

Vrste proračuna učinaka građevinskih strojeva kod izvedbe masovnih zemljanih radova

Rihtermoc, Gabrijela

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:219442>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Gabrijela Rihtermoc

**VRSTE PRORAČUNA UČINAKA GRAĐEVINSKIH
STROJEVA KOD IZVEDBE MASOVNIH
ZEMLJANIH RADOVA**

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, godina 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Gabrijela Rihtermoc

**VRSTE PRORAČUNA UČINAKA GRAĐEVINSKIH
STROJEVA KOD IZVEDBE MASOVNIH
ZEMLJANIH RADOVA**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: Mladen Vukomanović

Komentor: Kristijan Robert Prebanić

Zagreb, godina 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Gabrijela Rihtermoc

**PERFORMANCE CALCULATION METHODS FOR
CONSTRUCTION MACHINERY IN MASS
EARTHWORKS**

FINAL EXAM

Supervisor: Mladen Vukomanović

Cosupervisor: Kristijan Robert Prebanić

Zagreb, year 2024.

SAŽETAK

U ovome radu razmatrat će se masovni zemljani radovi i učinak strojeva koji ih obavljaju. Za početak definirati će se sam pojam zemljanih radova, te razlika koja je prisutna kada je riječ o masovnim radovima. Objasnit će se važnost masovnih radova u građevinskoj industriji. Nadalje, promatrati će se učinak građevinskih strojeva. Ponajprije učinak standardnih strojeva koji svoj rad obavljaju ciklički, a onda pojam flote strojeva. Prikazati će se način na koji se usklađuje grupa strojeva, te kako se vrši odabir iste. Na kraju će se obraditi pojam mobilnih tehnologija i softverskih rješenja zbog izrazite potrebe za modernizacijom cijelog procesa izvođenja masovnih zemljanih radova. Predstaviti će se nove tehnologije i njihove karakteristike te prikazati praktična primjena kod izvedbe radova. Komparacijom metoda zaokružiti će se čitav pojam modernizacije i primjerima dokazati djelovanje optimizacije na sam učinak.

SUMMARY

In this paper, mass earthworks and the performance of the machines that carry them out will be considered. To begin with, the concept of earthworks will be defined, along with the distinctions present when it comes to mass works. The importance of mass earthworks in the construction industry will be explained. Furthermore, the performance of construction machines will be analyzed. First, the focus will be on the performance of standard machines that operate in a cyclical manner, and then the concept of a machine fleet will be introduced. The paper will demonstrate how a group of machines is coordinated and how the selection of the fleet is made. Finally, the concept of mobile technologies and software solutions will be addressed, given the pressing need for the modernization of the entire process of executing mass earthworks. New technologies and their characteristics will be presented, along with practical applications in the execution of works. By comparing methods, the entire concept of modernization will be summarized, and examples will be provided to demonstrate the impact of optimization on performance.

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	iii
1. UVOD	1
2. MASOVNI ZEMLJANI RADOVI	1
3. ANALIZA POSTUPKA PRORAČUNA UČINKA ZEMLJANIH RADOVA	5
3.1. Općenito o učinku	5
3.2. Tradicionalan proračun učinka strojeva koji ciklički obavljaju rad	6
3.3. Proračun učinka uobičajenih cikličkih strojeva pri izvedbi zemljanih radova	8
3.3.1. Učinak dozera pri iskopu zemlje	8
3.3.2. Učinak bagera za iskop i utovar	11
3.3.3. Učinak utovarivača za utovar gradiva	13
3.3.4. Učinak kamiona kiperu i dampera za prijevoz gradiva	14
3.3.5. Učinak grejdera za razastiranje i planiranje gradiva	16
3.3.6. Učinak valjka za sabijanje gradiva	17
3.4. Učinak flote građevinskih strojeva kod masovnih zemljanih radova	18
3.4.1. Primjer usklađivanja flote strojeva prilikom izvedbe ceste i tunela	20
4. MOBILNE TEHNOLOGIJE I SOFTVERSKA RJEŠENJA KOD FLOTE GRAĐEVINSKIH STROJEVA	22
4.0. Tehnologije u građevinarstvu	22
4.0.1. GPS	23
4.0.2. GIS	25
4.0.3. RFID	26
4.0.4. IOT	28
4.0.5. Laseri	30
4.0.6. Bespilotno upravljanje građevinskim strojevima	31
4.1. Prednosti i mane primjene suvremenih tehnologija	32
4.2. Integracija tehnologija za optimizaciju planiranja i izvođenja masovnih zemljanih radova	36
4.2.1. Primjer integracije lasera, GPS-a i bespilotne opreme na projektu izgradnje ceste	36
4.2.2. Primjer integracije GPS-a i GIS-a kod rada kamiona kiperu	36
4.2.3. Primjer integracije lasera, GPS-a i softvera kod rada bagera	37
4.3. Diskusija modernih tehnologija i njihov utjecaj na izvedbu radova	37
5. ZAKLJUČAK	39
POPIS LITERATURE	40
POPIS TABLICA	43

POPIS SLIKA	44
POPIS GRAfikona	45

1. UVOD

U ovom radu razmatrat će se vrste proračuna učinaka građevinskih strojeva koji su bitni kod izvedbe masovnih zemljanih radova.

Sve su veći zahtjevi za bržom i masovnijom izgradnjom. Izražena je potreba za povećanjem funkcionalnosti prostora što iziskuje unaprjeđenje metode građenja. Kako bi se to postiglo potrebno je pronaći pravu mjeru u odnosima među osnovnim tehničko-proizvodnim elementima. Cilj je graditi brže, jeftinije, kvalitetnije i humanije. Početak svake izgradnje počinje geotehničkim radovima, u ovom slučaju zemljanim radovima. Oni često predstavljaju i pripreme radove, jer čine početnu fazu rada od koje zavisi uspjeh narednih operacija i konačna izgradnja objekta (Roje-Bonacci, 2012.).

Suvremena izvedba zemljanih radova visoko je mehanizirana, a ljudski rad je sveden na najmanju mjeru. Masovni zemljani radovi prisutni su u cestogradnji i hidrogradnji, organizirani u tehnološkim lancima strojnih radnih grupa složenih od snažnih, velikih, visokoučinkovitih te razmjerno brzih građevinskih strojeva i transportnih sredstava (Sigmund, 2023.).

„Osnovni građevinski zemljani radovi obuhvaćaju: (Linarić, 2005.)

- Zemljane radove u sraslom tlu ili stijeni koji su neophodni za nastavak izvedbe ostalih građevinskih odnosno zemljanih radova
- Zemljane radove u/na sraslom tlu ili stijeni pri izvedbi trajnih građevina od zemljanih i kamenih gradiva
- Radove u sraslom tlu ili stijeni i sa zemljanim i kamenim materijalima u svrhu proizvodnje mineralnih sirovina i gradiva“

„Na izvedbu zemljanih radova utječu faktori poput veličine i složenosti projekta, konfiguracije terena, klase materijala i karakteristika, tipa i veličine odabranih strojeva, fizičkih opstrukcija na terenu te meteoroloških i klimatskih uvjeta“ (Šopić, 2022.).

Cilj je ovog rada na temelju dostupne znanstvene i stručne literature prikazati vrste i proračune učinaka građevinskih strojeva koji se koriste u izvedbi masovnih zemljanih radova. S obzirom da je izvedba zemljanih radova početna faza, potrebno je posebno obratiti pažnju na izbor građevinske mehanizacije i njihove učinke kako bi radovi bili izvedeni što kvalitetnije, efikasnije i jeftinije.

2. MASOVNI ZEMLJANI RADOVI

Masovni zemljani radovi prisutni su kod gradnje složenih objekata kao što su razne prometnice, mostovi, hidrotehničke građevine, tuneli, industrijska postrojenja itd. Proizašli su iz potrebe pripremanja velikih površina zemlje za složenu infrastrukturu. Obuhvaćaju radove iskopa, premještanja, odvoza, nasipavanja i oblikovanja zemlje ili tla. Veći su kapaciteti radova, što rezultira produljenjem trajanja. Radove izvode stručne građevinske tvrtke koje imaju flotu velikih i visokoučinkovitih strojeva specijaliziranih za potrebe masovnih zemljanih radova i stručnjake za upravljanje takvim projektima. S obzirom na kompleksnost same izvedbe potrebna je dobra organiziranost grupe građevinske mehanizacije .

Česti zahtjevi kod takvih opsežnih radova su ubrzano građenje i osuvremenjivanje već postojećih objekata, prometnica, luka itd. Potrebno je premještanje velikih količina zemljanih materijala u kratkom roku. Radovi se izvode na otvorenom, pa ovise o vremenskim karakteristikama poput vlažnosti zraka. Budući da su zemljani radovi najznačajnija vrsta građevinskih radova, potrebno je obratiti pažnju na ekonomičnost izvođenja (Ćoruša, 2018).

Kod strojeva za izvođenje masovnih zemljanih radova razlikujemo strojeve za iskop, strojeve za utovar i prijevoz te strojeve za ugradnju. Iskop se najčešće vrši dozerima, skrejperima i bagerima. Utovar i prijevoz obavljaju se uz pomoć utovarivača, kamiona kiperera, dampera i zglobnih dampera. Proces ugradnje obavlja se uz pomoć skrejpera, dozera, grejdera, valjaka i bagera.

Organizacija se može ostvariti na više načina (Linarić):

- korištenje različitog broja pojedinih strojnih jedinica različitog učinka unutar pojedine grupe strojeva u jednom dijelu tehnološkog postupka (npr. grupa se sastoji od većeg broja manjih bagera kojima učinak nije velik i manjeg broja velikih kamiona kiperera čiji je učinak velik, pa jedan kamion kiperer može prihvatiti količinu zemlje koju je iskopalo više bagera)
- različito dnevno radno vrijeme pojedinih grupa strojeva kao podsustava za sebe unutar tehnološkog postupka (npr. strojevi za iskop i odlaganje rade u tri smjene, strojevi za utovar i transport dvije smjene, a strojevi za ugradnju neku treću kombinaciju vremena)
- različito organiziranje rada strojeva, tako da se jedni te isti strojevi koriste unutar različitih dijelova tehnološkog postupka (dijelovi tehnološkog postupka kod masovnih zemljanih radova su iskop-transport-ugradnja, gdje npr. strojevi koji rade na iskopu mogu također raditi na ugradnji)

Radna grupa unutar neke radne operacije prilagođava se pravilu najbržeg izvođača. Prema najbržem izvođaču radne operacije utvrđuje se broj ostalih izvođača te radne operacije. Norma vremena, tj. učinka cijele radne grupe određuje se prema najsporijem izvođaču u toj radnoj operaciji (Bosec, 2023.).

Zastoj je najčešći problem u masovnom proizvodnom procesu jer zastoj jednog stroja uzrokuje zastoje na svim ostalim strojevima, utječe na dinamiku rada i stvara dodatne troškove. Kako bi se spriječili gubici koji su posljedica takvog zastoja, potrebno je predvidjeti rezervne strojeve koji će biti spremni preuzeti mjesto stroja u zastoj. Kao i kod strojeva, potrebno je predvidjeti rezervu radne snage, materijala i energije (Ćoruša, 2018.).

U okviru organizacije tehnološkog postupka iskop- transport- ugradba radovi se odvijaju na dva načina (Linarić):

- bez međudlaganja gradiva

$$U_p \cong U_p(\text{iskop}) \cong U_p(\text{utovar}) \cong U_p(\text{autoprijevoz}) \cong U_p(\text{razastiranje}) \\ \cong U_p(\text{planiranje}) \cong U_p(\text{zbijanje})$$

$$U_p(g) = \sum n_a \times U_p(n_a)$$

gdje je planirani učinak pojedine grupe strojeva jednak umnošku sume strojeva istog tipa i planiranog učinka strojeva istog tipa

- sa međudlaganjem gradiva

$$U_p(\text{utovar}) = U_p(\text{autoprijevoz}) = U_p(\text{transport}) \\ U_p(\text{nasipavanje}) \cong U_p(\text{razastiranje}) \cong U_p(\text{planiranje}) \cong U_p(\text{zbijanje}) \\ U_p(\text{iskop}) \neq U_p(\text{transport}) \neq U_p(\text{nasipavanje})$$

Na izbor organizacije tehnološkog postupka utječu bitni faktori (Linarić):

- mogućnost daljnje upotrebe iskopanog gradiva
- poboljšanje fizičko-mehaničkih svojstava sipkih gradiva (vremensko odležavanje)
- iskorištenje najvećeg mogućeg učinka stroja ili grupe strojeva što isključuje pojam ključnog stroja
- stvaranje vremenskih zaliha
- zastoji
- ostali neočekivani razlozi organizacijske ili tehnološke prirode

Pri odabiru tehnologije i planiranju masovnih zemljanih radova postoje razlike u cijenama ovisno o ponuditelju/ izvođaču radova. Važno je napomenuti kako se kod procjene troškova ne smije osloniti isključivo na opće poznate prosječne proračune učinaka. Potrebno je utvrditi pojedinačnu i grupnu učinkovitost građevinskih strojeva, posebno tamo gdje je velika međusobna organizacijska ovisnost. Odabir tehnologije zahtjeva ozbiljan inženjerski pristup. Kako se radi o velikim količinama, mala razlika u jediničnoj cijeni može rezultirati ili velikom uštedom ili velikim gubitkom. (Linarić).

Transport je sastavni dio procesa građenja i može znatno utjecati na brzinu izvođenja radova. Kod masovnih radova ima udio od čak 20% ukupnih troškova, stoga je vrlo bitno dobro razraditi tu stavku u procesu organizacije građenja. Transport materijala s izvorne lokacije na privremenu potrebno je obaviti sigurno, pravodobno i ekonomično pri čemu je bitno očuvati

kvalitetu i količinu materijala koji se prenosi. Problemi pri transportu stvaraju se najčešće kod pretovara gdje su prisutni nepotrebni gubici (Radujković, 2015.).

Za razliku od masovnih zemljanih radova za koje su grupe snažnih, velikih i visokoučinkovitih strojeva od izrazite važnosti, standardni zemljani radovi zahtijevaju pojedinačne te manje učinkovite strojeve. Za standardne zemljane radove ključni su strojevi koji se prilagođavaju tipu radova, razmjerno pokretljivi i svestrani (Sigmund, 2023.).

Masovni zemljani radovi mogu značajno utjecati na okoliš i njegovu strukturu. Na primjer, kako bi se izgradila cesta koja povezuje dva grada potrebno je iskoristiti velik dio zelene površine. Time se narušavaju prirodna staništa brojnih organizama. Također, moguće je ometati prirodni odvod oborinskih voda. Kod standardnih zemljanih radova promjene u okolišu nisu toliko izražene jer je površina samih iskopa znatno manja.

Zajednička karakteristika masovnih i standardnih zemljanih radova je izbor tehnologije na temelju čimbenika poput (Sigmund, 2023.):

- vrsta tla
- opseg i dubina radova
- geotehničke karakteristike terena
- vremenski uvjeti
- zahtjevi projekata
- sigurnosni uvjeti
- regulativni zahtjevi
- dostupnost opreme i stručnjaka



Slika 1.: Masovni zemljani radovi- priprema gradnje vijadukta Sajevac (Izvor: KAportal)



Slika 2.: Standardni zemljani radovi- pripremni radovi gradnje stambenog objekta (GK grupa)

Također, sve vrste zemljanih radova prije iskopa zahtijevaju određenu pripremu. Ovisno o tlu, prije iskopa se mogu obavljati radovi bušenja i miniranja stijene, skidanja površinskog sloja i dr. Vrlo je bitno osigurati mjesto izvođenja radova i okolinu. Bitno je osigurati infrastrukturu za pristup lokaciji gdje se planira izvođenje radova. Što je rad opsežniji, to su potrebne detaljnije geotehničke analize. Masovni zemljani radovi zahtijevaju veću logističku podršku od standardnih radova. Strojevi za masovne radove su veći i složeniji, pa je potrebno osigurati privremene prometnice koje će na siguran način prihvatiti svu tešku mehanizaciju.

