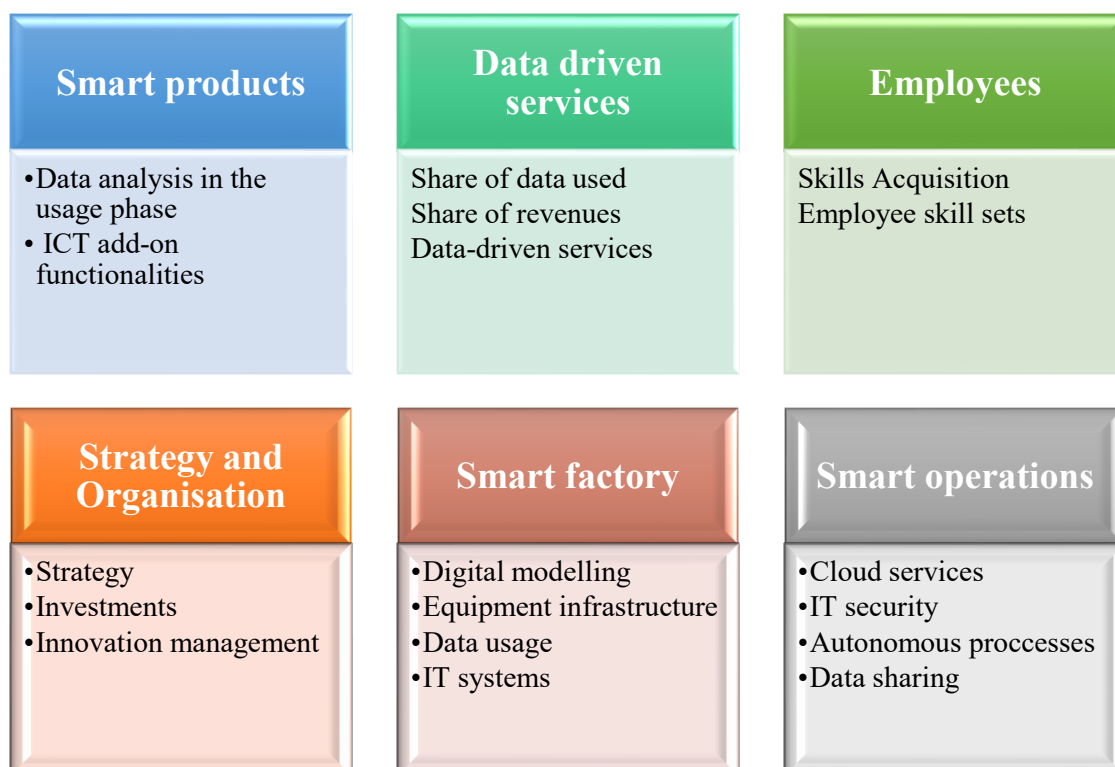
The second paragraph presents a reasoned justification for the choice of a specific model for conducting empirical research on the readiness of Bulgarian SMEs in the manufacturing sector for Industry 4.0, namely the "Readiness for Industry 4.0" model developed by the IMPULS Foundation and the German Engineering Federation (VDMA). The arguments for choosing this particular model can be summarised as follows:

- First, unlike other models such as Industry 4.0-MM and SIMMI 4.0, the IMPULS Foundation model covers and assesses the state of both the technical and organisational aspects necessary for a successful industrial transition, which is one of the main conclusions of the literature review in Chapter 1.
- Second, the model is based on real empirical information from business and is well argued both theoretically and practically. After its initial development, the model was tested and validated in two stages – first with 489 German companies and second with 289 German companies of different sizes operating in the manufacturing and mechanical engineering sectors.
- Third, a detailed description of the methodology and tools for data collection and analysis is available.
- Fourth, the model has been successfully used and applied to determine readiness for the transition to Industry 4.0 in a number of studies in various countries such as Germany (IMPULS Foundation, 2015), Brazil (Moura, Kohl, 2020), and Turkey (Nuroğlu, 2018), which is an indication of the applicability and relevance of the model and the methodology used.

- Fifth, the IMPULS Foundation model is more applicable than other models because the Bulgarian economy is heavily dependent on small and medium-sized enterprises, which account for over 99% of all companies and provide over 75% of employment (NSI, 2024). Most of them are active in traditional industries – textiles, food and beverage, mechanical engineering and services. These sectors typically have a lower degree of digitalisation and limited capacity to invest in complex technological systems. IMPULS was created precisely to diagnose the real state of such companies and outline achievable steps towards digital transformation.
- Sixth, the model is specifically designed for companies operating in the manufacturing and engineering sectors, which coincides with the limitations set for the subject of the study.

The third and final paragraph of the second chapter outlines the methodological framework for conducting the empirical study. Subsection 2.3.1. presents in detail the IMPULS Foundation model, which determines the readiness of a business organisation for industrial transition by assessing six key dimensions, which are presented in Fig. 1. Each of the six dimensions is linked to 18 aspects associated with specific requirements, and on this basis, the degree of readiness for Industry 4.0 is determined (Lichtblau et al, 2015).

Fig. 1. Categories and aspects of the INDUSTRIE 4.0 READINESS model of the IMPULS Foundation



Source: IMPULS, 2015. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses. IMPULS. Available at: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>

The model, based on specific requirements (criteria) for each of the 18 aspects, determines the readiness of an organisation on a 6-level scale – from 0 to 5 for each of the six categories assessed. Each of the six categories is characterised by a specific weight (see Table 2) and a maximum number of points, on the basis of which the overall readiness coefficient of the company is finally determined based on the weighted average of the average scores obtained for each of the six aspects. The maximum number of points a company can receive in total for the six categories and thus be classified at the highest level is 100 points.

Table 2. Distribution of weights and points for each of the six categories of the INDUSTRIE 4.0 READINESS model

	Category	Weight	Points
1	Strategy and organisation	0.254	25
2	Smart factory	0.143	14
3	Smart operations	0.102	10
4	Smart products	0.185	19
5	Data-driven services	0.138	14
6	Employees	0.179	18
	Total	1.00	100

Source: Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

The weights of the six aspects presented in Table 2 are defined for the purposes of researching German companies. However, within the scope of the study, the same weights have been applied to Bulgarian companies as well, due to the researcher's belief that Bulgarian industry is strictly dependent on German industry, the arguments for which are set out in detail in the dissertation.

In this part of the dissertation, the IMPULS Foundation model is examined and presented in detail. The defined requirements (criteria) for measuring Industry 4.0 readiness in each of the six areas that must be met in order for a business organisation to be classified at a higher level of readiness are presented.

Table 3. Classification and requirements for the "Strategy and Organisation" category

Level	Requirements
Level 5 Top performer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ The strategy is implemented and regularly reviewed ✓ Investments are made in Industry 4.0 for the entire enterprise

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uniform innovation management has been established throughout the enterprise
Level 4 Expert	<ul style="list-style-type: none"> ✓ The strategy is being implemented and reviewed sporadically ✓ Industry 4.0-related investments are being made in multiple areas ✓ Innovation is managed in multiple departments
Level 3 Experienced	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A strategy for transition to Industry 4.0 has been formulated ✓ Industry 4.0-related investments are being made in several areas ✓ Innovation management in isolated areas
Level 2 Intermediate	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A strategy for Industry 4.0 has been developed and a system of indicators has been defined ✓ Industry 4.0-related investments are at a low level
Level 1 Beginner	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pilot initiatives have been launched in some departments ✓ Initial investments in Industry 4.0 have been made
Level 0 Outsider	None of the requirements have been met

Source: Adapted from Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Table 4. Classification and requirements for the "Smart Factory" category

Level	Requirements
Level 5 Top performer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ The equipment infrastructure is in line with future functionalities ✓ All data is collected and utilised ✓ Comprehensive integrated IT system support for processes is provided
Level 4 Expert	<ul style="list-style-type: none"> ✓ The current equipment infrastructure meets Industry 4.0 requirements or can be upgraded ✓ Most data is collected, only some data is used ✓ Comprehensive IT support for processes (system-integrated)
Level 3 Experienced	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Future functionalities are (partially) satisfied or can be fully upgraded ✓ Relevant data is collected digitally and used only in some areas ✓ Some processes are supported by IT systems and are connected via interfaces
Level 2 Intermediate	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Future functionalities are (partially) satisfied or can be upgraded to a certain extent ✓ Data is collected (but largely manually) and used only for certain activities ✓ Some areas within the company are integrated and supported by IT systems.

