

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF PHYSICAL INTERNET AND PROSPECTS FOR APPLICATION IN TRANSPORT AND LOGISTICS ¹

Prof. Velizara Pencheva, PhD

Department of Transport,

University of Ruse, Bulgaria

Tel.: +359 (82) 888-608

E-mail: vpencheva@uni-ruse.bg

***Abstract:** The paper considers the concept of the Physical Internet (PI). This is a new interdisciplinary concept for logistics and transport, which includes different areas of research and the perspective for its application requires a systematic approach. There is no exhaustive theory about it at this early stage of its development. Based on the review and analysis, a framework is proposed that outlines the possible applications of the Physical Internet in logistics and transport to achieve higher productivity, efficiency and sustainability of supply chains.*

***Keywords:** Physical internet, PI, transport, logistics, supply chain*

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвремените транспортни и логистични процеси и мрежи не са достатъчно ефективни. Необходими са нови решения за намаляване на разходите и декарбонизация на транспорта. Нова концепция, която е свързана с промяна на парадигмата в товарния транспорт е така наречената «Физически интернет» (PI internet). Прогнозира се, че концепцията ще се развива стъпка по стъпка с времеви интервал до 2040 г. за завършване.

Концепцията е възможност за фирмите да организират собствена логистика с гарантирана по-голяма прозрачност и ефективност в рамките на собствената фирмена логистична мрежа, включително по-добра свързаност с клиенти и доставчици. Тя предвижда корпоративните логистични мрежи да започнат да се свързват безпроблемно с други логистични мрежи, които имат достъп или предоставят услуги, обединявайки активи, ресурси и потоци, създавайки системи от логистични мрежи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Оценка на логистичната ефективност

Има различни методи за оценка на логистичната ефективност. За сравняване на логистичната ефективност в глобален мащаб може да се използва разработеният от Световната банка инструмент *Индекс за логистична ефективност (LPI)*. Този индекс е уникален инструмент за сравнителен анализ. Определя се на период от 2 години за повече от 160 държави (World Bank). Той е важна отправна точка за ефективността на логистичните и транспортни фирми в отделните държави.

LPI индикаторите са шест и може да се групират в две категории:

$LPI \text{ ефективност} = F(F_1(x_1, x_2, x_3), F_2(x_4, x_5, x_6))$,

където:

F₁- области за регулиране на политиките, посочващи основните входни данни за веригата на доставки:

¹ Докладът е представен на научна сесия на 30 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: РАЗВИТИЕ НА КОНЦЕПЦИЯТА ФИЗИЧЕСКИ ИНТЕРНЕТ И ПЕРСПЕКТИВИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКАТА

x₁-митници (оценяват ефективността на процесите на митническо освобождаване, т.е. бързина, простота и предсказуемост на митническите формалности);

x₂-инфраструктура (оценяват качеството на инфраструктурата, свързана с търговията и транспорта, например пристанища, железопътни линии, автомобилни пътища, информационни технологии и др.);

x₃-услуги (оценяват общото ниво на компетентност и качество на логистичните услуги, например на транспортни оператори, митнически брокери и др.).

F₂- резултати от изпълнението на веригата на доставки: x₃-международни пратки, x₄-проследяване и x₅-навременост:

x₄- международни пратки (оценява се лекотата на организиране на пратки на конкурентни цени до пазарите);

x₅- проследяване на пратките (оценяват способността за проследяване на пратките при изпращане на пазара);

x₆-навременост (оценява се честотата, с която пратките достигат до получателите в рамките на планирания или очаквания срок за доставка).

В табл. 1. са посочени резултатите за LPI за България от наблюдавания период и за първата в класацията държава. Оценката е от 1 до 5 (1 най-ниска; 5-най-висока).

Средният LPI на България за 2018 е 3,0 и от 167 държави тя се намира на 57-мо място, с 71.4% от Германия (LPI-4,20), която е с най-високия индекс.

Табл. 1. Сравнителна оценка на LPI за България и за държавата с най-висок LPI

Год.	България		Държава с най-добър показател	
	Поредно място	Стойност	Наименование	Стойност
2007	55	2,87	Сингапур	4,19
2010	63	2,83	Германия	4,11
2012	36	3,21	Сингапур	4,13
2014	47	3,16	Германия	4,12
2016	72	2,81	Германия	4,23
2018	57	3,00	Германия	4,20

Стойностите на отделните LPI индикатори за България са посочени в табл. 2. За 2018 година най-нисък е показателя за инфраструктура, следван от показателя за качество и компетентност и митница, т.е. входни данни за веригата на доставки.