Privremene prometnice međusobno povezuju skladišta s mjestima rada. Izrađuju se prema nižem standardu kvalitete, te njihova izvedba ovisi o količini, vrsti i trajanju prometa. Iako izaziva dodatne troškove, potrebno je paziti na pretjeranu štednju koja bi mogla ugroziti sigurnost i uzrokovati teškoće u transportu (Radujković, 2015.)

U konačnici, masovni zemljani radovi su ključni u građevinskoj industriji i imaju značajnu ulogu u pripremi za građenje. Potrebno je osigurati pravilnu izvedbu kako bi se ostvarila stabilnost građevine koja će se izgraditi na pripremljenoj površini, te kako bi se maksimizirala učinkovitost i minimizirali troškovi i ekološki utjecaji. Važno je osposobljavanje radne snage s obzirom na složenost strojeva koji sudjeluju u izvršenju radova.

3. ANALIZA POSTUPKA PRORAČUNA UČINKA ZEMLJANIH RADOVA

3.1. Općenito o učinku

S gledišta organizacije građenja, učinak građevinskog stroja čini osnovu za odabir normativa, organizaciju rada, proračun trajanja aktivnosti te naplatu radova (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

„Građevinski se stroj utvrđuje kao svako pomoćno radno sredstvo u građenju koje ima neki pogonski motor. Osim svojstvenih konstrukcijskih obilježja, utvrđen je također masom, prostornom veličinom odnosno mjerama te snagom i mogućim radnim učinkom odnosno kapacitetom“ (Radujković, 2015.)

U smislu koncepcije rada i iz toga proizišle strojne konstrukcije građevinska mehanizacija dijeli se u dvije grupe strojeva i ostale tehnološke opreme za potrebe građenja odnosno proizvodnje gradiva (Linarić, 2005.):

- I. Standardna građevinska mehanizacija
 - na istom postolju nalazi se pogonski motor, transmisija i radni dio ili pokretne strojne jedinice koji uglavnom imaju ciklički način rada
 - rabe se pojedinačno ili u međusobno povezanim grupama tehnoloških lanaca
- II. Posebna građevinska mehanizacija
 - izvanstandardni i uglavnom izvanserijski složeni građevinski strojevi, postrojenja i ostala tehnološka oprema proizvodnih pogona
 - rade kontinuirano ili u slijedu povezanih kontinuiranih mikrocikusa

Dijele se na dvije podgrupe:

II./I. Samohodna ili pokretna složena strojna tehnološka oprema za potrebe građenja smještena na jedinstvenom postolju

- složenost nadilazi radna i konstrukcijska obilježja standardnih građevinskih strojeva

II./II. Složena tehnološka oprema za potrebe građenja i proizvodnje gradiva

- oprema složena od strojeva i pojedinačne opreme maloserijske ili izvanserijske proizvodnje

Posebna građevinska mehanizacija koja uključuje složene, samohodne ili pokretne, strojeve izvanserijske ili maloserijske proizvodnje, kao što su finišeri i slična oprema, određuje učinak na temelju količine u određenom rasponu njegove vrijednosti. Učinak se sagledava kao kod drugih strojeva koji kontinuirano obavljaju svoj rad. U ovome radu prikazati će se proračuni učinka standardnih strojeva koji ciklički obavljaju svoj rad i na čiji rad najveći utjecaj ima ljudski faktor, jer je njihova primjena kod masovnih zemljanih radova znatno veća. Također, ciklički

strojevi su puno učestaliji i mora ih se optimizirati, što će biti prikazano u narednim poglavljima. (Linarić, 2007.)

Neciklički strojevi koji rade kontinuirano, za proračun njihovog učinka, izražavaju potrebu sagledavanja brzine kretanja, oblika i mjere (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

$$U = v \times P_{\text{poprečni presjek}}$$

gdje je:

- v - brzina kretanja stroja
- $P_{\text{poprečni presjek}}$ - površina poprečnog presjeka građevinske konstrukcije

S obzirom na područje i vrstu radova, odabir građevinske mehanizacije će se razlikovati, a samim time i proračuni učinka. Kod izbora građevinske mehanizacije moramo obratiti pažnju na određene faktore:

- Uvjeti na gradilištu
- Vrsta radova
- Trajanje radova
- Troškovi izvođenja
- Dostupnost strojeva

„Izbor strojeva za različite građevinske radove mora se temeljiti na stvarnim uvjetima i postizanju njihove maksimalne učinkovitosti. Najvažniji parametar pri izboru građevinske mehanizacije jest specifikacija tih strojeva, koja ovisi o njihovoj primjeni u određenim uvjetima“ (Kozlovska, Krajnak, Sirochmanova, Baškova, Strukova, 2015.)

3.2. Tradicionalan proračun učinka strojeva koji ciklički obavljaju rad

„Pojam odnosno definicija općenitog pojma učinka proizlazi iz definicije općenitog pojma kapaciteta. Kapacitet je temeljna tehničko-tehnološka i ekonomska kategorija odnosno parametar pri programiranju i proračunu opravdanosti uvođenja strojnog rada u neki tehnološki postupak općenito, pa tako i građenja“ (Radujković, 2015.).

Širi pojam kapaciteta (K) se svodi na užu pojam učinka (U), gdje se kapacitet izražava kao obujam proizvodnje (Q) u jedinici vremena (T) ostvarenja tog obujma proizvodnje gdje to prikazuje propusnu moć tehnološkog sustava. (Radujković, 2015.)

$$K = Q/T$$

„Metodologija se odnosi na utvrđivanje i proračun dviju osnovnih kategorija satnih učinaka građevinskih strojeva koji ciklički rade na:

- Temeljni tehnički (teorijski) satni učinak – U_t
- Planski ili planirani (praktični) satni učinak – U_p

Međusobni odnos navedenih učinaka utvrđuje se preko koeficijenta ispravka teorijskog učinka (k_i) koji umanjuje teorijski učinak (U_t) i svodi ga na planirani praktični učinak (U_p) uzimajući u obzir pretpostavke ukupnih prilika u kojima se očekuje odvijanje strojnog rada” (Linarić, 2005.):

$$U_p = k_i \times U_t$$

„Proračun praktičnog učinka provodi se ispravkom teorijskog učinka. Koeficijent ispravka sastoji se od općega te posebnoga koeficijenta. Svaki od koeficijenata uzima u obzir čimbenike koji utječu na teorijski učinak građevinskog stroja “ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

$$k_{ispravak} = k_{opći} \times k_{posebni}$$

Opći koeficijent dobije se umnoškom koeficijenta organizacije strojnog rada (ovisi o uvjetima strojnog rada i održavanja strojeva), koeficijenta radnog vremena te koeficijenta dotrajnosti stroja (ovisi o stanju stroja odnosno eksploataciji). Vrijednosti tih koeficijenata dane su tablicama. Okvirne su i njih određuje proizvođač strojeva. (Linarić, 2007.)

$$k_{opći} = k_{organizacija} \times k_{radno\ vrijeme} \times k_{dotrajnost\ stroja}$$

Tablica 1.: Vrijednosti koeficijenata organizacije strojnog rada u ovisnosti o uvjetima strojnog rada te održavanju strojeva (prema Linariću, 2007.)

Uvjeti strojnog rada	Održavanje strojeva				
	Izvršno	Dobro	Uobičajeno	Loše	Nezadovoljavajuće
Jako dobri	0,84	0,81	0,76	0,70	0,63
Dobri	0,78	0,75	0,71	0,65	0,60
Uobičajeni	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54
Loši	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45
Nezadovoljavajući	0,52	0,50	0,47	0,42	0,32

Temeljni učinak računa se preko broja ciklusa (n_c) u razmatranoj vremenskoj jedinici i količine učinaka po tome jednom ciklusu:

$$U_t = n_c \times Q_c$$

Vrijednost količine učinka po jednom ciklusu rada stroja (Q_c) ovisi o tome promatra li se rastresito (iskopani materijal) ili sraslo stanje (neiskopani, prirodni materijal) materijala te o koeficijentu punjenja (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.). Vrijednost koeficijenta punjenja ovisi o vrsti stroja koji se promatra.

$$Q_{ciklus (rastresito stanje)} = k_{punjenje} \times q$$

$$Q_{ciklus (sraslo stanje)} = k_{punjenje} \times q \times k_{rastresitost}$$

$$k_{rastresitost} = \frac{1}{r}$$

Oznake iz navedenih formula:

- q - konstruktivni obujam radnog dijela stroja
- $Q_{ciklus (rastresito stanje)}$ - količina učinka po jednom ciklusu rada stroja (iskopani materijal)
- $Q_{ciklus (sraslo stanje)}$ - količina učinka po jednom ciklusu rada stroja (neiskopano, prirodno tlo ili stijenu koja je u sraslom tlu)
- $k_{punjenje}$ - koeficijent punjenja konstruktivnog obujma radnog dijela stroja
- $k_{rastresitost}$ - koeficijent rastresitosti
- r - rastresitost materijala

Proračun je samo formalni dokaz pretpostavki koje inženjeri dokazuju računom. Njihovo iskustvo potvrđuje kreću li se rezultati proračunatih vrijednosti u zadovoljavajućim okvirima. Iskustvo daje statistiku mjerenih vrijednosti ostvarenih radnih učinaka nekog građevinskog stroja u slučajevima ili prilikama odnosno organizacijskim i tehnološkim uvjetima njegova rada. Na taj način stvaraju se tehničke norme vremena i norme radnih učinaka odgovarajućih građevinskih strojeva i transportnih sredstava (Linarić, 2005.)

3.3. Proračun učinka uobičajenih cikličkih strojeva pri izvedbi zemljanih radova

„Postoji više sličnih metodologija proračuna učinka strojeva (imaju različite koeficijente korekcije i njihove vrijednosti), od kojih one od proizvođača strojeva daju znano veće veličine proračunatog učinka” (Vidaković, 2017.).

3.3.1. Učinak dozera pri iskopu zemlje

„Dozer je tipični radni stroj za zemljane radove koji izvodi iskop tla ili trošne stijene struganjem pomoću noža (na prednoj strani dozera) te guranje i odlaganje iskopanog materijala s razastiranjem i planiranjem odloženog materijala” (Linarić, 2007.).

Teorijski učinak U_t iskopa računa se na osnovi činjenice cikličkog rada. Obilježja materijala uvode se u proračun preko koeficijenta noža dozera k_n i koeficijenta rastresitosti k_r (Linarić, 2007).

Također, ovisi o broju ciklusa rada u radnom vremenu te količini učinka u jednom ciklusu rada dozera (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

$$U_{praktični} = k_{ispravak} \times U_{teorijski} [m^3/sat]$$

$$k_{ispravak} = k_{opći} \times k_{posebni}$$

$$k_{opći} = k_{og} \times k_{rv} \times k_{ds}$$

$$k_{posebni} = k_{vm} \times k_{rp} \times k_{nt}$$

$$U_{teorijski} = n_{ciklus} \times Q_{ciklus}$$

$$n_{ciklus} = \left(\frac{60}{t_{ciklus}} \right)$$

Koeficijenti koji su ključni čimbenici onih obilježja gradiva i uvjeta rada koji u najvećoj mjeri uvjetuju količinu radnog učinka (Linarić, 2007.):

- k_{vm} - koeficijent vlažnosti gradiva (tablična vrijednost)
- k_{rp} - koeficijent radnog prostora
 - za slobodno pregledni razmjerni široki prostor iznosi 1,00, za skučen prostor iznosi 0,95
- k_{nt} - koeficijent nagiba terena
 - za svaki stupanj uspona smanjuje radni učinak za 3%, a za svaki stupanj pada povećava radni učinak za 6%
- k_n - koeficijent noža dozera (tablična vrijednost)

„Laki iskop obuhvaća iskop suhих, rastresenih, nekoherentnih i koherentnih tala kao što je pijesak, sitan šljunak, pjeskovita ilovača, rastresiti suhi zemljani materijali itd. Srednji iskop bi obuhvatio iskop tala kao što su suha ili manje vlažna ilovača, krupni šljunak, zbijena zemlja, kao i iskop nekih vrsta mekih trošnih stijena. Srednje tvrdi iskop obuhvatio bi iskop nekih vrsta stijena koje se lako miniraju, kao primjerice vapnenci. Tvrdi iskop bi obuhvatio miniranu stijenu u blokovima ili pločama...“ (Linarić, 2007.)

- k_g - koeficijent gubitka gradiva ispred noža dozera
 - gubitak iskopanog materijala prilikom guranja
 - najčešće 0,5% po metru dužnom guranja odnosno: $k_g = 1 - 0,005 \times l_g$ gdje je l_g duljina guranja gradiva na kojoj dozer izvodi iskop

„Trajanje jednog ciklusa rada dozera ovisi o trajanju radnih operacija koje obavlja. Kod dozera su to najčešće iskop, guranje, odlaganje, povratak te manevar, pri čemu je važno napomenuti da svaka od navedenih operacija ne mora biti dio proračuna“ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

$$t_{ciklus} = t_{iskop} + t_{guranje} + t_{odlaganje} + t_{povratak} + 2 \times t_{manevar}$$

$$t_{ciklus} = \frac{l_{iskop}}{v_{iskop}} + \frac{l_{guranje}}{v_{guranje}} + \frac{l_{odlaganje}}{v_{odlaganje}} + \frac{l_{povratak}}{v_{povratak}} + 2 \times t_{manevar}$$

Oznake iz navedenih formula:

- t_{iskop} - trajanje iskopa materijala
- $t_{guranje}$ - trajanje guranja materijala

- $t_{odlaganje}$ - trajanje odlaganja materijala
- $t_{povratak}$ - trajanje povratka dozera
- $t_{manevra}$ - trajanje manevra dozera
- l_{iskop} - duljina iskopa
- v_{iskop} - brzina iskopa (do 3km/h)
- $l_{guranje}$ - duljina guranja materijala
- $v_{guranje}$ - brzina guranja (do 6km/h)
- $l_{odlaganje}$ - duljina odlaganja
- $v_{odlaganje}$ - brzina odlaganja (do 9km/h)
- $l_{povratak}$ - duljina povratka dozera
- $v_{povratak}$ - brzina povratka (do 12km/h)

„Formula za proračun duljine iskopa dozera izvodi se iz sljedeće formule i može ovisiti o konstruktivnom obujmu zemljanoga ili kamenog materijala koji dozer kopa i gura, visini noža dozera, širini noža dozera, dubini iskopa te rastresitosti materijala“ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

$$q = h_{nož\ dozera}^2 \times l_{nož\ dozera} = l_{iskop} \times l_{nož\ dozera} \times d_{iskop\ dozera} \times r$$

Oznake iz navedene formule:

- q - konstruktivni obujam zemljanog materijala koji dozer kopa i gura
- $h_{nož\ dozera}$ - visina noža dozera
- $l_{nož\ dozera}$ - duljina noža dozera
- $d_{iskop\ dozera}$ - dubina iskopa dozera
- r – rastresitost materijala

Duljina povratka zbroj je duljine iskopa, guranja i odlaganja materijala. (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.):

$$l_{povratak} = l_{iskop} + l_{guranje} + l_{odlaganje}$$

Korigirani konstruktivni obujam zemljanog ili kamenog materijala koji dozer kopa i gura jednak je količini učinka u jednom ciklusu rada dozera (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

Koeficijent noža dozera tablična je vrijednost i ovisi o vrsti iskopa (laki, srednji, srednje tvrdi ili tvrdi).

$$Q_c = k_{punjenje} \times q \times k_r \text{ (obujam za učinak izražen "sraslo")}$$

$$Q_c = k_{punjenje} \times q \text{ (obujam za učinak izražen "rastresito")}$$

$$k_{punjenje} = k_{nož} \times k_{gubitak\ gradiva\ ispred\ noža}$$

3.3.2. Učinak bagera za iskop i utovar

„Bageri obuhvaćaju velik broj raznovrsnih strojeva za iskop tla i stijene, uz mogućnost istovremenog utovara iskopanog materijala u bilo koju vrstu transportnih sredstava. Dije se na bagere s jednim krakom i jednom lopatom koji rade u ciklusima, te na ostale bagere s više lopata i vjedrica, bagere bez vjedrica itd., a koji izvode kontinuirani iskop“ (Linarić, 2007.).