Level 1 Beginner	<ul style="list-style-type: none"> ✓ The current equipment infrastructure meets some of the future requirements ✓ At least one core business process is supported by an IT system
Level 0 Outsider	None of the requirements are met

Source: Adapted from Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Table 5. Classification and requirements for the category 'Intelligent Operations'

Level	Requirements
Level 5 Top performer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fully integrated into the system information sharing ✓ Autonomous management and response processes are implemented ✓ Comprehensive IT security and cloud solutions implemented
Level 4 Expert	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comprehensive and systematically integrated information sharing ✓ Testing of autonomous management and response processes ✓ Comprehensive IT security mechanisms have been implemented and cloud solutions have been introduced
Level 3 Experienced	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Partially systematically integrated information sharing ✓ Partially implemented IT security solutions ✓ Initial cloud software solutions for data storage and analysis implemented
Level 2 Intermediate	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Partially implemented internal information sharing ✓ Multiple planned IT security solutions or initial solutions in development
Level 1 Beginner	<ul style="list-style-type: none"> ✓ First steps towards internal, system-integrated information sharing ✓ Planned initial IT security solutions
Level 0 Outsider	None of the requirements have been met

Source: Adapted from Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Table 6. Classification and requirements for the category "Smart Products"

Level	Requirements
Level 5 Top performer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Products have comprehensive additional functions based on ICT ✓ Comprehensive use of data collected during use for various functions
Level 4 Expert	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Products have additional ICT-based functions in different areas ✓ Targeted use of data collected during use for specific functions
Level 3 Experienced	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Products have multiple interconnected additional ICT-based functions ✓ Some of the data collected during use is used for analysis

Level 2 Intermediate	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Products have initial ICT-based additional functions implemented ✓ Data is collected during use, but is not analysed/used by the organisation
Level 1 Beginner	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Products have initial signs of additional ICT-based features
Level 0 Outsider	None of the requirements are met

Source: Adapted from Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Table 7. Classification and requirements for the category 'Data-driven services'

Level	Requirements
Level 5 Top performer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Data-driven services through integration with the customer ✓ Revenue generated from data-based services (>10%) ✓ High percentage of data utilisation (>50% of collected data)
Level 4 Expert	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Data-driven services through customer integration ✓ Revenue generated from data-based services (<10%) ✓ Data utilisation (20%–50% of collected data)
Level 3 Experienced	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Data-driven services, but not integrated with the customer ✓ Low revenue generated from data-based services (<7.5%) ✓ Data usage (20%–50% of collected data)
Level 2 Intermediate	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Data-driven services, but not integrated with the customer ✓ Low revenue generated from data-based services (<2.5%) ✓ Poor use of data from the utilisation phase (<20% of collected data)
Level 1 Beginner	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Data-driven services, but without customer integration ✓ Initial revenue generated from data-based services (<1%)
Level 0 Outsider	None of the requirements are met

Source: Adapted from Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

Table 8. Classification and requirements for the category 'Employees'

Level	Requirements
Level 5 Top performer	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Employees have all the necessary skills in a number of relevant areas
Level 4 Expert	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Employees have adequate skills in a number of relevant areas
Level 3 Experienced	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Employees have adequate skills in some relevant areas
Level 2 Intermediate	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Employees have a low level of skills in several relevant areas
Level 1 Beginner	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Employees have a low level of skills in only one relevant area

Level 0 Outsider

None of the requirements are met

Source: Adapted from Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., 2015. INDUSTRIE 4.0 READINESS. VDMA's IMPULS-Stiftung. Cologne

To assess readiness for the transition to Industry 4.0, each company that completes the questionnaire receives a score from 0 to 5 for each of the six areas. This score is multiplied by the corresponding weighting from Table 2. To obtain an overall readiness score from 0 to 5, the scores obtained for the six aspects are added together and multiplied by 100 according to the following formula:

$$\text{Readiness level}^2 = ((\text{SO} \times 0.254) + (\text{IF} \times 0.143) + (\text{IO} \times 0.102) + (\text{IP} \times 0.185) + (\text{IOD} \times 0.138) + \text{C} \times 0.179) \times 100$$

Based on the final score, the organisation is classified into one of the following levels, which are associated with three categories expressing the degree of preparedness, as follows:

- ▶ "Beginner" – companies that have done nothing or very little to implement industrial transition and fall into level 0 (outsider) and level 1 (beginner) are classified as such.
- ▶ "Learner" – this category includes companies whose preparedness corresponds to level 2 (advanced) and which have successfully taken the first steps in their industrial transition.
- ▶ "Leaders" – this category includes companies whose preparation corresponds to levels 3 (experienced), 4 (expert) and 5 (top performer). These companies are already on their way to successfully incorporating the principles of Industry 4.0 into their operations (Lichtblau et. al, 2015).

Subsection 2.3.2. sets out the objective, subject, research thesis and research questions that the empirical study aims to answer.

The main objective of the empirical study is to provide primary information in six main areas (Strategy and Organisation; Smart Factory; Smart Operations; Smart Products; Data-driven Services; Employees) on the basis of which the overall level of readiness of a group of Bulgarian SMEs operating in the Manufacturing sector has been determined and

² Where:

- SO = Strategy and Organisation, and 0.254 is the weight of the aspect.
- IF = Intelligent Factory, 0.143 represents the weight of the aspect.
- IO = Intelligent Operations with a weight of 0.102.
- IP = Intelligent Products with a weight of 0.185 in the overall readiness level.
- DBS = Data-based services with a weight of 0.138.
- E = Employees with a weight of 0.179.

recommendations and models for increasing readiness for the transition to Industry 4.0 have been formulated.

The subject of the empirical study are Bulgarian SMEs whose economic activity code according to the Classification of Economic Activities (CEA-2008) of 01.01.2008 of the NSI falls within group C Manufacturing.

The research thesis is that the readiness of Bulgarian SMEs operating in the manufacturing sector is at an unsatisfactory level for a successful transition to Industry 4.0. An "unsatisfactory level" is defined as levels 0 to 2, which correspond to the categories "Beginner" (levels 0 and 1) and "Learner" (level 2). Levels 3 (experienced), 4 (expert) and 5 (top performer) or the group of so-called "Leaders" according to the INDUSTRIE 4.0 READINESS model (2015) will be considered a sufficiently high level of readiness for a successful transition. Companies that are beginners and learners (levels 0 to 2 inclusive) are those that have either not taken any steps towards Industry 4.0 or have successfully implemented initial steps (level 2), which indicates the potential for transition in certain aspects, but this may be due to the current needs of the company in specific areas and is not a guarantee of the successful application of Industry 4.0 principles throughout the entire organisation. Companies that are classified as Leaders at levels 3 to 5 are already characterised by the implementation of Industry 4.0 principles in many aspects (level 3) or in almost all or all aspects (levels 4 and 5) of their activities, which is an indicator of high potential and a prerequisite for a successful transition to Industry 4.0.

The research questions to be answered in the study are as follows:

14. What organisational and technological measures/actions have Bulgarian business organisations operating in the manufacturing sector taken to implement the transition to Industry 4.0?
15. What is the level of readiness for the transition to Industry 4.0 of the group of business organisations operating in the manufacturing sector?
16. What are the obstacles for Bulgarian business organisations operating in the manufacturing sector to transition to Industry 4.0?
17. Is there a correlation between the size (category according to the SME Act (lex.bg, 2020)) of enterprises and their level of readiness for Industry 4.0?
18. Is there a correlation between the revenue of enterprises and their level of readiness for Industry 4.0?

19. Is there a correlation between the geographical location of business organisations and their level of readiness for industrial transition?
20. Is there a correlation, and if so, to what extent, between the investment activity of business organisations and their level of readiness for Industry 4.0?
21. To what extent does the skill level of business organisation employees influence their readiness for Industry 4.0?
22. To what extent does the technological level of business organisations influence their readiness for Industry 4.0?
23. To what extent does the existence of autonomous processes in companies in the manufacturing sector influence their level of readiness for Industry 4.0?
24. To what extent does the provision of intelligent, data-based products and services influence the readiness of the companies in the sample to transition?
25. What approach/steps could Bulgarian SME managers take to increase the readiness of their companies for Industry 4.0?
26. What actions could be taken at the institutional level to support Bulgarian SMEs in their transition to Industry 4.0 and increase their digital maturity?

Subsection 2.3.3. presents in detail the tools used to collect, process and analyse the primary data from the study. The tool selected for collecting primary information is an individual anonymous questionnaire, part of the INDUSTIE 4.0 READINESS model. Within this sub-point, the questionnaire is presented and analysed in detail, and for the purposes of reflecting some key characteristics of Bulgarian SMEs, some of the demographic questions have been added and adapted, including revenue in thousand BGN over the last two years, number of employees, region in which the company is located, etc. The purpose of the added demographic questions is to allow the study of the dependencies between the revenue, category, geographical location and sector of operations of the companies and their level of readiness for Industry 4.0.

, the *tool used to analyse the survey data*, is presented later in the same section and includes qualitative and quantitative (statistical) methods. The qualitative tool includes:

- *Descriptive analysis* – this type of analysis is applied to determine the categories of readiness based on the surveys, which provides orientation in the pre-processed data and facilitates the transition to the actual statistical processing of the collected data.

- *Analysis* – this method is used to determine the relationships and dependencies between different aspects (strategy, employees, etc.) within companies to determine their readiness for the transition to Industry 4.0.
- *Induction method* – this method was applied to draw conclusions about the categories of readiness for the transition to Industry 4.0. Based on individual observations, conclusions were made regarding the respective categories.
- *Deduction method* – this method was applied when determining the specific barriers to transition to Industry 4.0 for each of the categories, as they are predefined in the model for each of the categories. Therefore, when classifying a given enterprise in a specific category, the relevant barriers to transition to Industry 4.0 for that specific category are considered inherent to it, as they have already been confirmed in the INDUSTRIE 4.0 READINESS study.
- *Comparative analysis* (comparison) – this method is applied in order to identify the similarities and differences between the different categories of readiness of Bulgarian business organisations in the target sector, as well as to identify similarities and differences in the "behaviour" of organisations with regard to Industry 4.0 according to their category, revenue and geographical location.
- *Synthesis method* – this method was used to draw conclusions based on the results of observations made regarding the level of readiness for transition to Industry 4.0 of business organisations in the manufacturing sector in Bulgaria, as well as for formulating recommendations according to the different categories of readiness to increase readiness for a successful transition.

