

# Utjecaj karakteristika transportnog puta na brzinu kretanja kamiona dampera

---

Sviben, Anja

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:475598>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij rudarstva

UTJECAJ KARAKTERISTIKA TRANSPORTNOG PUTA NA BRZINU KRETANJA  
KAMIONA DAMPERA

Završni rad

Anja Sviben  
R4167

Zagreb, 2021



KLASA: 602-01/22-01/85  
URBROJ: 251-70-11-22-2  
U Zagrebu, 14.09.2022.

Anja Sviben, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/85, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 30.04.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### UTJECAJ KARAKTERISTIKA TRANSPORTNOG PUTA NA BRZINU KRETANJA KAMIONA DAMPERA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv.prof.dr.sc. Tomislav Korman nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Tomislav Korman

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

**UTJECAJ KARAKTERISTIKA TRANSPORTNOG PUTA NA BRZINU KRETANJA KAMIONA  
DAMPERA**

**ANJA SVIBEN**

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu opisane su i analizirane tehničke karakteristike kamiona dampera koje imaju najveći utjecaj na njegovu brzinu prilikom kretanja na transportnom putu. U prvom djelu rada su teorijski objašnjene karakteristike, poput vučne snage i sile, otpora kotrljanja i nagiba te kako pomoću tih podataka proračunati efektivni učinak ciklusa dampera. Zatim su opisane karakteristike transportnog puta, utjecaj širine ceste i uvjeti na cesti-stanje kolnika te zavoji i nagibi na koje damper nailazi prilikom vožnje.

Ključne riječi: Karakteristike transportnog puta ,učinak dampera, otpor kotrljanja, radijus krivine

Završni rad sadrži: 27 stranica, 5 tablica, 14 slika, 0 prilog, i 0 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr.sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF

Dr.sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF

Dr.sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	6
2. OPĆENITO O KAMIONIMA.....	8
2.1. Kamioni i kamionski transport.....	8
2.2. Karakteristike dampera.....	9
3. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE KRETANJA KAMIONA.....	11
3.1. Vučna snaga i sila.....	11
3.2. Otpor kotrljanja i otpor nagiba.....	12
3.3. Brzina vozila.....	13
3.4. Učinak dampera.....	14
4. TRANSPORTNI PUT.....	16
4.1. Općenito o transportnim putevima.....	16
5. UTJECAJ KARAKTERISTIKA TRANSPORTNOG PUTA NA BRZINU VOZILA.....	19
5.1. Utjecaj otpora kotrljanja.....	19
5.2. Uzdužni nagib transportnog puta.....	22
5.3. Poprečni nagib trase.....	22
5.4. Utjecaj dužine vidljivog puta vozača.....	24
6. ZAKLJUČAK.....	26
7. LITERATURA.....	27

## **POPIS SLIKA**

Slika 1-1. Troškovi na površinskom kopu.....	7
Slika 1-2. Kamion(damper) tvrtke Caterpillar.....	7
Slika 2-1. Sanduk dampera.....	10
Slika 2-2. Operativni troškovi kamiona.....	10
Slika 3-1. Primjer dijagrama krivulje radnih karakteristika.....	11
Slika 3-2. Otpori koji djeluju na vozilo koje se nalazi na usponu.....	13
Slika 4-1. Nomenklatura ceste.....	18
Slika 4-2. Minimalna širina ceste.....	18
Slika 5-1. Utjecaj otpora kotrljanja na brzinu kamiona.....	20
Slika 5-2. Dubina kolotraga pri otporu kotrljanja od 30% .....	21
Slika 5-3. Utjecaj otpora kotrljanja na izvedbu radova na kopu.....	21
Slika 5-4. Primjer pravilnog i nepravilnog nagiba na transportnom putu.....	23
Slika 5-5. Prikaz situacije u kojoj vozilo nailazi na zavoj.....	24
Slika 5-6. Odnos zaustavnog puta i dužine vidljivog puta.....	25

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3-1. Ovisnost otpora kotrljanja o vrsti transportnog puta.....	12
Tablica 3-2. Okvirne vrijednosti faktora brzine ovisno o duljini pojedine dionice.....	14
Tablica 4-1. Projektne širine ceste za vodoravne zavoje kamiona nosivosti 180mt.....	17
Tablica 5-1. Preporučeni koeficijent poprečnog nagiba za cestu.....	23
Tablica 5-2. Ovisnost radijusa krivine i poprečnog nagiba.....	23

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$F_a$	N	adhezijska vučna sila vozila
$F$	N	vučna sila vozila na pogonskim kotačima
$W$	%	ukupni otpor kretanju vozila
$f_b$		faktor brzine
$U_t$	$m^3/h$	učinak dampera
$Q_c$	$m^3/h$	količina učinka po ciklusu
$t_c$	h ili min	vrijeme jednog ciklusa
$t_u$	h ili min	vrijeme utovara
$t_{vo}$	h ili min	vrijeme vožnje punog vozila u odlasku
$t_{vp}$	h ili min	vrijeme vožnje praznog vozila u povratku
$t_i$	h ili min	vrijeme istovara
$t_m$	h ili min	vrijeme manevra i izmjene vozila
$q$	$m^3$	obujam sanduka
$k_{pu}$		koeficijent punjenja
$R$	m	radijus krivine