„Teorijski se učinak računa za kut zaokreta bagera prilikom njegova rada, a to je približno 90°. Vrijeme jednog ciklusa bagera najviše je do 1,00 min, što ovisi posebice o tome kako bager radi: ili s dubinskom žlicom (što znači da glavninu iskopa izvodi ispod razine na kojoj stoji) ili čeonom žlicom (što znači da glavninu iskopa izvodi iznad razine na kojoj stoji)“ (Radujković, 2015.).

Teorijski učinak također ovisi o broju ciklusa rada u promatranom vremenu bagera i količini učinka u jednom ciklusu rada bagera (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

Prema Linariću (2007.) proračun je slijedeći:

$$U_{praktični} = k_{ispravak} \times U_{teorijski} [m^3/sat]$$

$$k_{ispravak} = k_{opći} \times k_{posebni}$$

$$k_{opći} = k_{og} \times k_{rv} \times k_{ds}$$

$$k_{posebni} = k_{vm} \times k_{rp} \times k_{uv} \times k_{kz}$$

$$U_{teorijski} = n_{ciklus} \times Q_{ciklus}$$

$$n_{ciklus} = \left(\frac{60}{t_{ciklus}} \right)$$

gdje je:

- q - konstruktivni obujam lopate ili utovarne lopate bagera
- $k_{punjenje}$ - koeficijent punjenja lopate bagera
Koeficijent punjenja k_{pu} uzima se kao tablična vrijednost u ovisnosti o težini iskopa i zahvata materijala prije punjenja lopate. Iz priručnika raznih proizvođača uzima se prosječno vrijeme ciklusa rada pojedinih modela bagera, pri čemu je potrebno naglasiti da bager može rabiti više vrsta lopata u određenom rasponu konstruktivnog obujma. Pri težim iskopima koristi se lopata manjeg obujma. (Linarić, 2007.)
- k_{vm} - koeficijent vlažnosti gradiva
- k_{rp} - koeficijent radnog prostora
- k_{uv} - koeficijent utovara u vozilo
 - oko 1,00 ako se ne tovari vozilo nego se gradivo odlaže oko bagera
 - oko 0,91 ako se tovari (za utovar) pogodno vozilo
 - oko 0,83 ako se tovari (za utovar) nepogodno vozilo
- k_{kz} - koeficijent kuta (za)okretanja bagera

„Koefficient ispravka teorijskog učinka bagera glede kuta njegova okretanja prilikom rada k_{kz} uzima se 1,00 za 100% iskorištenja optimalne visine radnog čela bagera i kut okretanja prilikom rada 90°. Ukoliko se smanjuje kut okretanja učinak raste zbog skraćanja radnog ciklusa bagera, a ukoliko se kut okretanja povećava učinak pada zbog produženja radnog ciklusa bagera“ (Linarić, 2005.)

Prema priručniku tvrtke Caterpillar navedena su, za pojedine modele bagera, područja vremena trajanja radnog ciklusa za slučajeve radnih uvjeta: (Linarić, 2007.)

- Područje A
 - laki iskop
 - iskop do oko 40% najveće moguće visine dohvata bagera, okretanje oko 30°
 - istresanje na deponiju ili kamion u razini iskopa
 - nema ograničenja
 - dobar strojar
 - odlični uvjeti rada
- Područje B
 - srednji iskop
 - iskop do oko 50% najveće moguće visine dohvata bagera, okretanje do 60°
 - uzdužno postrano odlaganje
 - mala ograničenja
 - iznadprosječni uvjeti rada
- Područje C
 - srednji do teški iskop
 - iskop do oko 70% najveće moguće visine dohvata bagera, okretanje do 90°
 - utovar u vozilo na razini bagera
 - prosječni uvjeti rada
- Područje D
 - iskop meke stijene ili tvrdog tla, sadržaja preko 75% kamenog materijala
 - iskop do oko 90% najveće moguće visine dohvata bagera
 - okretanje do 120°
 - skućeni radni prostor
 - mali iskop iznad cjevovoda
 - ispodprosječni uvjeti rada
- Područje E
 - iskop tvrde prethodno minirane stijene
 - iskop do oko 90% najveće moguće visine dohvata bagera
 - okretanje preko 120°
 - vrlo skućeni radni prostor, ljudi i ograničenja u području rada
 - teški uvjeti rada

t_{ciklus} je trajanje jednog ciklusa rada bagera, vrijednosti dane tablično ovise o vrsti iskopa te konstruktivnom obujmu lopate (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

„Količina učinka u jednom ciklusu rada bagera jednaka je korigiranom konstruktivnom obujmu lopate bagera (korekcija se vrši koeficijentom punjenja)“ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

$$Q_c = k_{punjenje} \times q \times k_r \text{ (obujam za učinak izražen "sraslo")}$$

$$Q_c = k_{punjenje} \times q \text{ (obujam za učinak izražen "rastresito")}$$

Učinak bagera ovisi o mnogo čimbenika kao što su: zapremnina lopate, materijal s kojim radi, radni prostor, vrsta utovara, kut okretaja, starost stroja, uvjeti strojnog rada te korištenje radnog vremena (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

3.3.3. Učinak utovarivača za utovar gradiva

„Utovarivači su utvarivači-gusjeničari (koji se smatraju ustvari dozer-utovarivačima) i uobičajeni, te najčešće rabljeni pri zemljanim radovima, zglobni utovarivači na gumenim kotačima“ (Linarić, 2007.).

Utovarivač gusjeničar i zglobni utovarivač na gumenim kotačima razlikuju se u duljini trajanja ciklusa utovara. Brzine kretanja gusjeničara su manje, okvirno slične dozerima. Kod proračuna učinka polazi se od pretpostavke cikličkog načina rada. Utovarivač izvodi niz zahvata prilikom obavljanja radne operacije kao što su punjenje lopate, podizanje lopate, hod unatrag sa zakretanjem itd. Sve te operacije čine jedan ukupni ciklus rada na temelju čega proizlazi njegov teorijski učinak U_t (Linarić, 2007.):

$$U_{praktični} = k_{ispravak} \times U_{teorijski} [m^3/sat]$$

$$k_{ispravak} = k_{opći} \times k_{posebni}$$

$$k_{opći} = k_{og} \times k_{rv} \times k_{ds}$$

$$k_{posebni} = k_{vm} \times k_{rp} \times k_{uv}$$

$$U_{teorijski} = n_{ciklus} \times Q_{ciklus}$$

$$n_{ciklus} = \left(\frac{60}{t_{ciklus}} \right)$$

$$Q_c = k_{punjenje} \times q$$

gdje je:

- q - konstruktivni obujam utovarne lopate utovarivača
- k_{vm} - koeficijent vlažnosti gradiva
 - isti kao kod dozera i bagera
- k_{rp} - koeficijent radnog prostora
 - isti kao kod dozera i bagera
- k_{uv} - koeficijent utovara u vozilo
 - isti kao kod bagera

- $k_{punjenje}$ - koeficijent punjenja radnog dijela utovarne lopate
 - ovisi o vrsti i težini iskopa materijala prilikom zahvata prije samog punjenja utovarne lopate

„U načelu, vrijeme jednog ukupnog radnog ciklusa t_{ciklus} je najviše do oko 1,5 minute. Što je utovarivač snažniji te ima veći obujam utovarne lopate, to je trajanje jednog ciklusa dulje, ali je veći i učinak zbog veće snage utovarivača u skladu s obujmom utovarne lopate“ (Linarić, 2007.).

3.3.4. Učinak kamiona kiperi i dampera za prijevoz gradiva

„Autoprijevoz sipkih materijala obavlja se vozilima na veće udaljenosti nego što je to tehnički moguće i troškovno isplativo guranjem pomoću dozera ili prijenosom pomoću utovarivača. Najčešće rabljena vozila autoprijevoza pri zemljanim radovima jesu kamioni kiperi i zglobni-damperi“ (Linarić, 2007.)

Kamioni kiperi se koriste za gradilišni i cestovni prijevoz sipkih materijala, za kraće uređene gradilišne prometnice ili dulje javne cestovne prometnice. Pretpostavlja se ciklički rad koji obuhvaća utovar vozila, okretanje i kretanje punog vozila, njegovo namještanje prije istresanja, istresanje, okretanje i povratak praznog vozila te namještanje za ponovni utovar. Bitne karakteristike potrebne za proračun učinka su brzina kretanja koja ovisi o masi korisnog tereta, te vučna snaga vozila (Linarić, 2007.).

Proračun praktičnog učinka prikazan je u nastavku: (prema Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.):

$$U_{praktični} = k_{ispravak} \times U_{teorijski} [m^3/sat]$$

$$k_{ispravak} = k_{opći}$$

$$k_{ispravak} = k_{opći} = k_{organizacija} \times k_{radno\ vrijeme}$$

„Koeficijent ispravka teorijskog učinka vozila autoprijevoza jednak je općem koeficijentu koji ovisi o organizaciji i uvjetima strojnog rada te korištenju radnog vremena stroja. Detaljan proračun općega koeficijenta ispravka dan je u uvodnom dijelu poglavlja. Teorijski učinak vozila autoprijevoza ovisi o broju ciklusa rada u radnom vremenu vozila te količini učinka u jednom ciklusu rada vozila“ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.):

$$U_{teorijski} = n_{ciklus} \times Q_{ciklus}$$

$$n_{ciklus} = \left(\frac{1}{t_{ciklus}} \right)$$

$$t_{ciklus} = t_{utovar} + t_{vožnja\ punog\ vozila} + t_{istovar} + t_{vožnja\ praznog\ vozila} + t_{manevar}$$

$$t_{ciklus} = \frac{Q_{ciklus}}{U_{djelomično\ reducirano, stroj(utovar)}} + \frac{l_{vožnja\ punog\ vozila}}{v_{vožnja\ punog\ vozila}} + t_{istovar} + \frac{l_{vožnja\ praznog\ vozila}}{v_{vožnja\ praznog\ vozila}} + t_{manevar}$$

gdje je:

- t_{ciklus} - trajanje jednog ciklusa rada vozila
- ovisi o trajanju radnih operacija koje obavlja
- t_{utovar} - trajanje punjenja vozila
- $t_{vožnja\ punog\ vozila}$ - trajanje odlaska punog vozila
- $t_{istovar}$ - trajanje pražnjenja vozila
- $t_{vožnja\ praznog\ vozila}$ - trajanje povratka vozila
- $U_{djelomično\ reducirano, stroj(utovar)}$ - djelomično ispravljen teorijski učinak stroja pri utovaru
- $l_{vožnja\ punog\ vozila}$ - duljina vožnje punog vozila
- $v_{vožnja\ punog\ vozila}$ - brzina vožnje punog vozila
- $l_{vožnja\ praznog\ vozila}$ - duljina vožnje praznog vozila
- $v_{vožnja\ praznog\ vozila}$ - brzina vožnje praznog vozila

Količina učinka računa se prema formuli u nastavku:

$$Q_c = k_{punjenje} \times q_{proračun}$$

gdje je:

- $k_{punjenje}$ - koeficijent punjenja
- $q_{proračun}$ - proračunski konstruktivni obujam utovarnog prostora vozila autoprijevoza

Proračun vozila mora zadovoljiti uvjet nosivosti stroja i uvjet volumena. Specifikacija stroja prikazuje njegovu nosivost i konstruktivni obujam. Masa tereta ne smije biti veća od nosivosti stroja jer se time ugrožava sigurnost vozila i njegove okoline. Proračunski konstruktivni obujam ovisi o nosivosti stroja i gustoći materijala koji se prevozi, te se time provjerava maksimalna masa tereta koju stroj ne smije prevesti. Nakon što se provjeri nosivost dokazuje se da dobiveni proračunski obujam nije veći od konstruktivnog obujma utovarnog prostora i time se zadovoljava uvjet volumena. Provjera uvjeta svodi se na dva slučaja (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.):

1. Proračunski obujam veći je od konstruktivnog obujma utovarnog prostora. U tom slučaju, obujam dan specifikacijom stroja, ulazi u daljnji proračun kako vozilo nebi bilo pretovareno. U nastavku slučaj za prijevoz materijala male gustoće:

$$q_{proračun} = \frac{N}{\rho} > q$$

$$q_{proračun} = q$$

2. Proračunski obujam manji je od konstruktivnog obujma utovarnog prostora. Obujam za daljnji proračun je manji, reduciran. Nosivost obujma utovarnog prostora stroja ograničava potpuni utovar. U nastavku slučaj za prijevoz velike gustoće i mase:

$$q_{proračun} = \frac{N}{\rho} < q$$

$$U_{djelomično\ reduciran, stroj(utovar)} = k_{posebni, stroj(utovar)} \times U_{teorijski, stroj(utovar)}$$

gdje je:

- N - nosivost vozila autoprijevoza koja je definirana specifikacijom stroja
- ρ - gustoća materijala koji se prevozi
- q - konstruktivni obujam utovarnog prostora vozila
- $k_{posebni, stroj(utovar)}$ - posebni koeficijent kod izračuna praktičnog učinka stroja koji obavlja utovar u vozilo
- $U_{djelomično\ reduciran, stroj(utovar)}$ - teorijski učinak stroja koji vrši utovar u vozilo

„Kako trajanje utovara ovisi o vrsti utovara, ako je utovar ručni, trajanje se određuje prema normi vremena (učinka) radnika koji obavljaju utovar u vozilo“ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

Vrijeme istovara jednako je trajanju izvrtanja materijala iz vozila. Prosječna brzina vožnje dana je tablično i ovisi o vrsti vozila i nizu pratećih čimbenika (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

Učinak vozila ovisi o mnogo faktora poput udaljenosti pogona, brzini kretanja vozila, trajanja utovara i istovara, materijalu i njegovom konstruktivnom obujmu, organizaciji i uvjetima strojnog rada, korištenju radnog vremena itd. (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

„Mora se završno još istaknuti da postoji razlika između radnog učinka pojedinog učinka pojedinog vozila spram učinka jednog ovzila koje radi unutar grupe vozila. Učinak grupe vozila nije uvijek jednak najvećem mogućem zbroju učinaka pojedinih vozila“ (Linarić, 2007.).

Prilikom prometovanja može doći do pojave redova u kojima se čeka na utovar. Također, ukoliko je prisutan nesrazmjer broja utovarnih sredstava prema broju vozila čime se učinak smanji (Linarić, 2007.).

„Postoji optimalni odnos broja utovarnih sredstava i broja vozila koji međusobno povezani u radu daju najveći mogući učinak kao grupa strojeva i vozila. Optimalni odnos broja utovarnih sredstava i vozila se može shvatiti kao onaj koji omogućava neprekinuti rad utovarnih sredstava i neprekinuti ciklički rad vozila bez njihova čekanja na utovar“ (Linarić, 2007.).

3.3.5. Učinak grejdera za razastiranje i planiranje gradiva

„Grejder je tipični građevinski stroj koji se također koristi, osim za razastiranje i planiranje sipkih gradiva, i za održavanje cestovnih prometnica, iskop jaraka itd.“ (Linarić, 2007.)

