

УСТОЙЧИВО СТРОИТЕЛСТВО, КРЪГОВА ИКОНОМИКА И ЕКОЛОГОСЪОБРАЗНОСТ

Татяна Стоянова¹

SUSTAINABLE CONSTRUCTION, CIRCULAR ECONOMY AND ECOLOGICAL COMPATIBILITY

Tatyana Stoyanova

Abstract:

Sustainable development is a concept widely used in the modern world, where awareness is growing regarding the state and protection of the environment, new technologies, and the reasonable use of natural resources. Modern construction is a rapidly developing sector, and occupies one of the first places in terms of using a large amount of energy, natural resources and generating waste. Construction legislation and innovation play a key role in increasing the efficiency, sustainability and environmental acceptability of construction projects. In the context of construction, the circular economy represents an opportunity to move towards sustainable and environmentally friendly practices that support environmental responsibility, social and economic efficiency. The report explores the interrelationship between sustainable construction, circular economy principles, and opportunities for green action. The aim is to present the importance of integrating these concepts in the construction sector and their potential to create more sensible and environmentally responsible societies, to achieve harmony between the natural and the 'anthropogenic' environment.

Keywords:

Sustainable construction, Circular economy, Sustainable development, Ecological compatibility in construction

1. ВЪВЕДЕНИЕ

През 80-те години на миналия век човечеството напълно осъзнава, че е настъпил момент на „хищническо отношение“ към природата и природните ресурси, в резултат на бурното икономическо развитие и започва усилен процес за предприемане на мерки и действия в посока на коригиране на това състояние. Екологията се утвърждава като интердисциплинарна наука, обхващаща всички сфери на живота на човека, и се отделя все по-голямо внимание на сложните взаимовръзки, които съществуват в нашия свят. Усилено се говори и действа по отношение опазването на околната среда като система от мерки на различни нива. Появява се ново понятие – „ноосфера“, идеята, че биосферата е в

¹ Татяна Стоянова, доц. д-р, катедра „Строителство на сгради и съоръжения“, Архитектурен факултет, Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“, tatyana.stoyanova@vfu.bg
Tatyana Stoyanova, Assoc. prof., PhD., Department of "Construction of Buildings and Facilities", Faculty of Architecture, Varna Free University "Chernorizets Hrabar", tatyana.stoyanova@vfu.bg

нов етап на развитие - сфера на разума, където човекът като разумно същество трябва да коригира дейностите си в посока на опазването на околната среда и поддържане на устойчиво равновесие в биосферата. Формулират се основните принципи на устойчивото развитие [1].

Всичко това предполага действията на човека да са насочени към балансиране на бурното индустриално и икономическо развитие и задоволяване на непрекъснато нарастващите потребности на хората от една страна и запазване на природата и природните ресурси, търсене на алтернативи в рамките на екологичните възможности на планетата [1]. Не може да се пренебрегне значението на строителната индустрия за трите елемента на устойчиво развитие, а именно икономически растеж, социален прогрес и ефективна защита на околната среда [2]. Устойчивото строителство се основава на три основни принципа: управление на ресурсите, проектиране на жизнения цикъл и проектиране за човека и околната среда [2].

Освен всичко това се появяват и концепциите за зелена, синя, кръгова икономика – идеи свързани с опазването на околната среда, предотвратяване на замърсяването, минимизиране на отпадъците и повторната им или нова употреба, рециклиране. Създават се регламенти, техники и технологии, нормативни изисквания за постигането на устойчиво развитие на планетата. Идеята за устойчивост навлиза във всички сфери на икономическата дейност на човека, както и в социалната сфера. В екологичната наука основните принципи са взаимната свързаност и взаимната обусловеност на отношенията както между индивидите, така и между индивидите и околната среда. Всъщност всички основни положения и принципи, мерки и действия на различните концепции (макар и наречени по различни начини), съдържат общи елементи и постановки и с различни средства водят до постигането на баланс и устойчиво развитие. Интегрирането на различните идеи, бурното развитие на нормативни регламенти и директиви, нови техники и технологии, добри практики води до намирането и прилагането на иновативни решения в различните икономически области.

Тези процеси, макар и доста интензифицирани през новия двадесет и първи век са свързани с различни предизвикателства – разчупване на традиционните модели на работа, реструктуриране на производствата и дейностите, използване на нови технологични линии, нови материали, управление на ресурсите и отпадъците, нови инвестиции. Не на последно място тук трябва да прибавим и трудно променящите се нагласи, съзнание и самосъзнание, както и необходимостта от сериозни финансови инвестиции в първоначалните етапи. Всичко това води до бавни темпове на прилагането на иновативните зелени и кръгови технологии и практики и съответно постигането на висока степен на екологосъобразност на дейностите в различните индустрии.