The statistical tools used include:

- *Correlation analysis* – correlation analysis was applied to establish dependencies between readiness for Industry 4.0 and key organisational and technological characteristics of the companies in the sample. For this purpose, *the method of coding empirical information* was first applied, in which qualitative variables (e.g. micro, small, medium, large enterprise) were translated into quantitative values allowing their statistical modelling. Variables that are not characterised by gradation are defined by dummy variables such as the region in which the companies operate – South-West, North-West, etc. The correlation analysis was performed using the Excel programme, "Correlation" function, examining the existence of a correlation (dependence) between the specified category (start-up, learning, leader) and

the category of enterprises (micro, small, medium, large), their location, sector and revenue for the last two financial years preceding the completion of the questionnaire; the existence of autonomous processes; the offering of intelligent data-based products and services; and employee skills. The correlation analysis includes 4 main characteristics (size (category), revenue, sector of activity and geographical location) and 6 additional ones. For the purposes of enriching the correlation analysis and the regression model, additional demographic characteristics of the companies participating in the survey by classifying them into specific categories based on the respondents' answers to some of the key questions in the questionnaire for determining the level of readiness for Industry 4.0, as follows:

- 7) Based on the respondents' answers to question 4 of the questionnaire ***"In which areas of your company's activities have you invested in order to implement Industry 4.0 in the last two years? from the "Strategy and Organisation" section,*** the factor "Investment Activity" was defined, according to which companies are divided into: 1) Companies with low investment activity in relation to Industry 4.0 – companies with predominantly (4+) small investments made in the last 2 years; 2) Companies with medium investment activity – predominantly medium investments over the last two years; 3) Companies with high investment activity – predominantly large investments in the last 2 years. The aim is to identify the extent to which investment activity is important for increasing SMEs' readiness for Industry 4.0.
- 8) Based on the results of question 2 ***"What technologies do you use in your company?"*** from the Strategy and Organisation section, the factor "Technological level" has been defined, on the basis of which companies are divided into: 1) Companies with a low technological level – use 2 or fewer of the 7 technologies listed; 2) Companies with medium technological level – use >2 technologies; 3) Companies with high technological level – use 5 or more technologies. The aim is to identify the weight of the technological arsenal in terms of increasing the level of readiness for Industry 4.0.
- 9) Based on the respondents' answers to question 1 ***"Does your company offer products equipped with the following additional functionalities based on information and communication technologies?"*** from the Smart Products section, the factor "Offering smart products (SP)" is defined, and companies are divided into those that offer smart products and those that do not. The aim is to identify the importance of smart product manufacturing for increasing maturity in relation to Industry 4.0.
- 10) The factor "Availability of autonomous processes (AP)" is defined based on the answers to question 2 in the Intelligent Operations section: ***"The vision of Industry 4.0***

is a detail/product that is managed independently in production. Does your company already have processes/operations in which parts/products move autonomously in production?" Based on the answers to this question, companies are divided into those that have and those that do not have autonomous processes, with the aim of establishing to what extent the level of readiness of companies that have such processes/operations is higher than that of those that do not.

- 11) Based on the respondents' answers to question 1 of the questionnaire *"How do you assess the skills of your employees when it comes to the future requirements of Industry 4.0?"* from the "Employees" section, the factor "Employee skills" was formulated, with companies being divided into: 1) Companies with a low level of employee preparedness; 2) Companies with a medium level of employee preparedness; 3) Companies with a high level of employee preparedness.
 - 12) The factor "Data-based services" is formulated on the basis of the information obtained through question 1 in the "Data-based services" section: *"The process data collected in production and in the use phase enable new services. Do you offer such services?"* Companies are divided into: 1) Companies that do not offer such services; 2) Companies that offer data-based services without integration with the customer; 3) Companies that offer data-based services integrated with the customer.
- *Multivariate regression analysis* – to assess the factors determining the levels of readiness for Industry 4.0 among the companies in the study, a multivariate linear regression analysis was performed using the "Regression" function for statistical analysis in Excel.

Chapter III: Analysis of the research results

The third chapter is directly related to the implementation of the other three tasks of the dissertation, namely by conducting empirical research to determine the readiness for transition to Industry 4.0 of the companies from the "Manufacturing Industry" sector that participated in the study; to formulate recommendations to managers for increasing the readiness of companies, as well as to develop step-by-step models at the macro (institutional) and micro (enterprise) levels to stimulate industrial and digital transition.

The third chapter of the dissertation is structured in six main paragraphs, providing detailed information on the organisation and conduct of the empirical study; characteristics of the sample; a detailed analysis of the results of the questionnaire and a definition of readiness for Industry 4.0 in the six areas assessed by the IMPULS Foundation model, as well as a definition

of the overall level of readiness of the companies participating in the study. The fourth paragraph aims to establish, through correlation and multivariate regression analyses, the existence of dependencies between the overall level of readiness for Industry 4.0 of the companies in the sample and their key characteristics, including (revenue, category, sector, geographical location, investment activity, provision of data-based services, etc.). The fifth paragraph outlines the key obstacles faced by the companies participating in the study in increasing their level of readiness for Industry 4.0 and provides recommendations to management on each of the six aspects of the IMPULS Foundation model that were evaluated. The final paragraph presents the authors' models for increasing the level of readiness for Industry 4.0 on institutional level, and on micro level within the companies themselves.

The first and second paragraphs focus on how the study was conducted and the characteristics of the sample. A total of 50, Bulgarian micro, small, medium and large enterprises operating in the target sector participated in the study, with the target sample size for the purposes of the study being 100% complete.

According to data from the National Statistical Institute (NSI), at the end of 2023, a total of 30,125 companies were operating in sector C "Manufacturing", which represents the general population studied. The survey reached 1/3 of the general population (10,000 companies in the sector), but responses were received from 50 companies.

Based on the analysis of the responses provided to the questions in the "General questions about your company" section, the following conclusions were made:

- 78% (39 companies) of the companies fall within the "Manufacturing" sector and 22% (11 companies) within the "Machinery Manufacturing" sector;
- The sample covers companies operating in all planning regions in Bulgaria, with a predominance of companies from the South-West region (36%) and South-Central region (28%). The distribution among the other regions includes: North-West (8%), North-Central (20%), North-East (10%), South-East (14%).
- Based on the definitions of SMEs according to the SME Act (lex.bg, 2020), 88% of the companies in the sample are SMEs, as their average number of employees in the last two completed financial years at the time of the survey was less than 249. 12% (6 companies) belong to the category of large enterprises, as they had more than 250 employees in the last two completed financial years preceding the survey. Therefore, the sample includes representatives of all categories of enterprises, which allowed for an investigation of the relationship between the category of companies and progress in relation to Industry 4.0. For the purposes of comparability between all categories, the readiness of large enterprises was

also assessed, but the recommendations and models defined for increasing readiness for Industry 4.0 are addressed to SMEs.

- 56% of companies had revenues of up to BGN 3.9 million over the last two years; 26% had revenues of up to BGN 19.5 million; 12% had revenues of up to BGN 97.5 million; and 6% had revenues of over BGN 97.5 million.

Paragraph 3.3. of the dissertation presents a detailed analysis of the level of readiness for Industry 4.0 in each of the six aspects assessed in the IMPULS Foundation model: 1) Strategy and organisation; 2) Smart factory; 3) Smart operations; 4) Smart products; 5) Data-based services; 6) Employees, and answers research questions 1 and 2.

The analysis of the results in relation to the "Strategy and Organisation" aspect (see Fig. 2) showed that 84% of the companies participating in the study are at readiness level 1 "Beginners", 8% are at level 3 "Experienced" and 8% are at level 4 "Expert". The average level for this category is 0.37, which corresponds to "Beginners" at a maximum of 1.27, which corresponds to the "Top Performer" level.

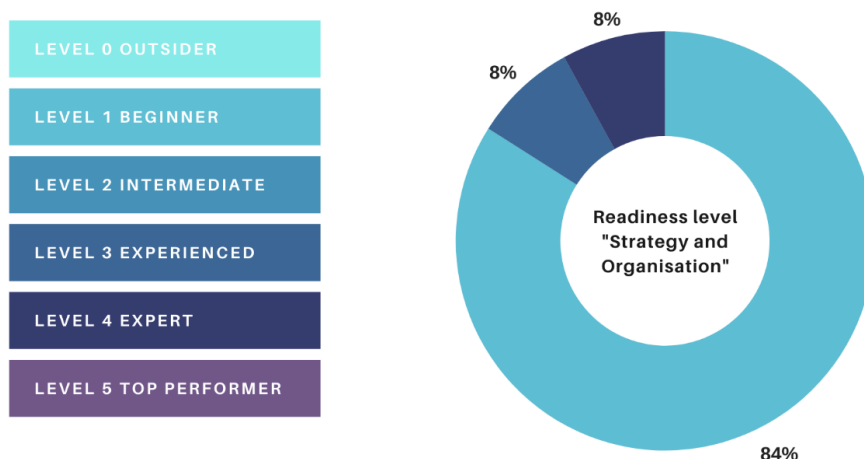


Fig. 2 Readiness level of companies according to the "Strategy and Organisation" category

If we consider the extreme levels of readiness, we can conclude that 84% (42 companies) fall into the "Beginner" category, while 16% (8 companies) fall into the "Leader" category. This result indicates that the transition to Industry 4.0 is not yet a key strategic priority for companies, or at least not a conscious one, as it is assumed that some of the respondents may not be sufficiently informed about Industry 4.0, which is why they answered some questions negatively.