Postoji niz metodologija proračuna radnog učinka u ovisnosti o radovima u kojima se primjenjuje. Grejder radi ciklički, te su mu ciklusi nejednoliki (vrijeme odvijanja i duljina rada). Proračun radnog učinka grejdera pri obradi površina dan je u nastavku (Linarić, 2007.):

$$U_{praktični} = k_{ispravak} \times U_{teorijski} [m^3/sat]$$

$$k_{ispravak} = k_{opći} \times k_{posebni}$$

$$k_{opći} = k_{og} \times k_{rv} \times k_{ds}$$

$$k_{posebni} = k_{vm} \times k_{rp}$$

gdje je:

- k_{vm} - koeficijent vlažnosti gradiva
- k_{rp} - koeficijent radnog prostora

„Teorijski učinak grejdera ovisi o brzini kretanja grejdera, radnoj širini zahvata daske grejdera, širini preklopa te broju prijelaza grejdera. Proračunava se prema sljedećoj formuli“ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.):

$$U_{teorijski, grejder} = \frac{v \times (l_{efektivna\ radna\ širina\ zahvata\ daske} - l_{preklop}) \times 1000}{n}$$

gdje je:

- v - prosječna brzina kretanja
- $l_{efektivna\ radna\ širina\ zahvata\ daske}$ - efektivna radna širina zahvata daske
- $l_{preklop}$ - širina preklopa radnih površina koje grejder zahvaća efektivnom radnom širinom daske (max. 50cm)
- n - broj prijelaza grejdera

$$n = \frac{l_{ukupna\ širina\ dionice\ rada}}{l_{efektivna\ radna\ širina\ zahvata\ daske} - l_{preklop}} \times n_l, \text{ efektivna radna širina zahvata daske}$$

Vrijeme rada grejdera t [h] na duljoj dionici L [km] prilikom jednog ili višekratnog prolaza n određene brzine v [km/h] računa se na sljedeći način (Linarić, 2007.):

$$t = \frac{n \times L}{v \times k_i}$$

Učinak grejdera ovisi o brzini njegova rada, širini zahvata daske, broj prijelaza, materijalu s kojim radi, radnom prostoru, te starosti stroja, uvjetima strojnog rada i korištenju radnog vremena. Veća brzina i širina rada povećavaju učinak, a broj prijelaza ga smanjuje (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

3.3.6. Učinak valjka za sabijanje gradiva

„Samohodni valjak, kao građevinski stroj za sabijanje nasutih slojeva od zemljanih i kamenih sipkih gradiva, u načelu radi ciklički. Međutim, ti su ciklusi uglavnom nejednoliki i što se tiče vremena odvijanja i što se tiče duljine dionice koja se valja“ (Linarić, 2007.).

Teorijski učinak se računa na pretpostavci kontinuiranog rada (Linarić, 2007.):

$$U_{praktični} = k_{ispravak} \times U_{teorijski} [m^3/sat]$$

$$k_{ispravak} = k_{opći} \times k_{posebni}$$

$$k_{opći} = k_{og} \times k_{rv} \times k_{ds}$$

$$k_{posebni} = k_{rp}$$

$$U_t = \frac{v \times l_{valjanje} \times h \times 1000}{n}$$

gdje je:

- k_{rp} - koeficijent radnog prostora
- $l_{valjanje}$ - širina valjanja
„Širina valjanja jednaka je, za širinu preklopa, umanjenoj konstruktivnoj širini valjka“ (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.):

$$l_{valjanje} = l_{valjak} - l_{preklop}$$

- h - visina sloja zbijanja koja je propisana ili se dobije u pokusnom polju
- n - broj prijelaza valjka koji je propisan ili se dobije u pokusnom polju

Učinak valjka ovisi o brzini kretanja valjka, širini valjanja, visini sloja zbijanja, broju prijelaza valjka, radnom prostoru u kojemu radi, starosti stroja, uvjetima strojnog rada, i korištenju radnog vremena. Učinak je veći što je veća brzina valjanja, širina valjanja te visina sloja zbijanja, dok ga veći broj prijelaza smanjuje (Vukomanović, Kolarić, Radujković, 2018.).

„U načelu se ne preporuča proračun učinaka valjka prethodno prikazanim pristupom. Naime, pretpostavka mogućih parametara u razmjerno širokom rasponu daje vrijednosti radnih učinaka valjka u još širem rasponu. Preporuča se korištenje priručnika proizvođača opreme za zbijanje u kojima se mogu naći norme radnih učinaka valjka koje uzimaju u obzir sve odgovarajuće čimbenike koji utječu na njegov učinak“ (Linarić, 2007.).

3.4. Učinak flote građevinskih strojeva kod masovnih zemljanih radova

Flota strojeva u građevinskoj industriji obuhvaća skup različitih tipova strojeva koji se koriste za realizaciju projekata. S obzirom na kompleksnost izvođenja masovnih zemljanih radova, neophodno je implementirati strategije koje će omogućiti optimizaciju procesa te povećanje operativne učinkovitosti. Cilj ovih mjera je minimiziranje troškova uz istovremeno unapređenje ukupne produktivnosti. Kako bi se to ostvarilo, pri izboru izvođača radova, potrebno je posebnu pozornost obratiti na flotu strojeva koju posjeduju, jer male razlike u učincima, troškovima i vremenu rada, značajno utječu na izvođenje samog projekta kad su masovni zemljani radovi u pitanju.

Mjere za povećanje učinka građevinskih strojeva (Vidaković, 2017.):

- izbor optimalnih strojeva
- priprema i planiranje rada (broj i prostorni raspored strojeva, usklađenost učinka strojeva koji djeluju povezani, put djelovanja strojeva koji se kreću pri radu, rezerva učinka u skladu s težinom uvjeta rada)
- odgovarajuća priprema terena za rad strojeva
- osiguranje redovite opskrbe potrebnom energijom i pomoćnim materijalima za rad
- izbor i obuka radnika koji rade sa strojevima te njihova motivacija
- pravovremeno preventivno održavanje
- praćenje rada

Flota strojeva, tvrtke specijalizirane za masovne zemljane radove, sastoji se od strojeva koji pokrivaju sve dijelove procesa pripremnih radova. Bager vrši iskop zemljanog materijala i prenosi ga u transportne strojeve poput kamiona kiperera. Prema izvještaju Off Highway Researcha više od 20% građevinske opreme otpada na bagere. Za iskop se također koriste strojevi poput dozera i skrejpera. Dozeri su visokoproduktivni strojevi koji se najčešće koriste za površinski iskop na ravnom i širokom području i rade zajedno s ostalim strojevima za iskop i utovar. Skrejper se koristi za radove gdje se istodobno obavlja pet različitih vrsta radova. Najčešće rade u skupini 3-5 strojeva (4 skrejpera, 1 gurač), te se za veću brzinu kombinira s dozerom. (Ćoruša, 2018.)

Grejder služi za radove poput skidanja humusa, poravnanje zemljanih materijala itd. Damper je građevinski stroj koji služi za prijevoz i istovar materijala. Za razliku od kamiona kiperera, vozi na manjim udaljenostima po gradilištu. Kamion kiper najčešće je korišten stroj za prijevoz znatnih količina materijala na veće udaljenosti. Dobro funkcionira u kombinaciji sa svim strojevima za utovar. Valjak je građevinski stroj koji se koristi za zbijanje tla i najučinkovitiji je za tu vrstu radova.

Pojam flote strojeva orijentiran je na optimizaciju učinaka strojeva koji ciklički obavljaju svoj posao i rade u radnim grupama. Optimizacija je od izrazite važnosti za povećanje produktivnosti, učinkovitosti, smanjenje troškova i kvalitetu obavljenog rada. Kada se strojevi optimiziraju za rad u ciklusima, smanjuje se vrijeme neophodno za jedan ciklus, čime se povećava količina obavljenog rada u jednakom vremenskom intervalu. Također optimizacija utječe na eliminaciju zastoja i bolju iskoristivost resursa.

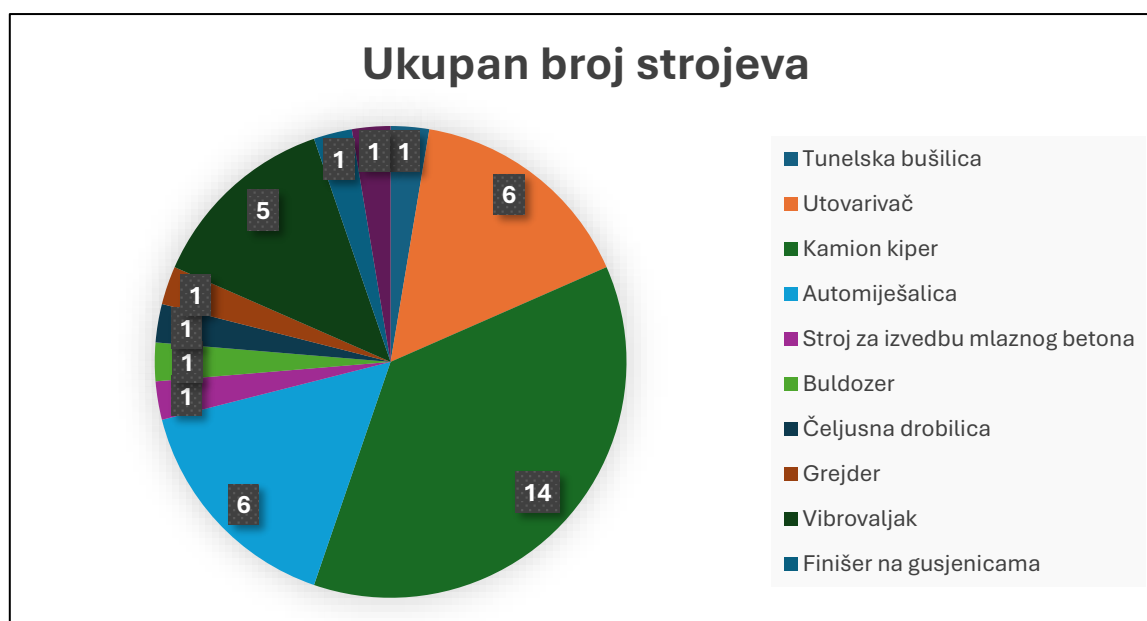
Osnovni proračun učinka za pojedino vozilo računa se na jednak način kod svih radova, uzeći u obzir prateće koeficijente. Razlika kod proračuna flote je u tome da se slažu kombinacije strojeva kako bi se pronašla idealna kombinacija. Za analizu usklađenog rada određenih strojeva za masovne zemljane radove, potrebno je izvršiti izračun vremena trajanja radova, izračun cijene te učinke pojedinih kombinacija strojeva. Sukladno tome, odabire se optimalna kombinacija strojeva koji zajednički obavljaju posao. Optimalna kombinacija bila bi ona koja daje maksimalnu učinkovitost grupe strojeva uz minimalne troškove, gdje se rad obavlja kontinuirano bez praznog hoda. Određene moderne tehnologije mogu znatno unaprijediti strojeve i njihov rad. Masovne zemljane radove vrše strojevi čiji je rad ciklički, no uz korištenje

novih tehnologija taj rad se može približiti kontinuiranom radu tj. pogonu. Minimizira se prazan hod, pa se važnost stavlja na ciklus cijele flote umjesto ciklusa određenog stroja.

Na primjer, ukoliko bager i kamion kiper rade zajedno. Za početak se uzima najpovoljniji bager prisutan u floti strojeva te se prema tome proračunava potreban broj kamiona kiperera. Analiza se vrši tako da se za odabrani bager proračunava teorijski učinak, praktični učinak, dnevni učinak te vrijeme potrebno za utovar. Uzima se više vrsta kamiona kiperera te se za njih provode proračuni vremena utovara, vrijeme vožnje punog kamiona, vrijeme istovara s manevrom, vrijeme povratka te ukupno vrijeme ciklusa vožnje. Pomoću ukupnog vremena ciklusa vožnje i vremena utovara izračunava se potrebna količina kamiona. Daljnja analiza vrši se obrnuto, na način da se u proračun uzima više vrsta bagera s jednim kamionom kiperom. Za kraj analize rade se grafovi dobivenih vrijednosti te se odabire optimalna kombinacija strojeva. Konačni odabir strojeva uglavnom ovisi o strojevima koji su na raspolaganju tvrtki koja izvodi radove. (Nasutović, 2016.)

3.4.1 Primjer usklađivanja flote strojeva prilikom izvedbe ceste i tunela

Prema istraživanju (Čović, 2018.) usklađivanja rada strojeva prilikom izgradnje ceste dužine 5,0 km uz probijanje tunela dužine 1,0 km, prikazan je dijagram koji opisuje koji su strojevi i u kojoj količini korišteni. Vidljivo je da je najveća potreba za kamionom kiperom, dok je najmanja potreba za valjkom. Za probijanje tunela korištena je grupa strojeva koja uključuje 1 tunelsku bušilicu, 3 kamiona kiperera i 1 utovarivač. Kod izrade nasipa grupa se sastojala od 1 utovarivača i 3 kamiona kiperera. Na deponiji, na kojoj se obavljalo drobljenje kamena, korištena je grupa od 1 čeljusne drobilice i 3 utovarivača. Za utovar i dovoz materijala na gradilište korištena je grupa od 1 utovarivača i 3 kamiona kiperera, a za izradu posteljice 1 grejder i 4 vibrovaljka. Kod izvedbe asfalta korišteno je 5 kamiona kiperera, 1 finišer i 1 valjak.



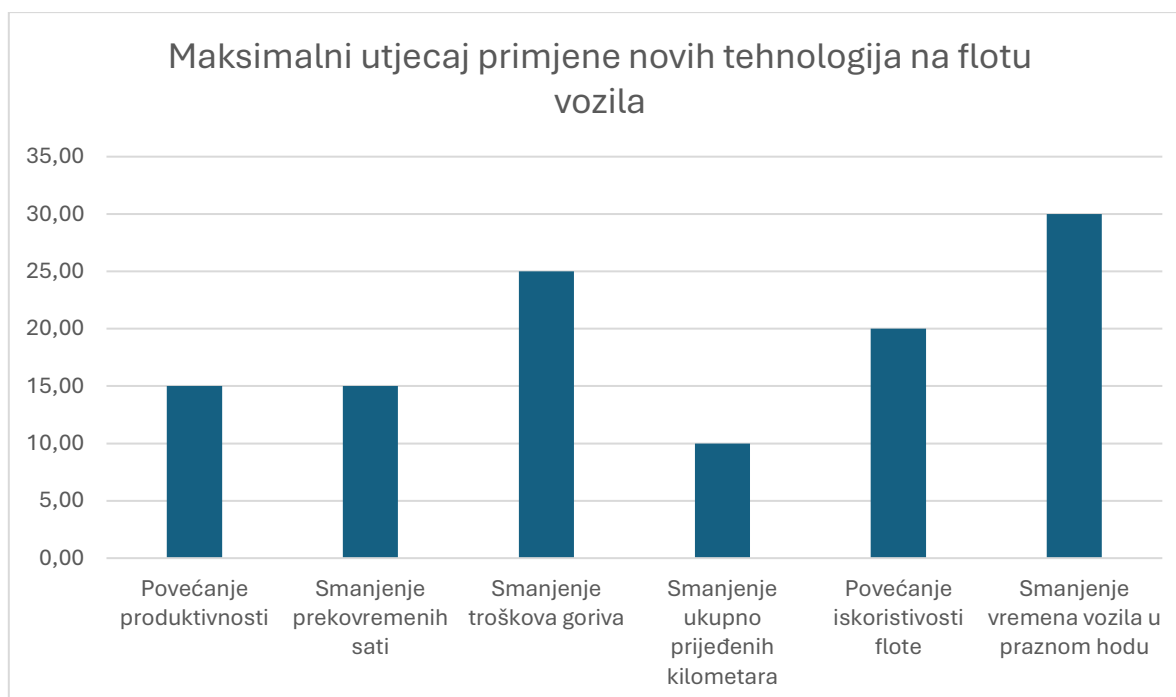
Grafikon 1.: Prikaz ukupnog broja strojeva (Čović, 2018.)

Problematika troškova flote vozila, koju inovacije nastoje unaprijediti, očitava se u pogledu troškova goriva, plaće zaposlenika, amortizacije, osiguranja, održavanja i dr. Utjecaj koji određeni troškovi imaju na ukupni trošak flote prikazan je u nastavku. (Markota, 2020.)