От табл. 1 е видно, че и в глобален мащаб не е постигнат максимален LPI показател (оценка 5), като в периода Германия за 2018, 2016, 2014 и 2010 е с най-висок в света LPI показател, а Сингапур през 2007 и 2012 г. Причините да не бъде достигната оценка 5 са разнообразни, но всичко това е доказателство, че настоящите практики за транспортиране, логистика и управление на веригата на доставки, съхраняването и обработката на товарите не са оптимални. Стойностите на LPI в национален мащаб и на неговите индикатори говорят за сериозни отклонения от оптималните, което влияе върху националната конкурентоспособност.

Всичко това води до неустойчиви икономически, екологични и социални перспективи. Като се има предвид, че глобалния световен оборот, генериран от логистичните мрежи, надхвърля 4,3 трилиона щатски долара, намаляването на разходите от ефективна логистика може да доведе до значителни печалби. Един от възможните пътища е намиране на решения за увеличаване на потенциала на международната и вътрешна интеграция в логистичните вериги.

Табл. 2. LPI индикатори за България

	Мит- ница	Инфра- структура	Качество и ком- петентност	Междуна- родни пратки	Проследя- ване	Навреме- ност
	F ₁ Области за регулиране на политиките, посочващи основните входни данни за веригата на доставки			F ₂ Резултати от изпълнението на веригата на доставка		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
2007	2,47	2,47	2,86	2,79	3,14	3,5
2010	2,5	2,3	2,85	3,07	2,96	3,18
2012	2,97	3,2	3,1	3,25	3,16	3,56
2014	2,75	2,94	3	3,31	2,88	4,04
2016	2,4	2,35	3,06	2,93	2,72	3,31
2018	2,94	2,76	2,88	3,23	3,02	3,31

Логистичната ефективност пряко влияе върху декарбонизация на транспорта. Европа има амбицията да стане първият неутрален континент до 2050 г. Това е планирано да бъде постигнато с междинна стъпка, предназначен да намали емисиите на CO₂ с 50%, ако не и с 55%, не по-късно от 2030 г. Сегашните темпове на разгръщането на по-екологични и по-чисти превозни средства (автомобили, влакове, кораби и самолети), както и други технологии за по-ефективна транспортна мрежа, се развиват твърде бавно, за да постигне целите за изменението на климата. Краткосрочният фокус в транспорта и логистиката може да се съсредоточи върху използването и намирането на нови възможности за повишаване на ефективността в товарния транспорт и логистиката чрез сътрудничество между участниците в транспорта и логистиката (Linkov I., T Bridges, F Creutzig, J Decker, C Fox-Lent, W Kröger, 2014)

Стремейки се към логистична ефективност следва да се отчитат и решения свързани със социални въпроси като: достъпност на транспортната и логистичната услуга; високо качество на транспортната и логистична услуга; намаляване на задръстванията и облекчаване работата на водачите на МПС и др.

Концепция Физически интернет (PI)

Това е нова интердисциплинарна концепция за глобална логистика и транспорта, която включва различни области на изследване. Към този ранен етап от нейното развитие няма изчерпателна теория, но нарастващите със всяка година научни публикации (Ballot E., V Montreuil, ZG Zacharia, 2021), финансирани проекти и експериментални приложения на локални нива са гаранция за интереса и оправданите очаквания към нея.

Концепцията се основава на съвременото развитие и възможностите на обмен на информация, взаимосвързаността, информационните технологии, получаването на данни, големите данни и анализа на тези данни (Pan S., D Trentesaux, D McFarlane, B Montreuil, E Ballot, GQ Huang, 2021), което дава възможност да се разработят нови логистични и SCM (управление на веригата за доставка) практики, които да са устойчиви в дългосрочен план.