According to the results in Fig. 3 regarding the "Smart Factory" aspect, most companies (42% - 21 companies) are at readiness level 2 "Intermediate", almost 1/3 (15 companies) are

still at level 1 "Beginners", 14% (7 companies) do not yet meet any of the requirements of a smart factory and are "Outsiders", 8% (4 companies) are at level 4 "Expert" and 6% or 3 companies are at level 3 and are experienced in this aspect. The average level for this category is 0.23, which corresponds to "Beginners" with a maximum of 0.71, which corresponds to the "Top Performer" level.

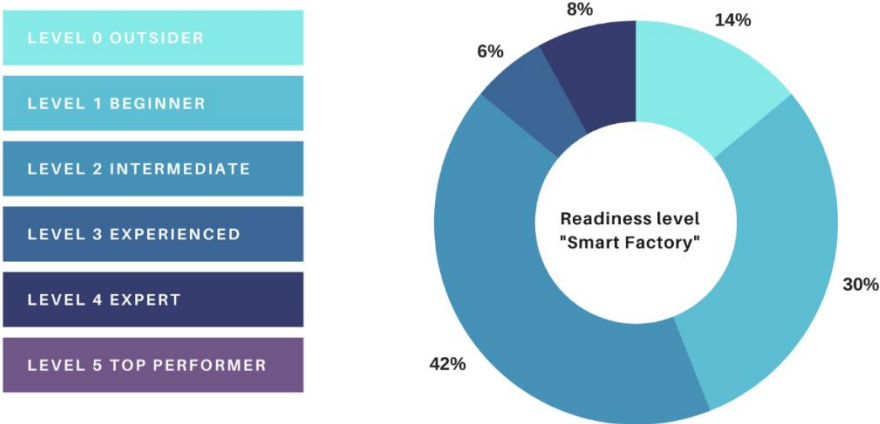


Fig. 3 Level of readiness of companies according to the "Smart Factory" category

If we relate the five levels to the three main categories of readiness, we can conclude that the majority of companies in the study, 44% (23 companies), are at levels 0 to 1 and are therefore still beginners in terms of Industry 4.0. 42% (21 companies) fall into the "Learning" category, and 7 companies are in the "Leaders" category. This result shows a still relatively low level of transition to Industry 4.0 and, respectively, no and/or limited application of technologies such as digital modelling, lack of adequate infrastructure and/or infrastructure that cannot be upgraded, low level of data collection and use from processes and machines, and lack and/or limited use of intelligent IT systems for process management.

With regard to the aspect of "Intelligent Operations", there is a more even distribution of companies at all levels, but there are no companies at level 5 "Top Performer". The largest number of companies are at level 2 "Intermediate" – 30% (15 companies), followed by level 1 "Beginner", which includes 13 companies, level 3 "Experienced", which includes 11 companies; nine companies are at level zero, and only two are at level 4 "Experts".

The average level achieved is 0.17, which corresponds to "Beginner" with a maximum of 0.51, which corresponds to the "Top Performer" level in the "Intelligent Operations" category.

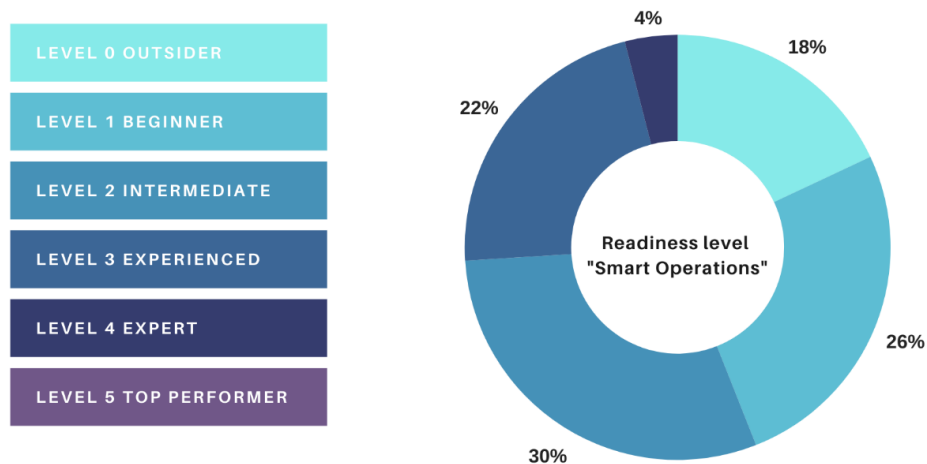


Fig. 4. Level of readiness of companies according to the "Smart Operations" category

Based on the above distribution, in this aspect as well, the largest share is observed among beginners (from level 0 to 1 inclusive) – 40% (22 out of a total of 50 companies); 15 companies (30%) are "Learning" and 13 companies (30%) are "Leaders" in the context of smart operations as part of Industry 4.0.

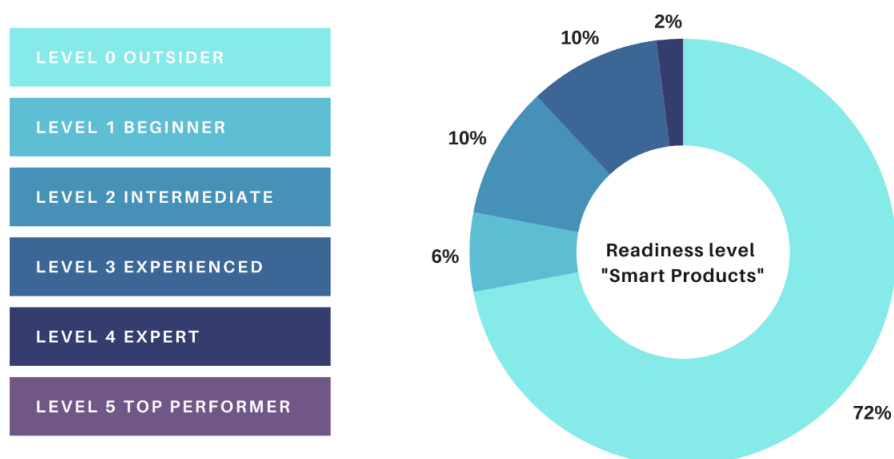


Fig. 5. Level of readiness of companies according to the "Smart Products" category

The results for the "Smart Products" aspect, illustrated in Fig. 5, indicated that this category is characterised by the most "Outsiders" (companies at level 0) compared to the previous aspects. This result shows that over 70% of companies do not manufacture products with any smart functionalities. 10% of companies are at level 2 "Intermediate", which means that these companies have implemented some ICT functionalities in their products and collect data from them, but do not analyse it. 10% are "Experienced" () – the products have a number of ICT functionalities, data is collected and some of it is analysed. 6% are "Beginners", i.e. they have taken the first steps towards introducing limited ICT functionalities in their products, and only

one company is at level 4 "Expert", which means that the products have multiple ICT functionalities and the company purposefully collects data from its products during their use and uses it to upgrade specific functionalities. The "Expert" company is a large enterprise (over 250 employees) from the South-West region and operates in the mechanical engineering sector, which predisposes it to the widespread integration of ICT functionalities in the end product. In this regard, it should be noted that, depending on the type of production, some products, such as electronic components, for example, have a wider scope for ICT functionality integration compared to products such as clothing and textiles, which, unless they have specialised health and sports applications, traditionally do not feature ICT functionalities. Therefore, the reason for the low level of readiness among the companies surveyed could be due to the nature of the products manufactured. In this category, there is also not a single company that falls into the "Top Performer" level.

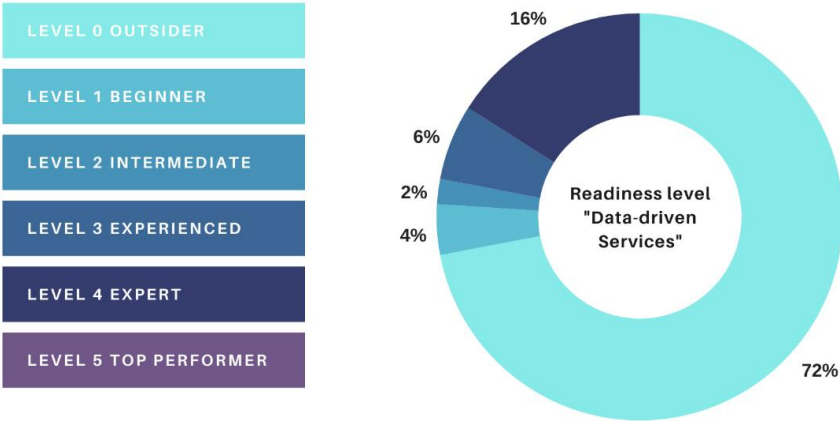


Fig. 6 Readiness level of companies by category "Data-based services"

Fig. 6 presents the overall results regarding readiness for the transition to Industry 4.0 in the context of the evolution of business models towards the provision of data-based services accompanying products. Similar to the category of smart products, here too there is a trend of many companies (72%) that do not meet any of the conditions in this category and are therefore classified as "Outsiders". By comparison, German companies (IMPULS, 2015) at this level accounted for 84.1% 10 years earlier. It is interesting to note that the second largest group among Bulgarian companies are "Experts" (16% - 8 companies) - these are companies that offer data-based services that are integrated with the customer, generate revenue from these services and use 20-50% of the collected data to formulate and improve these services. 4% are defined as "Beginners" – they offer services without integration with the customer, generating revenue <1%; 6% fall into the "Experienced" level – they offer data-based services without customer integration, generate less than 7.5% of total revenue, and use between 20-50% of the collected

data to offer such services. Only one company falls into level 2 "Intermediate" – offering services without customer integration, with revenue not exceeding 2.5% and using less than 20% of the data collected.