Grafikon 2.: Sastav tipičnih troškova voznog parka (prema Comparesoft, 2020.)

U konačnici, dobrobiti za vlasnike voznog parka očitavaju se u obliku povećanja produktivnosti, smanjenja prekovremenih sati, smanjenju troškova goriva, smanjenja ukupno prijeđenih kilometara, povećanju iskoristivosti flote te smanjenju vremena vozila u praznom hodu.



Grafikon 3.: Maksimalni utjecaj primjene novih tehnologija na flotu vozila (prema istraživanju Frost & Sullivan, 2017. iz Škabić, 2018.)

Postizanje većeg učinka dovodi do manjih troškova i kraćeg vremena izvođenja što je posebno važno kod velikih projekata koji zahtjevaju masivne zemljane radove jer se time značajno smanjuje trošak cijelog projekta. Za pouzdano planiranje izvođenja projekata potrebno je uzeti u obzir parametre kao što su tehničke karakteristike strojeva, iskustvo radnika, njihov umor i zdravstveno stanje, kao i utjecaj vremenskih uvjeta. S obzirom na stalni rast potreba za unapređenjem rezultata što uključuje praćenje i nadzor voznog parka u svakom trenutku rada, ključno je istraživati nove tehnologije i softverska rješenja koja značajno doprinose optimizaciji radnih procesa. Cilj je bolje iskorištavanje građevinske mehanizacije te bolji protok informacija. Važno je napomenuti kako process unaprijeđenja rada nije jednostavan posao i uključuje razna istraživanja kako bi se flota dodatno mogla optimizirati. Jedan od načina dobre optimizacije bio bi upotreba novih tehnologija kojima je cilj pretvoriti ciklički rad u kontinuiran rad grupe tj. Optimiziran rad slijeda građevinskih strojeva prilikom izvedbe masovnih zemljanih radova.

4. MOBILNE TEHNOLOGIJE I SOFTVERSKA RJEŠENJA KOD FLOTE GRAĐEVINSKIH STROJEVA

4.0. Tehnologije u građevinarstvu

Troškovi rada strojeva i mehanizama u izvedbi građevinskih radova zauzimaju veliki dio ukupnih troškova izgradnje objekta. Nastoji se smanjiti troškove rada flote vozila i povećati razinu uštede energije u građevinarstvu. Za postizanje ovih ciljeva predlaže se primjena suvremenih metoda organiziranja i izvođenja radova, korištenje visokotehnološke građevinske opreme, kao i formiranje optimalnog mehanizacijskog kompleksa građevinskih radova. Kriterij optimizacije je trošak rada i produktivnost. (Prochorov, 2018.)

Na procese zemljanih radova utječe širok raspon čimbenika, uključujući promjenjivo tlo i vremenske uvjete, čimbenike povezane sa strojevima, prometne uvjete, lokalna ograničenja gradilišta i druge. Dampéri i buldožeri su strojevi koji imaju tešku opremu i zahtijevaju optimizaciju njihove operativne učinkovitosti. S obzirom na dinamičnu prirodu gradilišta i promjenjive uvjete mogu dovesti do poremećaja procesa poput potpunih ograničenja na cestama gradilišta ili značajnog usporavanja. (Krichbach, Aziz, Tezel, 2015.)

U kontekstu složenih zemljanih radova, gdje nekoliko timova istodobno radi na različitim ciljevima, globalno optimizirane operacije trebale bi koordinirati radnje više timova opreme kako bi se uklonio manjak produktivnosti od organizacijskog, logističkog i operativnog upravljanja. (Vahdatikhaki, Hammad, Langari, 2015.)

U poglavljima 2 i 3 objašnjeni su masovni zemljani radovi i učinci strojeva koji izvršavaju te radove. Naglasak je stavljen na flotu strojeva koja se sastoji od uobičajenih strojeva koji svoj

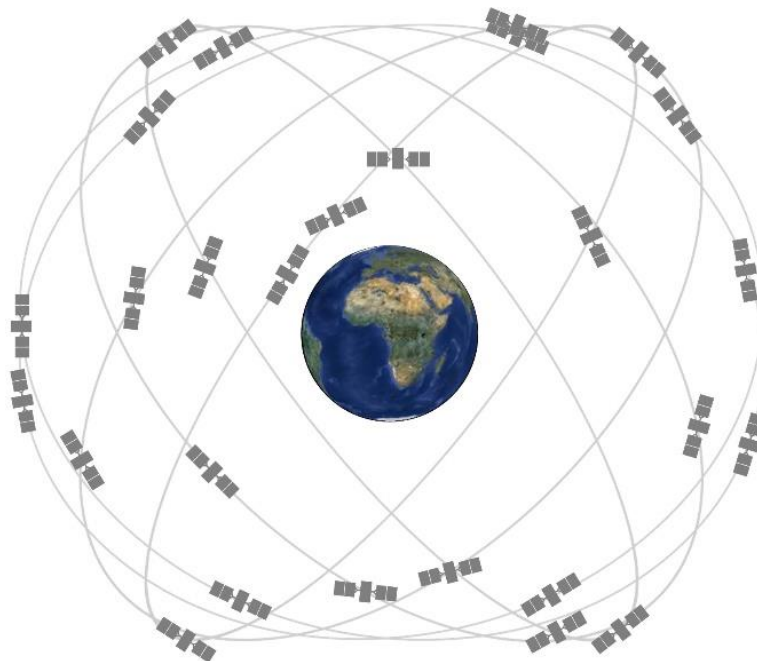
ciklički rad izvršavaju u dobro usklađenim grupama. S obzirom na to da je sam koncept rada grupe kompleksan i zahtijeva dobru logističku podršku, potrebno je unaprijediti i olakšati cijeli proces izvedbe radova i učinke građevinskih strojeva. Kako bi se to postiglo potrebno je uvesti određene moderne tehnologije koje pomažu u optimizaciji cijelog procesa. U ovom radu bit će prikazano 6 vrsta tehnologija. GPS, GIS, RFID, IoT i laseri najčešće se primjenjuju u građevini. Bespilotni transport je inovacija koja je i dalje u fazi istraživanja i unaprijeđenja, te daje privid onoga kako bi građevina u budućnosti mogla izgledati.

4.0.1. GPS

Global Positioning System (GPS) je mreža satelita koji kontinuirano odašilje kodirane informacije, pomoću kojih je omogućeno precizno određivanje položaja. Ima raznovrsnu primjenu na kopnu, moru i u zraku. Osim za navigaciju, služi kao dnevnik trase gdje bilježi svaku točku putovanja. Sastoji se od tri glavna segmenta (Hrvatsko kartografsko društvo):

- Svemirski segment
 - 24 orbitirajuća satelita: šest ravnina po četiri satelita
- Kontrolni segment
 - kontrolne stanice, matične kontrolne stanice, zemaljske antene koje upravljaju satelitima i prate njihov rad preciznim mjerenjima
- Korisnički segment
 - GPS prijemnici i odašiljači

Mnoge tvrtke pružaju usluge GPS praćenja građevinskih strojeva kao što su EcoMobile fleet, GPS Nadzor, Hrvatski telekom itd.

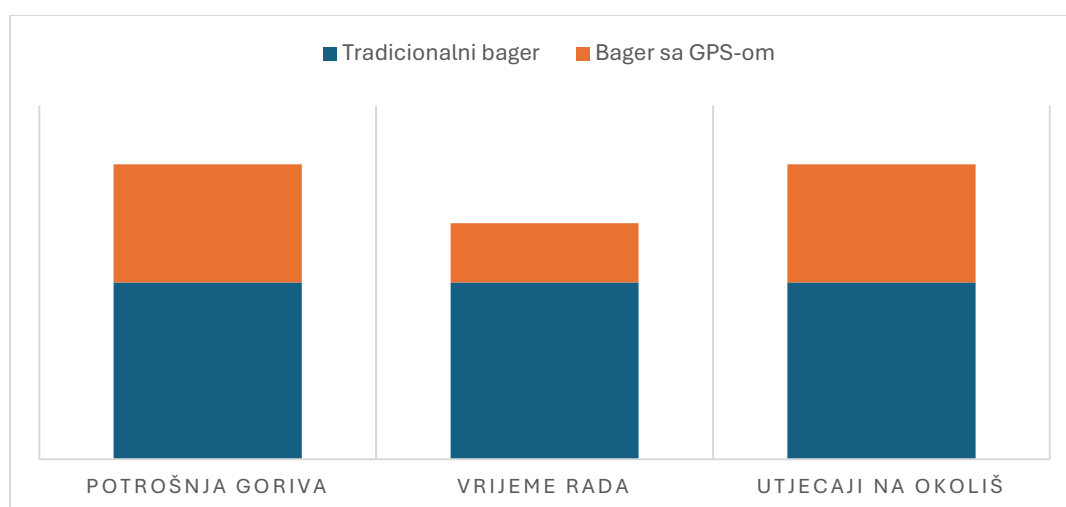


Slika 3.: Konstelacija satelita GPS sustava

U zemljanim radovima, gdje se koriste teški strojevi, dolazi do pitanja pravovremenog završetka projekta. Radno okruženje osjetljivo je na promjene i okolnosti koje bi mogle utjecati na projekt, kako u pogledu troškova, tako u pogledu rasporeda. Kako bi projekt mogao ići planiranim tokom, uvodi se GPS sustav koji prikuplja podatke u stvarnom vremenu. U vozila se ugrađuju uređaji kako bi ih se moglo pratiti u svakom trenu. Sustav omogućava usmjeravanje operacije, dodjeljivanje zadataka i planiranje putanje opreme. (Vahdatikhaki, Hammad, Langari, 2015.)

Mjerenje stvarne produktivnosti (mjereni učinak U_m) zemljanih radova također je složen zadatak. Ručno mjerenje oduzima puno vremena i nije nužno točno stoga se priseže za GPS sustavom koji pomaže u mjerenju učinka. Tehnologija integrira GPS i teoriju neizrazitog skupa kao alternativnu učinkovitu metodologiju za mjerenje stvarne produktivnosti na licu mjesta tijekom faze izvođenja radova. Razvijena metodologija kombinira GPS podatke koji se prikupljaju u gotovo stvarnom vremenu, teoriju neizrazitih skupova i Google Earth. Dokazano je da spomenuta metodologija može dati točnu procjenu stvarne produktivnosti na licu mjesta. GPS daje obilje informacija za praćenje operacija zemljanih radova. Prikupljeni podaci odnose se na vrijeme, brzinu, smjer, geografsku širinu, dužinu, koordinate, nadmorsku visinu. Iz GPS podataka može se generirati profil ceste, odrediti vrijeme mirovanja, izvlačenja i vremena manevriranja kamiona koji se prati. (Alshibani, 2018.)

Izvedena je studija u kojoj su se uspoređivala dva slična hidraulička bagera: tradicionalni bager i bager u koji je ugrađen GPS sustav. Oba stroja su nadzirana radi rada kojeg obavljaju. Rad je uključivao premještanje velikih masa zemlje i završnu obradu. Usporedba se vršila u odnosu na postignuti učinak i točnost te njihov utjecaj na okoliš. Praćenjem je istaknuta činjenica da je bager opremljen GPS-om u potpunosti u skladu sa zahtjevima točnosti za zemljane radove. Korištenje GPS tehnologije rezultira smanjenjem potrošnje goriva za 1/3 odnosno 2/3 vremena završenog rada. To pridonosi smanjenju potencijalnih utjecaja na okoliš u pogledu globalnog zatopljenja, zakiseljavanja i fotokemijskog ozona. (Capony, Lorino i ostali, 2012.)



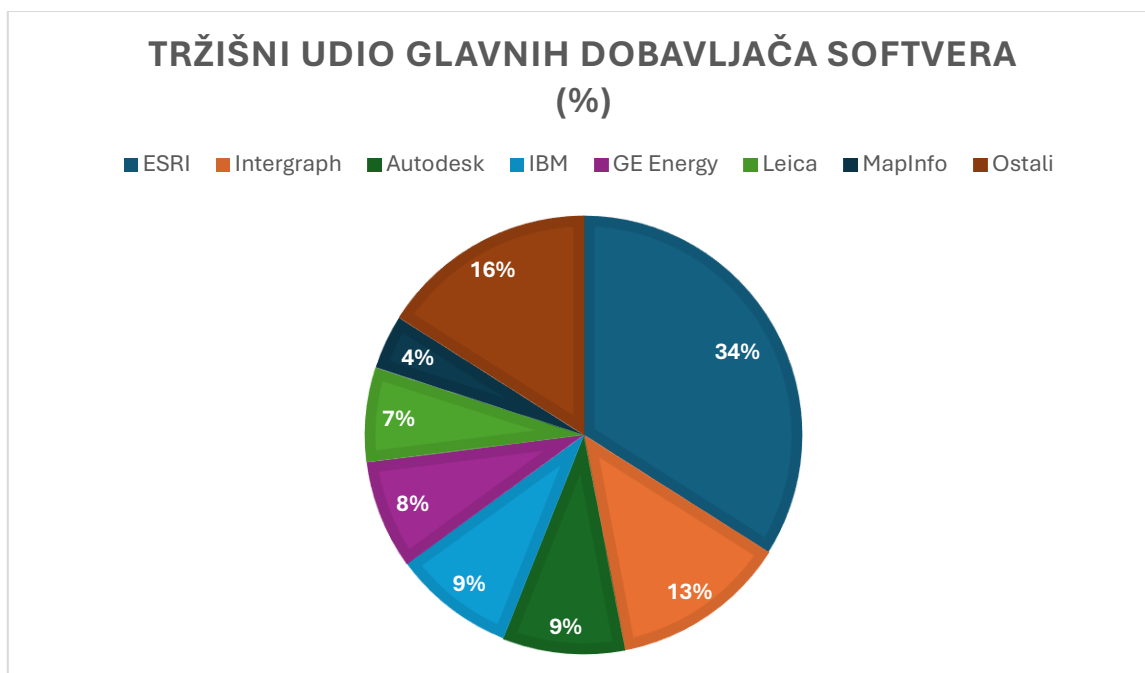
Grafikon 4.: Utjecaj GPS-a na učinak rad bagera (prema Capony, Lorino i ostali, 2012.)

4.0.2. GIS

„Geoinformacijski sustav (GIS) je informatički i računalni sustav za prikupljanje, pohranu, pretraživanje, analiziranje i prikazivanje podataka koji se odnose na određeno geografsko područje. Osnovu toga sustava tvori baza podataka u kojoj se u slojevima pohranjuju raznorodni podatci povezani zajedničkim mjerilom i koordinatnim sustavom, npr. podaci o topološkim značajkama reljefa, izgrađenim objektima, stanovništvu, raširenosti biljnoga pokrova, geološkim karakteristikama tla“ (Hrvatska enciklopedija).