2. ОСНОВНИ ЕТАПИ И ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА СТРОИТЕЛНАТА ИНДУСТРИЯ

Строителството играе ключова роля в стимулирането на икономическия растеж и развитие в глобален мащаб. На първо място е значителен генератор на възможности за работа и катализатор за инвестиции. Изисква разнообразна работна сила, варираща от архитекти и инженери до квалифицирани търговци и работници. Строителните проекти стимулират икономическата активност, като генерират търсене на суровини, оборудване и услуги [3]. Строителният сектор разчита на професионални услуги като архитектурен дизайн, инженеринг, управление на проекти, правни и финансови консултации [3]. По този начин се предоставят допълнителни икономически ползи и се създават непреки възможности за заетост.

Изследванията показват още, че в целия жизнен цикъл на сградите и съоръженията на сектора се падат: половината от извлечените от земята материали; половината от

консумираната енергия; една трета от консумираната вода; една трета от генерираните отпадъци. [4]

Проучване на строителния сектор в Европа, в частност България, доказва, че най-продаваните строителни продукти в България за последното десетилетие са бетонът и циментът с общ пазарен дял от близо 28% (съответно 16,7% и 11%), равняващ се на стойност от над 370 млн. евро на годишна база. През 2019 г. е регистрирано и увеличение от 13,3% на емисиите на парникови газове (въглероден оксид и диоксид, метан, азотни оксиди и прахови частици), като резултат от дейностите в българския строителен сектор. Неблагоприятен, но и важен, е фактът, че качеството на въздуха е много ниско заради високото ниво на фини прахови частици в страната [5, 6].

Строителната индустрия в момента е отговорна за около 40% от глобалните емисии на парникови газове, като 11% са резултат от производството на строителни материали, доставката и приложението им [5].

Строителството и в частност процесите за производство на стомана и бетон, освен че са изключително енергоемки и отделят огромни количества вредни емисии, са доказано отговорни и за консумацията на около 30% от глобалните залежи на питейна вода, както и за замърсяването ѝ, за отрицателното въздействие върху екосистемите и за локалния недостиг на чиста вода [5]. Фактите показват, че различните метали имат воден отпечатък на чиста вода между 10 и 80 литра на килограм материал, а циментът – между 2 и 3 литра/кг. За сравнение дървеният материал почти не консумира вода за производството си спрямо бетона, стоманата и стъклото [5].

Голяма част от традиционните дейности, свързани с процеса на строителство водят след себе си негативи по отношение на околната среда, относително висок сумарен въглероден отпечатък, замърсяване на компонентите на околната среда (ОС), нарушаване на природната среда, влияние върху здравето на човека и т.н.

Оценката на жизнения цикъл (“Life Cycle Assessment”) включва анализ и оценка на доставката на суровините, производството на материали, строителство, експлоатация и демонтаж на строителните компоненти. Основните етапи в строителната индустрия могат да се определят най-общо по следния начин (Таблица 1):

Таблица 1. Основни етапи и характеристика на строителната индустрия.

| Дейност | Описание | Въздействие върху ОС |
|--|--|---|
| Извличане на материали | Добив на природни ресурси като пясък, чакъл, камък, глина и варовик, дървесина, метали | Необходимост от енергия. Използване на изкопаеми горива. Емисии на въглероден диоксид (CO ₂) и други парникови газове. Замърсяване на въздуха. Замърсяване на води. |
| Преработка и рафиниране | Преработка на природни ресурси като пясък, чакъл, камък, глина и варовик дървен материал, метални изделия | Необходимост от енергия. Използване на изкопаеми горива. Емисии на CO ₂ . и други парникови газове. Замърсяване на въздух. Замърсяване на води. |
| Транспорт на суровини и материали | Транспортът на суровините и материалите до строителните обекти или до преработвателните заводи допринася за въглеродния отпечатък. Това включва използването на камиони, кораби и железопътен транспорт. | Необходимост от енергия. Използване на изкопаеми горива. Емисии на въглероден диоксид (CO ₂) и други парникови газове. Замърсяване на въздуха. |

| | | |
|-------------------------------|--|---|
| Строителни дейности | Строителните дейности сами по себе си изискват енергия за работа на машини и оборудване, което също допринася за емисиите на парникови газове. | Необходимост от енергия. Използване на изкопаеми горива. Емисии на въглероден диоксид (CO ₂) и други парникови газове. Замърсяване на въздуха. Замърсяване на води Промяна на ландшафта, унищожаване на хабитати и ерозия на почва. Генериране на отпадъци. |
| Генериране на отпадъци | Генерират се на всеки един от етапите. | Замърсяване и нарушаване на ОС (въздух, води, почва) с различни по вид отпадъци. |