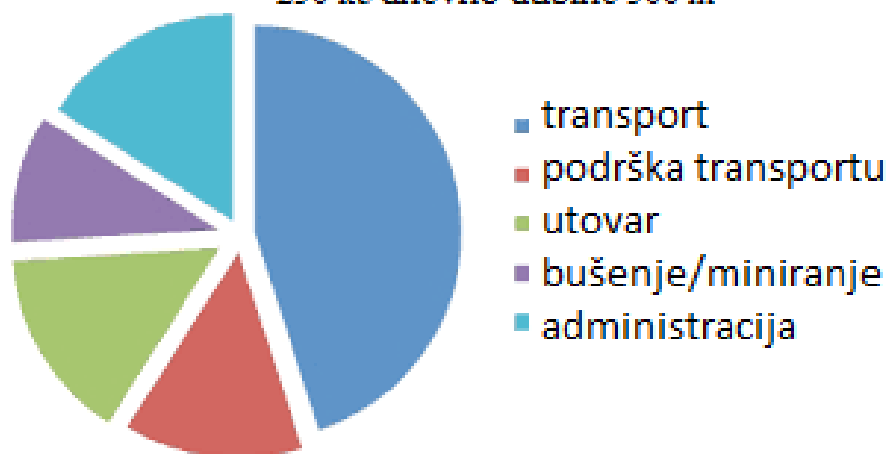


## 1. UVOD

Jednu od najvažnijih uloga u svakoj rudarskoj radnji ima transport. Njime se omogućuje prijevoz mineralnih sirovina, jalovine, alata i opreme. Cilj transporta je tehnološki uskladiti prijevozni sustav sa prijevoznim sredstvima uz najmanje troškove koji mogu iznositi 50-60 % ukupnih troškova (Slika 1-1.). Stoga je važno unaprijed isplanirati cjelokupnu eksploataciju (Alarie & Gamache, 2002). Rudnički transport obuhvaća prijevoz i manipuliranje unutar samog rudnika pa ga često nazivamo i unutarnjim transportom. Postoje diskontinuirana transportna sredstva, primjerice kamioni koji prijevoz mineralne sirovine ostvaruju u jedinici vremena na nekoj udaljenosti i kontinuirana prijevozna sredstva koja ostvaruju prijevoz u tijeku, najčešće su to tračni transporteri (Kujundžić, 2018). Kamioni se vrlo često koriste u transportu mineralne sirovine zbog svoje pokretljivosti, neovisnosti o izboru pogonske energije i manevarskih sposobnosti. Ovaj rad bavi se utjecajem karakteristika transportnog puta na brzinu kretanja kamiona dampera (Slika 1-2.). Najprije su opisane općenite karakteristike kamiona, konkretno karakteristike kamiona dampera i radnog ciklusa. U prvim poglavljima su objašnjene tehničke karakteristike kretanja dampera kao i karakteristike puta kojim se vozilo kreće na površinskom kopu. Najveći utjecaj imat će otpor kotrljanja što će biti prikazano kroz primjer i dijagram. Također, u radu je analiziran kakav utjecaj ima radijus krivine i nagib trase na koji kamion nailazi dok se kreće transportnim putem.

## TROŠKOVI NA POVRŠINSKOM KOPU

250 kt/dnevno dubine 500 m



Slika 1-1. Troškovi na površinskom kopu (Thompson, 2021)



Slika 1-2. Kamion(damper) tvrtke Caterpillar (Pixabay, 2021)