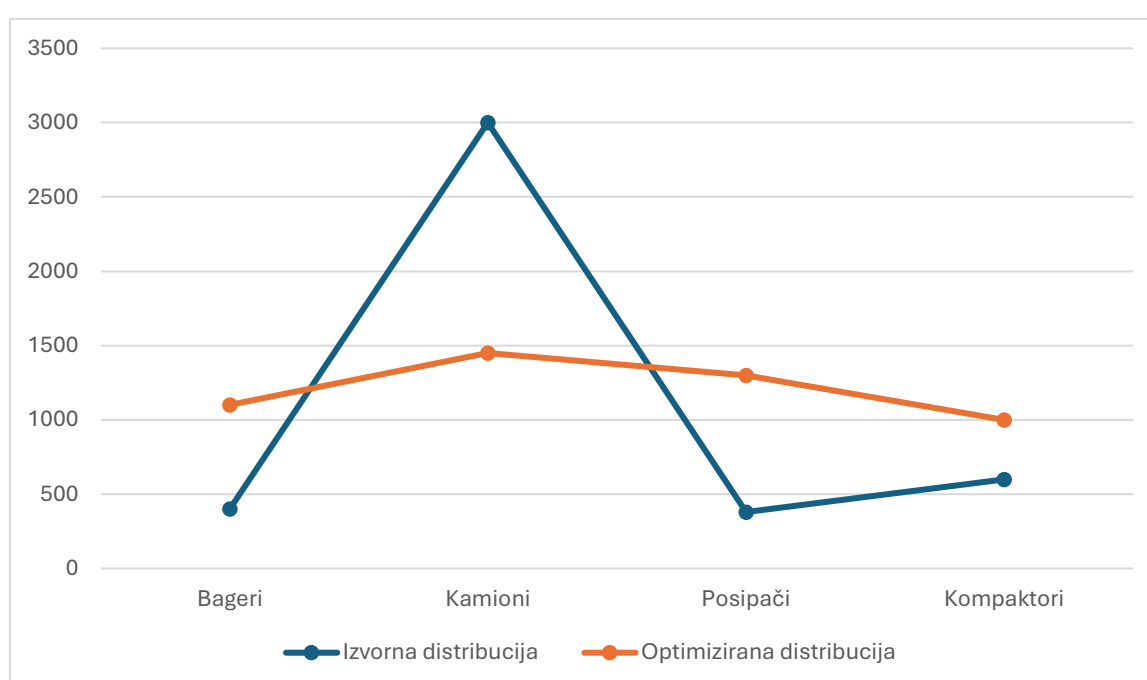
Osnovni cilj je pomoć kod odabira odluka temeljenih na prostornim podacima. Podaci mogu biti prostorni i neprostorni. Pod prostorne podatke spadaju karte, fotografije, videografija i adrese. Neprostorni podatci uključuju dijagrame, slike, filmove i financijske podatke. Sustavi su ograničeni na dvije dimenzije: širinu i dužinu. Postoji više vrsta GIS aplikacija: projektne, institucionalne i one koje se nalaze u vladinim agencijama. GIS aplikacije u praksi se koriste za proučavanje umjetnih ili prirodnih fenomena uz postavljanje katastarskih podataka. Također se koriste u područjima proučavanja ljudske aktivnosti na okoliš. Sustav uključuje karte i baze podataka koje omogućavaju pohranu znatne količine podataka i manipuliranje istima. Baza podataka predstavlja softverski paket koji služi pohrani i manipuliranju podataka. Pri većim projektima obrađuju se podaci u prostornu bazu podataka. „Osnovne komponente GIS-a su podaci, hardver, softver, ljudi te metode i pristupi organizacije u kojoj GIS funkcionira“ (Prižmić, 2019.).

GIS tržište je konkurentno, te se u nastavku prikazuje tržišni udio dobavljača tog softvera.



Grafikon 5.: Tržišni udio glavnih dobavljača softvera (prema Longley et al, 2005.)

GIS pruža jednostavnu metodu za proučavanje mogućih putanja transportne opreme na gradilištu, što u konačnici omogućuje izbor najboljih puteva za poboljšanje tijeka rada. Informacije se mogu prenijeti u softver, u obliku matrice troškova ishodište-odredište, koji pokušava pronaći optimalno rješenje za problem raspodjele resursa u smislu najboljeg mogućeg voznog parka opreme i njezine optimalne raspodjele na radnom području. Svrha sustava optimizacije nije samo određivanje rješenja koje minimizira troškove i vrijeme za cijeli proces rada, već također jamči viši stupanj održivosti. U istraživanju slučaja korištenja podataka iz stvarnog svijeta, veliki učinak bi se postigao implementacijom sustava. Rezultati su pokazali smanjenje troškova i trajanja izgradnje za 50-70%. Resursi se koriste maksimalnim kapacitetom, dok se sprječava vrijeme mirovanja. (Parente, Gomes Correia, Cortez, 2016.)



Grafikon 6.: Odnos izvorne i optimizirane distribucije na učinak strojeva (prema Parente i ostali, 2016.)

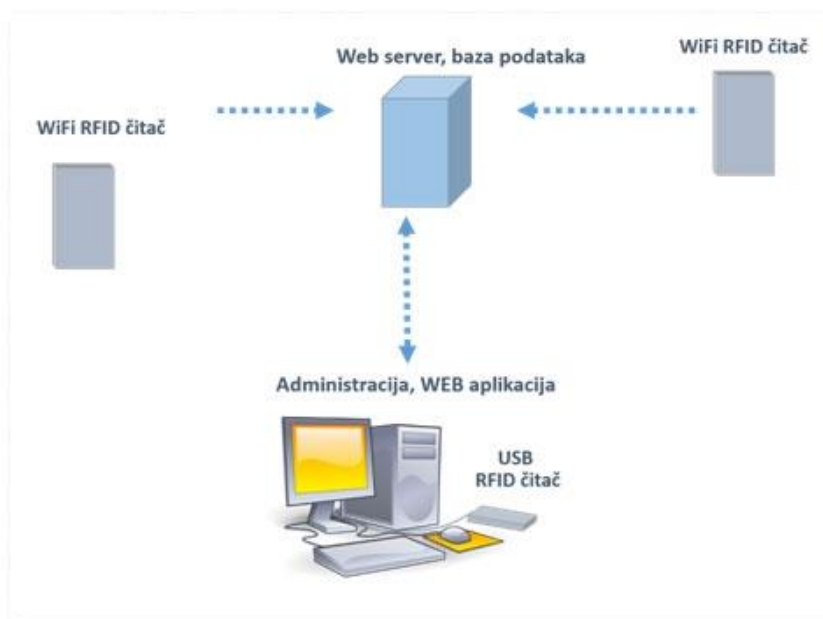
Istraživanje koje su proveli Parente i suradnici 2016. godine ukazalo je na to da se GIS najčešće koristi za identifikaciju fizičkih karakteristika gradilišta, što posluži kao osnova za odabir odgovarajuće flote strojeva. Ova tehnologija posebno pomaže u pronalaženju najefikasnijih transportnih ruta te u analizi učinka transportnih vozila. Na temelju tih informacija vjerojatno se određuju potrebni kapaciteti za transportna vozila, a također se optimiziraju procesi iskopavanja, utovara i, naposljetku, zbijanja tla.

4.0.3. RFID

Radio Frequency Identification Devices (RFID) ili radiofrekvencijska identifikacija je tehnologija koja koristi radio valove kako bi automatski identificirala objekte. Komunikacija se temelji na stvaranju elektromagnetskih valova u odašiljačima i njihovom otkrivanju na udaljenom

prijamniku. Podaci se pohranjuju na mikročip koji zajedno s antenom čini transponder. Transponderi se mogu podijeliti prema:

- načinu napajanja
 - aktivni
 - djelomično aktivni
 - pasivni
- mogućnosti programiranja
 - moguće ih je samo čitati
 - omogućuju jednostruko programiranje
 - omogućuju višestruko programiranje
- korištenim frekvencijama
 - niske
 - visoke
 - ultra visoke
 - mikrovalne
- fizičkoj izvedbi
 - etikete
 - naljepnice
 - tiskane pločice



Slika 4.: Osnovna shema RFID sustava (proizvodi.ferit.hr)

RFID čitači komuniciraju s transponderima i prenose podatke na računalo gdje se obavlja daljnja obrada. Sastoje se od antene i upravljačkog uređaja. Stalno su aktivni, odašiljući energiju radio signalom u potrazi za transponderima koji im ulaze u domet.

Pozadinsko računalo provjerava nalazi li se očitani brojevi na listi brojeva kojima je dozvoljen pristup određenom području i može pokrenuti postupak otključavanja vrata. (CARNET CERT, LS&S, 2007.)

Iz istraživanja (Lu et al, 2011.) primjene RFID tehnologije u upravljanju materijalom, ljudima i opremom na gradilištima, zaključeno je kako RFID tehnologija ima slabu samostalnu primjenu. Nalazi u vezi s opremom na licu mjesta uključivali su potencijalne primjene u praćenju opreme i alata, sustave dozvola za rad, opreme i evidenciju održavanja opreme. Preporučena je poboljšana distribucija njihovih prednosti i integracija s drugim digitalnim dostignućima. (Kessem, Mohamad i ostali, 2021.)

Montaser i Moselhi (2012.) predstavili su metodologiju za procjenu produktivnosti građevinskih strojeva korištenjem RFID tehnologije. Svrha metodologije je rano otkrivanje odstupanja između planiranog i stvarnog izvođenja radova što je ustvari razlika između proračunatog praktičnog učinka U_p i mjenjenog učinka U_m . Primijenili su svoje istraživanje na kamione kiperne korištenjem pasivne oznake i dva čitača. Jedan čitač postavljen je na utovarnom prostoru i služio je za mjerenje vremena potrebnog za punjenje praznih sanduka kamiona kiperne. Drugi čitač bio je postavljen na odlagalištu i služio je za mjerenje vremena za pražnjenje. Čitači su primali signale pasivne oznake kiperne dok je kiper bio u blizini čitača na udaljenosti od nekoliko metara. Maksimalni domet prijenosa radiovalova korištene RFID oznake i njezine komunikacije sa čitačem dogodio se unutar radijusa od tri metra. Tijekom vremena potrebnog da puni kiper stigne na odredište i vremena potrebnog za se vrati prazan, čitači nisu primali signale. Vrijeme ciklusa izračunato je kroz snimanje pet događaja putem čitača. Izračunom ciklusa može se postići procjena produktivnosti građevinskih strojeva.

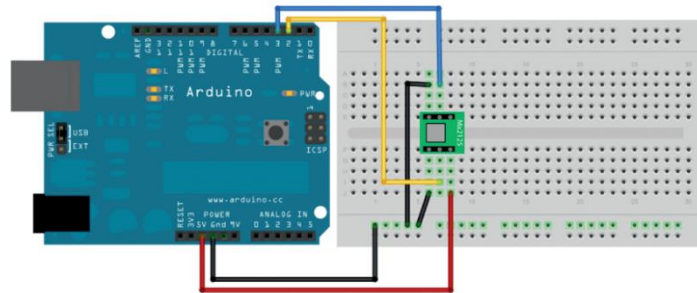
4.0.4. IOT

Internet of things (IOT) obuhvaća upotrebu senzora koji su spojeni s internetom. „IOT uređaji prikupljaju podatke o aktivnostima, radovima i uvjetima na gradilištu, a zatim te podatke šalju u središnju bazu podataka gdje se oni analiziraju i stvaraju temelj za buduće odluke“. Postavljaju se na gradilište, određeno mjesto ili ih radnici nose sa sobom. Senzori se mogu nadograditi čipom. Omogućavaju veliku razinu sigurnosti, bolje upravljanje resursima, učinkovitije izvješćivanje i održavanje, smanjene troškove i preciznost. Kod građevinskih strojeva, senzori mogu prepoznati neobične vibracije koje mogu ukazivati na potencijalan problem. No, kako bi senzori ostvarili u potpunosti svoju svrhu, potrebno je steći znanja o njihovom korištenju. (Plan Radar, 2020.)

IOT omogućuje pametnim uređajima da komuniciraju međusobno i s drugim uređajima koji imaju pristup internetu. Poput pametnih telefona i pristupnika, stvaraju mrežu međusobno povezanih uređaja koji mogu razmjenjivati podatke i obavljati različite zadatke. IoT uređaji koriste se za praćenje širokog raspona parametara kao što su temperatura, vlažnost, kvaliteta zraka, potrošnja energije i rad stroja. Podaci se mogu analizirati u stvarnom vremenu kako bi

se postigla optimizacija izvođenja radova. Da bi se omogućio rad IoT spajaju se određene tehnologije poput (ibm.com):

- senzori i aktuatori
 - senzori otkrivaju promjene u okolini poput temperature, vlažnosti, svjetla, kretanja ili tlaka



Slika 5.: Primjer senzora temperature i vlage (VIDILAB)

- aktuatori mogu uzrokovati fizičke promjene u okolini, poput paljenja motora stroja
- rade na rješavanju problema bez ljudske intervencije
- tehnologije povezivanja: wifi, bluetooth, mobilna mreža, Zigbee, LoRaWAN
 - za prijenos podataka potrebna je povezanost uređaja na internet
- računalstvo u oblaku
 - oblak služi pohrani i analizi podataka, pruža infrastrukturu i alate koji su za to potrebni
- analitika velikih podataka
 - kako bi se velika količina podataka mogla pohraniti i obraditi potrebno je koristiti napredne alate za uvid i prepoznavanje obrazaca
- tehnologije sigurnosti i privatnosti
 - enkripcija, kontrola pristupa, sustav za otkrivanje hakerskih upada

LPWAN (eng. *Low-power Wide-area Network*) je najbrže rastuća tehnologija u IoT-u. To je vrsta bežične tehnologije koja uz minimalnu snagu omogućava prijenos male količine podataka na velikim udaljenostima. Karakteristična je po tome što ne treba mobilnu mrežu za korištenje. LoRaWAN (eng. *Long Range Wide Area Network*) je tehnologija razvijena za baterijske napajane bežične uređaje koja dvosmjerno prenosi male količine podataka na velikim udaljenostima. Prednost ove tehnologije očitava se u velikom području pokrivanja signalom, niskoj potrošnji energije i izvrsnoj penetraciji radijskog signala te visokom stupnju sigurnosti. Implementacija mreže zahtjeva uređaje niske potrošnje, odnosno senzore ugrađene u flote vozila, koji šalju podatke prema koncentratorima koji ih prosljeđuju na mrežne poslužitelje.

Sigfox je mreža poput LPWAN tehnologije koja se ističe svojim dometom pokrivenosti. IoT se sastoji od brojnih komunikacijskih tehnologija koje bi u budućnosti mogle postati vodeće tehnologije za povezivanje zbog svojih značajki u pogledu udaljenosti prijenosa i potrošnje energije krajnjeg uređaja. (Markota, 2020.)

Upravljanje IoT uređajima složen je zadatak, stoga je potrebno dobro isplanirati strategiju prije implementacije uređaja. Odabrati sigurne proizvode, pratiti i održavati uređaje, te učinkovito upravljati podacima.

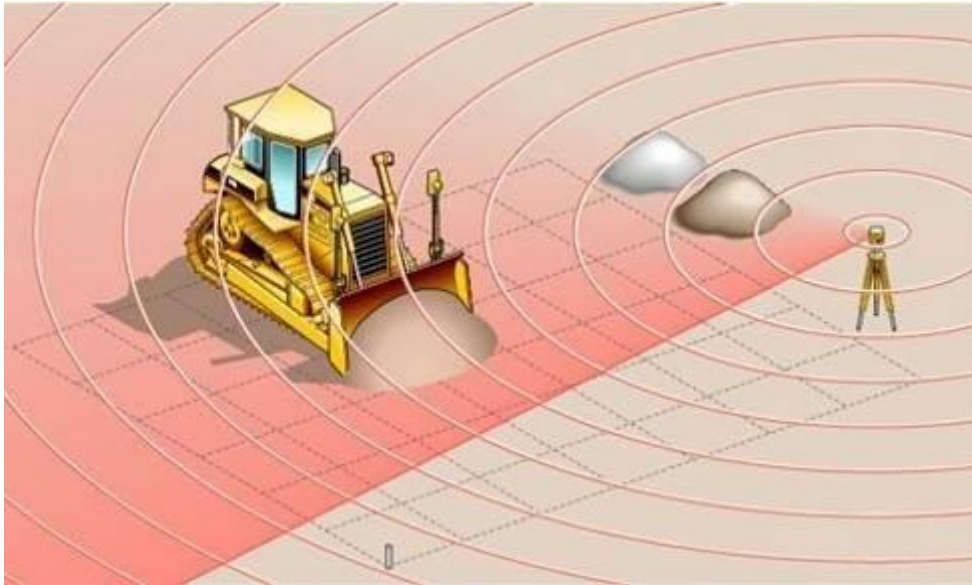
IoT sustavi primjenjuju se za automatizaciju sustava kontrole i kvalitete, nadzor gradilišta, deponija, daljinsko upravljanje strojevima, nadzor opreme ili upravljanje i kontrola udaljenih radova. Kod flote vozila senzorski se prate vozači, vozila te druge komponente voznog parka. Unutar IoT razvijene su tehnologije koje omogućavaju praćenje i upravljanje flotom u zatvorenim, udaljenim i podzemnim područjima bez korištenja mobilnih mreža. (Markota, 2020.)