The overall average level for all companies surveyed in this category is 0.12, which corresponds to level 0 "Outsider", as the coefficient required to reach level 1 "Beginners" for this category is 0.14.

The results in Fig. 7 show that more than half of the companies participating in the study are at level 2 "Intermediate", which indicates that their employees have limited skills in only a few areas relevant to Industry 4.0. Twenty per cent (10 companies) are classified as "Experienced," meaning that their employees have adequate skills in several relevant areas. Only 8 companies are at level 0 (6 companies) or level 1 (2 companies), meaning that their employees have no skills in any of the relevant areas or have limited skills in only one area. Two companies are at level 4 "Expert" and three are at level "Top Performer", which means that their employees have adequate or all the necessary skills in multiple relevant areas, respectively. This aspect is the only one of all six assessed in the model where companies at level 5 "Top performer" are observed. The companies at this level are micro, medium and large, all three concentrated in the South-West region, which confirms the hypothesis that companies in southern Bulgaria, and especially in the South-West region, which includes the capital, are more advanced in their transition to Industry 4.0 compared to those located in Northern Bulgaria.

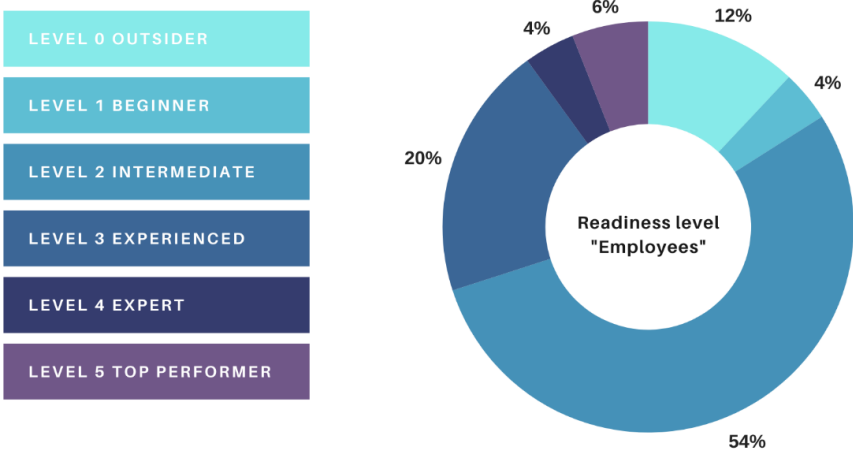


Fig. 7 Level of readiness of companies by category "Employees"

The average score for the "Employees" aspect is 0.39 out of a maximum possible 0.89, which shows that most companies are at an intermediate or advanced level. This shows that Bulgarian companies have qualified staff who, with the implementation of appropriate programmes for upskilling and/or reskilling, could support the transition of companies to a

higher level of readiness for Industry 4.0. It is in the "Employees" aspect that Bulgarian enterprises score their highest results. The same trend is observed in the IMPULS Foundation's 2015 study of German companies, where 75.5% of companies were classified as beginners or intermediate, with scores between 0 and 2, while in the current study, 70% of Bulgarian companies participating in the study fall into these categories. This phenomenon could also be due to the fact that the respondents are managers and employees in the respective companies and are asked about their subordinates and colleagues, to whom they may potentially have an emotional attachment, which creates conditions for biased and/or inflated assessments of their skills as a result of the respondent's individual perceptions.

After a detailed analysis and definition of readiness levels from 0 to 5 for each of the six aspects of the model, the overall level of readiness for Industry 4.0 of the companies in the sample was determined. This section presents the final result of the assessment of the level of readiness for transition to Industry 4.0 of the Bulgarian SMEs that participated in the study. The final readiness coefficient was calculated according to the following formula for the weighted average value:

$$\text{Readiness level} = ((\text{SO} \times 0.254) + (\text{IF} \times 0.143) + (\text{IO} \times 0.102) + (\text{IP} \times 0.185) + (\text{IOD} \times 0.138) + \text{C} \times 0.179) \times 100$$

Where:

- SO = Strategy and organisation, and 0.254 is the weight of the aspect.
- IF = Intelligent Factory, 0.143 represents the weight of the aspect.
- IO = Intelligent Operations with a weight of 0.102.
- IP = Intelligent products with a weight in the overall readiness level of 0.185.
- DBS = Data-based services with a weight of 0.138.
- E = Employees with a weight of 0.179.

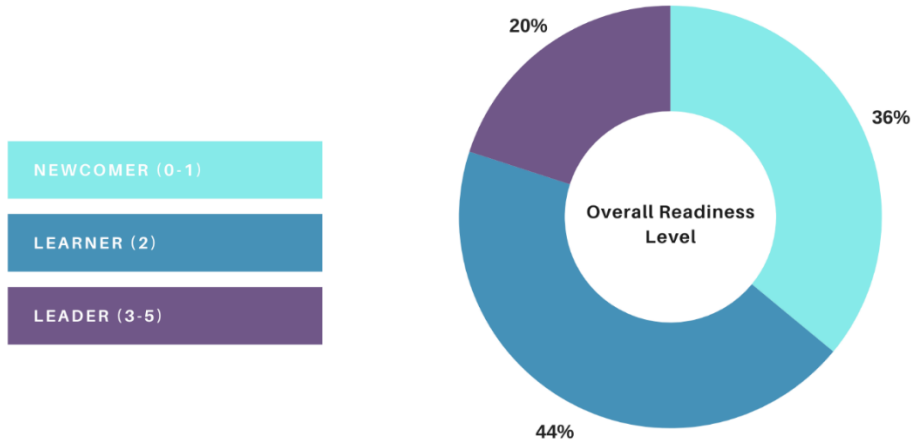


Fig. 8 Final assessment of the readiness level for transition to Industry 4.0

At the end of paragraph 3.3, the overall final assessment according to the model of the IMPULS Foundation and the German Engineering Federation (VDMA) is presented, which classifies companies into three main categories:

- **The "Beginner" category** covers companies whose cumulative assessment across the six aspects falls within the range between 0 and 1, i.e. the so-called outsiders and beginners.
- The **"Learner" category** includes organisations whose overall score is above 2 but below 3, i.e. the companies at intermediate level (level 2).
- **Category "Leaders"** – this category includes all companies whose cumulative score on the six aspects assessing readiness for Industry 4.0 is above 3 and up to a maximum of 5.

A summary analysis of the readiness of Bulgarian SMEs operating in Sector C "Manufacturing" showed that 80% of the 50 companies surveyed are characterised by a readiness level between 0 (Beginner) and 2 (Learner), which are considered unsatisfactory for ensuring a successful transition in the context of Industry 4.0. Only 20% or 10 companies out of a total of 50 fall into the category of "leaders" at levels from 3 upwards, with more at level 3, which is the lowest step for the more prepared companies. These results *confirm the research thesis of the dissertation that, for the most part, Bulgarian companies in the sector under review are still characterised by an unsatisfactory level of readiness for Industry 4.0*, which is an indicator of the need to implement targeted actions, both at the macro level – by institutions to encourage their transition, and at the micro level (in companies) by management to increase the level of readiness and digital maturity.

The fourth paragraph of Chapter Three aims to examine the existence of a relationship between the overall level of readiness of the companies in the sample and their key characteristics, as well as to determine the extent to which a company's level of readiness can be attributed to this combination of factors and/or to each factor individually. The specific factors used to analyse the dependencies are: category of enterprises, revenue, location by planning region in the country; sector; offering of intelligent data-based products and services; employee skills; presence of autonomous processes/operations; investment activity and technology level. By examining the dependencies with these factors, research questions 4 to 11 are answered.

In order to determine whether there is a correlation between the listed factors and the level of readiness for Industry 4.0, the qualitative variables were appropriately coded into quantitative

and dummy variables. For the purposes of the correlation analysis, an add-in to the Excel programme for statistical analysis was used and the "Correlation" function was applied to generate a correlation matrix (see Table 9) to determine which variables have a significant or potentially important relationship with "Level of readiness for Industry 4.0" – the main dependent variable in the study.