Въпреки, че терминът „физически интернет“ се среща през 2006 година за първи път на първата страница на сисание «The Economist», а през 2007 г. Световната банка също споменава този термин при анализа на логистичната ефективност в света, и в двата източника не се среща никакво негово описание. Терминът «Физически интернет» е обоснован през 2011 година от проф. Бенуа Монтрейел (Benoit Montreuil) от Технологичния институт в Джорджия (Montreuil B., 2011; Montreuil B., R Meller, E Ballot, 2013). Този термин е свързан с идеята за това, че физическите обекти може да се преместват по-ефективно, ако съответстват на единни стандарти и се преместват по единни канали аналогично на пакетите данни в Интернет. Това

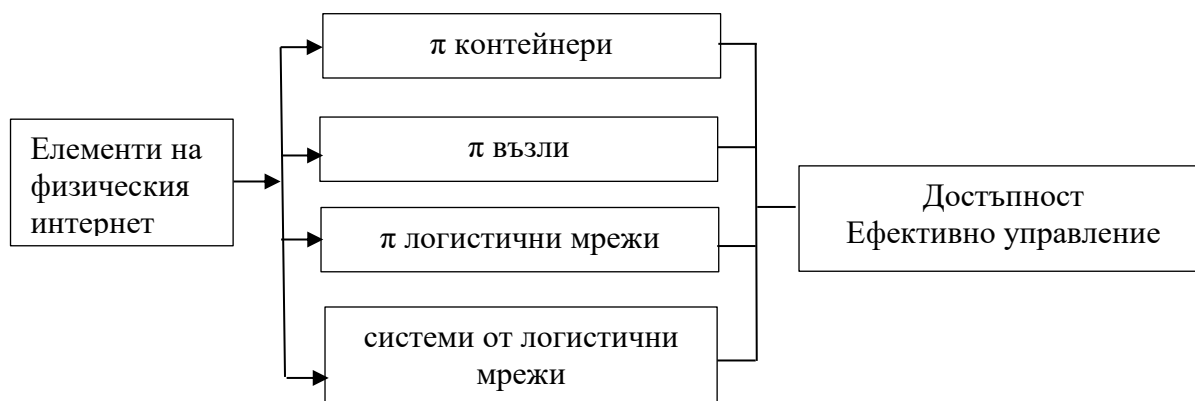
изисква модуларизация и създаване на стандартни интерфейси и протоколи. Освен това хъбовете и различните видове транспорт следва да бъдат добре синхронизирани, ИТ приложенията и мрежите също трябва да функционират като единно цяло.

Дефинирани са 13 основни характеристики на физическия интернет (Montreuil B. (2011)).

- 1) Контейнери π ;
- 2) Универсална взаимосвързаност;
- 3) Системи за обработка и съхраняване на π контейнери
- 4) Интелигентни контейнери
- 5) Многосегментен интермодален транспорт
- 6) Единна многостепенна концептуална рамка
- 7) Използване на Open Global Supply Web
- 8) Проектиране на продукти с размери подходящи за контейнерите
- 9) Минимизиране на физическото движение на товарните единици
- 10) Отворени сертификати за мониторинг на производителността и способността
- 11) Приоритетност на надеждността и устойчивостта на мрежата
- 12) Стимулиране на иновации в бизнес модела
- 13) Активиране на отворени инфраструктурни иновации

Аналогично на развитието на информационните технологии от самостоятелни компютърни единици до обединени в глобална мрежа, товарния транспорт и логистиката могат да се свържат в РІ интернет. В Интернет (цифровия) не се предава информация, в него се предава пакети от информация. Физическият интернет е замислен да не манипулира товарите отделно. Той манипулира специално разработени контейнери. Физическият интернет включва интелектуални, екологични и модулни контейнери, започвайки от размерите на сегашния морски контейнер до малката кутия.

Отделните елементи на физическия интернет са четири на брой (фиг.1). Освен това следва да се отчита достъпността на системата, както и нейното управление.

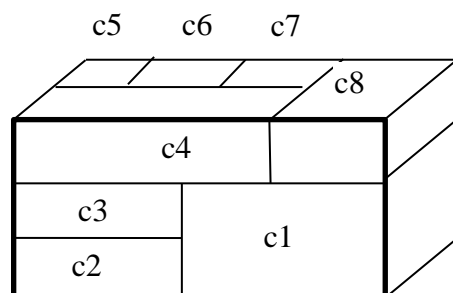


Фиг. 1. Елемети на физическия интернет

- *π контейнери*

Ключовите елементи, които осигуряват функционалната съвместимост на физическия интернет са π контейнерите. Концепцията е за въвеждане на стандартни модулни контейнери (фиг. 2), оборудвани с датчици и системи за херматизация, пломбиране с цел осигуряване на безопасност, като за максималното ефективно използван на такива контейнери (Sallez Y., S Pan, B Montreuil, T Berger, E Ballot, 2016). Контейнерите са интелектуални, екологични и модулни. Те трябва да имат модулни и стандартизирани в глобален мащаб (за целия свят) размери, функции и закрепване. Те трябва да бъдат така проектирани, че да може да се облекчи тяхната обработка и съхраняване във физическите възли на физическия интернет, също и транспортирането им между възлите и съхраняването на товарите. Контейнерите (π