## 2. OPĆENITO O KAMIONIMA

### 2.1. Kamioni i kamionski transport

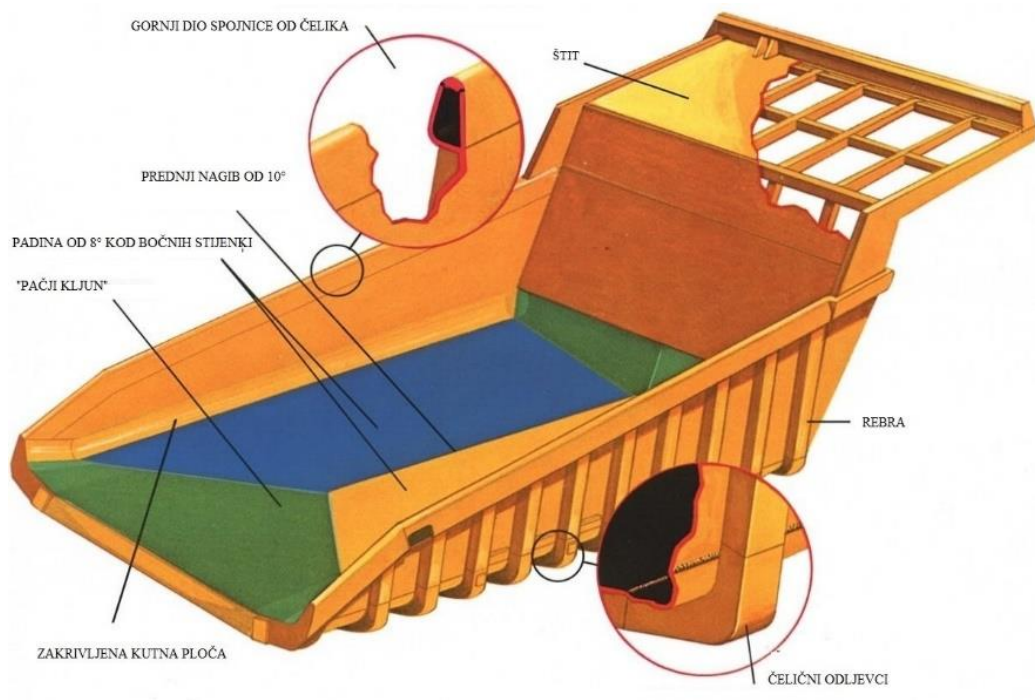
Kamioni su motorna, autonomna transportna vozila za prijevoz svih vrsta materijala u cestovnom prijevozu. Transport kamionima je vrlo rasprostranjen na površinskim kopovima. Karakterizira ga pokretljivost, slobodan način i trasa gibanja pogotovo kod eksploatacije ležišta nepravilnih oblika ili kod selektivnog iskopavanja. Prednosti su svladavanje kosina u vožnji, mali radijus krivina koje vozilo mora obići, specifična investicijska ulaganja u trase su manja u odnosu na željezničke pruge i također dobro vremensko iskorištenje utovarnog sredstva. Nedostaci kamionskog transporta su utjecaj vremenskih prilika na kapacitet prijevoza, troškovi održavanja i remonta te nestašica i poskupljenje naftnih derivata koji su utjecali na razvoj električno pogonjenih kamiona. Na površinskim kopovima najčešće se koriste tegljači s prikolicama, poluprikolicama i damperi (Kujundžić, 2018).

Izvor pogonske energije je autonoman, koristi se dizel motor, električna energija, ili kombinirani dizel-električni motor. Kamioni se pokreću na pogon koji vozilu treba osigurati dobro prijanjanje i prijenos uzdužnih i bočnih sila na površinu ceste, prigušenje vibracija i što manje buke (Wikipedia, 2021). Prednosti vozila na električni pogon su velika manevarska sposobnost, brzina na otvorenim putevima i prilagodljivost radno-terenskim uvjetima. Sigurnost prilikom vožnje opravdava stalnu skrb o gumama pa su često prisutni tehničko-tehnološki zahtjevi za kvalitetom guma te kao nedostatak visoka proizvodna i nabavna cijena kamionskih guma (Kujundžić, 2018).

Rad kamiona je ciklički što znači da kamion obavi cijeli niz operacija u određenom vremenskom intervalu koje se ponavljaju. Ciklički rad obuhvaća utovar vozila, manevar i kretanje punog vozila, manevriranje prije istresanja materijala, istresanje, manevar i povratak praznog vozila, manevar prije utovara i ponovni utovar. Primjer strojeva za transport materijala koji također rade ciklički su dozeri, utovarivači i skreperi. Trajanje ciklusa izražava se u vremenskim jedinicama i koristi kod izračuna praktičnog učinka stroja. Određuje se posebno za svaki stroj, ovisno od konkretnih operacija koje se obavljaju, uvjeta na terenu i osobina samog stroja (Čeliković i dr., 2012).