Table 9. Correlation matrix

Readiness level	Sector	Category	Revenue	Southwestern region	South Central Region	Southeast region	Northwestern region	Northeast region	North Central Region	Investment activity	Technological level	Offering smart products	Presence of APs	Employee skills	Data-driven services
1															
-0.12918	1														
0.094186	0.03717	1													
0.123147	0.02563	0.662362	1												
0.238739	0.19715	-0.12157	-0.01106	1											
-0.04067	-0.01541	-0.18846	-0.09278	-0.44456	1										
-0.15969	0.04754	0.189541	0.334883	-0.27696	-0.21889	1									
-0.16615	-0.27242	0.044363	-0.09686	-0.18948	-0.14976	-0.0933	1								
-0.16615	-0.27242	-0.12627	-0.19	-0.18948	-0.14976	-0.0933	-0.06383	1							
0.098142	0.07514	0.28495	0.015299	-0.3026	-0.23916	-0.14899	-0.10194	-0.10194	1						
0.383903	0.17356	0.117381	0.129687	0.05235	-0.15754	0.025776	0.091113	-0.2028	0.179034	1					
0.40393	0.08875	-0.04426	0.037712	0.142083	0.088674	0.04263	0.029166	-0.19519	-0.23494	0.170147	1				
0.513107	-0.38982	0.159167	0.038614	-0.12729	0.109449	0.026861	-0.1654	0.018377	0.113201	0.236092	0.191844	1			
0.176033	-0.06401	0.109776	0.015299	-0.18252	0.023653	0.02838	-0.10194	0.140768	0.169435	0.179034	0.07217	0.364758	1		
0.526009	0.19932	0.246952	0.140233	-0.03481	0.062746	0.033273	-0.13245	-0.02897	0.048158	0.451112	0.32602	0.246671	0.260618	1	
0.626744	-0.22552	0.241922	0.113711	0.198083	-0.02899	-0.21434	-0.14664	-0.03026	0.084435	0.209324	0.14064	0.524735	0.243746	0.34096	1

The results of the correlation analysis highlight the priority of "Data-based services", "Employee skills" and "Offering smart products" as key determinants of readiness, which is in line with the theoretical framework of IMPULS (IMPULS-Stiftung, 2015), emphasising the integration of data and human resources. The moderate correlation with "Technological Level" and "Southwestern Region" suggests a potential effect of the technological base and regional advantages (e.g. Sofia), but the weak links with revenue and sector suggest that financial scale is not a decisive factor in the current context of Bulgarian SMEs. The negative correlations with some regions may reflect the uneven development of infrastructure, which is typical for transition economies such as Bulgaria.

In this regard, in order to further investigate the impact of these factors on the level of readiness, a multivariate linear regression analysis was applied, where the dependent variable is the level of readiness for Industry 4.0.

For the purposes of regression analysis, an add-in to the Excel programme for statistical analysis was used and the "Regression" function was applied. The results obtained are presented in Tables 10, 11 and 12.

Table 10 Regression statistics

Regression Statistics	
Multiple R	0.829681
R Square	0.68837
Adjusted R Square	0.535146
Standard Error	0.493745
Observations	50

The results of the regression analysis show that the model is statistically significant and explains a substantial part of the variation in the dependent variable – "level of readiness". The obtained value of Multiple R = 0.83 indicates a high degree of linear dependence between readiness for Industry 4.0 and the selected predictors. $R^2 = 0.69$, which means that approximately 69% of the variation in readiness levels can be explained by the independent variables included in the model.

$R^2 = 0.535$, after adjusting for the number of independent variables, the explanatory power decreases to about 54%. This shows that the model includes factors with varying degrees of significance, with some having a limited contribution, such as sector, revenue, category, etc.

Table 11 Results of ANOVA analysis

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	15	18.84756	1.256504	5.522328	1.82E-05
Residual	35	8.532436	0.243784		
Total	50	27.38			

The results of the ANOVA variance analysis confirm the overall statistical significance of the model. With 15 degrees of freedom for the regression and 35 for the residual, the F-statistic of 5.522 with a corresponding significance F (p-value) of 1.82E-05 ($p < 0.01$), significantly below the conventional threshold of 0.05, *rejects the null hypothesis of no effect of the predictors*. The total sum of squares (SS Total = 27.38) is distributed between regression (SS Regression = 18.84) and residual (SS Residual = 8.53) components, with the mean square values emphasising that the variation explained by the model (MS Regression = 1.26) significantly exceeds the unexplained variation (MS Residual = 0.24).

Table 12 Regression coefficients

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0.2858	0.36	0.7930	0.4331	0.4459	1.0176	-0.4459	1.0176
Sector	-0.2935	0.2415	-1.2154	0.2323	0.7838	0.1967	-0.7838	0.1967

Category	-0.1678	0.1158	-1.4489	0.1562	0.4029	0.0673	-0.4029	0.0673
Revenue	0.1381	0.1189	1.1619	0.2531	0.1032	0.3796	-0.1032	0.3796
Southwestern region	0.5588	0.3607	1.5491	0.1303	0.1735	1.2912	-0.1735	1.2912
South Central Region	0.2386	0.3477	0.6864	0.4969	0.4672	0.9445	-0.4672	0.9445
Southeast region	0.1200	0.4024	0.2982	0.7672	0.6969	0.9370	-0.6969	0.9370
Northwestern region	0.1472	0.4602	0.3198	0.7509	0.7871	1.0816	-0.7871	1.0816
Northeast region	0	0	65535	#NUM!	0	0	0	0
North Central Region	0.6607	0.3842	1.7193	#NUM!	0.1194	1.4408	-0.1194	1.4408
Investment activity	0.0854	0.1590	0.5370	0.5946	0.2374	0.4082	-0.2374	0.4082
Technological level	0.2016	0.1088	1.8531	0.0723	0.0192	0.4226	-0.0192	0.4226
Offering smart products	0.3364	0.2301	1.4616	0.1527	0.1308	0.8037	-0.1308	0.8037
Presence of autonomous processes/operations	-0.1380	0.228	-0.6053	0.548	0.6009	0.3248	-0.6009	0.3248
Employee skills	0.3208	0.1154	2.7795	0.0086	0.0865	0.5551	0.0865	0.5551
Data-driven services	0.2991	0.1343	2.2260	0.0325	0.0263	0.5719	0.0263	0.5719

According to their statistical significance, the factors included in the model can be distinguished as follows:

- **Significant factors** ($p < 0.05$) - the most significant factor is "Employee skills" ($\beta = 0.321$; $p = 0.009$), which clearly shows that companies with greater human capital and digital competencies are significantly better prepared for Industry 4.0. Therefore, improving staff qualifications should be a starting point and priority for Bulgarian managers in order to increase the level of readiness. The second significant factor is Data-based services ($\beta = 0.299$; $p = 0.033$), which shows that companies that collect and manage information flows in the company in an adequate manner, which is also monetised in the context of Industry 4.0, demonstrate higher maturity.
- **Borderline significant factors** ($0.05 < p < 0.10$) - one such factor is the technological level ($\beta = 0.202$; $p = 0.072$), therefore, the higher the technological level, the higher the readiness, but the effect is borderline. This suggests that some companies may have the technology but do not use it effectively.

- **Insignificant factors:** The rest, including revenue, category, sector, "Investment activity", "Offering smart products", "Availability of autonomous processes" and regional indicators, are not significant, with confidence intervals including zero.

These results show that employee skills play the most significant role in Industry 4.0 readiness. This is because, although Industry 4.0-based technologies in companies with a high readiness to self-manage to a large extent, this does not mean that the need for human capital is smaller. On the contrary, increasing readiness for Industry 4.0 and effectively implementing these technologies requires human capital with adequate skills such as complex problem solving, cybersecurity skills, working with AI, etc. Another important factor is the provision of data-based services. This is because a number of conditions must be met before such services can be provided, such as the use of information gathering technologies (e.g. sensors, detectors, etc.) and big data processing (e.g. artificial intelligence, machine learning, etc.). In addition, data-based services are often directly linked to the provision of smart products, from which data is also collected. In order for all these prerequisites to be in place, investments in technology, its implementation and human resources with the necessary skills to turn information into revenue-generating services are required. Therefore, it can be argued that companies with people with the right skills and offering data-based services are characterised by higher levels of maturity in terms of Industry 4.0.

To summarise paragraph 3.4, the correlation matrix and regression analysis reveal that data-based services and employee skills are key factors in increasing Industry 4.0 readiness in Bulgarian enterprises, which should guide recommendations to SME managers towards strategic investment in digital transformation.

Paragraph 3.5. of the dissertation answers research question 3 by proposing recommendations on two levels based on the identified barriers and gaps in each of the six aspects assessed in relation to Industry 4.0, as well as the results from point 3.4.

- Aimed at Bulgarian SME managers – how to increase the level of readiness (internally) in each of the aspects step by step;
- Aimed at institutions – how to complement, support and stimulate (externally) the actions of micro-level managers in relation to each of the six aspects, so as to achieve a synergistic approach for a successful industrial transition.

The sixth paragraph of Chapter Three is based on the understanding that in order to raise the overall level of readiness of Bulgarian businesses in the target sector for a successful transition to Industry 4.0, efforts are needed both at the micro level – by business managers – and at the macro (institutional) level, as one of the key characteristics of Industry 4.0 is precisely working in an integrated network along the value chain. This section presents two models that address research questions 12 and 13: 1) An institutional model for stimulating the transition to Industry 4.0 and 2) A model for increasing readiness for Industry 4.0.

Fig. 9 schematically presents the proposed steps that could be taken at the macro level by establishing regional test operating environments for Industry 4.0 in combination with existing and separate structures such as ECH, whose role is precisely to stimulate the dual transition (digital and environmental) of Bulgarian business.

