ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ СОФИЯ

Том Volume 55 2022 Брой Issue 3

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY SOFIA

Получена: 30.06.2022 г.
Приета: 22.07.2022 г.

ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК ПРИ ИЗПЪЛНЕНИЕТО НА КОНСТРУКЦИЯТА НА МОНОЛИТНИ СТОМАНОБЕТОННИ СГРАДИ – ОЦЕНКА НА ВЛОЖЕНИТЕ СТРОИТЕЛНИ МАТЕРИАЛИ

Л. Хрисчев[1], Ю. Работова-Христова[2], Я. Кънчева[3], К. Радлов[4]

Ключови думи: *въглероден отпечатък, сгради, стоманобетонна конструкция, материали*

РЕЗЮМЕ

В статията е представено изследване на влиянието на вложените строителни материали върху стойностите на въглеродния отпечатък при изпълнението на грубия строеж на сгради, характерни за българската строителна практика. Изследването обхваща два типа монолитни сгради със стоманобетонна носеща конструкция – средноетажни и високоетажни. Разработена е методика за определяне на стойностите на въглеродния отпечатък, като приетата функционална единица е 1 m^2 разгъната застроена площ (РЗП).

Установено е, че при средноетажните сгради стойността на въплътените въглеродни емисии е 220,9 kg CO_2 eq. за един m^2 РЗП, докато при високоетажните сгради стойността е 190,5 kg CO_2 eq. за един m^2 РЗП. И при двата типа изследвани сгради между 55 – 58% от въглеродния отпечатък от влаганите материали при изпълнението на грубия строеж се формира от количеството на вложения бетон, съответно между 28 – 31% се формира от зидарските работи и около 14% от количеството на вложената армировка.

[1] Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството", УАСГ, бул. „Хр. Смирненски" № 1, 1046 София, e-mail: l.hrischev@abv.bg

[2] Юлия Работова-Христова, докторант инж., кат. „Технология и механизация на строителството", УАСГ, бул. „Хр. Смирненски" № 1, 1046 София, e-mail: y.rabotova@gmail.com

[3] Яна Кънчева, гл. ас. инж., кат. „Приложна геодезия", УАСГ, бул. „Хр. Смирненски" № 1, 1046 София, e-mail: ykancheva@gmail.com

[4] Калин Радлов, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството", УАСГ, бул. „Хр. Смирненски" № 1, 1046 София, e-mail: kradlov@abv.com

1. Въведение

Строителството оказва голямо въздействие върху околната среда, а процесът на производство и транспортиране на строителни материали, както и изграждане на сградите е свързано с консумацията на голямо количество енергия и отделяне на голямо количество парникови газове [1]. Съгласно данни на *Worldwatch Institute*, строителството в световен мащаб консумира около 40% от скалните материали, 25% от дървения материал и 25% от водата [2].

Производството и транспортирането на строителните продукти, както и изпълнението на строителните и монтажните работи води до отделянето на голямо количество парникови газове. По данни на Европейската комисия сградите, в т.ч. по време на строителството, експлоатацията и разрушаването, допринасят за отделянето на 50% от въглеродните емисии в атмосферата. Използването на ресурсите се определя до голяма степен от проектните решения и избора на строителни продукти. За постигане на ползи от по-висока ресурсна ефективност проектантите, производителите, строителите, компетентните органи и потребителите се нуждаят от използваема и надеждна информация, с която да разполагат при вземането на решенията си [3].

В националното законодателство на Р България и в частност в националната техническа уредба има въведени минимални изисквания към отделните компоненти на устойчивото строителство [4]. У нас са въведени като национални редица стандарти, свързани с устойчивото строителство, които дават възможност за цялостен анализ на конструкцията посредством оценка на жизнения цикъл [5]. Известни са и редица разработки, отнасящи се до определяне на екологичните въздействия, свързани със строителните продукти и отделни аспекти на строителството, строително-инвестиционния процес, устойчивото строителство и устойчивото развитие [6 – 12]. Част от съвременните изследвания се отнасят и до екологичните аспекти при оползотворяването на строителните отпадъци [13 – 15], които също произтичат от изискванията за ресурсна ефективност в строителния сектор [3].

Традицията в строителството в България е свързана с изпълнението на голям процент сгради със стоманобетонна носеща конструкция. Върху екологичните въздействия съществено влияние оказват влаганите строителни продукти, но също така използваната строителна механизация, временните съоръжения за строителството и др. Изследванията показват, че различните типове сгради се отличават с различни разходни коефициенти по видове строителни и монтажни работи (СМР), отнесени към 1 m^2 разгъната застроена площ (РЗП) [16]. Именно информацията за разхода на различни видове строителни и монтажни работи (СМР) и строителни материали и продукти, може да се използва като основа за определяне на екологичните въздействия при изпълнението на различни типове сгради. Аналогичен подход успешно се използва в европейската и световната практика за определяне на екологичния отпечатък [17, 18].

Предвид изложеното по-горе, целта на изследването е да се определят екологичните въздействия и по-конкретно въглеродният отпечатък при изпълнението на грубия строеж на средноетажни и високоетажни сгради с монолитна стоманобетонна конструкция. Изследването обхваща характерни за българската строителна практика сгради, с отчитане на количествата на вложените строителни материали.

2. Методика на изследването

2.1. Граници на изследването и функционална единица

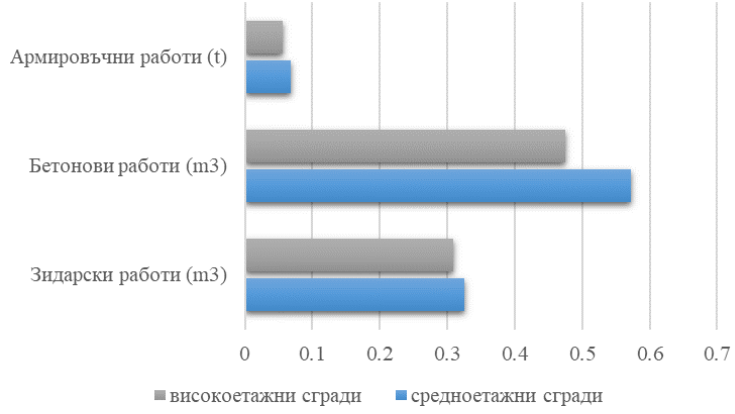
В контекста на настоящото изследване се използва въведената концепция на оценяване на сградите по отношение на устойчивото развитие и информационните модули, прилагани при оценяване на сградите през етапите на техния жизнен цикъл според БДС EN 15643 [5], като са дефинирани границите на проучването съгласно БДС EN 15978 [19].

Обхватът на изследването е съсредоточен върху изпълнението на грубия строеж на сгради с монолитна стоманобетонна конструкция с РЗП от 180 m^2 до 19 300 m^2, групирани в два типа сгради – средноетажни и високоетажни. Информацията за разгънатата застроената площ, видовете и количествата на строителните материали, са извлечени от проектната документация и количествени сметки на 29 строежа. Всички разглеждани сгради са ситуирани на територията на гр. София. Всеки тип сграда се характеризира с изпълнението на армировъчни работи, бетонови работи и зидарски работи, с конкретни количества вложени материали по съответните видове СМР. Отчетени са количествата бетон и армировка за всички стоманобетонни елементи на конструкциите на разглежданите сгради, като за изпълнение на зидариите, съгласно проектните решения, се използват глинени блокове с кухини.

За определяне на разходните коефициенти за 1 m^2 разгъната застроена площ при двата типа сгради е приложен методът на математическата статистика, чрез който от количествените сметки по видове СМР са получени конкретни емпирични осреднени данни [16]. Обобщените разходни коефициенти по видове СМР за 1 m^2 РЗП при двата типа изследвани сгради са представени в табл. 1 и на фиг. 1.

Таблица 1. Обобщени разходни коефициенти по видове СМР за 1 m^2 РЗП [16]

Видове СМР	Ед. мярка	Средноетажни сгради	Високоетажни сгради	Разлика, %
Армировъчни работи	t/m^2 РЗП	0,0675	0,056	17,08
Бетонови работи	m^3/m^2 РЗП	0,572	0,475	17,05
Зидарски работи	m^3/m^2 РЗП	0,326	0,309	5,01



Фиг. 1. Обобщени разходни коефициенти по видове СМР за 1 m^2 РЗП при средноетажни и високоетажни сгради [16]

Резултатите, представени на фиг. 1, показват, че монолитните стоманобетонни конструкции на средноетажните сгради се характеризират с по-високи разходни коефициенти за 1 m^2 РЗП, спрямо високоетажните сгради. Това се отнася за всички видове строителни и монтажни работи за изпълнението на грубия строеж на стоманобетонни монолитни сгради от анализираните обекти. Тези разлики се дължат на различните количества армировка, бетон, зидария и т.н., които произтичат от конкретните проектни решения. От друга страна, влияние оказва и фактът, че СМР и материалите, например от основите и от покрива, се разпределят върху различни площи.

Известно е, че с функционалната единица се определя начинът, по който определените функции или експлоатационни характеристики на продукта се изразяват количествено. Главната цел на функционалната единица в проучванията за LCA (оценка на жизнения цикъл) е с нея да се предостави справка, чрез която материалните потоци, резултатите от LCA и всяка друга информация да се нормират, за да се получат данни, изразени на обща база. Това позволява сравняване с други системи на продукти, които са оценени да изпълняват същата функционална единица [20].

В настоящото изследване се използва функционална единица 1 m^2 РЗП, за която са изчислени емисиите, произтичащи от количествата на вложените строителни материали. Изследването е фокусирано върху определяне на въздействията върху околната среда за етапа на строителните продукти (модули A1-A3), съгласно БДС EN 15643 [5].

2.2. Определяне на въплътените въглеродни емисии

За определяне на въглеродния отпечатък (въглеродните емисии) при изпълнението на конструкцията на монолитни стоманобетонни сгради чрез отчитане на вложените строителни материали е създаден алгоритъм за различните строителни работи, който е приложен в настоящата разработка и е обвързан със създадената емпирична база данни.

Определянето на въглеродния отпечатък при изпълнение на армировъчните работи е извършено с използването на формула (1):

$$EF_{mat,RW} = C_{i,RW}\ EF_{RW}\ Q_{RW}, \text{ [kg } CO_2 \text{ eq./m}^2 \text{ РЗП]}, \quad (1)$$

където $C_{i,RW}$ е разходен коефициент за 1 m^2 РЗП за сграда тип *i*;

EF_{RW} – въглероден отпечатък за производството на 1 t армировка;

Q_{RW} – количеството вложена армировка.

При изпълнението на бетоновите работи, определянето на въглеродния отпечатък се изчислява посредством следната формула (2):

$$EF_{mat,CW} = C_{i,CW}\ EF_{CW}\ Q_{CW}, \text{ [kg } CO_2 \text{ eq./m}^2 \text{ РЗП]}, \quad (2)$$

където $C_{i,CW}$ е разходен коефициент за 1 m^2 РЗП за сграда тип *i*;

EF_{CW} – въглероден отпечатък за производството на 1 m^3 бетон;

Q_{CW} – количеството вложен бетон.

Въглеродният отпечатък, за количествата вложени материали при зидарските работи е определен както следва (3):

$$EF_{mat,MW} = C_{i,MW} EF_{MW} Q_{MW}\ ,\ [\text{kg } CO_2 \text{ eq./m}^2 \text{ РЗП}], \quad (3)$$

където $C_{i,MW}$ е разходен коефициент за 1 m^2 РЗП за сграда тип *i*;

EF_{MW} – въглероден отпечатък за производството на 1 m^3 зидария;

Q_{MW} – количеството вложена зидария.

Определеният въглероден отпечатък, от съответните количества материали за различните работи, се сумира и се изчислява въглеродният отпечатък, съгласно следната формула (4):

$$EF_{mat,TOTAL} = EF_{RW} + EF_{CW} + EF_{MW}\ ,\ [\text{kg } CO_2 \text{ eq./m}^2 \text{ РЗП}]. \quad (4)$$

За целите на настоящия анализ са използвани данни от Наредба № 3 от 21 юли 2004 г. за основните положения за проектиране на конструкциите на строежите и за въздействията върху тях [21]. В табл. 2 са представени данни за плътността на различните видове материали, нужни за последващите изчисления.

Въз основа на данните от табл. 1 и табл. 2 в табл. 3 са определени количествата армировка, бетон и зидария, приравнени към единица мярка – kg/m^2 РЗП. Именно стойностите, определени в табл. 3, се използват като база, въз основа на която се определя въздействието на парниковите газове от строителните дейности по отношение на еквивалентността на въглеродния диоксид (CO_2 eq.).

Таблица 2. Обемно тегло на различните видове материали

Вид материал	Обемно тегло (kN/m^3)
стомана	78,50
бетон	25,00
зидария	15,00

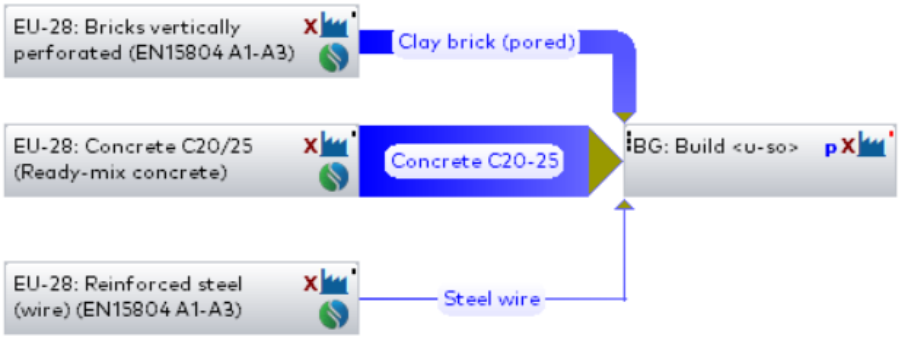
Таблица 3. Изходни данни по видове вложени материали с отчитане на разходни коефициенти за 1 m^2 РЗП

Видове СМР	Ед. мярка	Средноетажни сгради	Високоетажни сгради
Армировка	kg/1 m^2 РЗП	67,50	56,00
Бетон	kg/1 m^2 РЗП	1430,00	1187,50
Зидария	kg/1 m^2 РЗП	489,00	463,50

Извършените проучвания показват, че въпреки наличието на значителен брой бази данни, само няколко съдържат подробни данни за строителни материали. Примери за такива бази данни са *GaBi* и *Ecoinvent*, които се открояват със своята пълнота и наличие на специални ресурси [23, 24]. Именно поради тази причина, определянето на екологичните въздействия е прието да се извърши с използване на софтуерния продукт *GaBi*.

Софтуерният продукт *GaBi* представлява модулна система, съставена от планове, процеси и потоци. За настоящия анализ се използва възможността за оценка на въздействието на жизнения цикъл от предварително генериран план за вложените материали по видове строителни и монтажни работи при средноетажни и високоетажни сгради, съгл. табл. 3.

С използване на функционалните възможности на софтуерния продукт *GaBi* е разработен план, включващ съответните процеси и потоци. Създаденият план е наименуван „*Life Cicle Build*”, който включва в себе си генерираните потоци на отделните строителни материали за изпълнение на грубия строеж – армировка, бетон и зидария. На фиг. 2 е представена извадка от изследването, илюстрираща връзката между създадения план и съответните потоци. Във връзка с използваните потоци е необходимо да се въведат изходни данни с отчитане на разходни коефициенти по видове СМР за 1 m^2 РЗП, при двата типа изследвани сгради и обемното тегло на различните материали, съгласно табл. 3. Генериран е план „*Life Cicle Build*” за средноетажни сгради и план „*Life Cicle Build*” за високоетажни сгради.



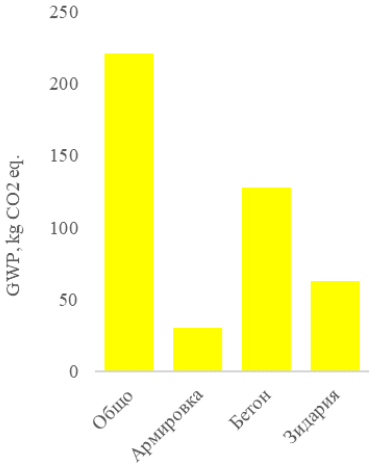
Фиг. 2. План *Life Cycle Build*, със съответния процес *Life Cycle Build* и генерирани потоци – армировка, бетон и зидария

3. Резултати и дискусия

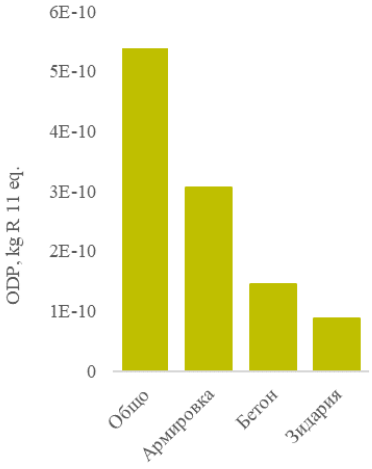
От софтуерния продукт *GaBi* са получени стойностите за следните екологични въздействия върху околната среда [20]:

- GWP – Потенциал на глобално затопляне;
- ODP – Потенциал на изчерпване на стратосферен озонов слой;
- AP – Потенциал на вкисляване на почви и води;
- EP – Потенциал на еутрофикация;
- ADP-minerals&metals – Потенциал на изчерпване на абиотични ресурси, с изключение на изкопаеми горива;
- ADP-fossil – Потенциал на изчерпване на абиотични ресурси – изкопаеми горива;
- POCP – Потенциал на образуване на озон в тропосферата.

Определените стойности на екологичните въздействия са представени на фиг. 3 – фиг. 9 за средноетажни сгради и на фиг. 10 – фиг. 16 за високоетажни сгради. На фигурите са представени стойностите за съответните екологични въздействия за вложените количества бетон, армировка и зидария.



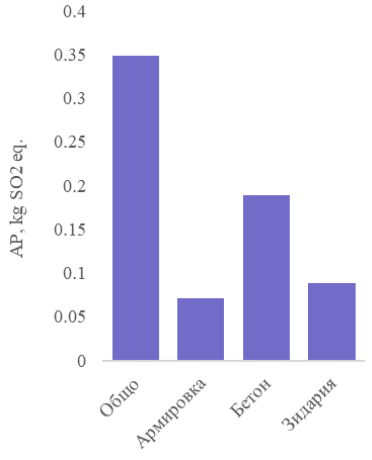
Фиг. 3. GWP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при средноетажни сгради



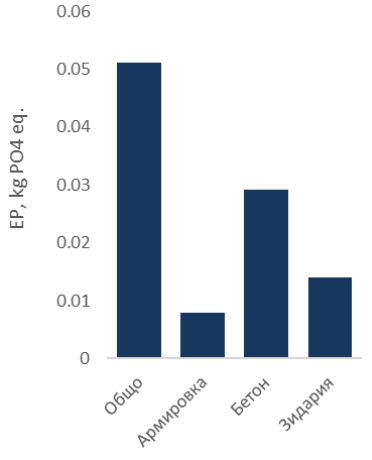
Фиг. 4. ODP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при средноетажни сгради

Фиг. 3 представя количеството емисии на CO_2 (потенциал на глобално затопляне (GWP)), отделени при изпълнението на грубия строеж за вложените количества армировка, бетон и зидария, и общо за етап A1-A3 от жизнения цикъл. Стойностите, отчетени за средноетажните сгради, отнесени към 1 m^2 РЗП, са както следва: стомана 30,3 kg CO_2 eq., бетон 128 kg CO_2 eq., зидария 62,6 kg CO_2 eq., общо 220,9 kg CO_2 eq. От представените резултати е видно, че най-голямо влияние по отношение на GWP оказва количеството на вложения бетон.

По отношение на потенциала на изчерпване на стратосферен озонов слой (ODP) стойностите, отнесени към 1 m^2 РЗП, за средноетажните сгради са както следва: армировъчна стомана 3.06e-10 kg R11 eq., бетон 1.45e-10 kg R11 eq., зидария 0.87e-10 kg R11 eq., като общата стойност на калкулирания ODP е 5.38e-10 kg R11 eq. Най-голямо влияние върху ODP оказва количеството на вложената армировъчна стомана.

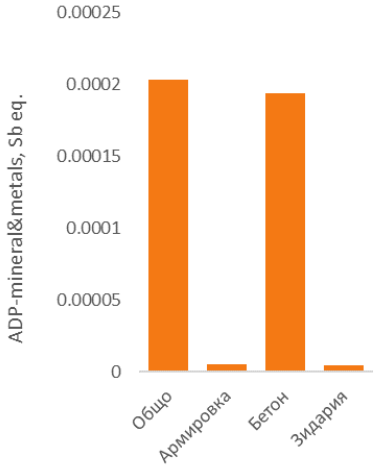


Фиг. 5. AP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при средноетажни сгради

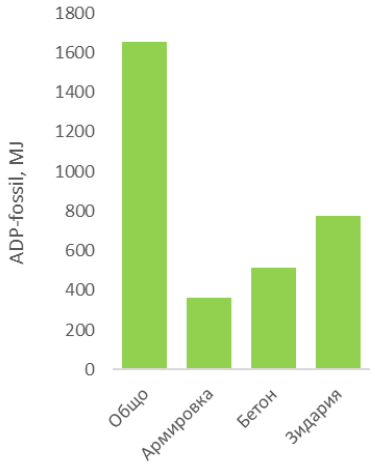


Фиг. 6. EP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при средноетажни сгради

Анализирайки резултатите, представени на фиг. 5 и фиг. 6, може да се каже, че най-голямо влияние върху потенциала на вкисляване на почви и води (AP) и потенциала на еутрофикация (EP), при средноетажни сгради, също оказва количеството на вложения бетон.

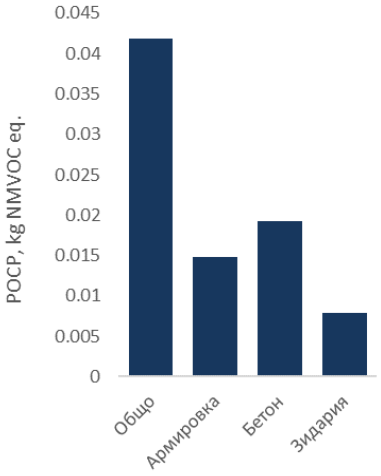


Фиг. 7. ADP-minerals&metals за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при средноетажни сгради



Фиг. 8. ADP-fossil за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при средноетажни сгради

От представените резултати на фиг. 7 и фиг. 8 е видно, че най-голямо влияние по отношение на потенциал на изчерпване на абиотични ресурси, с изключение на изкопаеми горива (ADP-minerals&metals) при средноетажни сгради оказва количеството на вложения бетон, а по отношение на потенциал на изчерпване на абиотични ресурси – изкопаеми горива (ADP-fossil) – количеството на зидарията.



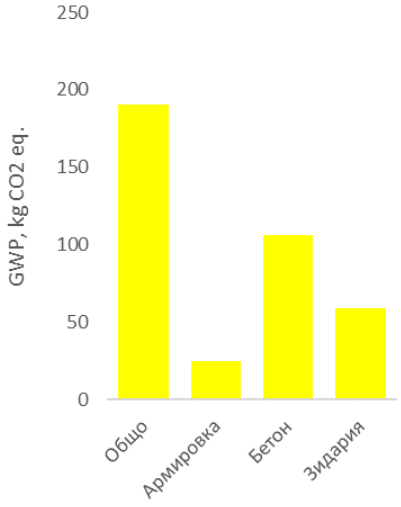
Фиг. 9. POCP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при средноетажни сгради

Може да се обобщи, че при средноетажните сгради вложеният бетон при изпълнението на грубия строеж води до най-големи стойности на следните екологични въздействия върху околната среда: потенциал на глобално затопляне (основно емисии на CO_2 (GWP)), потенциал на еутрофикация (EP), потенциал на вкисляване на почви и води (AP), образуване на озон в тропосферата (POCP) и потенциал на изчерпване на абиотични ресурси, с изключение на изкопаеми горива (ADP-minerals&metals).

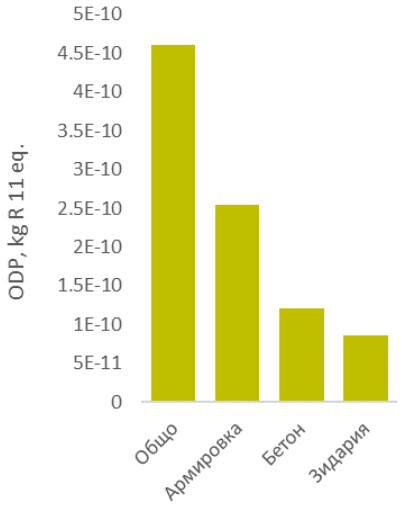
Зидарските работи оказват най-голямо влияние върху екологичния показател потенциал на изчерпване на абиотични ресурси – изкопаеми горива (ADP-fossil), докато вложената армировка оказва най-голямо влияние върху показателя потенциал на изчерпване на стратосферен озонов слой (ODP).

На фиг. 10 – 16 са представени стойностите във връзка с изпълнение на грубия строеж на стоманобетонни монолитни конструкции при високоетажните сгради. Всички изследвани въздействия върху околната среда – потенциал на глобално затопляне (GWP), потенциал на еутрофикация (EP), потенциал на вкисляване на почви и води (AP), образуване на озон в тропосферата (POCP), потенциал на изчерпване на абиотични ресурси, с изключение на изкопаеми горива (ADP-minerals&metals), изкопаеми горива (ADP-fossil) и потенциал на изчерпване на стратосферен озонов слой (ODP) са с аналогични зависимости, както при средноетажните сгради.

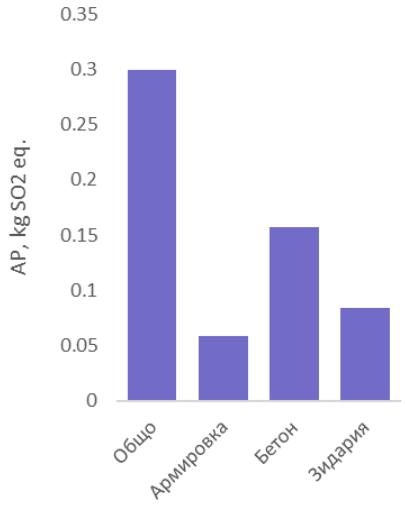
От представените резултати е видно, че всички стойности на екологичните показатели, във връзка с изпълнение на грубия строеж на стоманобетонни монолитни конструкции при високоетажните сгради са по-малки, спрямо тези при средноетажните сгради. Може да се заключи, че монолитните стоманобетонни конструкции с по-малка РЗП (средноетажните сгради) се характеризират с по-високи стойности на екологичните въздействия, отнесени към 1 m^2 РЗП, спрямо сградите с по-голяма РЗП (високоетажните сгради). Това се отнася за всички видове вложени материали за изпълнението на грубия строеж на стоманобетонните монолитни сгради.



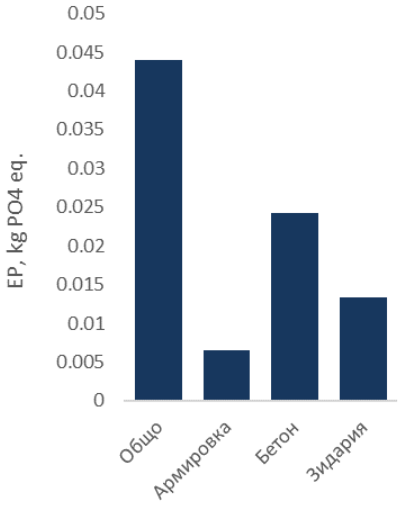
Фиг. 10. GWP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при високоетажни сгради



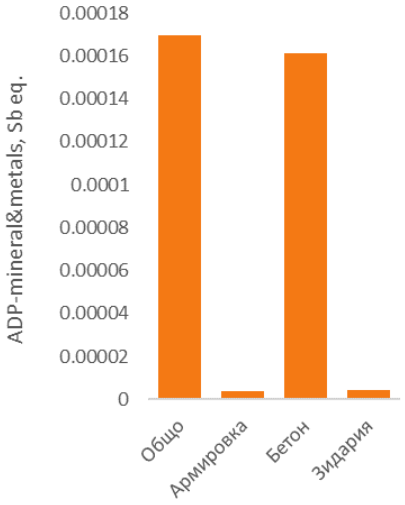
Фиг. 11. ODP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при високоетажни сгради



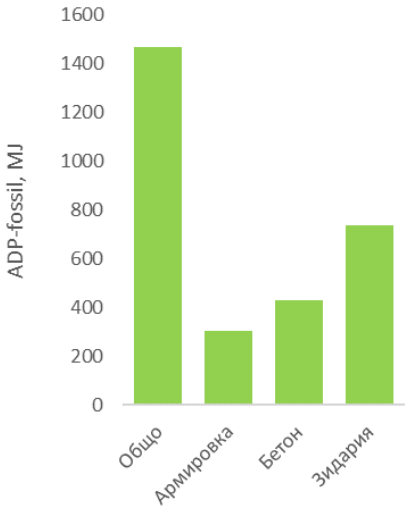
Фиг. 12. AP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при високоетажни сгради



Фиг. 13. EP за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при високоетажни сгради



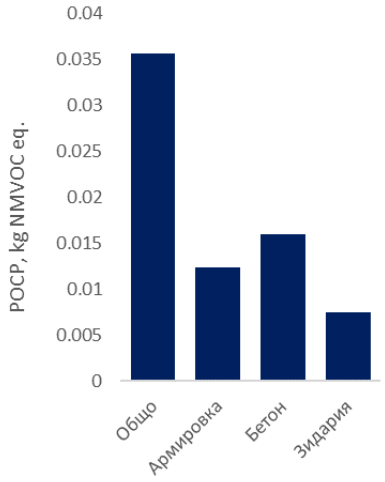
Фиг. 14. ADP-minerals&metals за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при високоетажни сгради



Фиг. 15. ADP-fossil за 1 m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при високоетажни сгради

По-детайлен анализ е извършен по отношение на въглеродния отпечатък (вплътените въглеродни емисии, изразени чрез GHG – kg CO_2 eq.) при двата типа изследвани сгради – средноетажни и високоетажни. В табл. 4 са дадени стойностите и процентната разлика на въглеродния отпечатък за 1 m^2 РЗП по съответните вложени материали за изпълнение на армировъчните, бетоновите и зидарските работи. Прави впечатление, че общо процентната разлика при двата типа сгради е 13,9%. По отношение на количество-

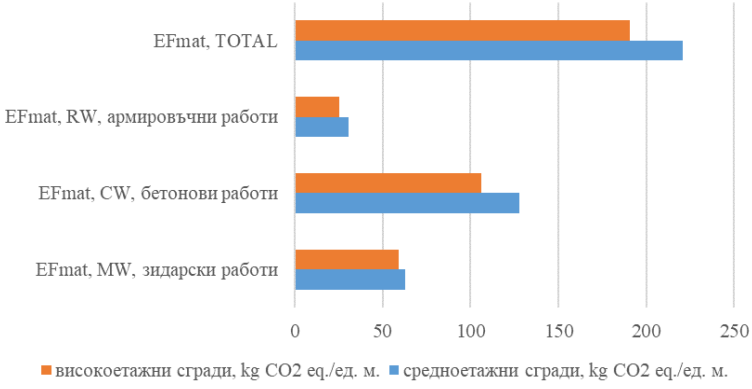
то на вложените бетон и армировка разликата е около 17%, докато при зидарията – около 5%, което се дължи на аналогичните стойности на разходните коефициенти на съответните видове материали.



Фиг. 16. POCP за 1m^2 РЗП за изпълнение на грубия строеж при високоетажни сгради

Таблица 4. Въглероден отпечатък за 1 m^2 РЗП от вложените материали на етап груб строеж при различните типове сгради

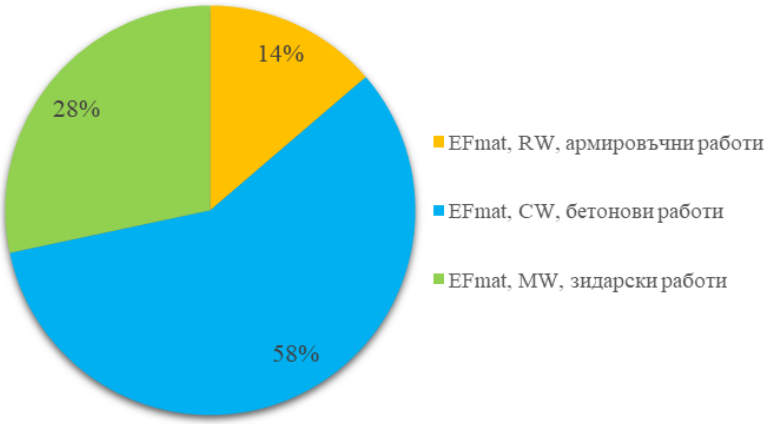
	Средноетажни сгради EF_{mat}, kg CO_2 eq.	**Високоетажни сгради EF_{mat}, kg CO_2 eq.**
$EF_{mat,RW}$	30,3	25,2
$EF_{mat,CW}$	128	106
$EF_{mat,MW}$	62,6	59,3
$EF_{mat,TOTAL}$	220,9	190,5



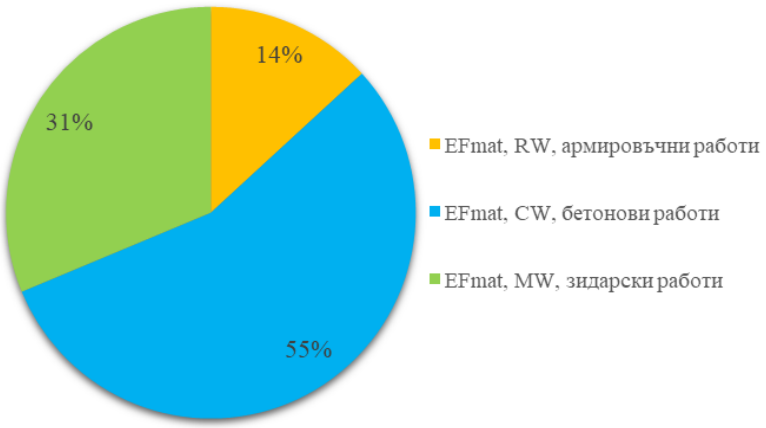
Фиг. 17. Разпределение на въглеродните емисии, изразени в kg CO_2 eq. за 1 m^2 РЗП на вложените материали за изпълнение на грубия строеж при средноетажни и високоетажни сгради

При анализ на таблично и графично представените резултати отново може да се каже, че монолитните стоманобетонни конструкции с по-малка РЗП (средноетажните сгради) се характеризират с по-високи стойности на въглеродните емисии, изразени в kg CO_2 eq. на вложените материали за изпълнение на армировъчни, бетонни и зидарски работи, спрямо сградите с по-голяма РЗП (високоетажните сгради). Общото количество емисии на CO_2 при средноетажните сгради е 220,9 kg CO_2 eq./1 m^2 РЗП, докато при високоетажните сгради е 190,5 kg CO_2 eq./1 m^2 РЗП.

На фиг. 18 и фиг. 19 е представено процентното разпределение на въглеродните емисии в зависимост от вида на вложените материали. Видно е, че при средноетажните сгради 58% от въглеродните емисии са в резултат на бетоновите работи, 28% са в следствие на зидарските работи и 14% са в резултат на армировъчните работи. При високоетажните сгради относителният дял на въглеродните емисии в следствие на вложения бетон е 55%, докато при зидарските работи този дял е 31%. Отново 14% от генерираните въглеродни емисии са в резултат на армировъчните работи.



Фиг. 18. Процентно отношение на въглеродните емисии за изпълнение на армировъчни, бетонни и зидарски работи при средноетажни сгради



Фиг. 19. Процентно отношение на въглеродните емисии за изпълнение на армировъчни, бетонни и зидарски работи при високоетажни сгради

4. Заключение

В изследването, въз основа на разработената методика, са определени стойностите на въглеродния отпечатък, изразени в kg CO_2 eq., при изпълнението на грубия строеж на сгради, характерни за българската строителна практика. Анализирано е влиянието на вложените строителни материали за изпълнението на два типа сгради – средноетажни и високоетажни.

Изпълнението на грубия строеж на високоетажни сгради се характеризира с по-ниски стойности на въглеродния отпечатък, отнесени към 1 m^2 РЗП, спрямо въглеродния отпечатък при средноетажните сгради. Стойността на въглеродните емисии, въплътени при изпълнението на грубия строеж на средноетажни сгради е 220,9 kg CO_2 eq. за 1 m^2 РЗП, докато при високоетажните сгради, стойността е 190,5 kg CO_2 eq. за 1 m^2 РЗП, като разликата е около 14%.

И при двата типа изследвани сгради (средноетажни и високоетажни), между 55 – 58% от въглеродния отпечатък на влаганите материали при изпълнението на грубия строеж на сградите се формира от бетоновите работи, съответно между 28 – 31% се формира от зидарските работи и около 14% от армировъчните работи.

Може също да се заключи, че е налице обратно пропорционална зависимост между стойността на въглеродния отпечатък и разгънатата застроена площ на сградата. По-високи стойности на въглеродния отпечатък се формират при монолитните стоманобетонни конструкции с по-малка разгъната застроена площ.

Благодарности

Членовете на научния екип по договор Д-141/2021 г. изказват своята благодарност на Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ за финансовата подкрепа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yan, H., Shen, Q., Linda C.H. Fan., Wang , Lei Zhang, L.* Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong. // Building and Environment, 2010, 45 (4): 949-955.

2. *Arena, A., Rosa, C.* Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza – Argentina. // Building and Environment, 2003, 38 (2): 359-368.

3. Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions on resource efficiency opportunities in the building sector, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=celex:52014DC0445, poseten na 13.04.2022.

4. *Ivanov, Y., Angelieva, V.* Sustainable construction – requirements and contribution for the protection of nature and for the sustainable development. // Conference proceedings X Jubilee International Scientific Conference „Civil Engineering Design and Construction“ (Science and Practice), Sept. 20-22, 2018, Varna, Bulgaria, 2018, 29-38.

5. BDS EN 15643:2021, Sustainability of construction works – Framework for assessment of buildings and civil engineering works.

6. *Zaharieva, R., Kancheva, Y.* Life cycle assessment (LCA) – based selection of construction materials. // Conference proceedings X Jubilee International Scientific Conference "Civil Engineering Design and Construction" (Science and Practice), Sept. 20-22, 2018, Varna, Bulgaria, 345-353.

7. *Kancheva, Y., Zaharieva, R.* Building materials as viewed by building certification systems – analysis and critical review. VII International Scientific Conference "Architecture, civil engineering – Modernity" 28-30 May 2015, Varna, Bulgaria, 2015.

8. *Ivanov, Y., Stoyanov, V.* Sustainable construction – state of art and prospects, Conference Proceedings "Contemporary Civil Engineering Practice 2015" – Novi Sad, Serbia, 2015, 7-17.

9. *Chardakova, T., Traykova M.* Comparison of the sustainability of different techniques for the strengthening of reinforced concrete slabs. // Conference proceedings Places and Technologies 2015 "Keeping up with technologies to make healthy places", Nova Gorica, Slovenia, 2015.

10. *Chardakova, T., Traykova, M.* Influence of the Floor Systems on the Sustainability of Reinforced Concrete Structures. // Congress Proceedings IABSE Congress Ghent 2021 – Structural Engineering for Future Societal Needs, 2021, 124-132.

11. *Rangelova, F., Velinov, K.* Impact of the sustainable factors in appraisal process of construction investment project in the context of the sustainable construction development. // Conference proceedings XVII Anniversary International Scientific Conference VSU'2018, 2018.

12. *Maznikov, A.* Sustainable design of skylights for industrial buildings. // Conference proceedings X Jubilee International Scientific Conference "Civil Engineering Design and Construction" (Science and Practice), Sept. 20-22, 2018, Varna, Bulgaria, 2018, 688-699.

13. *Stoyanov, V., Petkova, V., Serafimova, E., Kaljuvee, T.* Ecological and economic opportunitiesfor the utilization of carbonate waste. // Conference proceedings XVIII Anniversary international scientific conferenceby construction and arhitecture VSU'2018.

14. *Zaharieva. R.* Opportunities and barriers to the use of construction products from processed c&d waste. // Conference proceedings XX International scientific conference by construction and arhitecture VSU'2020.

15. *Evlogiev, D.* Opportunities for recycling gypsum in Bulgaria. // Conference proceedings I Youth Scientific Conference with international participation "Design and Construction of Buildings and Facilities", November 4-5, 2021, Sofia, Bulgaria, ISSN 2738-7887 (online), 18-26.

16. *Rabotova-Hristova, Y., Hrischev, L., Radlov, K., Gogova-Ilieva, V., Kancheva, Y.* Relative quantities of types of construction works in the execution of buildings with reinforced concrete structure. // Conference proceedings Xth International Scientific Conference on Architecture and Civil engineering ArCivE 29 May 2021, Varna, Bulgaria, 2021, 415-420.

17. *Solis-Guzman, J., M. Marrero*. Ecological Footprint Assessment of Building Construction. // University of Seville, Spain, ISBN 978-1-68108-098-7.

18. *González-Vallejo, P., Marrero, M., Solís-Guzmán, J.* The ecological footprint of dwelling construction in Spain. // Ecol. Indic, 2015, 52: 75-84.

19. BDS EN 15978:2012, Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.

20. BDS EN 15804:2012+A2:2020, Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.

21. Regulation № 3 of 21 July 2004 on the basic provisions for the design of construction structures and on the impacts on them.

22. *Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J., Marrero, M.* LCA databases focused on construction materials: A review. // Renewable and Sustainable Energy Review, 2016, 58: 565-573.

23. *Pagnon, F., Mathern, A., Ek K.* A review of online sources of open-access life cycle assessment data for the construction sector. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2020, 588, 042051.

CARBON FOOTPRINT IN THE CONSTRUCTION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE BUILDINGS – ASSESMENT OF THE CONSTRUCTION MATERIALS

L. Hrischev[1], Y. Rabotova-Hristova[2], Y. Kancheva[3], K. Radlov[4]

Keywords: *embodied carbon, buildings, reinforced concrete structure, construction materials*

ABSTRACT

The paper presents a study of the impact of construction materials on the carbon foot-print from the implementation of monolithic structures of buildings typical for the Bulgarian construction practice. Two types of monolithic buildings with reinforced concrete load-bearing structure are analysed – medium-storey and multi-storey. A methodology for determining the values of the carbon footprint has been developed, and a functional unit of 1 m^2 of total area is assumed.

[1] Lachezar Hrischev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Technology and Mechanization", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: l.hrischev@abv.bg,

[2] Yuliya Rabotova-Hristova, Eng. PhD Student, Dept. "Construction Technology and Mechanization", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: y.rabotova@gmail.com

[3] Yana Kancheva, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Applied Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ykancheva@gmail.com

[4] Kalin Radlov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Technology and Mechanization", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kradlov@abv.bg

It is found that in medium-storey buildings, the value of embodied GHG emissions is 220.9 kg CO_2 eq. per 1 m^2 of total area, while for multi-storey buildings, the value is 190.5 kg CO_2 eq. per 1 m^2 of total area. In both types of analyzed buildings, between 55 – 58% of the GHG emissions of the materials used in the construction are formed by the amount of concrete used, respectively between 28 – 31% is formed by masonry and about 14% is from the amount of the reinforcement input.