Освен използването на големи количества ресурси и енергия, въглероден и воден отпечатък, замърсяване на въздуха, строителния сектор оказва и други негативни въздействия. Например:

- *Въздействие върху земята* - изкопните работи предизвикват промяна на ландшафта, унищожаване на хабитати и ерозия на почвата. Налице са почвени замърсявания с химикали и строителни отпадъци. Бързо намалява наличната земя за екологични и човешки социални колективни цели поради строителство и други трансформации на земята [7].
- *Въздействие върху водите* – замърсяват се водите чрез изтичане на химикали, масла и други замърсители в повърхностни и подземни води или замърсяване с отпадни води. Променя се водния режим чрез нарушаване на естествения воден баланс и хидроложки процеси поради изкопни дейности, изсичане на растителност и строителство.
- *Шумово замърсяване* - работата на тежки машини и строителни дейности предизвикват шумово замърсяване, което влияе негативно върху околните екосистеми и човешкото здраве.
- *Генериране на отпадъци* - генерира се голямо количество отпадъци, включително строителни материали, опаковки и разрушени структури, както и отпадъци от разрушаване на сгради.
- *Експлоатация на сградите* – енергийно неефективните сгради водят до вторичен ефект на високи разходи за поддръжка и енергия през целия си живот.

Необходима е сериозна промяна в производството и използването на екологични естествени строителни материали, които са с отрицателен въглероден отпечатък, здравословни и употребата им има множество положителни страни пред използването на конвенционални индустриални материали, водещи до екологична, икономическа и здравословна, респективно социална криза [5] .

С прилагането на устойчиви практики и технологии тези въздействия могат да бъдат значително намалени, като това включва и етапа на проектиране и избор на терен. Устойчивите практики и технологии в строителството имат за цел да минимизират негативното въздействие върху околната среда, като същевременно повишават ефективността и дълготрайността на сградите. В контекста на устойчивото строителство и кръговата икономика, строителният бранш може да приложи множество стратегии и подходи, които да намалят екологичния отпечатък и да увеличат ефективността на ресурсите. Това е необходимо да започне в най-ранния етап на реализирането на един проект а именно с избора на терен и проектирането. Строителния процес започва с проектирането и на всеки етап трябва да се следват принципите за устойчивост, екологосъобразност и кръгова икономика – интегриране на различните подходи, на база взаимна свързаност и взаимна обусловеност. На какво би следвало с особено внимание да се акцентира за постигането на положителен ефект:

- *Избор на подходящ терен* - включва оценка на въздействието върху околната среда - задълбочено проучване на терена и околната среда (включително флора, фауна, водни ресурси и почви); *климатичен анализ* - разбиране на местния климат, включително температурни диапазони, ветрове и слънчева радиация, за да се оптимизира дизайна на сградата; оценка за чувствителност на екосистемите; минимизиране на изкопните работи и разрушенията на природния ландшафт; съхранение и интеграция на съществуващата растителност в дизайна на проекта; приоритетно използване на терени, които вече са били застроени или нарушени, като индустриални зони и изоставени парцели, а не застрояване на нови площи.
- *Проектиране* - прилагане на дизайн за дълготрайност и гъвкавост: проектиране на сгради, които могат лесно да бъдат адаптирани към различни нужди и функции с минимални промени; използване на устойчиви материали и технологии, които да увеличат живота на сградата; използване на възобновяеми и рециклирани материали като дървесина от устойчиви гори, бамбук и други бързо растящи растения; включване на рециклирани строителни материали като бетон, стомана и стъкло; проектиране на здравословна вътрешна среда, чрез използване на нискоемисионни материали и покрития; осигуряване на добра вентилация и контрол на вътрешните замърсители, и максимално използване на естествена светлина.
- *Оптимизиране на енергийната ефективност* - подобряване на изолационните свойства на сградите, за да се намалят енергийните разходи за отопление и охлаждане; прилагане на енергоспестяващи технологии: LED осветление, енергийно ефективни уреди и системи за автоматично управление на осветлението и отоплението; използване на възобновяеми енергийни източници - фотоволтаични панели и слънчеви колектори.
- *Управление на ресурси и отпадъци* - проектиране на модулни конструкции, които могат лесно да се разглобяват и рециклират; използване на разглобяемите материали - материали, които могат лесно да се отделят и рециклират след края на жизнения цикъл на сградата. Въвеждане на системи за разделно събиране и рециклиране на строителни отпадъци на място; минимизиране на отпадъците чрез оптимизиране на проектите и строителните процеси за намаляване на отпадъците. Възстановяване на използвани материали - използване на материали от разрушени сгради в нови строителни проекти; вторична употреба на строителни компоненти като стоманени греди, тухли, дървен материал.
- *Намаляване на въглеродния отпечатък* чрез използване на местни материали – това би намалило транспортните разходи и емисиите чрез използване на материали, добивани и произведени локално; подобряване на енергийната ефективност на производствените процеси на строителните материали.
- *Интеграция на природни елементи в градската среда* - проектиране на паркове и зелени площи в и около новите сгради за подобряване на качеството на живот и поддържане на екологичното равновесие; включване на обществени градини и зелени площи, където жителите могат да отглеждат растения и да се включват активно в поддръжката на зелените пространства.
- *Образование и осведоменост* – важен момент за формиране на нагласи и компетенции за устойчиво развитие и иновации – организиране на курсове и семинари за обучения на архитекти, инженери и строителни работници относно устойчивото строителство и кръговата икономика; организиране на кампании за информиране на обществото относно ползите от устойчивото строителство и кръговата икономика и популяризиране на успешни проекти и инициативи като примери за устойчиво строителство.