## 2.2. Karakteristike dampera

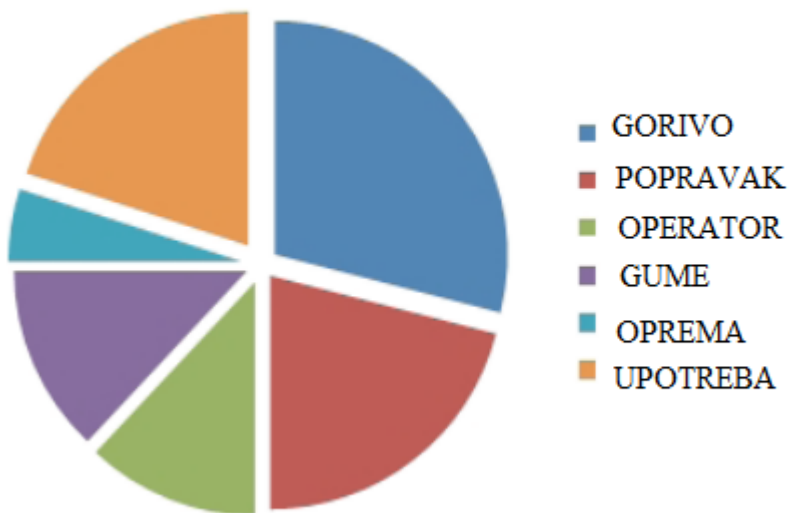
Damperi su snažna i robusna vozila posebno velikih mjera te široke i razmjerno niske konstrukcije sanduka što im omogućava prihvat velikih količina tereta u uvjetima snažnog udara prilikom utovara zbog slobodnog pada iz lopate utovarnog sredstva. Nosivost dampera ide od tridesetak do par stotina tona. Najčešće se koriste u teškim uvjetima rada i neuređenim rudarskim prometnicama. Damperi su vozila razmjerno jednostavna za upravljanje zbog primjene hidrauličkog sustava (tzv. servo upravljanje). Ovješeno prednjih i stražnjih kotača je elastično. Pokreće ih dizel-generatorski pogon. Dizelski motor pokreće priključen generator koji proizvedenu istosmjernu struju prenosi električnim vodovima do pogonskih elektromotora u kojima se električna energija ponovno pretvara u mehaničku. Ovakav pogon omogućio je kombiniranje s trolej napajanjem. Vozilo se oprema s dva oduzimala, a trasa s dva trolej voda (+ i -) pa se kamion pretvara u električnu lokomotivu na pneumaticima (Kujundžić,2018). Karakterizira ih dobra opremljenost kabine vozača. Oprema u kabini ima klimatizaciju, filtere zraka, a vozač je izoliran od prašine, buke, vibracija i vanjskih temperatura. Uglavnom su dvoosovinska vozila, velike mase što im priječi kretanje po javnim prometnicama. Sanduk dampera (Slika 2-1.) je sandučaste konstrukcije s rebrima za ukrućenje čija se šuplja unutrašnjost često koristi za provođenje vrućih ispušnih plinova iz motora tako da se zimi sprječava smrzavanje i lijepljenje vlažnog materijala u sanduku što inače otežava i usporava pražnjenje. Iznad vozačke kabine nalazi se produžetak koji služi kao štit. Sanduk dampera može biti dodatno ojačan i obložen gumom s unutrašnje strane prilikom prijevoza abrazivnih kamenih materijala u svrhu smanjenja habanja. Vrijeme utovara ovisi o načinu utovara i učinku utovarnog stroja, a optimalnim se smatra da lopata bagera ili utovarača puni sanduk vozila s 3-6 ubačaja. Na površinskom kopu koriste se i zglobni damperi koji objedinjuju obilježja kamiona istresača i dampera odnosno imaju konstruktivna i radna obilježja dampera, a manevarske sposobnosti kamiona istresača. Općenito, damperi su transportna sredstva koja traže unaprijed razrađenu i planiranu organizaciju rada zbog čega je potrebno proračunavati njihov učinak prilikom transporta zemljanih i rastresitih materijala (Slika 2-2.).



SLIKA 2-1. Sanduk dampera (Kujundžić,2018)

### OPERATIVNI TROŠKOVI KAMIONA

250 kt/dnevno na dubini 500m



Slika 2-2. Operativni troškovi kamiona (Thompson,2021)

### 3.1 TEHNIČKE KARAKTERISTIKE KRETANJA KAMIONA

#### 3.1. Vučna snaga i vučna sila

Učinak dampera kao transportnog sredstva cikličkog načina rada proizlazi iz njegove brzine kretanja u odnosu na masu tereta koju prevozi. Brzina kretanja i masa korisnog tereta vozila ovisni su o vučnoj snazi pogonskog motora. Najveći utjecaj na vučnu snagu vozila ima nadmorska visina, istrošenost pogonskog dijela motora i unutarnji otpori prijenosnih mehanizama. Kretanje kamiona po trasi uvjetovano je izrazom :

$$F_a > F > W$$

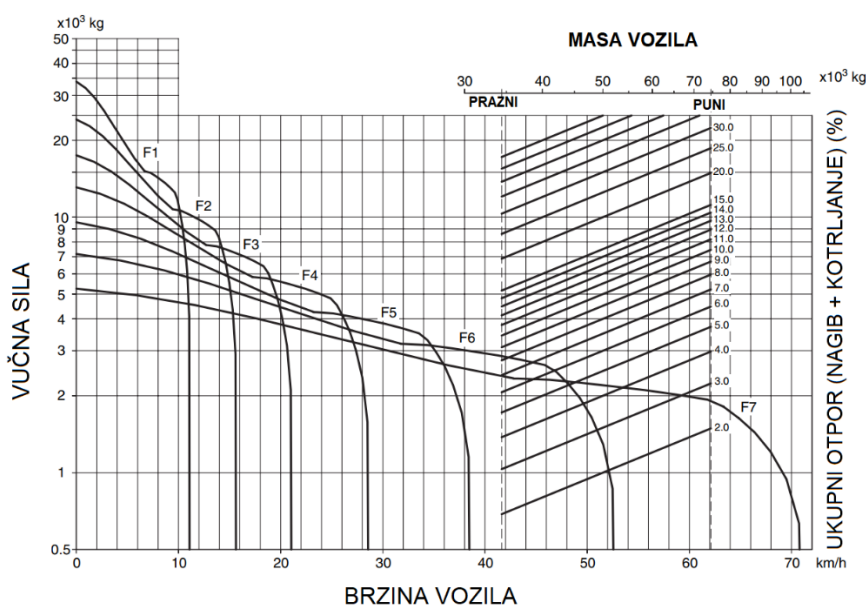
gdje je :

$F_a$  - adhezijska vučna sila vozila (N),

$F$  - vučna sila vozila na pogonskim kotačima (N),

$W$  - ukupni otpor kretanju vozila (zbroy otpora kotrljanja i otpora nagiba).