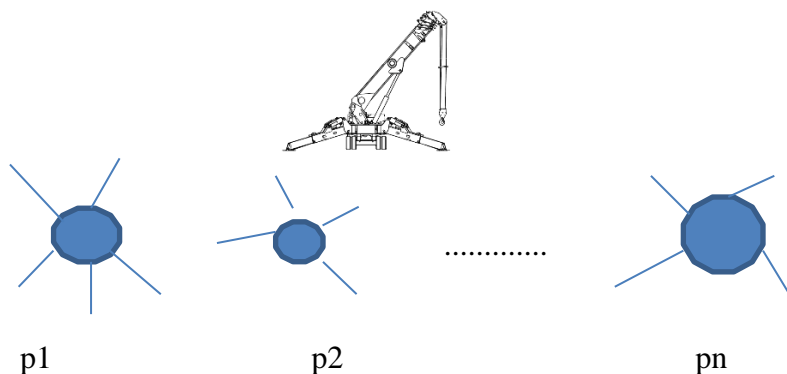
контейнери) действат аналогично на пакетите във цифровия интернет. Те имат информационна част, по подобие на името в цифровия интернет. Всеки контейнер има уникален идентификатор, който се прикрепя към него във физически и цифров вид за осигуряване на надеждността и идентификацията. Смарт етикет се прикрепя към всеки π контейнер, като агент, който го представлява. Това осигурява идентификацията на контейнера, целостта, маршрутизацията, мониторинг, проследимост и безопасност. Интелигентната маркировка позволява автоматизирано обработване, съхраняване и маршрутизация. В същото време смарт етикета има нива на достъп, за да се запази конфидиционалността и конкурентността, като се получава информация свързана само с маршрутизацията.



Фиг. 2. Модулен принцип на π контейнерите

- *π възли*

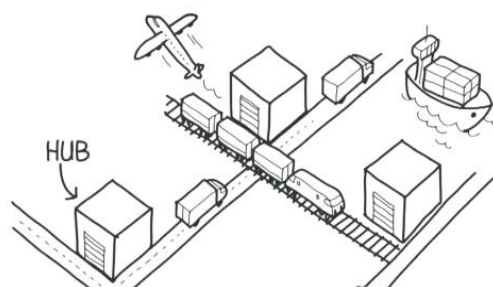
Физическият интернет предвижда развитието на логистичните възли (фиг. 3) във физически интернет възли, в които дефинирането на услугите и операциите са стандартизирани. Пристанциата са едни от основните π възли (Fahim P., J Rezaei, B Montreuil, L Tavasszy, 2021; Fahim P., J Rezaei, R Jayaraman, M Poulin, B Montreuil, L Tavasszy, 2021). Услугите в PI възли са видими, цифрово достъпни за фирмите (Fahim P., R An, J Rezaei, Y Pang, B Montreuil, L Tavasszy, 2021).



Фиг. 3. Схема на логистични възли

- *Логистични мрежи*

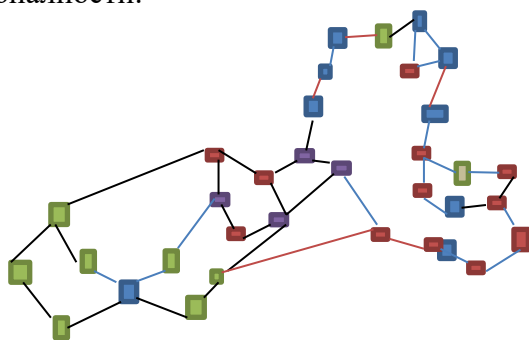
Физическият интернет предвижда мрежите да изградят безпроблемни, гъвкави и устойчиви услуги от врата до врата (Grest M., M Lauras, B Montreuil, 2021; Pan S., E Ballot, GQ Huang, B Montreuil, 2017), консолидиращи и деконсолидиращи всички пратки в рамките на логистична мрежа, в която всички активи, възможности и ресурси са видими, достъпни и използваеми в рамките на логистичната мрежа, за да се използват най-ефективно ресурсите (фиг. 4). Тези логистични мрежи могат да бъдат потенциални физически интранети (или логистични мрежи, базирани на PI), ако са съвместими с основите на PI (напр.видимост и достъпност на ресурси и възможности за обслужване на обединено търсене от широко портфолио от клиенти).