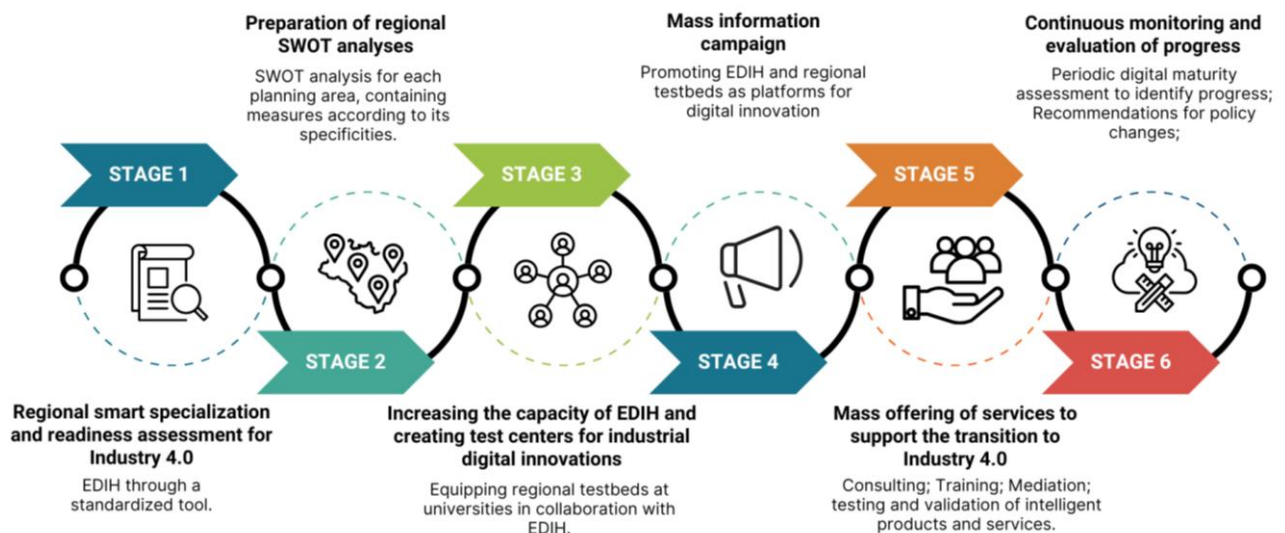


Fig. 9 Institutional model for stimulating the transition to Industry 4.0

Based on the defined model, at the institutional level, Bulgarian industrial policy should focus on:

- Regional disaggregation by assessing the readiness for Industry 4.0 in the six regions of the country and planning the creation of regional testbeds for industrial digital innovations based on the key sectors with high potential for each region defined in the Innovation Strategy for Smart Specialisation (ISIS) 2021-2027 (MIR, 2022) key sectors with high potential for each region.
- Regional analysis of strengths and weaknesses (SWOT analysis by region) – close alignment of the portfolio of services offered by European Digital Innovation Hubs

(EDIHs) in support of the transition to Industry 4.0 with regional specificities, readiness levels and business needs, as services are currently rather standardised and similar. Defining the needs for industrial digital innovation test centres in line with the priorities of ISIS 2021–2027 and identifying academic and industrial infrastructure for their deployment.

- ▶ The next steps include increasing the capacity of the EDIH and creating test centres for industrial digital innovation, followed by their promotion through a series of information events and campaigns to attract businesses and raise their awareness of the opportunities for digital transformation and its benefits. The desired effect is to offer "soft" measures through the EDIH (consultations on financing, cybersecurity, readiness assessment, etc.) and "harder" and more specialised measures through test platforms for the actual development, testing and validation of technologies in line with regional smart specialisation and in cooperation with the industrial ecosystem (the quadruple helix).
- ▶ Mass provision of services to support the transition to Industry 4.0 – provision of targeted services tailored to regional business specifics to increase the capacity for transition to Industry 4.0.
- ▶ Continuous monitoring and evaluation of progress – regular regional assessment of business progress in each area with regard to Industry 4.0, with a view to dynamically adapting the portfolio of services to the current needs of businesses in the region.

The aim of the enterprise-oriented model (see Fig. 10) is to provide SME managers with a clear and easy-to-implement plan for increasing the Industry 4.0 readiness and digital maturity of their enterprises.

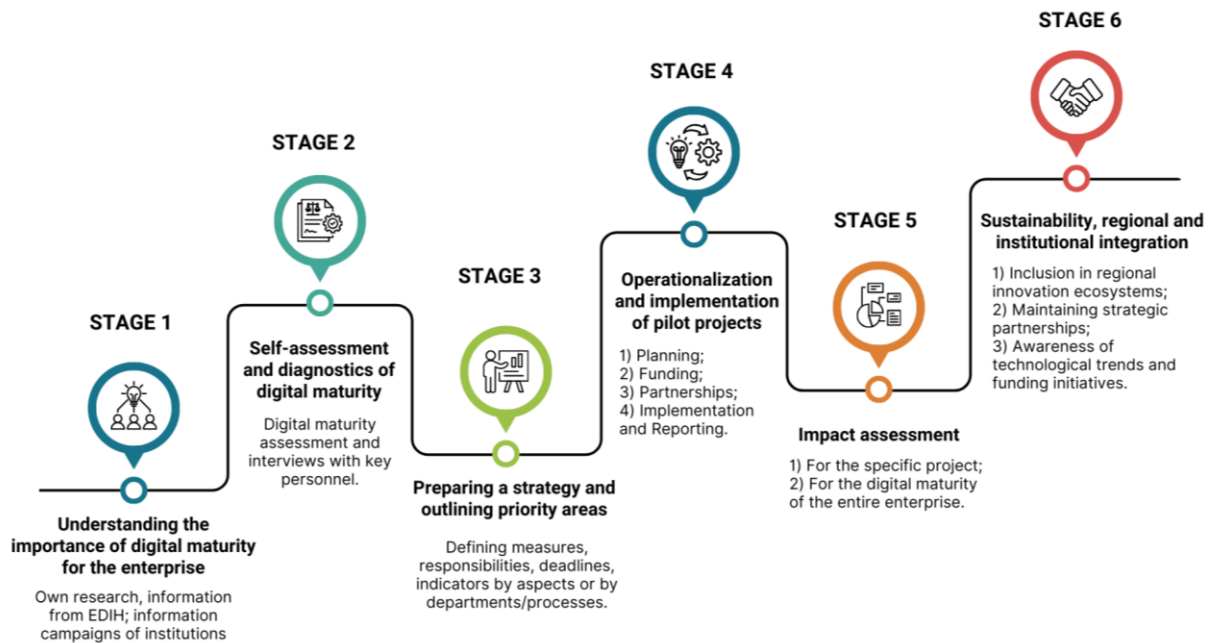


Fig. 10 Model for increasing Industry 4.0 readiness on micro level

The model for increasing Industry 4.0 readiness on micro level includes the following steps:

- Recognising the importance of digital maturity for the enterprise;
- Self-assessment and diagnosis of the enterprise's digital maturity (using standardised tools and interviews with key personnel);
- Preparation of a strategy and identification of priority areas for intervention – definition of measures/projects; deadlines; responsible persons; means and indicators for monitoring implementation;
- Operationalisation and implementation of pilot projects – introduction of new high-tech equipment; construction and/or upgrading of IT systems; development of intelligent data-based products and services; investment in training and internal development of digital skills of staff;
- Impact assessment through evaluation of indicators for the implementation of specific projects and regular assessment of overall digital maturity;
- Regional and institutional integration through establishing cooperation with educational and research institutions, clusters, etc.

The conclusion of the dissertation presents the key findings from the theoretical study and empirical research on the readiness of Bulgarian SMEs in the manufacturing sector, setting out the completion of the dissertation's tasks and confirming its research thesis.

The developed dissertation represents a comprehensive study of the readiness of Bulgarian small and medium-sized enterprises in the manufacturing sector to enter the era of Industry 4.0. Based on the theoretical study and applied empirical research, the thesis of an unsatisfactory level of digital maturity and the limited ability of enterprises to integrate key technologies and practices of digital transformation was confirmed. Through the application of correlation and regression analysis, the main factors influencing the level of readiness were identified, highlighting the role of employee skills and the availability of data-based services.

The step-by-step models and recommendations developed in the dissertation provide practical tools for increasing the capacity of enterprises to improve their readiness for Industry 4.0, as well as the capacity of institutions to support them in the process by building on the role of European Digital Innovation Hubs and outlining the need to establish testbeds in line with the priorities of ISIS 2021–2027.

At the end of the conclusion, the dissertation emphasises the need for targeted efforts by the enterprises themselves and by the state, aimed at increasing the digital maturity and readiness for Industry 4.0 of Bulgarian industry, primarily by developing human capital and increasing the capacity to manage information as a resource. The synergy between institutional efforts, management initiatives and access to knowledge and technologies is the key factor that will determine whether Bulgarian enterprises in the manufacturing sector will succeed in achieving a sustainable transition to Industry 4.0 or will get lost on the path of digital transformation.