Vučna sila proizlazi iz vučne snage i ona uvijek mora biti veća od ukupnog otpora pri kretanju kamiona. Osim otpora kotrljanja i nagiba na vučnu silu utječu i otpori poput otpora zraka, tromosti vozila i otpor klizanja. Vučna sila se u praksi rijetko proračunava, većinom se očitava iz dijagrama radnih karakteristika vozila (Slika 3-1.) koji prikazuje odnos između mase vozila, sume otpora kotrljanja i nagiba, vučne sile vozila i brzine kretanja.



SLIKA 3-1. Primjer dijagrama krivulje radnih karakteristika (Korman, 2018)

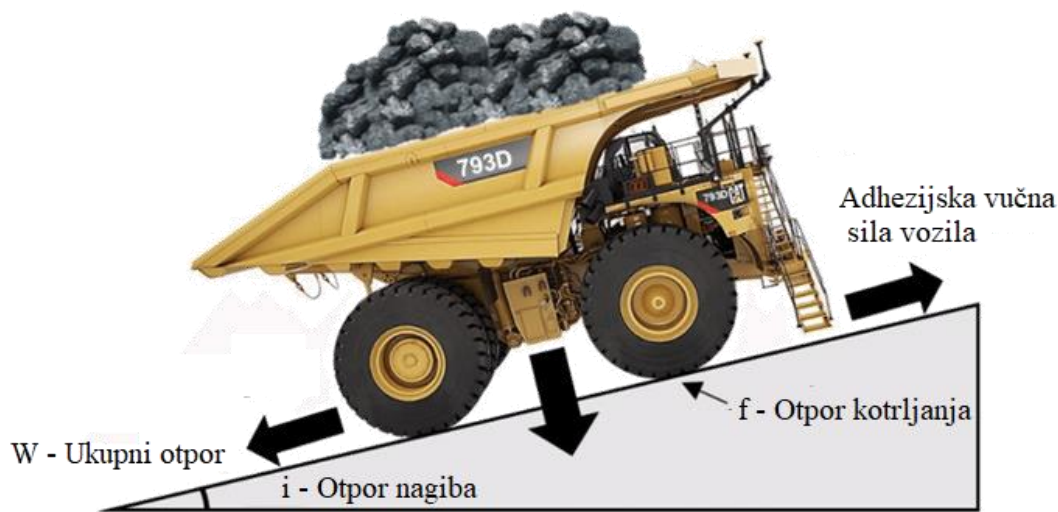
### 3.2. Otpor kotrljanja i otpor nagiba

Otpor kotrljanja kamiona je sila koja se javlja na kontaktu guma kotača i trase po kojoj se vozilo kreće. Veličina sile otpora jednaka je umnošku težine vozila i koeficijentu otpora kotrljanja. Sila otpora kotrljanja kotača po podlozi ovisi o vrsti kotača te kvaliteti ili stanju podloge po kojoj se kotač kreće. Parametar prijenosa vučne sile između kotača i podloge naziva se koeficijent kotrljanja i predstavlja zaokretni moment vozila koji se preko kotača prenosi na trasu kojom se kreće. Sila momenta ovisi o stanju trase, vrsti guma, tlaku zraka u zračnicama i osovinskom pritisku po pojedinom kotaču. Koeficijent otpora kotrljanja izražava se u postotcima, dok je koeficijent kotrljanja bezdimenziona jedinica. Vrijednosni iznosi koeficijenta otpora kotrljanja i koeficijenta kotrljanja ovisni o vrsti transportnog puta prikazani su u tablici 3-1.

**TABLICA 3-1.** Ovisnost otpora kotrljanja o vrsti transportnog puta (Korman, 2018)

<b>Vrsta transportnog puta</b>	<b>Koeficijent kotrljanja</b>	<b>Otpor kotrljanja</b>
Dobro održavani put, površina je čvrsta i ravna, pravilno održavana i ne propada pod težinom vozila	0,02	2%
Dobro održavani put, površina je čvrsta i ravna, pravilno održavana ali propada pod težinom vozila	0,035	3,5%
Slabo održavana i propada pod težinom vozila	0,05	5%
Loše održavana, neuvaljani putevi	0,08	8%
Pješčani ili šljunčani rastresiti putevi	0,1	10%
Ne održavani putevi, vrlo blatnjavi putevi	0,15 do 0,20	15% do 20%

Prilikom vožnje kamiona na transportnom putu, zbog različite konfiguracije terena ono nailazi na pozitivne i negativne nagibe. Otpor koji se javlja prilikom uspona kamiona rezultat je djelovanja sile teže rastavljene na dvije komponente. Prva komponenta djeluje na pravcu okomito na podlogu dok je druga komponenta paralelna s podlogom i predstavlja otpor kamiona u usponu (Slika 3-2.). Vrijednost otpora uspona i kotrljanja promatrana na istoj dionici puta može biti pozitivna, negativna ili jednaka nuli. Pozitivna vrijednost uzima se pri kretanju vozila uzbrdo, dok se negativna vrijednost odnosi na gibanje vozila nizbrdo. Ako je vrijednost negativna, brzinu kretanja kamiona možemo dobiti iz karakteristike kočenja kamiona.