Фиг. 4. Схема на логистична мрежа

- *Системи от логистични мрежи*

Осигурява свързаност между логистични мрежи (фиг. 5), които ще изискват специфични функционалности.



Фиг. 5. Схема на система от логистична мрежа

- *Достъпност*

Тази област описва основните изисквания за достъп до физическия интернет чрез логистична мрежа, която е част от него. Включва също различни стъпки и възприемане на концепциите за физически интернет, както и нови начини за споделяне на активи, услуги и ресурси между заинтересованите страни във вертикално интегрирани вериги за доставки и в хоризонтални мрежи за сътрудничество (Oger R., M Lauras, B Montreuil, F Benaben, 2020).

- *Управление*

Управлението включва разработките, необходими за развитието на логистичните възли, логистичните мрежи и системата за логистични мрежи във физическия интернет, т.е. правилата, определени от заинтересованите страни, които също ги формират или използват като процеси и механизми за изграждане на доверие (Yang Y., S. Pan, E. Ballot, 2017).

Има различни подходи за дефиниране на физическото управление на π интернет- подход отдолу нагоре; подход отгоре надолу.

Подход отдолу нагоре, при който логистичните възли, мрежите и системите от логистични мрежи развиват свои собствени механизми за управление, които се разрастват и напредват по определен начин. Компаниите и консорциумите развиват управление за техните мрежи и конвергенцията се създава с напредването на моделите. Това може да доведе до създаването на острови или подмножества от физически интернет със свои собствени стандарти и протоколи.

Подход отгоре надолу, при който може да има две възможности чрез обществено ръководство или чрез водещ в индустрията:

- *Обществено ръководство.* Централен орган планира и организира физическия интернет под надзора на правителствата, които разглеждат транспорта и логистиката като универсална и обществена услуга/инфраструктура, дори ако услугите се предоставят от компании в напълно регулирана рамка. Този подход би изисквал решителни действия в

публичния сектор в Европа/глобално ниво, подкрепено от масивни инвестиции, за да наложи стандартите и да гарантира, че правилата за пазарна конкуренция не са нарушени.

- *Водещ в индустрията.* Големите корпорации се интегрират една с друга и/или изграждат силни логистични мрежи, които след това са отворени за други заинтересовани страни като услуга. Тези цифрови логистични платформи могат да предоставят услуги за всички видове от компании и потребители до крайни потребители, които правят и организират използването на техните мрежови и партньорски ресурси и способности. Повече подробности за потенциалните сценарии за развитие са описани от Dans (2019).

Подходът отдолу нагоре се счита за по-жизнеспособен при органичен растеж на PI, тъй като ще осигури по-постепенно и бизнес-ориентирано създаване на логистична мрежа. Също така е вероятно да се появят други форми на управление (напр. нови модели различни от описаните по-горе).

Прогнозата за развитието на елементите на физическия интернет е показан в табл. 3.

(Roadmap to the Physical Internet, 2020)

Табл. 3. Еволюция на елементите на физическия интернет

Елемент	Период	Развитие
Плъзгачи	2020-2025	Отворено и безпроблемно предлагане на услуги във възлите
	2025-2030	Автоматизирана заявка за услуга на възел и отговор
	2030-2035	Възлите се свързват помежду си в мрежи
	2035-2040	Автономни PI възли
Логистични мрежи	2020-2025	Оперативна синхронност / Физически интранети
	2025-2030	Съединяване/разделяне на множество пратки (разделяне по време на транспортиране и повторно сливане след транзит)
	2030-2035	Динамична, чувствителна и реагираща оптимизация на мрежовите потоци
	2035-2040	Напълно автономни PI мрежови услуги и операции
Системи от логистични мрежи	2020-2025	Разширена между мрежова свързаност
	2025-2030	Свързаност от мрежа към мрежа
	2030-2035	Взаимна свързаност на мащабируеми логистични мрежи
	2035-2040	Пълна PI функционалност и мрежова свързаност
Достъпност	2020-2025	Секторна, регионална, безпроблемна вертикална демонстрация на PI
	2025-2030	Мащабни демонстрации на PI
	2030-2035	Разширяване на PI
	2035-2040	Всеки има достъп до PI
Управление	2020-2025	Правила и управление за платформи за споделяне на активи
	2025-2030	Приемане от индустрията на правилата и моделите на PI
	2030-2035	Основа на органа за управление
	2035-2040	Устойчиви правила и модели за физически интернет