4.0.5. Laseri

Laser je pojačanje svjetlosti pomoću stimulirane emisije zračenja; izvor i pojačalo vrlo usmjerenog snopa koherentnog svjetla. Ima široku primjenu u građevinarstvu. Kod izvedbe zemljanih radova koristi se za precizno mjerenje, lasersku komunikaciju, navođenje te kao dodatak GPS-u. Laseri sa GPS-om koriste se kod problema očitavanja signala. Klasični GPS uređaj računa poziciju centra antene, a kod šumskih područja gdje postoje razne prepreke, očitavanje nije moguće. „Na pokretnom GPS uređaju nalazi se laserski prijamnik koji prima lasersku svjetlost od laserskog odašiljača postavljenog na točku koja ima poznatu visinu. Laserski odašiljač postavljen je na stativ sa fiksnom visinom. Pokretni GPS uređaj određuje koordinate nepoznate točke, a laserski prijamnik, koji se nalazi na držaču ispod GPS antene prima laserski signal, te trenutno određuje visinsku razliku između laserskog odašiljača i pokretnog GPS uređaja s milimetarskom preciznošću” (Lasić, 2008.).

Laser se sastoji od (Samardžić, 2020.):

- aktivna tvar (sredstvo)
- rezonator
- izvor napajanja
- elektronika koja kontrolira rad
- izlazna optika



Slika 6.: Primjer lasera pri zemljanim radovima (ResearchGate)

Razvoj lasera doveo je do laserskog daljinomjera. Visoko precizan i relativno mali, te jednostavan za korištenje. Moguće je mjeriti duljine od 5cm do 200m, nagibe, visine te raznih površina. Radar je također uređaj nastao razvitkom lasera, koji određuje lokaciju, udaljenost, azimut, kutnu visinu te brzinu nekog predmeta na temelju refleksije. Specifični su po svom velikom dometu, te služe za promatranje na većim udaljenostima. Laseri mogu funkcionirati samostalno i u integraciji s drugim uređajima. Ostvaruju veliku preciznost pri mjerenju, relativno su mali te su jednostavni za upotrebu i korištenje. Mjeri se duljina, visina, nagib te površina i volumen nekog područja. Laseri u sebi imaju automatizam koji obavlja sve računske funkcije pri mjerenjima. (Samardžić, 2020.)

Na primjeru izravnjanja, učinkovitost za laserski sustav je oko 20% veća od one postignute ultrazvučnom metodom, pri čemu ta razlika uglavnom uključuje smanjenje vremena utrošenog na niveliranje. Modernizacija laserskih sustava ima za cilj veću učinkovitost i jednostavnost korištenja s posljedičnim povećanjem proizvodnje. Jedan od napredaka je uključivanje lasera u totalnu stanicu u kojoj se pohranjuju projektni podaci i obavještavaju operatera stroja o njegovom položaju i odstupanju s obzirom na visinu izravnate površine. Laseri najčešće integraciju ostvaruju sa GPS uređajima. Elektromehanički optički sustavi dodjeljuju virtualni smjer za navođenje pomoću optičkog sustava s prizmama koje su montirane na strojeve i robotske stanice u kojoj su pohranjeni podaci. Totalna stanica pruža informacije u stvarnom vremenu pomoću laserske zrake. Prednost sustava je u tome što omogućuje izvođenje bilo koje vrste površina, ka oi u svakom trenutku dostupne informacije o stanju radova u realnom vremenu. (Daoud, 1999.)

4.0.6. Bepilotno upravljanje građevinskim strojevima

Vozila opremljena sustavom automatskog upravljanja, koja se mogu kretati i obavljati određene funkcije bez izravnog sudjelovanja čovjeka nalaze svoju primjenu tijekom izvođenja

građevinskih radova. Unatoč činjenici da je automobil bez vozača još uvijek fenomen za ljude, postoje neki primjeri uspješnog vođenja bespilotnih vozila. Bespilotne letjelice koriste se za geološka istraživanja, za pregled radova, udaljenih i opasnih objekata. Također mogu pratiti proces izvođenja radova gdje određuju izvedeni obujam posla. Značajne perspektive bespilotnih i automatiziranih vozila također su dostupne u cestogradnji. Dronovi se aktivno koriste u građevinarstvu. Omogućuju procjenu količine zemljanih radova, izradu karti za bolju orijentaciju bespilotne opreme na gradilištu. Najpoznatija tvrtka za bespilotni transport je Komatsu. Proizveli su bespilotne bagere i kiperne. Posebnost bespilotnih kiperne je u tome što je prostor koji inače služi za vozačku kabinu, zamijenjen za prostor pohrane i time je optimizirana raspodjela tereta između 4 kotača. Brzina kretanja naprijed- natrag sada je jednaka. Tvrtka Volvo nastoji napajanje strojeva učiniti elektroničkim, čime je omogućila povećanje njihove učinkovitosti. (Kristal, Kisel, 2018.)

Primjer rada bespilotnih strojeva može se prikazati na planiranom projektu izgradnje brane na Tibetanskoj visoravni. Umjetna inteligencija će analizirati računalni model brane razlažući ga na slojeve, i optimalno rasporediti zadatke robotskim građevinskim strojevima, koji će koordinirano postavljati sloj po sloj konstrukcije. Bespilotni utovarivači će puniti flotu automatiziranih kamiona odgovarajućim materijalima, dok će ti kamioni prema ruti koju izračunava središnja umjetna inteligencija dostavljati potrebne materijale na točne lokacije u pravo vrijeme. Nakon toga automatizirani buldožeri i bageri će preuzeti posao ispunjavanja i poravnavanja strukture, a robotski valjci će izravnavati slojeve buduće brane. Središnja umjetna inteligencija će koristiti senzore i različite mjerače kako bi pratila kvalitetu radova analizom vibracija tla i drugih relevantnih podataka. Bespilotni strojevi mogu raditi cijelo vrijeme što pokazuje veliku prednost u vremenu obavljanja posla. (tportal.hr)

Automatizacija rada sve je potrebija u 21. stoljeću. Što je opseg radova veći i projekt složeniji, to je potreba za modernizacijom veća. Pri izvedbi masovnih zemljanih radova sudjeluje mnogo građevinskih strojeva, koji su u ovisnosti jedni o drugima, te je potrebna dobra tehnologija kako bi se osiguralo maksimalno iskorištenje vremena i strojeva uz minimalne zastoje. Pooštavanje normi za zaštitu prirode, nedostatak radne snage i težnja za inovacijama guraju napredak u modernizaciji građevinske opreme.

4.1. Prednosti i mane primjene suvremenih tehnologija

Pri odabiru sustava koji će se implementirati u proces planiranja i izvođenja zemljanih radova, potrebno je pomno istražiti sve stavke sustava i njegove karakteristike. Primarno treba sagledati potrebu, definirati koja vrsta sustava bi bila najprikladnija i zašto. Potrebna je detaljna procjena troškova i isplativosti ulaganja. S obzirom da svaka nova tehnologija donosi bitne stavke koje treba podučiti zaposlenike, važno je utvrditi može li se pružiti adekvatna obuka svih izvoditelja radova. Kako bi se sagledale tehnologije s aspekta zemljanih radova i koristi koje imaju od njih, u nastavku su dane karakteristike svih promatranih sustava.

U tablici 2 prikazane su karakteristike modernih tehnologija koju svoju primjenu nalaze u zemljanim radovima. (Vahdatikhaki, Hammad, Langari, 2015.) navode kako je GPS glavno sredstvo za praćenje strojeva i materijala. Ističe se po svojoj preciznosti mjerenja i jednostavnosti rada te mogućnosti prikupa informacija. Problem nailazi na područjima s lošim signalom gdje njegov rad nije u potpunosti ostvariv. (Markota, 2020.) i (Kolarević, 2021.) prikazuju važnost GIS-a u analitici i obradi podataka, te naglasak stavljaju na pozitivan utjecaj GIS-a na stanje u prometu. Također, daju prikaz mana ovakvog sustava u pogledu nesavršenih simulacija stvarnog svijeta i povećanim troškovima korištenja i uvođenja u procese rada. (CARNetCERT, LS&S, 2007.) objašnjava RFID sustav i njegovu primjenu u građevini. Svojim čitačima omogućava niz benefita poput praćenja i nadzora mehanizacije i materijala, kontrole ulaska i izlaska, vlage i drugih klimatskih uvjeta. No, kao i većina sustava praćenja, u obzir dovodi pitanje privatnosti i rizik zlouporabe informacija. Prema (Markota, 2020.) IoT sustavi imaju raznoliku primjenu za optimizaciju samog rada strojeva. Od daljinskog upravljanja strojeva, pribavljanja podataka, smanjenja radnih sati i praznog hoda do automatizacije kontrole i kvalitete. Svakom automatizacijom koja uključuje navođenje strojeva bez radnika u njima, dolazi do gubitka radnih mjesta te većih troškova uvođenja i održavanja. Laseri prema (Kolarević, 2021.) obavljaju precizna mjerenja te u integraciji s drugim tehnologijama mogu činiti znatne napretke. Integracija može biti kompleksna i oprema je često skupa. (Kisel, Kristal, 2018.) opisali su utjecaj bespilotnog transporta na modernizaciju gradilišnih radova. Bespilotni transport nailazi na ograničenje upotrebe zbog nerazvijenosti građevinske regulative. Opširnije karakteristike svake od tehnologija dane su u nastavku.

Tablica 2.: Pozitivne i negativne karakteristike modernih tehnologija pri izvedbi masovnih zemljanih radova

Vrste tehnologije	Pozitivne karakteristike	Negativne karakteristike
GPS (Hrvatsko kartografsko društvo) (Vahdatikhaki, Hammad, Langari, 2015.)	<ul style="list-style-type: none"> -praćenje građevinskih strojeva i materijala na gradilištu i izvan njega -mjerenje količine zemljanih radova -prijemnici pogodni za sve vrste vozila -jednostavan za korištenje -topografsko snimanje terena i kreiranje digitalnih modela terena -integracija s drugim sustavima -prijenos podataka u realnom vremenu -optimizacija logistike, smanjenje troškova, povećavanje efikasnosti 	<ul style="list-style-type: none"> - nije precizan na područjima s lošim signalom - u slučaju kvara može dovesti do zastoja radne operacije - drugi uređaji mu mogu ometati signal - pitanje privatnosti
GIS	<ul style="list-style-type: none"> - praćenje stanja na cestama, praćenje prometnih nesreća 	<ul style="list-style-type: none"> -simulacije stvarnog svijeta nisu savršene

<p>(Markota, 2020.) (Kolarević, 2021.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -razne mogućnosti obrade podataka i analitički alati za prostorne podatke - izrađivanje prikaza i karata - mogućnost složenih pretraživanja o geografskom prostoru - integracija s drugim sustavima i društvenim mrežama - jednostavan za korištenje -poboljšava razvoj GPS-a -smanjenje financijskih gubitaka uzrokovanih prekidima u prometu 	<ul style="list-style-type: none"> - u Hrvatskoj nije u potpunosti razvijeno - zahtijeva izučavanje korištenja softvera koje je vremenski zahtjevno - veliki troškovi korištenja i implementacije - problemi s informacijama koje se ne mogu jednostavno prikazati kroz geografske podatke - ovisi o kvaliteti i ažurnosti unesenih podataka
<p>RFID (Markota, 2020.) (CARNetCERT, LS&S, 2007.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - praćenje i nadzor građevinske mehanizacije i materijala - kontrola ulaza materijala ili vozila na gradilište ili u skladište - nadzor i kontrola temperature, vlage i drugih klimatskih uvjeta - evidencija odrađenog posla - velika brzina očitavanja - kontrola radnog vremena - jednostavnost upotrebe i sveprisutnost - unaprjeđenje vođenja gradilišta - tagovi izrazito otporni na fizička oštećenja - povećanje efikasnosti izvođenja građevinskih radova 	<ul style="list-style-type: none"> - pitanje privatnosti - skupo - nepredvidljive informacije koje transponderi odašilju - neovlaštena analiza komunikacije - mogućnost ometanja signala - nema zaštite od hakerskih napada
<p>IoT (Markota, 2020.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - praćenje voznog parka sensorima - sigurnost vozača - daljinsko upravljanje povezanim strojevima 	<ul style="list-style-type: none"> - slaba zaštita od hakerskih napada - zavisnost o internetskoj vezi - veliki troškovi povezivanja i održavanja

	<ul style="list-style-type: none"> - nadzor opreme i radova koji se izvršavaju - automatizacija sustava kontrole i kvalitete - pribavljanje podataka o karakteristikama tla - minimiziranje troškova poput goriva i održavanja - smanjenje prekovremenih radnih sati i praznog hoda - poboljšana učinkovitost - povećanje produktivnosti i iskoristivosti flote 	<ul style="list-style-type: none"> - kompleksnost upotrebe za korisnike - gubitak radnih mjesta - uređaji nisu pogodni za reciklažu
<p>Laseri (Kolarević, 2021.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - precizno i multifunkcionalno mjerenje - jednostavna upotreba - vidljivost u svim vremenskim uvjetima - iznimno velik domet - prilagodljivo svim terenima - integracija s drugim sustavima (najčešće GPS) 	<ul style="list-style-type: none"> - visoke cijene opreme - kompleksnost korištenja u kombinaciji s drugim sustavima - ograničenje s određenim materijalima
<p>Bespilotni transport (Kisel, Kristal, 2018.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - pregled i snimanje terena - obavljanje određenih funkcija bez izravnog sudjelovanja čovjeka - izvođenje određenih građevinskih radova - mjerenje izvedenog obujma radova - oslobođenje radne snage uz novu kategoriju radnih zanimanja - djelomična ili potpuna automatizacija procesa provjere nedostataka koji nastaju tijekom gradnje - provođenje inspekcije u opasnim uvjetima 	<ul style="list-style-type: none"> - veliki troškovi opreme i održavanja - potrebna je kombinacija s drugim softverima - ograničenje upotrebe- nije dovoljno razvijeno na području regulative - mogućnost ometanja i gubitka signala može oštetiti uređaj - ovisnost o vremenskim uvjetima - ograničenja u kapacitetu

Sve tehnologije imaju mnoštvo pozitivnih i negativnih utjecaja na području pripremnih radova u građevini. Danas se navedene tehnologije rijetko koriste samostalno. Kako bi izvedba radova prošla što efikasnije i isplativije, koriste se kombinacije u kojima se specifikacije nadopunjuju kako bi se proširio opseg upotrebe.

4.2. Integracija tehnologija za optimizaciju planiranja i izvođenja masovnih zemljanih radova

Upravljanje voznim parkom odnosno „*Fleet management*“ koristi kombinaciju raznih tehnologija kako bi pospješilo rad flote vozila. Najčešća je kombinacija GPS satelita, uređaja za praćenje, mobilne mreže, servera i softvera koji skladišti i obrađuje primljene podatke. Na temelju dobivenih podataka provode se analize koje daju izvještaje poput (Kolarević, 2021.):

- potrošnja goriva
- lokacija i vrijeme zaustavljanja vozila
- statistika korištenja vozila unutar i izvan radnog vremena
- interaktivni grafovi brzine
- prijeđena kilometraža vozila

4.2.1. Primjer integracije lasera, GPS-a i bespilotne opreme na projektu izgradnje ceste

Na primjeru izgradnje ceste, temeljenom na maksimalnom korištenju bespilotne opreme, prikazat će se integracija više tehnologija. U prvoj fazi laserom se izrađuje 3D karta postojećeg stanja. Bespilotne letjelice snimaju područje rada te pomoću softvera kreiraju određene izvještaje koji pridonose analizi građevinskog područja. Druga faza sastoji se od logistike. Pozicioniraju se strojevi kako bi kroz rad u grupi postigli najbolji rezultat. Za praćenje strojeva koriste se senzori, kamere i GPS. Softver koristi podatke prenesene iz građevinske mehanizacije u stvarnom vremenu, kao i trodimenzionalnu kartu postojećeg područja na web stranici. U trećoj fazi 3D model s web stranice daje upute opremi: gdje ići, koji dio zemlje iskopati, kako rasporediti materijal itd. Određena oprema može biti bespilotna. Cijelim procesom rada strojeva, šalju se izvještaji napredovanja, koje softver koristi kako bi ažurirao 3D kartu i prikazivao promjene. Oprema također prenosi podatke o samom stanju strojeva, što sprječava potencijalne zastoje u radu. Također, šalje izvještaje poput brzine, potrošnje goriva i temperature motora. Takav nadzor omogućava maksimalnu učinkovitost i održavanje opreme na gradilištu. (prema istraživanju Kisel, Kristal, 2018.)