XI. REFERENCES USED IN THE ABSTRACT

31. Благоев, Д., Бояджиев, Р., 2022. Иновативните фирми – фактор за икономически растеж на националната икономика. *Икономически и социални алтернативи*, 28(3), сс. 5-17. DOI: <https://doi.org/10.37075/ISA.2022.3.01> [Accessed: 10 September 2022]
32. Георгиев, Ив. и колектив, 2008. *Икономика на предприятието*. София: Университетско издателство „Стопанство”.
33. Европейска комисия, 2022. Индекс за навлизането на цифровите технологии в икономиката и обществото (DESI), 2022 г. *European Commission*. достъпно на: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-bulgaria> [Accessed: 24 September 2022]
34. Колева, Н., Г. Пенева. 2019. Емпирично изследване на готовността на българските МСП за внедряване на Индустрия 4.0, XI Международна научна конференция —Е- Управление & Е-Коммуникации, ISSN 2534-8523. Достъпно на: http://e-university.tu-sofia.bg/e-publ/files/3955_EMPIRI4NO%20IZSLEDVANE%20%204.0.pdf [Accessed: 24 September 2022]
35. Министерство на икономиката и индустрията, 2017. Концепция за цифрова трансформация на българската индустрия (Индустрия 4.0). *Министерство на икономиката и индустрията*. Достъпно на: <https://www.mi.government.bg/bg/themes/koncepciya-za-cifrova-transformaciya-na-balgarskata-industriya-industriya-4-0-1862-468.html> [Accessed: 24 September 2022]
36. Министерство на иновациите и растежа, 2022. Иновационна стратегия за интелигентна специализация 2021-2027. МИР. Достъпно на: <https://www.mig.government.bg/wp-content/uploads/2022/12/isis-2021-2027.pdf> [Accessed: 31 July 2025]
37. Министерство на транспорта и съобщенията, 2019. Национална програма цифрова България 2025. *Министерство на транспорта и съобщенията*. Достъпно на: <https://www.mtc.government.bg/bg/category/85> [Accessed: 24 September 2022]
38. НСИ, 2024. БРОЙ НА НЕФИНАНСОВИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ГРУПИ СПОРЕД БРОЯ НА ЗАЕТИТЕ В ТЯХ ЛИЦА И ИКОНОМИЧЕСКИ ДЕЙНОСТИ. НСИ. Достъпно на: <https://www.nsi.bg/bg/content/8225/%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B9->

[%D0%BD%D0%B0-%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B0](#) [Accessed: 21 April 2025]

39. Попова, М., Овчарова, Ж., Маргенов, С., Тодоров, Г., Камберов, К., Славков, В., и Констов, Л., 2018. „Индустрия 4.0 – Предизвикателства и последици за икономическото и социалното развитие на България“. [pdf] София: Фондация Фридрих Еберт | Бюро България, Available at: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/sofia/14601.pdf> [Accessed 04 July 2021]
40. Agrawal, M., Eloit, K., Mancini, M. and Patel, A., 2021. Industry 4.0: Reimagining manufacturing operations after COVID-19. [online] *McKinsey & Company*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-40-reimagining-manufacturing-operations-after-covid-19> [Accessed: 06 July 2021].
41. Boston Consulting Group, 2021. Putting Industry 4.0 to Work. Boston Consulting Group, [online] Available at: <https://www.bcg.com/capabilities/manufacturing/industry-4.0> [Accessed: 06 February 2021].
42. DESI, 2024. DESI indicators. [online] *Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology*. https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts/desi-indicators?indicator=desi_sme_di3_gelo&indicatorGroup=desi2023-1&breakdown=ent_sm_xfin&period=desi_2024&unit=pc_ent&country=AT,BE,BG,HR,CY,CZ,DK,EE,EU,FI,FR,DE,EL,HU,IE,IT,LV,LT,LU,MT,NL,PL,PT,RO,SK,SI,ES,SE [Accessed: 21 April 2025].
43. European Commission, 2017. Digital Transformation Monitor. Germany: Industrie 4.0. [pdf] European Commission. Available at: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%204.0_DE.pdf [Accessed: 12 July 2021].
44. European Commission. 2024. Bulgaria 2024 Digital Decade Country Report. [online]. *European Commission*. Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/bulgaria-2024-digital-decade-country-report> [Accessed: 21 April 2025].

45. European Commission. n.d. European Digital Innovation Hubs Network: Open DMAT - Digital Maturity Assessment. [online]. European Commission. Available at: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/bg/open-dma>
46. Gökalp, E., Şener, U., Eren, P.E., 2017. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In: Mas, A., Mesquida, A., O'Connor, R., Rout, T., Dorling, A. (eds) Software Process Improvement and Capability Determination. SPICE 2017. *Communications in Computer and Information Science*, vol 770. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10;
47. Idriz, F. and Sterev, N., 2022. The IM (Possible) Transition Towards the Digital Economy in Bulgaria. *Economic Alternatives*, 1(1), pp. 142-150. DOI: <https://doi.org/10.37075/EA.2022.1.09> [Accessed: 28 July 2025]
48. IMPULS, 2015. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses. *IMPULS*. Available at: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en> . [Accessed: 02 August 2022]
49. Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Forstehäusler, S., 2016. SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on Industry 4.0. *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2016, pp. 1297-1302.;
50. Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Bay, L., 2017. The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. *AMCIS 2017 Proceedings 6*. Available at: <https://aisel.aisnet.org/amcis2017/Enterprise/Presentations/6>;
51. Moura, L.R., Kohl, H., 2020. Maturity Assessment in Industry 4.0 – A Comparative Analysis of Brazilian and German Companies. *Emerging Science Journal* 4 (5). Available at: <https://ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/385> [Accessed: 05 September 2022]
52. Mussomeli, A., Gish, D. and Laaper, S., 2016. *The rise of the digital supply network*. [pdf] Deloitte University press. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supply-network/DUP_Digital-supply-network.pdf [Accessed: 09 July 2021]
53. Nuroğlu, H. H., 2018. INDUSTRY 4.0 IMPACT ON FRANCHISING NETWORK GOVERNANCE. In: Istanbul S. Zaim University, *14th International Conference on Knowledge, Economy and Management*. Istanbul, Turkey, 20-22 April 2018.
54. Platform Industrie 4.0., 2019. Technology Scenario ‘Artificial Intelligence in Industrie 4.0’ (Working paper). [pdf] *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)*.

- Available at: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/AI-in-Industrie4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Accessed: 14 July 2021]
55. Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., ten Hompel, M., 2020. Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY), Munich 2020.;
56. Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W., 2016. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP* 52, pp. 161-166;
57. Schwab, K., 2015. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. [online] World Economic Forum. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> [Accessed: 06 July 2021]
58. World Economic Forum, 2025. The Future of Jobs 2025 Report. *World Economic Forum* [online]. Available at: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/> [Accessed: 31 March 2025]
59. World Health Organisation, 2020. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020. WHO, [online] Available at: <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020> [Accessed: 12 February 2021]
60. Yordanova, Z. (2024). Digital Transformation of the Firm's Innovation Process – a Bibliometric Analysis. *Economic Alternatives*, 30(3), pp. 508–528. doi:10.37075/EA.2024.3.03. [Accessed 10 August 2025].
- Cugno, M., Castagnoli, R., Büchi, G., 2021. Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120756> [Accessed: 10 September 2022]

XII. CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION

The contributions of the dissertation are manifested in the following areas:

5. No studies have been conducted on the readiness of Bulgarian industrial enterprises for Industry 4.0, with the exception of one (Koleva and Peneva, 2019), which, however, does not provide a clear assessment of readiness and recommendations for improvement, as presented in this dissertation.
6. Based on the data from the empirical study on readiness for Industry 4.0, specific practical recommendations and guidelines for increasing readiness on micro level – aimed at SME business managers – and at the institutional (macro) level have been formulated. The recommendations are based on the identified gaps in each of the six assessed technological and organisational aspects that determine the degree of readiness for Industry 4.0.
7. Based on theoretical and empirical research within the dissertation, two author models are outlined for increasing readiness for Industry 4.0 at the institutional level and on micro level within the enterprises themselves.
8. The model of the IMPULS Foundation and the German Engineering Federation (VDMA) has been applied and adapted for the first time to the context of Bulgarian industry to assess the readiness of Bulgarian business organisations for the transition to Industry 4.0.

XIII. PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

Scientific articles:

[1] Бошняку, А. 2023. Особенности на бизнес средата в контекста на Индустрия 4.0. *Електронно списание Диалог на СА „Д. А. Ценов“ – Свищов*, 22(1), 15–29. Достъпно на: <https://dialogue.uni-svishtov.bg/title.asp?title=2805>

[2] Бошняку, А. 2023. Технологиите, основани на Индустрия 4.0, като инструмент за прилагане на стратегии за диверсифициран растеж. *Икономически и социални алтернативи*, 29(1), 38–49. Достъпно на: <https://doi.org/10.37075/ISA.2023.1.03>

Papers:

[3] Boshnyaku, A. 2023. The Impact of Industry 4.0 on Business Models. In: Moldovan, L., Gligor, A. (eds) *The 16th International Conference Interdisciplinarity in Engineering*. Inter-Eng

2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 605. Springer, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-22375-4_40

[[4] Бошняку, А. 2022. Влиянието на Индустрия 4.0 върху веригата на доставки. В: *Сборник доклади от Четвърти национален научен форум „Бизнесът в XXI-ви век“ (УНСС)*, Сборник с доклади. София: Издателски комплекс – УНСС, с. 196–201

[5] Бошняку, А. 2022. Стратегически направления за развитието на компаниите в условията на Индустрия 4.0. В: *Сборник доклади от Четвърти национален научен форум „Бизнесът в XXI-ви век“ (УНСС)*, Сборник с доклади. София: Издателски комплекс – УНСС, с. 226–231

XIV. DECLARATION OF ORIGINALITY

I declare that this dissertation is entirely my own work and that no foreign publications or works have been used in its preparation in violation of their copyright. Literary sources, scientific works, documents and databases have been cited in good faith.