Приложение и развитие на Физическия интернет за постигане на глобална логистична устойчивост

Визията за физическия интернет е сложна и с голям обхват, но в същото време за всяка негова съставна част има вече развити технологии. Има много проекти и инициативи, които се опитват да предприемат някои от аспектите за обединяване на логистиката и съвместни вериги от доставки, като мултимодален, интермодален, комодален и синхромодален транспорт (Ambra T., A. Caris, C. Macharis, 2018), европейски транспортни коридори, включително и зелени, градска логистика (Crainic T., B Montreuil, 2015; Crainic T., B Montreuil, 2016; Derhami

S., B Montreuil, G Bau, 2020; Faugère L., W Klibi, C White III, B Montreuil, 2020; Arslan A., W Klibi, B Montreuil, 2021) и др.

Проектирането и изграждането на макроскопична система с подходящи вътрешни и външни параметри и с приложението на холистичен и системен подход може да доведе до обединяващата и стимулираща рамка на физическия интернет. В основата на изграждането са местните, регионалните и глобални инициативи и проекти (фиг. 6).

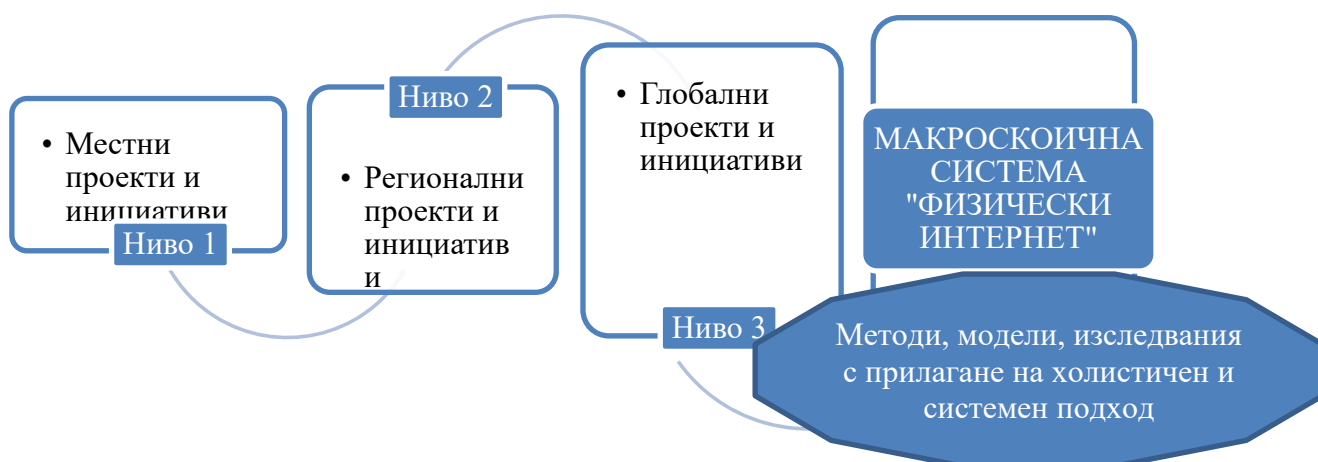
За решаването на задачите, които се отнасят за развитието на концепцията физическия интернет са финансирани и развити редица проекти. В рамките на програма Хоризонт 2020 са разработени следните проекти:

-проект Clusters 2.0 - <http://www.clusters20.eu/> (2017-2020), финансиран с 6 329619 евро, координатор Германия;

-проект NexTrust - <http://nextrust-project.eu/> (2015-2018), финансиран за 18106751 евро, координатор Германия;

-проект VitalNodes (2017-2019), финансиране 1998715 евро, координатор Холандия

-проект LessThanWagonLoad <http://www.lessthanwagonload.eu> (2017-2020), финансиране 3994318 евро, координатор Белгия.