3. ВЪЗМОЖНОСТИ И ДОБРИ ПРАКТИКИ

Бързият ръст на популацията и урбанизацията изискват адекватно нарастване съответно и на материалите за строителството. Предполага се, че количеството на най-разпространения строителен материал – бетон към 2050 ще нарасне до 16-18 милиарда тона годишно. Поради това, строителната индустрия е изправена пред предизвикателството да усвои нови технологии за да гарантира устойчиво развитие на производството и да отговори адекватно на нуждите на строителството [4]. Усилията за получаване на нови материали за строителство са насочени най-вече към създаването на различни добавки към традиционните материали за постигане на определени качества и съответно минимизиране на вложените природни ресурси, при запазване и/или повишаване на качеството. Освен това се експериментира и с използване на екологично чисти и нетрадиционни материали.

В тази част ще бъдат представени някои добри практики и иновации, по отношение на строителните материали и технологии, енергийната ефективност на сградите и управлението на строителните отпадъци.

3.1. Нови материали и технологии в строителството

Основните най-масово използвани материали в строителството към момента, включват: бетон, стомана, дърво: цимент и гипс, метали - стомана, алуминий, желязо, месинг. Тези материали са традиционно основата на почти всички строителни проекти поради своите качества, наличност и ценова конкурентоспособност. Въпреки това, тенденцията за устойчивост и иновации насърчава изследването и използването на нови материали и технологии в строителството.

Някои от най-новите материали, чиито качества и приложения продължават да се изследват и да намират своето приложение в строителството за иновативни и интелигентни решения са наноматериалите и нанотехнологиите. Нанотехнологията не е нова, но въпросът е как механизмът на нанотехнологиите може да се използва за здравословна съвместимост със строителни структури като масивни сгради и мостове, за които се смята, че навлизат в огромни маси от земя, което води до унищожаване на домовете на дивата природа и оказва натиск върху ограничените запаси от енергия [8]. Нано базирани материали като въглеродни нанотръби, електрохромни прозорци, наноглини, титанов диоксид, нанокерамично покритие, нанокристални материали, наносилициев диоксид, нанокомпозити, стомана, нанометали, нановлакна, наноцимент, който може да се използва за осигуряване на множество функции като устойчивост на корозия, изолация, противопожарна защита, температурна устойчивост, намаляване на натоварването на климатика, контрол на замърсяването, абсорбция на UV лъчи, осветление, когато се използват като част от материалите на сградата [8]. Бетонът, стъклото и покритията са най-разпространените продукти с наноактивност, заедно с изолацията и специалните стомани [9].

Новите и необикновени физико-химични свойства на материалите в наномасщаб разкриват нови приложения за строителната и инфраструктурната индустрия като структурни подсилвания, електронни свойства и събиране на енергия. Избрани приложения на нанотехнологиите в конструкцията и строителните материални могат да бъдат: метали и сплави, глина и минерали, керамика, цимент и бетон, асфалт, дърво и композити, до системи за довършителни работи и някои от най-използваните техники за характеризирани [10]. Освен напредъка в някои области, нанотехнологиите тепърва се появяват в областта на строителните материали, с много предизвикателства и възможности, нерешени проблеми и възможности за бизнес. Наред с приложението на наноматериалите се изследват и потенциалните здравни проблеми и рискове от

използването на наноматериали за работниците и потенциалните ефекти върху околната среда [10].