4.2.2. Primjer integracije GPS-a i GIS-a kod rada kamiona kiperera

Truck + je praktičan i jednostavan sustav koji služi za praćenje, nadzor, kontrolu i procjenu stvarne produktivnosti kamiona kiperera u zemljanim radovima u gotovo stvarnom vremenu . U

sustavu integracija tehnologije GPS i GIS sustava koristi se za izračunavanje trajanja vremenskog ciklusa kiperera. Primjena sustava se može poboljšati integracijom s drugim senzorskim ili audio-vizualnim tehnologijama poput dronova, RFID tehnologije itd. Primjena modela je prikupljanje podataka kako bi se izračunala stvarna produktivnost kiperera i analizirale navike vozača i stanje na cesti za pravovremeno otkrivanje neželjenog ponašanja vozača/smetnje na cesti. Ovaj model rada još je u procesu istraživanja, no rezultati koji se očekuju pozitivno utječu na optimizaciju procesa izvedbe zemljanih radova. (Vukomanović, Šopić, Car-Pušić, 2023.)

4.2.3. Primjer integracije lasera, GPS-a i softvera kod rada bagera

Stent et al (1999.) razvili su sustav koji omogućuje bageru da odluči gdje će kopati nasip, gdje će odložiti materijale koji se prevoze u kamionu i koliko se brzo kretati između određenih dijelova terena na kojima se nalaze određene prepreke. Sustav uključuje dva skenirajuća laserska daljinomjera za prepoznavanje i lokaliziranje kamiona, mjerenje površine tla i otkrivanje prepreka te uključen softver koji može analizirati ulaze i kontrolirati rad. Sustav je u potpunosti implementiran i pokazalo se da utovaruje jednako brzo kao i ljudski operateri. Korištenje bagera opremljenih GPS-om može postići preciznije zemljane radove i smanjiti potrošnju goriva i radno vrijeme. (Alhasan, White, 2016.)

4.3. Diskusija modernih tehnologija i njihov utjecaj na izvedbu radova

Ulaganje u nove tehnologije je bitno, no potrebno je procijeniti koliko će zapravo utjecati na poboljšanje izvođenja određenih građevinskih radova. Faktor koji igra najveću ulogu je trošak uvođenja i održavanja novog sustava. Razni uređaji i softveri mogu biti poprilično skupi. Njihovo uvođenje zahtijeva obučenu radnu snagu koja će provesti samo postavljanje uređaja i osposobiti rad softvera. Uključuje i obuku zaposlenika kako bi se smanjila mogućnost grešaka i gubitka informacija te ubrzao sam proces. Obzirom da se tehnologije brže razvijaju nego propisi koje izdaje država, potrebno je provjeriti zadovoljavaju li se sve potrebne stavke regulative. Razvoj tehnologija dovodi u pitanje održavanje samog sustava. Potrebno je konstantno ažurirati softvere i pratiti nove trendove što također izaziva dodatne troškove. Na kraju, analizom se donosi odluka o isplativosti samog ulaganja.

Svaka tehnologija daje svoj doprinos unaprjeđenju cijelog procesa izvedbe masovnih zemljanih radova. Izbor tehnologije ovisi o potrebi na gradilištu, raspoloživim resursima i raznolikosti voznog parka.

- GPS se ugrađuje u sva vozila, kao primarno sredstvo praćenja i navigiranja. Može poslužiti i mjerenju, no za to se pokazalo bolje koristiti kombinaciju sa laserima zbog veće preciznosti.

- Strojevi za iskop, osim za praćenje efikasnosti, imaju potrebu praćenja količine iskopanog materijala. Mjerenje količine može obavljati više raznih tehnologija od kojih se bespilotni transport i IoT sustavi više ističu.
- Kako bi se osiguralo obavljanje rada bez zastoja potrebno je pratiti stanje na gradilištu i stanje na cestama. Stanje tla, vlage u zraku i vremenskih prilika obavljaju IoT sustavi i RFID tehnologija.
- Stanje na cestama najbolje prati GIS sustav. Svi sustavi imaju određeni dio rezerviran za pohranu i obradu primljenih podataka stoga je evidenciju lako provesti pomoću bilo kojeg sustava.

U konačnici, sustavi najbolje funkcioniraju u međusobnoj integraciji i potrebno je konstantno raditi na održavanju i unaprjeđenju.

5. ZAKLJUČAK

U ovom je radu pružen pregled masivnih zemljanih radova u građevini od same definicije, proračuna učinaka građevinskih strojeva do novih tehnologija. Uvodno poglavlje ističe značaj proračuna učinka u ranoj fazi građenja i objašnjava osnovne građevinske zemljane radove. Kroz drugo poglavlje objašnjeno je što su to masivni zemljani radovi, kako i zašto se uzima u obzir grupa građevinskih strojeva te kakve sve utjecaje oni mogu imati. Treće poglavlje daje uvid u analizu proračuna učinka građevinskih strojeva. Prikazuje proračun za strojeve koji rade samostalno, a koji se koriste u izvedbi masovnih zemljanih radova te pojašnjava pojam flote građevinskih strojeva. Četvrto poglavlje predstavlja mobilne tehnologije i softverska rješenja koji omogućavaju kvalitetnu upotrebu flote strojeva i maksimizaciju njihovih učinaka. Kroz poglavlje predstavljeno je šest ključnih tehnologija te njihove karakteristike, praktična primjena i mogućnost međusobne integracije. Na temelju toga, provedeni su zaključci.

Masovni zemljani radovi, zbog svoje kompleksnosti i opsega radova, zahtijevaju pomno biranje građevinske mehanizacije i dobru logistiku procesa izvođenja radova. Specifikacije strojeva, koje su dane od strane tvrtke koja sudjeluje kao izvođač radova i posjeduje svoju flotu vozila, daju sve potrebne informacije koje su bitne za daljnje proračune učinaka. Pravilno odabrana mehanizacija i proračun učinka mogu znatno poboljšati učinkovitost, brzinu izvođenja radova i kvalitetu, smanjiti rizik od grešaka, uštediti vrijeme i resurse te pružiti sigurnost za radnike. No, kod masovne izgradnje potrebno je uvesti grupe strojeva koji u svom radu ovise jedni o drugima. Često se događaju zastoji i problemi koji usporavaju gradnju i iziskuju dodatne troškove. Cilj usklađenja rada grupa je postići maksimalno iskorištenje vremena uz minimum zastoja i gubitaka. Kako bi se to postiglo potrebno je uložiti u nove tehnologije koji će svojim sustavima praćenja i prikupljanja podataka poboljšati proces izvođenja radova.

Mobilne tehnologije i softverska rješenja, u današnjem svijetu modernih tehnologija, nužni su za unaprjeđenje građevinskih radova. Omogućeno je praćenje strojeva, bolja vizualizacija, smanjenje rizika, analiza topografije, raznovrsne procjene i još mnogo stvari koje pozitivno utječu na proces planiranja i izgradnje određenog objekta. No, kao i u svemu, potrebno je procijeniti isplativost ulaganja. Laseri, senzori, GPS i GIS neophodni su za prikupljanje podataka. Postoji niz različitih softvera koji te podatke prerađuju i izbacuju izvještaje. Pri odabiru softvera ključno je izabrati optimalan odnos cijene i kvalitete, te razmisliti o tome koliko će vremena trajati prilagodba radne snage koja će se time svakodnevno služiti. Bepilotni transport nije toliko razvijen u odnosu na ostale tehnologije stoga je vrlo važno procijeniti isplati li se takvo ulaganje i kakve pogodnosti i posljedice ono donosi. Dronovi su jeftinija varijanta bespilotnog transporta i poprilično su korisni i jednostavni, dok su bespilotni građevinski strojevi i dalje u razvoju i osim što su teže dostupni, početna investicija je poprilično visoka.

POPIS LITERATURE

- Radujković, M. i suradnici: „*Organizacija građenja*“, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2015.
- Vukomanović, M., Kolarić, S., Radujković, M.: „*Priručnik organizacije građenja*“, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2018.
- Linarić, Z.: „*Učinkak građevinskih strojeva*“, elektronski udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2005.
- Linarić, Z.: „*Leksikon strojeva i opreme za proizvodnju građevinskih materijala*“, Business Media Croatia, 2007.
- Roje-Bonacci, T.: „*Zemljani radovi*“, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2012.
- Kozlovska, M., Krajnak, M., Sirochmanova, L., Baškova, R., Strukova, Z.: „*Novi pristupi u određivanju učinaka građevinskih strojeva*“, Građevinar 67, 2015., <http://hrcak.srce.hr/142628>
- Prochorov, S.: „*Use of modern construction machinery in the construction*“, MATEC Web of Conferences 193, 2018., https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/52/mateconf_esci2018_04022.pdf
- Kristal, M., Kisel, T.: „*Economic efficiency of innovations in construction: the use of the pilotless equipment*“, MATEC Web of Conferences 251, 2018., https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/110/mateconf_ipicse2018_05006.pdf
- Kirchbach, K., Aziz, Z., Tezel, A.: „*Earthworks Control Automation*“, University of Huddersfield Repository, 2015., <https://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/29094/1/Earthworks%20Control%20Automation.pdf>
- Prižmić, K.: „*Razvoj i upravljanje GIS projektima*“, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, 2019., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:137:014749>
- CARNet CERT, LS&S: „*RFID identifikacija*“, CCERT-PUBDOC-2007-01-179, 2007., www.cis.hr
- Plan Radar: „*Internet stvari (IoT) u građevini: Prednosti i mane*“, 2020., <https://www.planradar.com/hr/internet-stvari-iot/>
- Lapaine, M. i M., Tutić, D.: „*GPS za početnike*“, Hrvatsko kartografsko društvo, https://www.kartografija.hr/old_hkd/obrazovanje/prirucnici/gpsoc/gpsoc.htm
- Hrvatska enciklopedija: „*Geoinformacijski sustav*“, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013.-2024., <https://www.enciklopedija.hr/clanak/geoinformacijski-sustav>

- Lasić, Z.: „*Primjena laserskih uređaja*“, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, 2008., http://www2.geof.unizg.hr/~zlastic/Primjena_laserskih_uredaja.pdf
- EcoMobile fleet: „*GPS praćenje vozila*“, <https://ecomobile-fleet.com/>
- Sigmund, Z.: „*Tehnologija izvođenja zemljanih radova*“, Agencija za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih, 2023.
- Ćoruša, M.: „*Analiza i izbor strojnog sustava kod izvođenja zemljanih radova*“, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, 2018.
- Linarić, Z.: „*Sustavi građevinskih strojeva*“, elektronski udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- Vidaković, D., Lacković, Z., Ivanović, M.: „*Održavanje i učinak strojeva na gradilištima*“, Časopis za mašinsko inženjerstvo, Mašinstvo 2(14), 91-104, University of Zenica Faculty of Mechanical Engineering, 2017., <http://www.mf.unze.ba/masinstvo>
- Nasutović, A.: „*Strojevi za zemljane radove- analiza rada jaružala i kamiona te njihova usklađivanja*“, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2016., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:517220>
- Bosec, K.: „*Organizacija rada i aktivnosti projekta*“, Sveučilište Sjever, 2023., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:879714>
- Longley, P., A., Goodchild, M., F., Maguire, D., J., Rhind, D., W., „*Geographical Information Systems and Science*“, British Library, 2005.
- Samardžić, M.: „*Sklop za mjerenje udaljenosti*“, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, 2020., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:375261>
- Markota, I.: „*Sustavi za upravljanje flotom vozila*“, Sveučilište u Požegi, 2020., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:112:045633>
- Kolarević N., „*Primjena „Fleet Managementa“ u inteligentnim transportnim sustavima*“, Sveučilište Sjever, 2021., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:606575>
- Comparesoft, „*How to Reduce Fleet Fuel Costs with Effective Vehicle and Driver Management*“, [blog post, 20 May], 2020., <https://comparesoft.com/fleet-management-software/reduce-fleet-fuel-costs/>
- Škabić B., Krelja Kurelović E., Tomljanović J.: „*Usporedba sustava za upravljanje voznim parkom*“, Zbornik Sveučilišta u Rijeci, 2018.
- Čović, P.: „*Usklađivanje rada strojeva prilikom izgradnje ceste i probijanja tunela*“, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2018., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:935921>
- Alhasan, A. A., White, A. J.: „*Earthwork Haul-Truck Cycle- Time Monitoring- A Case Study*“, Iowa State University, 2016.

Montaser, A., Bakry, I., Alshibani, A., Moselhi, O.: „Estimating productivity of earthmoving operations using spatial technologies“, Concordia University, 2013.

Šopić, M., Vukomanović, M., Car-Pušić, D.: „Planing and Control of Productivity of Construction Machinery through Use of Wireless Technology“, Sveučilište u Zagrebu i Rijeci, Građevinski fakultet, 2017.

Capony, A., Lorino, T., Muresan, B., Baudru, Y., Dauvergne, M., Dunand, M., Colin, D., Jullien, A.: „Assessing the productivity and the environmental impacts of earthwork machines: a case study for GPS-instrumented excavator“, Procedia Social and Behavioral Sciences, 2012.

Parente, M., Correia, A. G., Cortez, P.: „Metaheuristics, Dana Mining and Geographic Information Systems for Earthworks Equipment Allocation, Procedia Engineering, 2016.

Vahdatikhaki, F., Hammad, A., Langari, S. M.: „Multi-agent system for improved safety and productivity of earthwork equipment using real-time location systems, Construction Specialty Conference, 2015.

Montaser, A., Moselhi, O.: „RFID+ for tracking earthmoving operations“ American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2012.

Daoud, H.: „Laser technology applied to earthworks“, Dragados y construcciones S.A., 1999.

POPIS TABLICA

Tablica 1.: Vrijednosti koeficijenata organizacije strojnog rada u ovisnosti o uvjetima strojnog rada te održavanju strojeva (prema Linariću, 2007.) 7

Tablica 2.: Pozitivne i negativne karakteristike modernih tehnologija pri izvedbi masovnih zemljanih radova

POPIS SLIKA

Slika 1.: Masovni zemljani radovi- priprema gradnje vijadukta Sajevac (Izvor: KAportal).....	3
Slika 2.: Standardni zemljani radovi- pripremni radovi gradnje stambenog objekta (GK grupa)	4
Slika 3.: Konstelacija satelita GPS sustava	23
Slika 4.: Osnovna shema RFID sustava (proizvodi.ferit.hr).....	27
Slika 5.: Primjer senzora temperature i vlage (VIDILAB)	29
Slika 6.: Primjer lasera pri zemljanim radovima (ResearchGate)	31

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1.: Prikaz ukupnog broja strojeva (Čović, 2018.)	20
Grafikon 2.: Sastav tipičnih troškova voznog parka (prema Comparesoft, 2020.)	21
Grafikon 3.: Maksimalni utjecaj primjene novih tehnologija na flotu vozila (prema istraživanju Frost & Sullivan, 2017. iz Škabić, 2018.)	21