Фиг. 6. Процес на изграждане на макроскопичната система «Физически интернет»

Допълнително следва да се посочи създадения Алианс за иновации в логистиката (Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe - ALICE), <http://www.etp-logistics.eu>, който беше признат през 2013 години за Европейска технологична платформа, създадена за разработване на цялостна стратегия за изследвания, иновации и пазарно внедряване на логистика и иновации за управление на веригата за доставки в Европа. ALICE координира проектите свързани с Физическия интернет.

Анализ на съвременното състояние на елементите на физическия интернет

Съвременното развитие на информационните и комуникационни технологии, възможностите за обмена на информация, взаимосвързаността, дава възможност да се разработят нови логистични и SCM (управление на веригата от доставки) практики, които да са устойчиви в дългосрочен план.

Логистичните възли се характеризират със структурирани процеси, с добре познатите уедрени товарни единици (палетите, пакетите и контейнерите), чието използване след средата на 60-те години на 20-ти век е повишило значително ефективността на транспортните и

логистични процеси. Въпреки това, взаимодействието между различни товарни единици (напр. палети и морски контейнери, морски контейнери и автомобилен транспорт), както и между видовете транспорт не е стандартизиран и не преминава винаги безпроблемно. Съществуват бариери за създаване на интегрирана транспортна система, което влияе върху нейната ефективност.

В момента логистичните мрежи са предимно под пряк контрол на една фирма (изпращач, търговец на дребно, доставчик на логистични услуги или спедитор), но без видимост отвъд границата на мрежата. През последните години се наблюдава бързо развитие на цифрови платформи за резервации за логистични услуги. С цифровизацията на логистичните процеси се ускори автоматизацията на процесите на планиране, резервации и администрация. От физическата страна на логистиката могат да се наблюдават промени в предоставянето на транспортни услуги. Разработени са синхромодални услуги за контейнерен транспорт. За по добра интеграция се наблюдава създаване на алианси (напр. сред въздушните и морските превозвачи).

Настоящото състояние в глобалния товарен транспорт е силно разпокъсано, като отделни фирми или са принудени, за да го направят по ефективен да развиват собствени транспортни мрежи или възлагат тази дейност на спедитор, за което се изискват специални ресурси. От своя страна спедиторите или са разработили свои собствени глобални мрежи за управление на изискванията на клиентите за транспорт или са обединени в партньорски мрежи, в които местните партньори изпълняват части от транспортните операция и след това предават пратката на партньорска организация за по-нататъшно движение на товара. Въпреки това, тези глобалните мрежи не са взаимосвързани и често товарите не могат безпроблемно да преминават през тях.

В настоящата практика съществуват относително малки мрежи с ограничен обхват на дейности (обединяване на товари, ограничени до сектори и др.). Много фирми не са в състояние да организират мрежи самостоятелно или да получат достъп до съществуващи мрежи. Това важи особено за МСП. Логистичният сектор показва първите признаци на мрежова интеграция и се забелязват първи стъпки за взаимосвързаност. Въпреки това, по-голямата част от сектора все още е организирана във вертикални вериги за доставки, които работят независимо един от друг и все още с много пречки за взаимосвързаност с доставчици и клиенти. Заинтересовани страни в рамките на веригата си сътрудничат въз основа на съществуващи оперативни договори, като действат независимо един от друг с минимум на споделяне на информация. Координационната функция във веригите за доставки е фрагментирана и се различава при различните вериги. Факт са разпръснати и небалансирани термини, правила и стандарти. Текущото състояние по отношение на управлението на логистичните възли, логистичните мрежи и системите от логистични мрежи се характеризира с разпръснат и небалансиран набор от термини, правила, стандарти и разпоредби. Все още няма хармонизирано позоваване на договорената рамка за управление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ефективността на съвременните транспортни и логистични решения не е оптимална. Така например индекс за логистична ефективност (LPI) за 2018 година за първата по най-добър показател държава в света Германия е 4,20 при максимална оценка 5. България по този индекс за същата година се нарежда чак на 57 място от повече от 160 държави с LPI=3, който е 71,4% от този на Германия. Следователно трябва да се намерят нови решения, които да осигурят устойчивост на транспорта и логистиката.

Теорията за физическия интернет е сравнително нова. Представената визия изисква много инициативи и проекти на всички нива, симулации, моделиране и изследвания и понеже е глобална система е твърде сложна за изграждане и ще изисква много капиталовложения. Но, аналогично на развитието на информационните технологии от самостоятелни компютърни единици до обединени в глобална мрежа, товарния транспорт и логистиката могат да се

свържат във Физическия интернет. Тогава ще имаме по-икономически ефективни, екологични и социални решения, които биха довели до устойчивост в логистиката и транспорта.