Някои специфични наноматериали демонстрират способност да подобряват структурните, термичните и функционалните свойства на материалите, използвани специално в жилищното строителство - титанов диоксид, въглеродни нанотръби, наносилициев диоксид, nanoцелулоза, nanoалуминиев оксид и nanoглина [11]. Титановият диоксид е известен със своите фотокаталитични свойства и способности за самопочистване; въглеродните нанотръби имат изключителна механична якост и проводимост; наносилициев диоксид е способен да подобрява издръжливостта и механичните характеристики на бетона; nanoцелулозата е добавка, която предлага възобновяеми и биоразградими опции; nanoалуминиевият оксид осигурява значителни подобрения в якостта на натиск и опън; nanoглината е известна с потенциала си да подобрява термичната стабилност и механичните свойства на материали на циментова основа [11]. Изброените наноматериали показват много добри лабораторни и теренни резултати като добавки в жилищното строителство [11].

Най-общо различните наноматериали се използват за подобряване на характеристиките на строителни материали като бетон, стомана и изолации: *подобряват механичните свойства на строителните материални* – наночастици от въглеродни материали (например графен или въглеродни нанотръби) се добавят към бетон и полимери, за да се подобрят техните механични свойства като здравина, устойчивост и износоустойчивост; *повишават енергийната ефективност на сградите* – наноматериали с висока топлоизолационна способност (аерогелите и наночастиците от силиций) се използват за създаване на изолационни материали, които намаляват загубата на топлина през сградната обвивка, по този начин подобряват енергийната ефективност на сградите; *подобряват функционалността и издръжливостта на материалите* – водоотблъскващите свойства, противопожарната защита и устойчивостта на материалите към корозия и външни влияния; *разработват се интелигентни строителни материални* – създаване на интелигентни материали, които променят своите свойства в реално време в отговор на външни условия като температура, влажност и напрежение, като това включва материали, които се самозалепват, саморемонтират или имат сензори за наблюдение на състоянието си; *екологично устойчиви материални* – наноматериали могат да бъдат проектирани така, че да са екологично устойчиви и да имат по-малък въглероден отпечатък в сравнение с традиционните материали.

Графенът е материал, съставен от единични слоеве на графит, което е най-тънкият възможен материал. Той е изключително здрав, лек и има отлични проводящи свойства. Използва се за подобряване на характеристиките на бетона, както и за създаване на интелигентни строителни материали. Графенът може да се използва в цимент, топлинни и акустични изолатори, асфалт, антикорозионни и противопожарни материали. Например, графенът може да се добави към бетона, за да се подобри неговата здравина, издръжливост и устойчивост на огън; към стоманата, за да се подобри нейната здравина и устойчивост на корозия; към асфалта, за да се подобри неговата здравина, издръжливост и водоустойчивост [12]. Съдържащите графен строителни материали намаляват емисиите на CO₂ в кръговата икономика [12]. Към момента графенът дава възможност да преосмислим цимента като суровина, както и функционалността му в нарастващата глобална програма за устойчивост, която създава подновен интерес към потенциала за бетон, подсилен с графен [13].

Аерогелът е екстремно лек материал с изключителни топлоизолационни свойства. Използва за изолация на сгради и създаване на прозорци и панели с висока енергийна ефективност. Аерогелните материали, с техните изключителни свойства, намират разнообразни приложения в строителната индустрия, главно поради техните изолационни

свойства, характеристики на акустичен контрол и потенциал за структурно укрепване и забавяне на пожара [14].

Бамбукът се използва като екологично устойчива алтернатива на дървото за строителство на структурни елементи, подови настилки, облицовки и мебели, може да се използва за различни вътрешни и външни цели в сгради като основи, естакади, жилища, многоетажни сгради, конструкции с големи разстояния и интериори на летища, сгради за отдих [15, 16]. Той е бързо растящ, лек и има добри механични свойства, може да бъде нарязан и ламиниран на листове и дъски, като идеален строителен материал, издръжлив, устойчив и екологичен [15, 16]. Недостатъците му са свързани с това, че ако не е третиран развива гъбички и привлича насекоми термити, мравки и бръмбари, защото съдържа високи нива на нишесте. Друга потенциална трудност при работа е свързването на отделните парчета. Прилагат се специални техники на закрепване посредством използването на найлон, стомана или растителен шнур, използването на болтове във връзките, последвано от запълване на областта с хоросан [15].

Еко-бетонът (или „зелен“ бетон) е разработен с цел намаляване на въглеродния отпечатък на бетонните конструкции. Той използва възобновяеми или рециклирани суровини като заместители на традиционните материали като цимент. През 2022 г в България на пазара е пуснат първия у нас нисковъглероден бетон, които се произвежда с от 30 до над 70% по-ниски въглеродни емисии в сравнение с традиционния бетон. [17]. Базираните на портланд цимент строителни материали се очаква да доминират в близко бъдеще поради икономии за мащаба на строителството, нивата на оптимизация на процесите, наличието на суровини и доверие към пазара. Два подхода могат да осигурят значително допълнително намаляване на глобални емисии на CO₂ – намаляване необходимостта от скъпи инвестиции в улавяне и съхранение на въглерода, чрез повишено използване на добавки с ниско съдържание на CO₂ и по-ефективно използване на портландциментовия клинкер в строителни разтвори и бетони, както и други нововъзникващи технологии, заслужаващи по-нататъшно проучване [18].

Интерес представлява също и т. нар. пропусклив бетон, който позволява на дъждовната вода да преминава през тротоар и да остави природата да си върши работата. Този вид бетон е отличен заместител на асфалта при изграждане на паркингите, като значително намалява оттока, а по-светлият му цвят позволява да отразява слънчевата светлина и да остане хладен през лятото. Екологичните и икономически аспекти на проницаемите бетонови материали показват, че пропускливия бетон е обещаващ кандидат в приложенията за настилки [19].

Една от бързо развиващата се и навлизаща нова технология в строителния сектор е **3D принтирането**. 3D печатът претърпя бързо развитие с трансформации от лабораторни експерименти към създаване на жилищни и граждански структури. Потенциалните предимства на тези технологии за автоматизация включват по-бързо изграждане, по-ниски разходи, по-голяма интеграция на функциите и по-малко отпадъци [20].

В строителната практика навлизат и се развиват бързо, притежаващи голям потенциал за промяна на начина, по който се проектират, строят и управляват сгради и инфраструктура технологии като BIM (Building Information Modelling), интернет на нещата (IoT), изкуствен интелект (AI), виртуална и разширена реалност (VR и AR), роботизирано строителство и др. Те помагат за постигането на по-ефективно, устойчиво и интелигентно строителство в бъдеще. Подобренията в ефективността на работа, здравето и безопасността, производителността, качеството и устойчивостта са основните предимства от използването на тези технологии. От тях информационното моделиране на сградите (BIM) изглежда е единствената най-често използвана технология досега [21].

3.2. Енергийна ефективност и енергийни източници.

Енергийната ефективност се нарича „първото гориво“ в преходите към чиста енергия, тъй като предоставя някои от най-бързите и рентабилни опции за намаляване на CO₂, като същевременно намалява сметките за енергия и укрепва енергийната сигурност. Енергийната ефективност е най-голямата мярка за избягване на търсенето на енергия в сценария за нулеви емисии до 2050 г. [22]. В това отношение могат да се прилагат различни политики за намаляване на въглеродните емисии, като например засилване на използването на възобновяема енергия и насърчаване на технологичните иновации. Могат да бъдат приложени две основни решения за намаляване на емисиите на CO₂ и преодоляване на проблема с изменението на климата: замяна на изкопаемите горива с възобновяеми енергийни източници, доколкото е възможно, и повишаване на енергийната ефективност [23]. Комбинацията от пасивен дизайн, използването на алтернативни възобновяеми енергийни източници и правилното управление постигат оптималните резултати за постигане на енергийната ефективност и устойчивост.

3.3. Управление на строителните отпадъци – ползи за усвояването на ресурси и минимизиране на замърсяването.

Отпадъците от строителство и разрушаване са определени като ключов аспект в пакета за кръгова икономика, представен от ЕК още през 2015 г., тъй като се характеризират с висок потенциал за рециклиране и повторна употреба. В Европейския съюз (ЕС) отпадъците от строителство и разрушаване представляват повече от една трета от всички генерирани отпадъци [24]. По данни на Националния статистически институт (НСИ) и Евростат, включени в Националния план за управление на отпадъците 2021-2028 г. [25], състоянието за България към момента е, че строителните отпадъци са със сравнително малък относителен дял от образуваните производствени отпадъци – средно около 6,6%. Заедно с това трябва да отбележим, че в последните години се наблюдават положителни тенденции за нарастване на относителния дял на оползотворените спрямо обезвредените строителни отпадъци [25, 26]. В Националния план за управление на отпадъците 2021-2028 г. (НПУО) се посочва, че преобладаващата част от строителните отпадъци имат висок потенциал за рециклиране и оползотворяване, има достъпни технологии за рециклиране, но няма достатъчен капацитет за рециклиране на тези отпадъци [25]. Също така не е изградена национална информационна система за образуваните, рециклираните, оползотворените и депонираните строителни отпадъци, поради което данните за отпадъците от строителство и разрушаване от наличните източници са непълни [25]. Генерирането на строителни отпадъци е идентифицирано като един от основните проблеми в строителната индустрия поради прякото му въздействие върху околната среда, както и мащабите на строителната индустрия. Изчислено е, че в световен мащаб общо 35% от строителните отпадъци и отпадъци от разрушаване се депонират [27].

Изпълнение на плановете за управление на отпадъците на строителната площадка или обектите за разрушаване е необходимо да бъдат строго следвани и контролирани - събиране, разделяне и повторно използване на строителни материали. Най-сериозен проблем в тази верига от дейности е разделянето на строителните отпадъци.

Материали като бетон и стомана могат да бъдат преработени и използвани повторно в нови строителни проекти, вместо да бъдат изхвърлени като отпадъци. Преработката и повторното използване на материали като бетон и стомана може да се постигне чрез няколко метода и технологии: при демонтаж на сгради и инфраструктура, бетонните и стоманените елементи могат да бъдат разглобени и отделени от другите материали като дърво, пластмаса и изолация. Тези материали могат да бъдат пренасочени към специализирани преработвателни центрове, където биват дробени, сортирани и преработени за използване в нови строителни проекти. Бетонът и стоманата могат да бъдат рециклирани като суровина за производството на нови строителни материали.

Например, бетонът може да бъде смесен с рециклирани бетонни агрегати, които са получени от демонтирани сгради или други източници. Тези рециклирани агрегати могат да заменят част от нормалния агрегат в бетона, като се намали необходимостта от добив на нови суровини и се намали количеството на строителни отпадъци [28]. Старият бетон може да бъде раздробен и използван като базов слой за изграждане на пътища, пътеки, площи и други покрития. Стоманена арматура може да се преработи в нова или да се използва в други стоманени конструкции. Някои елементи като бетонни блокове, плочи и стоманени тръби могат да бъдат извадени от една сграда и използвани повторно в други строителни проекти без да се подлагат на преработка, като тези материали са често по-икономични и екологично по-устойчиви от техните нови аналози. Някои автори посочват че рециклирането на разрушен бетон в инертни материали е полезно за околната среда чрез запазване на ресурсите, чрез намаляване на отпадъците и чрез запазване на пространството на сметищата, но е необходима екологична оценка на пълен жизнен цикъл, за да се даде отговор на въпроса: може ли рециклирането наистина да намали екологичните тежести на бетонните конструкции? [29].

При проектирането на нови сгради и инфраструктура, може да се предвиди възможността за бъдещ демонтаж и рециклиране на материалите, т.е да бъде направена оценка на жизнения цикъл на материали и конструкция. Това включва използването на лесно разглобяеми и повторно използвани елементи и конструкции, което позволява вторичната употреба на строителни компоненти като стоманени греди, тухли, конструкционни елементи и дървен материал по-лесно. Други добри практики могат да бъдат лизинга на строителни материали, при който строителните материали се предоставят, след което се връщат на доставчика за рециклиране или повторна употреба, както и споделените ресурси, където се създават платформи за споделяне на строителни материали и оборудване между различни строителни обекти и компании.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Към настоящия момент строителната индустрия разполага с много средства за използване на нови техники, технологии и материали, с които да отговори на предизвикателствата за устойчиво строителство, кръгова икономика и екологосъобразност. Преходът обаче от традиционни към иновативни подходи и решения е бавен и с неравномерен характер. Практиката и изследванията показват, че все повече се използват нови материали и технологии с доказани качества, както и се произвеждат продукти с нисък въглероден отпечатък. Взаимната свързаност и обусловеност на всички наши действия е в основата на търсенето и намирането на подходящите решения. Не трябва да се пренебрегва и икономическата стойност на иновативните подходи и материали в оценката на жизнения цикъл на строителния процес, която много често е пречка за реализирането на едно или друго решение, макар и то да е екологосъобразно, зелено и т.н.

Очевидно посоката е тази и човекът като най-разумното същество в биосферата (ноосфера) е отговорен за планирането и изпълнението на всички етапи и нива от своята дейност на принципите на устойчивото развитие, кръговата икономика и екологосъобразността, за да може да бъде постигнат баланс и хармония между природата и развитието на икономиката като цяло и в частност на строителния сектор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Report - General Assembly - the United Nations, PDF Page 1. 1987. UNITED. NATIONS. *General Assembly*. Distr. GENERAL. A/42/427
2. Aysin Sev, How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework, *Sustainable Development*, 2008, Volume 17 Issue 3 pp. 129-196.