**Slika 3-2.** Otpori koji djeluju na vozilo koje se nalazi na usponu (Korman, 2018)

### 3.3 Brzina vozila

Damper se po transportnom putu kreće promjenjivim brzinama. Što je dionica dulja očekivano je da će se brzina kretanja vozila približiti ili dostići najveću moguću brzinu kretanja na toj dionici (Linarić, 2021) . Proračun maksimalne brzine kojom se kamion kreće po trasi ovisi prvenstveno o masi vozila i otporima, a određuje se iz dijagrama radnih karakteristika vozila i karakteristike kočenja kamiona. Potrebno je izračunati otpor  $W$  za svaku dionicu u slučaju kada je kamion pun i prazan. Ukoliko ukupni otpor ima pozitivan predznak tada se koristi vučna karakteristika kamiona, a ukoliko je negativan tada se koristi karakteristika kočenja kamiona (Korman, 2019). Iz dijagrama radnih karakteristika možemo dobiti maksimalnu brzinu kretanja



kamiona koja je samo teoretska. Tehničku brzinu kretanja kamiona za praktične potrebe planiranja radnih učinaka vozila računamo tako da maksimalnu brzinu kretanja kamiona pomnožimo sa faktorom brzine  $f_b$  koji umanjuje maksimalnu moguću brzinu ovisno o duljini pojedine dionice i o tome da li vozilo ulazi u dionicu s mjesta ili kretanjem (Linarić, 2021).

**TABLICA 3-2.** Okvirne vrijednosti faktora brzine ovisno o duljini pojedine dionice (Linarić, 2021)

DULJINA DIONICE	VOZILO KREĆE S MJESTA	VOZILO U POKRETU
km	$f_b$	$f_b$
0,1-1km	0,35-0,75	0,70-0,85
preko 1km	0,70-0,80	0,80-0,90

### 3.4 Učinak dampera

Nakon proračuna brzina dampera i promatranog stanja podloge po kojoj se vozilo kretalo moguće je izračunati teorijski učinak dampera u jednom radnom ciklusu prema formuli (3-1):

$$U_t = Q_c * t_c \quad (3-1)$$

Gdje je :  $U_t$  – učinak dampera ( $m^3/h$ ),

$Q_c$  -količina učinka po ciklusu,

$t_c$  -vrijeme jednog cilusa (h ili min).

Vrijeme jednog ciklusa računamo prema formuli (3-2) :

$$t_c = t_u + t_{vo} + t_{vp} + t_i + (\sum t_m) \quad (3-2)$$

Gdje je :  $t_c$  – vrijeme jednog ciklusa (h ili min),

$t_u$  – vrijeme utovara (h ili min)

$t_{vo}$  - vrijeme vožnje punog vozila u odlasku (h ili min),

$t_{vp}$  - vrijeme vožnje praznog vozila u povratku (h ili min),

$t_i$  - vrijeme istovara (h ili min),

$\sum t_m$  - vrijeme manevra i izmjene vozila (h ili min).

Količinu učinka po ciklusu dobijemo iz formule (3-3):

$$Q_c = q * k_{pu} \quad (3-3)$$

Gdje je :  $Q_c$ - količina učinka po ciklusu ( $m^3/h$ ),

$q$ - obujam sanduka ( $m^3$ ),

$k_{pu}$ -koeficijent punjenja sanduka (vrijednost može biti  $>1$  ako je punjenje povrh,  
jednaka

1 za normalno punjenje ili  $<1$  za punjenje ispod normale).

## 4. TRANSPORTNI PUT

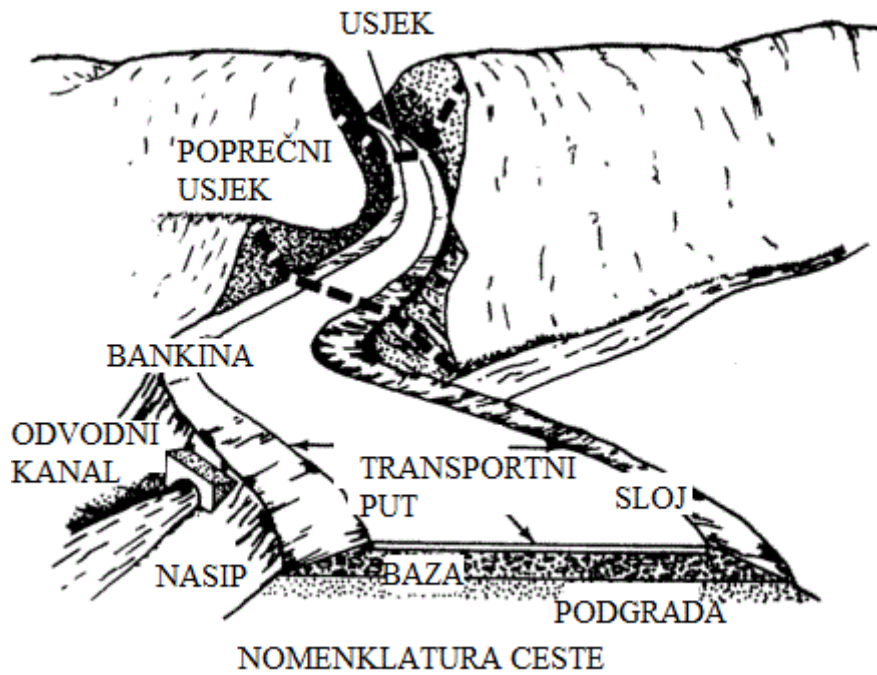
### 4.1. Općenito o transportnim putevima