Докладът отразява резултатите от работата по проект № 2021-RU-02, финансиран от Фонд Научни изследвания на Русенския университет.

REFERENCES

Ambra T., A. Caris, C. Macharis (2018). Towards freight transport system unification: reviewing and combining the advancements in the physical internet and synchromodal transport research. *International Journal of Production Research*. (2018) 1-18 (in press). doi:10.1080/00207543.2018.1494392.2018.

Arslan A., W Klibi, B Montreuil (2021). Distribution network deployment for omnichannel retailing. *European Journal of Operational Research* 294 (3), 1042-1058. 2021.

Ballot E., B Montreuil, ZG Zacharia (2021). Physical Internet: First results and next challenges. *Journal of Business Logistics* 42 (1), 101-107. 2021.

Crainic T., B Montreuil (2016). Physical internet enabled hyperconnected city logistics. *Transportation Research Procedia* 12, 383-398. 2016.

Crainic T., B Montreuil (2015). Physical internet enabled interconnected city logistics. *Faculté des sciences de l'administration, Université Laval*. 2015.

Derhami S., B Montreuil, G Bau (2020). Assessing product availability in omnichannel retail networks in the presence of on-demand inventory transshipment and product substitution. *Omega* 102, 102315.2020.

Faugère L., W Klibi, C White III, B Montreuil (2020). Dynamic Pooled Capacity Deployment for Urban Parcel Logistics. arXiv preprint arXiv:2007.11270. Cornell University. 2020.

Fahim P., J Rezaei, B Montreuil, L Tavasszy (2021). Port performance evaluation and selection in the Physical Internet. *Transport Policy*. Available online 16 July 2021.

Fahim P., J Rezaei, R Jayaraman, M Poulin, B Montreuil, L Tavasszy (2021). The Physical Internet and Maritime Ports: Ready for the Future. *IEEE Engineering Management Review*. 2021.

Fahim P., R An, J Rezaei, Y Pang, B Montreuil, L Tavasszy (2021). An information architecture to enable track-and-trace capability in Physical Internet ports. *Computers in Industry* 129, 103443. 2021.

Grest M., M Lauras, B Montreuil (2021). Assessing Physical Internet potential for Humanitarian Supply Chains. *HICSS 2021-54th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2048-2056. 2021.

Linkov I., T Bridges, F Creutzig, J Decker, C Fox-Lent, W Kröger, (2014) Changing the resilience paradigm. *Nature Climate Change* 4 (6), 407-409. 2014.

Montreuil B. (2011). Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research* 3 (2), 71-87. 2011.

Montreuil B., R Meller, E Ballot (2013). Physical internet foundations. *Service orientation in holonic and multi agent manufacturing and robotics*. 2013.

Oger R., M Lauras, B Montreuil, F Benaben (2020). A decision support system for strategic supply chain capacity planning under uncertainty: conceptual framework and experiment. *Enterprise Information Systems*, 1-45. 2020.

Pan S., E Ballot, GQ Huang, B Montreuil (2017). Physical Internet and interconnected logistics services: research and applications. *International Journal of Production Research* 55 (9), 2603-2609. 2017.

Pan S., D Trentesaux, D McFarlane, B Montreuil, E Ballot, GQ Huang (2021). Digital interoperability in logistics and supply chain management: state-of-the-art and research avenues towards Physical Internet. *Computers in Industry* 128, 103435. 2021.

Sallez Y., S Pan, B Montreuil, T Berger, E Ballot (2016). On the activeness of intelligent Physical Internet containers. *Computers in Industry* 81, 96-104. 2016.

Yang Y., S. Pan, E. Ballot (2017). Innovative vendor managed inventory strategy exploiting interconnected logistics services in the Physical Internet, *International Journal of Production Research*. 55 2685–2702. doi:10.1080/00207543.2016.1275871. 2017.

Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe (ALICE), 2020 Roadmap to the physical internet.

World Bank Webpage: Logistic Performance Index Dataset (database), <http://lpi.worldbank.org>

<http://www.clusters20.eu/>- Project Clusters 2.0

<http://nexstrust-project.eu/>- Project NexTrust

<https://vitalnodes.eu/>- Project VitalNodes

<http://www.less-than-wagon-load.eu/>- Project LessThanWagonLoad

<http://www.etp-logistics.eu/>- Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe.