

ПОДХОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕКОЛОГИЧНИЯ ОТПЕЧАТЪК ОТ РАБОТАТА НА СТРОИТЕЛНИТЕ МАШИНИ

Юлия Работова - Христова¹, Калин Радлов², Лъчезар Хрисчев³, Яна Кънчева⁴,

AN APPROACH TO DETERMINING THE ENVIRONMENTAL FOOTPRINT FROM THE WORK OF CONSTRUCTION MACHINES

Yuliya Rabotova-Hristova, Kalin Radlov, Lachezar Hrishev, Yana Kancheva

Abstract:

This paper addresses important issues related to the determination of the environmental footprint due to the operation of construction machinery. Typical values of engine load levels of the main types of construction equipment are considered, as well as the relation between load levels and fuel consumption of the machine (absolute and relative). Averaged values have been established for the conversion factors that are used to calculate the amount of carbon dioxide (CO₂) emissions due to the combustion of 1 liter of diesel fuel and / or the consumption of 1 kWh of electricity. Dependencies for calculation of the environmental footprint of 1 machine hour of work (operating time) of a diesel engine of an earth-moving construction machine and an electric engine of a tower crane have been studied. As a result, an approach is proposed to approximate the environmental footprint for the realization of a unit of productivity for some of the main types of earth-moving machinery, used on the construction site (bulldozer, face loader and single-bucket excavator), as well as the ecological footprint for the realization of a unit of productivity from a stationary (fixed) tower crane. At the end of the study, some suggestions/recommendations are proposed, mainly related to the use of construction machinery, work technology and organization of the construction process, which are related to the planning and taking effective measures to reduce the environmental footprint, as a result of the work of construction machinery on the work site.

Keywords:

Construction machine, Environmental footprint, Fuel consumption, Carbon dioxide emissions, Engine load, Productivity

¹ Юлия Работова-Христова, докторант инж., ТМС, СФ, УАСГ, гр. София, y.rabotova@gmail.com; Yuliya Rabotova-Hristova, PhD Student, TMS, Faculty of Construction, UACEG, Sofia, y.rabotova@gmail.com.

² Калин Радлов, доц. д-р инж., ТМС, СФ, УАСГ, гр. София, kradlov@abv.com; Kalin Radlov, Assoc. Prof. Dr. Eng., TMS, Faculty of Construction, UACEG, Sofia, kradlov@abv.bg.

³ Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., ТМС, СФ, УАСГ, гр. София, l.hrishev@abv.bg; Lachezar Hrishev, Assoc. Prof. Dr. Eng., TMS, Faculty of Construction, UACEG, Sofia, l.hrishev@abv.bg.

⁴ Яна Кънчева, гл.ас. д-р инж., ПГ, Геодезически факултет, УАСГ, гр. София, ykancheva@gmail.com; Yana Kancheva, Chief Assist Prof. Dr. Eng., Applied Geodesy, Faculty of Geodesy, UACEG, Sofia, ykancheva@gmail.com.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години се повиши интересът към екологичния отпечатък от различни видове мобилни машини и строителна механизация. Особено голям е интересът относно възможността за анализ, оценка и контрол на екологичния отпечатък от работата на строителните машини. Всеки машинен парк на строителна фирма включва различни видове машини от различни типоразмери. Строителните машини работещи с двигатели с вътрешно горене (ДВГ) изразходват голямо количество дизелово гориво и следователно отделят значително количество въглероден диоксид (CO_2). От друга страна строителните машини работещи с електрически двигатели изразходват голямо количество електрическа енергия [kWh], която също при определени условия може да бъде обвързана с екологичен отпечатък и приравнена към отделяни емисии въглероден диоксид (CO_2e). Всички въпроси, свързани с определяне разхода на гориво и ел. енергия от тези машини, а оттам и отделяният екологичен отпечатък, представляват едно голямо предизвикателство за строителната индустрия. В тази насока са проведени няколко различни изследвания [1], [2], които показват че разходът на гориво от строителните машини и екологичният отпечатък в голяма степен зависят от конкретните условия на работа на строителната площадка.

Въпреки това в съществуващите разработки не е предложен единен подход, който да предлага удобен математически инструментариум за определяне на разходът на гориво/енергия и екологичния отпечатък, които съответстват на единица обем наработка (единица производителност) за различните видове машини на строителната площадка. Целта на настоящата разработка е да бъде предложен подобен подход за приблизително определяне на екологичния отпечатък за реализиране на единица производителност за част от основните видове строителни машини.

2. ВРЪЗКА МЕЖДУ СТЕПЕН НА НАТОВАРВАНЕ И РАЗХОД НА ГОРИВО НА СТРОИТЕЛНА МАШИНА

Степента на натоварване на двигателя LF [%] на една строителна машина представлява частта от номиналната мощност, която се използва при конкретния работен процес. Степента на натоварване зависи най-вече от вида на машината, конкретните условия на строителната площадка и възприетия режим на работа. За машини с циклично действие, каквато се явява по-голямата част от строителната механизация (багери, булдозери, скрепери и др.) степента на натоварване на двигателя се явява променлива величина по време на работа и може да варира в диапазона $LF = (0,1 \div 1,0) = 10\% \div 100\%$, където $LF = 10\%$ се отнася за работа на празен ход (т.е. двигателят работи, но няма движение на нито един от механизмите на машината), а $LF = 100\%$ се отнася за работа на двигателя на пълна мощност (т.е. при максимално натоварване). Поради тази причина е възприето за по-дълги периоди от време данните за степен на натоварване LF [%] за различните видове строителни машини да бъдат осреднявани LF_{cp} [%], при което биват разпределяни в следните три категории: „тежки“, „средни“ и „леки“ условия на работа (степени на натоварване). Въз основа на преглед на предложени степени на натоварване за основни строителни машини в различни разработки [3], [4], са приети следните приблизителни осреднени стойности за целите на настоящата разработка:

Таблица 1. Типични стойности за степени на натоварване за основни видове строителна техника.

Тип строителна техника	Условия на работа		
	Леки	Средни	Тежки
Еднокошов багер	$LF = 0,5$	$LF = 0,55$	$LF = 0,6$
Булдозер	$LF = 0,6$	$LF = 0,7$	$LF = 0,8$
Челен товарач	$LF = 0,35$	$LF = 0,45$	$LF = 0,55$

При изменение на степента на натоварване LF [%] на строителните машини, то се наблюдава и съществено изменение на техния абсолютен разход на гориво FC [ltr / h], което е свързано с промяна на относителния (специфичния) разход на гориво CSF [ltr / kWh] с отчитане на степента на натоварване. Специфичният разход на гориво по същество представлява количеството изразходвано гориво за единица време и за единица мощност на двигателя, при предпоставката, че двигателят работи на пълна номинална мощност (т.е. при 100% натоварване - $LF=100\%$) - CSF_{100} [kg / kWh]. Този разходен показател зависи най-вече от вида на двигателя и от неговата ефективност. Съгласно разработката [1] при дизеловите двигатели максималните стойности на този показател варират в диапазона $CSF_{100} = 0,213 \div 0,268$ [kg / kWh], като по-ниските стойности се отнасят за модерните и по-слабо амортизирани дизелови двигатели, докато по-високите стойности се отнасят за старите, технологично остарели, по-ниско ефективни и по-силно амортизирани дизелови двигатели. Ако се приеме плътност на дизеловото гориво $\rho = 0,85$ [kg / ltr], съгласно [5], то се получава, че специфичния разход на гориво за дизелов двигател при максимално натоварване варира в диапазона $CSF_{100} = 0,251 \div 0,315$ [ltr / kWh]. Специфичният разход на гориво също се изменя при промяна на степента на натоварване на двигателя на строителната машина $CSF = CSF_{100} * LF$ [ltr / kWh]. Данни за специфичния разход на гориво с отчитане на степента на натоварване CSF [ltr / kWh] за различни фирми-производители на строително оборудване са представени в долната таблица [6].

Таблица 2. Специфичен разход на гориво с отчитане на степента на натоварване за строителни машини марка Caterpillar и Komatsu

Вид строителна машина	При ниска степен на натоварване	При средна степен на натоварване	При висока/тежка степен на натоварване
Челен товарач	$0,04 \div 0,08$ [ltr / kWh] *	$0,08 \div 0,11$ [ltr / kWh] *	$0,11 \div 0,14$ [ltr / kWh] *
	$0,07 \div 0,10$ [ltr / kWh] ***	$0,10 \div 0,13$ [ltr / kWh] ***	$0,13 \div 0,17$ [ltr / kWh] ***
Булдозер	$0,1 \div 0,14$ [ltr / kWh] *	$0,14 \div 0,18$ [ltr / kWh] *	$0,18 \div 0,23$ [ltr / kWh] *
	$0,07 \div 0,11$ [ltr / kWh] ***	$0,11 \div 0,16$ [ltr / kWh] ***	$0,16 \div 0,20$ [ltr / kWh] ***
Еднокошов багер	$0,05 \div 0,10$ [ltr / kWh] *	$0,10 \div 0,15$ [ltr / kWh] *	$0,15 \div 0,20$ [ltr / kWh] *
	$0,06 \div 0,09$ [ltr / kWh] ***	$0,09 \div 0,12$ [ltr / kWh] ***	$0,12 \div 0,20$ [ltr / kWh] ***

Забележка:

* -отнася се за строителна техника модел Caterpillar;

***-отнася се за строителна техника модел Comatsu;

2. КОЕФИЦИЕНТИ НА ПРЕОБРАЗУВАНЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕКОЛОГИЧЕН ОТПЕЧАТЪК ОТ ЗАДВИЖВАЩИТЕ ДВИГАТЕЛИ ЗА ЕДИНИЦА ГОРИВО И ЕНЕРГИЯ

Коефициентът на преобразуване $CF [t / ltr]$ изразява количеството отделяни емисии въглероден диоксид (CO_2) вследствие на изгарянето на 1 литър дизелово гориво и/или изразходването на 1kWh електрическа енергия. Подробно изследване за вредните емисии от дизеловото гориво се съдържа в разработката Zabihian and Fung 2010 [7]. За целите на настоящата разработка се ползват данните от източник [8], които са представени в долната таблица:

Таблица 3. Отделяни вредни емисии от различни видове двигатели с вътрешно горене

Вид гориво	Мерна единица	Био CO_2	CO_2	CH_4	N_2O	CO_{2e} (в него не се включва Био CO_2)
Обикновен дизел	kg/ltr	0,099	2,582	0,000133	0,0004	2,705 kg/ltr
LPG	kg/ltr	-	1,515	0,000024	0,000108	1,548 kg/ltr
Бензин	kg/ltr	0,0755	2,2	0,0027	0,00005	2,283 kg/ltr
Дизелов двигател на извънпътна техника	kg/ltr	0,099	2,582	0,00015	0,0011	2,914 kg/ltr

В разработката [8] са представени също така и еквивалентни стойности на вредни емисии въглероден диоксид “ $kgCO_{2e}$ ”, които се равняват на 1MWh консумирана електрическа енергия за различните държави. Извадка от тези данни е представена в таблица 4. Конкретни стойности са посочени също и в табл.1 към приложение 3 на [9].

Таблица 4. Еквивалентна стойност на вредни емисии въглероден диоксид “ $kgCO_{2e}$ ” равняващи се на 1 MWh консумирана електрическа енергия за различните държави [8]

Държава/източник на получаване на ел енергия	Еквивалентна стойност на вредни емисии въглероден диоксид “ $kgCO_{2e}$ ” за 1MWh ел енергия
Великобритания	463кг „ CO_{2e} ” за 1MWh
Япония	549кг „ CO_{2e} ” за 1MWh
Китай	732кг „ CO_{2e} ” за 1MWh
провинция Алберта (Канада)	793кг „ CO_{2e} ” за 1MWh
Индия	790кг „ CO_{2e} ” за 1MWh

За целите на настоящата разработка е прието да се работи със средноаритметичната стойност за коефициент на преобразуване за електрическа енергия от данните поместени в табл.4:

$$CF_E = CF(kgCO_2 \text{ - for } 1MWh) = \frac{463 + 549 + 732 + 793 + 790}{5} = 665 [kg / MWh] = 0,67 [kg / kWh]$$

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕКОЛОГИЧЕН ОТПЕЧАТЪК ЗА 1 МАШИНОЧАС НАРАБОТКА НА СТРОИТЕЛНА МАШИНА

Екологичният отпечатък от 1 машиночас работа (наработка) на дизелов двигател на строителна машина може да бъде изчислен по следната зависимост:

$$EF_D = FC * CF_D [kg / h]$$

където: $CF_D(CO_{2e})$ е коефициент на преобразуване за дизелово гориво. За строителните машини е възприета $CF_D(CO_{2e}) = 2,914 [kg / ltr]$, $FC [ltr / h]$ - почасовият абсолютен разход на гориво за машината.

Извършени изследвания показват, че изразходването от различни машини количество гориво може да се определи най-точно чрез неговото непосредствено измерване [10]. Получените резултати показват, че за различните изследвани строителни машини (автобетонпомпа, автобетоносмесител, самосвали), разхода на гориво зависи както от вида работа, който изпълнява машината, така и от голям брой други фактори. Друг вариант за определяне на разхода на гориво е използването на емпирични данни, например от каталога на производителя. При липса на емпирични данни по отношение на разхода на гориво за различните степени на натоварване, то разходът на гориво за 1 машиночас може да бъде изчислен по следната зависимост:

$$FC = RP * CSF * LF = P_{EF} * CSF = CSF * RP [ltr / h]$$

където: $RP [kW]$ е номиналната мощност на двигателя на съответната строителна машина, $CSF [ltr / kW.h]$ - специфичен разход на гориво за 1kWh при работа на номинална мощност, $CSF'' [ltr / kW.h]$ - специфичен разход на гориво за 1kWh при отчитане и на степента на натоварване – $LF [/]$, $P_{EF} = RP * LF [kW]$ – ефективната мощност на ДВГ, това е останалата част от индикаторната мощност $P_i [kW]$ на ДВГ (след приспадане на загубите от триене в частите и възлите на двигателя), която се използва за извършване на полезна работа от механизмите на машината [11] и [12].

Екологичният отпечатък от 1 час работа (наработка) на електрически двигател на строителна машина (например: кулокран) може да бъде изчислен по следната зависимост:

$$EF_E = EC * CF_E [kg / h]$$

където: $CF_E(CO_{2e})$ е възприетият коефициент на преобразуване за електрическа енергия: $CF_E(CO_{2e}) = 0,67 [kg / kWh]$, $EC [kWh]$ – изразходената ел. енергия от строителната машина за 1 машиночас работа. Най-точният метод за получаване на разхода на електрическа енергия [kW.h] е да бъде извършено опитно измерване с помоща на трифазен електромер за 1 машиночас работа на машината. При липса на подобни практически (емпирични) данни е възможно да бъде извършено ориентировъчно изчисляване на приблизителната изразходена електрическа енергия от двигателите на машината. Ако се предположи, че кулокрана няма технологични престои в рамките на 1 машиночас работа (т.е. отделните работни цикли следват непосредствено един след друг в рамките на този 1 машиночас), то тогава изразходената мощност (ел. енергия) за 1 машиночас $P_{ИЗР} [kW]$ може приблизително да бъде изчислена по следната зависимост:

$$P_{ИЗР} [kW] = 3600 * (k_{L1} * P_{H1} * OIP' \Phi'_1 + k_{L2} * P_{H2} * OIP' \Phi'_2 + \dots + k_{LN} * P_{HN} * OIP' \Phi'_N), [kW]$$

където: $P_{H1}, P_{H2}, \dots, P_{HN} [kW]$ са номиналните мощности на ел двигателите на отделните механизми на кулокрана, N – броят на отделните механизми на кулокрана, задвижвани от

ел. двигатели, $k_{L1}, k_{L1}, \dots, k_{L1}$ – коефициенти на натоварване, които зависят от спектъра на натоварване. За различните класове на натоварване и коефициенти на спектъра на натоварване (k_m) за ел. двигателите на отделните механизми на крана по БДС ISO 4301-1:2002 [13] за целите на изчисленията в настоящата раработка консервативно се препоръчва да се приемат следните коефициенти k_L : при лек клас на натоварване ($k_m \leq 0,125$) – препоръчва се коефициент: $k_L = 0,4$ при среден клас на натоварване ($0,125 < k_m \leq 0,25$) - препоръчва се коефициент: $k_L = 0,6$ при тежък клас на натоварване ($0,25 < k_m \leq 0,5$) – препоръчва се коефициент: $k_L = 0,8$. $ОПР'Ф'_1, ОПР'Ф'_2, \dots, ОПР'Ф'_N, [\%]$ – фактическа относителна продължителност на работата на ел. двигателите на отделните механизми на кулокрана (дава информация за класа на използване). $\sum_{i=1}^N ОПР'Ф'_i < 100 [\%]$, тъй като в работния цикъл се съдържат и съответните времена за товарене и разтоварване. Стандартни стойности на ОПР % за товароподемните кранове 15%, 25%, 40% и 60% и съответните мощности обикновено биват указани в техническата документация на крана от производителя [14]. Фактическата относителна продължителност на работата $ОПР'Ф'$, % на кулокрана може да се различава от стандартните указани стойности, при което съгласно стандарт БДС EN 13135:2014 [15] фактическата относителна продължителност на работата се изчислява по следната зависимост:

$$ОПР'Ф' = \frac{t_1}{t_1 + t_2} * 100[\%]$$

където: t_1 – време за работа на съответния механизъм в рамките на 1 работен цикъл на крана, t_2 – време на покой на съответния механизъм в рамките на 1 работен цикъл на крана. Ако се предположи, че на един строителен обект работи стационарен кулокран при среден режим/клас на натоварване по БДС ISO 4301, който разполага с три броя механизми чиито номинални мощности на двигателите са следните: $P_{H1} [kW]$ – номинална мощност на двигателя за подемния механизъм, $P_{H2} [kW]$ – номинална мощност на двигателя за механизма за движение на крановата количка, $P_{H3} [kW]$ – номинална мощност на двигателя за механизма за въртене на стрелата, със съответните относителни продължителности на работа са: $ОПР'Ф'_1 = 0,36$, $ОПР'Ф'_2 = 0,17$, $ОПР'Ф'_3 = 0,17$, то тогава горната математическа зависимост за определяне на изразходваната мощност (ел. енергия) от отделните механизми на кулокран в рамките на 1 машиночас работа придобива вида:

$$EC = P_{изр} = 3600 * (0,22 * P_{H1} + 0,1 * P_{H2} + 0,1 * P_{H3}), [kW]$$

5. ПОДХОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕКОЛОГИЧНИЯ ОТПЕЧАТЪК ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ЕДИНИЦА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ ОТ ОТДЕЛНИТЕ ВИДОВЕ СТРОИТЕЛНИ МАШИНИ

Необходимото време за работа на една строителна машина (необходими машиночасове) за реализиране на единица производителност от нея $T_x [h / m^3]$

представлява реципрочна стойност на часовата производителност на съответната строителна машина $P_x [m^3 / h]$ т.е.

$$T_x = \frac{1}{P_x} [h / m^3]$$

Производителностите на различните видове строителни машини могат да бъдат изчислени по познатите зависимости съгласно [16], [17] и др. Въз основа на така получените данни могат да бъдат предложени следните математически зависимости, като един възможен подход за приблизително определяне на екологичен отпечатък за реализиране на единица производителност при част от основните видове строителни машини за средни условия/режими на работа и осреднени стойности на коефициентите за производителност:

- за булдозер (при средна продължителност на работния цикъл 50 сек; ъгъл на естествен откос на материала 40 градуса; дължина на работен участък 80 метра):

$$EF_{DOZ} = T_{DOZ} * FC_{DOZ} * CF_D = \frac{1}{\Gamma * L_B * H_B^2} * RP * CSF * CF_D [kg - CO_{2e} / m^3]$$

където: $CF_D(CO_{2e})$ е възприетият коефициент на преобразуване за дизелово гориво:

$CF_D(CO_{2e}) = 2,914 [kg / ltr]$, $RP [kW]$ - номиналната мощност на двигателя на машината, $L_B [m]$, $H_B [m]$ - размерите на греблото на булдозера, $CSF = 0,18 [ltr / kWh]$ - възприетият специфичен разход на дизелово гориво за ДВГ на булдозер при средна степен на натоварване. По този начин се получава:

$$EF_{DOZ} = T_{DOZ} * FC_{DOZ} * CF_D = \frac{0,031 * RP}{L_B * H_B^2} [kg - CO_{2e} / m^3]$$

- за челен товарач (при средна продължителност на работния цикъл 50 сек):

$$EF_{TOV} = T_{TOV} * FC_{TOV} * CF_D = \frac{1}{31 * V_S} * RP * CSF * CF_D [kg - CO_{2e} / m^3]$$

където: $V_S [m^3]$ е обем на коша на челния товарач, $CSF = 0,13 [ltr / kWh]$ - възприетият специфичен разход на дизелово гориво за ДВГ на челен товарач при средна степен на натоварване. По този начин се получава:

$$EF_{TOV} = T_{TOV} * FC_{TOV} = \frac{0,012 * RP}{V_S} [kg - CO_{2e} / m^3]$$

- за еднокосов багер (при средна продължителност на работния цикъл 25 сек):

$$EF_{EX} = T_{EX} * FC_{EX} * CF_D = \frac{1}{62 * V_S} * RP * CSF * CF_D [kg - CO_{2e} / m^3]$$

където: $V_S [m^3]$ е обем на коша на челния товарач, $CSF = 0,15 [ltr / kWh]$ - възприетият специфичен разход на дизелово гориво за ДВГ на челен товарач при средна степен на натоварване. По този начин се получава:

$$EF_{EX} = T_{EX} * FC_{EX} = \frac{0,007 * RP}{V_S} [kg - CO_{2e} / m^3]$$

- за кулокран (при средно по 15 броя работни цикли за 1 машиночас):

$$EF_{KUL} = T_{KUL} * EC_{KUL} * CF_E = \frac{1}{11 * Q_{CP}} * 3600 * (0,22 * P_{H1} + 0,1 * P_{H2} + 0,1 * P_{H3}) * CF_E \text{ [kg}_{-}CO_{2e} / ton]$$

където: $CF_E = 0,67 \text{ [kg / kWh]}$ - възприетият коефициент на преобразуване за ел. енергия.

По този начин се получава:

$$EF_{KUL} = \frac{2,193}{Q_{CP}} (2,2 * P_{H1} + P_{H2} + P_{H3}) \text{ [kg / ton]}$$

където: $Q_{CP} \text{ [ton]}$ - средната маса на пренасяните/манипулираните/транспортираните товари в рамките на 1 работна смяна.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕПОРЪКИ

Настоящата разработка третира важни въпроси, свързани с определяне на екологичния отпечатък вследствие на работата на строителните машини. Разгледани са типични стойности на степени на натоварване на двигателите на основни видове строителна техника, както също и връзката между степените на натоварване и разходът на гориво от машината (абсолютен и относителен). Установени са осреднени стойности за коефициентите на преобразуване, които се използват за изчисляване на количеството отделяни емисии въглероден диоксид (CO_2) вследствие на изгарянето на 1 литър дизелово гориво и/или изразходването на 1kWh електрическа енергия. Изследвани са зависимости за изчисляване на екологичния отпечатък от 1 машиночас работа (наработка) на дизелов двигател на земекопна строителна машина и електрически двигател на кран. В резултат от това е предложен подход за приблизително определяне на екологичния отпечатък за реализиране на единица производителност за част от основните видове земекопни машини, използвани на строителната площадка (булдозер, челен товарач и еднокосов багер), както екологичният отпечатък за реализиране на единица производителност от стационарен кулокран.

Като възможни предложения/препоръки, свързани с начина на използването на строителните машини, които биха могли да доведат до намаляване на екологичния отпечатък вследствие на работата на строителните машини на работната площадка могат да бъдат следните:

- екологичният отпечатък от строителните машини би могъл да се намали значително чрез редица организационни мерки, свързани с прецизно планиране на технологията на работа, при което да се постигне максимално ефективно използване на машините, както и в оптимална степен да се съкрати времето за работа на машините на празен ход, а оттам да се намали и разхода на гориво;

- намаляване на степента на натоварване на двигателя би могло в значителна степен да намали разхода на гориво, а оттам и отделяните емисии въглероден диоксид (CO_2). Прилагането на подходящи режими на работа и степени на натоварване на двигателите за строителните машини в работния процес би могло в значителна степен да помогне на строителните мениджъри да намалят разхода на гориво (да намалят финансовите разходи за гориво), както също и да облекчат емисиите въглероден диоксид (CO_2), отделяни в околната среда.

- при земекопно-транспортни строителни машини да се предпочита копаене по „наклон надолу“ на работната площадка, като се започва копаенето на почвата от предния

край на работната зона, което е установено, че подобрява ефективността на работа и намалява общото количество изразходвано гориво;

- да се избягва буксуване на ходовата част на строителните машини, както и застои на едно място при работещ двигател (работа на празен ход).

- адекватното и правилно управление на различните параметри на работния процес на строителната машина и възможни влияещи фактори (релеф на терена, наклон на терена, състав на обработваната почва, собствено тегло на машината, качество на горивото, уменията на оператора на машината, климатични условия, качество на поддръжката и ремонта на машинния парк и др) може в значителна степен да намали разхода на гориво при запазване на константна производителност, а оттам да доведе и до намаляване на отделяните емисии въглероден диоксид (CO₂) и по-малък екологичен отпечатък.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] V. Kecojevic, D. Komljenovic, Impact of Bulldozer's Engine Load Factor on Fuel Consumption, CO₂ Emission and Cost, American Journal of Environmental Sciences, Vol. 7(2), 2011, 125 - 131.
- [2] Trani M., B. Bossi, M. Gangolells, M. Casals, Predicting fuel energy consumption during earthworks, Journal of cleaner production, Vol. 112, Part 5, 2016, 3798-3809.
- [3] Day, D. A., Benjamin, B. H. N. Construction Equipment Guide, Wiley and Sons, New York, 1991.
- [4] Chitkara, K. K. Construction Project Management, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1998.
- [5] INA. Katalog goriva (Fuel Catalog) - izdanje 07, INA – industrija nafte, Zagreb, 2013.
- [6] M. Klanfar, T. Korman, T. Kujundžić, Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed stone, Technical Gazette 23, 1(2016), 163-169.
- [7] Zabihian, F. and A.S. Fung, Fuel and greenhouse gas emission reduction potentials by appropriate fuel switching and technology improvement in the canadian electricity generation sector, Am. J. Eng., 2010, 90-97.
- [8] 2016 B.C., Best Practices Methodology for Quantifying Greenhouse Gas Emissions Including Guidance for Public Sector Organizations, Local Governments and Community Emissions, Ministry of Environment, Victoria, B.C. (British Columbia), 2016.
- [9] Наредба N 7 от 2004г. за енергийна ефективност на сгради, обн. ДВ бр.5 от 14 Януари 2005.
- [10] Бехчед Б., П. Петров, Т. Деликостов, Д. Станчев, Изследване на горивната икономичност на товарни автомобили в реални условия на работа, Научни трудове на Русенския университет, том 47, серия 4, 2008, 80-84.
- [11] К. Малденов и колектив, Устройство на автомобили, трактори и кари (АТК), изд. Техника, 1990.
- [12] Л. Хлеббаров и колектив, Двигатели с вътрешно горене, изд. Техника, 1989.
- [13] БДС ISO 4301-1:2001. Кранове и подежни съоръжения. Класификация. Част 1. Общи положения, 2000.
- [14] Коларов Ив., М. Проданов, П. Караиванов., Проектиране на товароподемни машини., с. Техника, 1986г.
- [15] БДС EN 13135:2013 - Кранове. Безопасност. Проектиране. Изисквания за обзавеждането.
- [16] Кътов П., Строителни машини., с. Техника, 1988.
- [17] К. Радлов., Машини за строителство, изд. Пропелер, 2018г.