3. Construction in global economy, 2023 Green Issue, by B/ACE Magazine.
https://issuu.com/bacemagazine/docs/2023_green_issue_/s/26987431
4. Иванов, Я., Янакиева, А. (2024). Строителната индустрия и проблемите на устойчивото строителство като част от Националния план за възстановяване и устойчивост. Строително предприемачество и недвижима собственост = Construction Entrepreneurship and Real Property, 1 (1), 5-14. <https://doi.org/10.56065/CERP2024.1.1.5>
5. Веселинов В. <https://nauka.offnews.bg/tehnologii/roliata-na-stroitelnite-materiali-varhu-klimata-i-okolnata-sreda-199321.html>
6. https://single-market-economy.ec.europa.eu/system/files/2021-11/ECSCO_CFS_Bulgaria_2021.pdf
7. Michael U. Hensel, The rights to ground: integrating human and non-human perspectives in an inclusive approach to sustainability, Sustainable Development, 2019, Volume 27, Issue 2pp. 197-251]
8. DAS, B. B.; MITRA, Arkadeep. Nanomaterials for construction engineering-A review. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 2014, 2.1: 41-46.
9. Wendy J., Alistair G., Chris G., Phil Bust, Mo Song, and Jie Jin, Nanomaterials in construction – what is being used, and where?, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials 2019 172:2, 49-62
10. Colorado, H.A., Nino, J.C., Restrepo, O. (2018). Applications and Opportunities of Nanomaterials in Construction and Infrastructure. In: Li, B., *et al.* Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2018 . TMS 2018. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72484-3_46.
11. María Alejandra Macías-Silva, Jeffrey Saúl Cedeño-Muñoz, Carlos Augusto Morales-Paredes, Rolando Tinizaray-Castillo, Galo Arturo Perero-Espinoza, Joan Manuel Rodríguez-Díaz, César Mauricio Jarre-Castro, Nanomaterials in construction industry: An overview of their properties and contributions in building house, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 2024, 100863, ISSN 2666-0164, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100863>.
12. Nilofar Asim, Marzieh Badiei, Nurul Asma Samsudin, Masita Mohammad, Halim Razali, Soroush Soltani, Nowshad Amin, Application of graphene-based materials in developing sustainable infrastructure: An overview, Composites Part B: Engineering, Volume 245, 2022, 110188, ISSN 1359-8368,
<https://www.manchester.ac.uk/about/news/decarbonising-construction-with-graphene/>
13. <https://www.manchester.ac.uk/about/news/decarbonising-construction-with-graphene/>
14. Xinhua Gu, Yongqiang Ling, Research progress of aerogel materials in the field of construction, Alexandria Engineering Journal, Volume 91, 2024, Pages 620-631,
<https://stroinfo.com/bambukyt-kato-stroitelten-material/>
15. <https://stroinfo.com/bambukyt-kato-stroitelten-material/>
16. Madhura Yadav, Arushi Mathur, Bamboo as a sustainable material in the construction industry: An overview, Materials Today: Proceedings, Volume 43, Part 5, 2021, Pages 2872-2876,
<https://www.holcim.bg/bg/zelen-beton-ecopact>
17. <https://www.holcim.bg/bg/zelen-beton-ecopact>
18. Scrivener, K., Vanderley J., Gartner, E., Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. Cement and Concrete Research (2018).
19. Anush K. Chandrappa, Krishna Prapoorna Biligiri, Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review, Construction and Building Materials, Volume 111, 2016, Pages 262-274,
20. El-Sayegh, S. Romdhane, L., Solair Manjikian (2020). A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. Archives of Civil and Mechanical Engineering.
21. Chen, X., Chang-Richards, A.Y., Pelosi, A., Jia, Y., Shen, X., Siddiqui, M.K. and Yang, N. (2022), "Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review", *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 29 No. 8, pp. 3181-3209.
22. IEA – International Energy Agency, <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energy-efficiency>

23. Abolhosseini, Shahrouz and Heshmati, Almas and Altmann, Jorn, A Review of Renewable Energy Supply and Energy Efficiency Technologies. IZA Discussion Paper No. 8145, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2432429>
24. Construction and demolition waste https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en , посетен последно на 10.05.2023г.
25. НАЦИОНАЛЕН ПЛАН ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОТПАДЪЦИТЕ 2021-2028 г. https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/%D0%A3%D0%9E%D0%9E%D0%9F/%D0%9D%D0%9F%D0%A3%D0%9E-2021-2028/NPUO_2021-2028.pdf, посетен последно на 12.05.2023г.
26. Национален статистически институт, <https://www.nsi.bg/bg/content/> , посетен последно на 08.05.2023г.
27. Kabirifar, Kamyar & Mojtahedi, Moe & Wang, Cynthia & Tam, Vivian. Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. Journal of Cleaner Production (2020). 263. 121265. 10.1016/j.jclepro.2020.121265.
28. Cesar Medina Martinez 1 4, I.F. Sáez del Bosque 1, G. Medina 3, M. Frías 2 4, M.I. Sánchez de Rojas 2 4, Fillers and additions from industrial waste for recycled aggregate concrete, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2022, Pages 105-143.
29. Marinković S., Carević V., Comparative studies of the life cycle analysis between conventional and recycled aggregate concrete, New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete, 2019.