Prilikom prijevoza mineralne sirovine važnu ulogu ima cesta (Slika 4-1.) po kojoj se vozilo kreće. Transportni put utjecati će na produktivnost proizvodnje, troškove održavanja i opremu. Dobro izgrađen i održavan put omogućit će kamionima sigurnu vožnju i efektivan ciklički rad. Također, unaprijed isplaniran transportni put po kojima će se kamioni kretati osigurava brže cikluse vožnje (utovar, vožnju, istovar), niže troškove po toni iskopane mineralne sirovine, manje količine prašine, prosipanja materijala i akumulirane vode u slučaju padalina. Većina transportnih puteva izgrađena je empirijski, temeljena na iskustvu gradnje ceste na sličnim lokacijama. Međutim, ova metoda potencijalno može dovesti do povećanih rashoda pri gradnji ceste ako je transportni put napravljen duži nego što je potrebno ili može dovesti do većih troškova održavanja u slučaju da je put nekvalitetno napravljen. Ekonomski pokazatelji troškova bilježe rast od 40 % prilikom upotrebe kamiona koji imaju kapacitet 220 tona ili više u kamionskom prijevozu. S povećanjem kapaciteta povećavaju se i troškovi dugoročnog održavanja kamiona. Kamionski transport može činiti i do 50 % cjelokupnih troškova pri dobivanju korisne mineralne sirovine te svaki dobro isplaniran i izgrađen transportni put može donijeti uštedu rudarskoj tvrtki zaduženoj za radove na površinskom kopu (Thompson, 2021).

**Tablica 4-1.** Projektne širine ceste za vodoravne zavoje kamiona nosivosti 180Mt (Thompson,2021)

PROJEKTNE ŠIRINE CESTE ZA VODORAVNE ZAVOJE KAMIONA NOSIVOSTI 180mt (Kaufman & Ault,1977)				
RADIJUS ZAKRIVLJENOSTI ZA UNUTARNJI RUB KOLNIKA (m)	JEDNA TRAKA CESTE (m)	DVIJE TRAKE CESTE (m)	TRI TRAKE CESTE (m)	ČETIRI TRAKE CESTE (m)
KAMION S JEDNOM JEDINCOM ZA PRIJEVOZ				
MINIMALNI	21.0	36.9	52.8	68.7
7.5	20.4	35.7	51.0	66.3
15	18.9	33.0	47.4	61.5
30	17.7	30.9	44.1	57.6
45	17.4	30.3	43.5	56.4
60	17.1	30.3	43.2	56.1
tangens	16.8	29.4	42.0	54.6
ZGLOBNI TEGLJAC				
7.5	25.8	45.3	64.5	84.0
15	21.3	37.2	53.1	69.3
30	17.4	30.3	43.2	56.1
45	15.6	27.3	39.0	50.4
60	14.7	25.5	36.6	47.4
tangens	12.3	21.6	30.9	39.9

Prije gradnje ceste potrebno je uzeti u obzir preliminarne faktore kao što su metoda gradnje, konstrukcijske preporuke, vrijeme, ljudski faktor, potrebna oprema i materijal kojim će se put graditi. Svi faktori pri planiranju projekta gradnje ceste koštaju i treba ih racionalno kombinirati kako bi se dobila najveća vrijednost za uloženi novac. Nakon razmatranja tih parametara slijedi planiranje geometrijskog dizajna koji se odnosi na tlocrt i poravnavanje puta u slučaju nagiba ili neravnina. Pomoću vertikalne geometrijske ravnine možemo dobiti podatke o dužini zaustavnog puta, vidokrugu i nagibima. Horizontalna geometrijska ravnina daje podatke o širini ceste, zakrivljenosti zavoja, uzvišenjima i mjestima križanja vozila s drugim koji sudjeluju na kopu. Za gradnju ceste najčešće se koriste veliki buldozeri koji se kreću pomoću gusjenica i pomoćni dozeri na kotačima. Primarno se ova vozila koriste za oblikovanje in-situ materijala i minirane stijenske mase. Pri planiranju nove ceste, prvi zadatak je otkriti koliko je tvrd ili mekan materijal tla na kojem će se graditi. Cesta se može izgraditi od gotovo svakog in-situ materijala, ali ako je taj materijal slab, što znači da se lako deformira pri opterećenju ili ako je kamion masivan, bit će potrebni deblji višeslojni putevi za kretanje vozila. In-situ materijal može biti čvrsta ili mekša jalovina. Cilj je na kraju napraviti transportni put koji povezuje dvije točke, po najkraćoj mogućoj udaljenosti uz najmanje troškove izrade.



**SLIKA 4-1.** Nomenklatura ceste (Global Security, 2021)

Prilikom projektiranja važnu ulogu ima širina ceste koja je češće određena veličinom vozila, nego tipu vozila i njegovoj težini. Dodatno proširenje ceste najčešće se radi ako se rabi oprema veća nego što je planirana (npr. dreglajni). Isto tako, potrebno je proširiti cestu u slučaju ako je duljina zaustavnog puta manja od duljine vidokruga kako ne bi došlo do kolizije dampera i sporijeg vozila koje mu dolazi u susret. Na slici 4-2. prikazane su preporučene vrijednosti širine za jednosmjerne i dvosmjerne puteve.



**Slika 4-2.** Minimalna širina ceste (Thomspen, 2021)

## 5. UTJECAJ KARAKTERISTIKA TRANSPORTNOG PUTA NA BRZINU VOZILA

### 5.1. Utjecaj otpora kotrljanja

U središtu sveukupnih troškova kamionskog transporta je utjecaj otpora kotrljanja. Na otpor kotrljanja utječe deformiranje guma, unutarnje trenje i najbitnije, opterećenje kotača i uvjeti na cestama. Empirijske procjene otpora kotrljanja prikazuju porast od 0,6% po centimetru guma koje prodiru u tlo, iznad 1,5% u slučaju dvostrukih kotača pa sve do 2% u slučaju jednostrukih kotača na kamionima. Općenito, koristeći performanse kamiona možemo izračunati efektivni nagib(otpor) kretanja kamiona ovisno o tome kreće li se uzbrdo ili nizbrdo (Caterpillar Handbook, 2001)

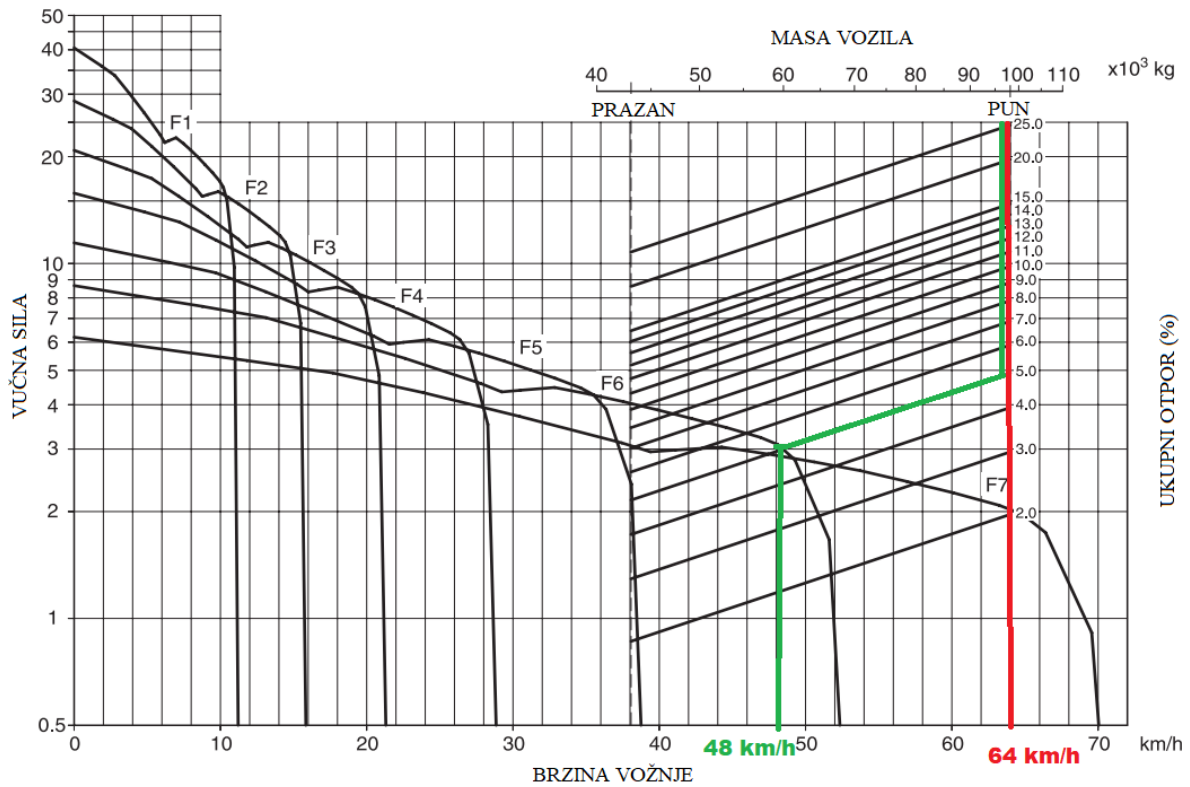
Kretanje kamiona uzbrdo :

$$\text{Ukupni otpor (\%)} = \text{nagib (\%)} + \text{otpor kotrljanja (\%)}$$

Kretanje kamiona nizbrdo :

$$\text{Ukupni otpor (\%)} = \text{nagib (\%)} - \text{otpor kotrljanja (\%)}$$

Mala smanjenja otpora kotrljanja mogu dovesti do značajnih poboljšanja u brzini i produktivnosti vozila. Na slici 5.1 prikazan je primjer utjecaja ukupnog otpora na brzinu punog kamiona Komatsu HD465-7. Pri ukupnom otporu od 2% brzina punih kamiona iznosi 64 km/h, a pri ukupnom otporu od 5% brzina punog kamiona iznosi 48 km/h. U navedenom slučaju, povećanje ukupnog otpora za 3% rezultira smanjenjem brzine za 25%.

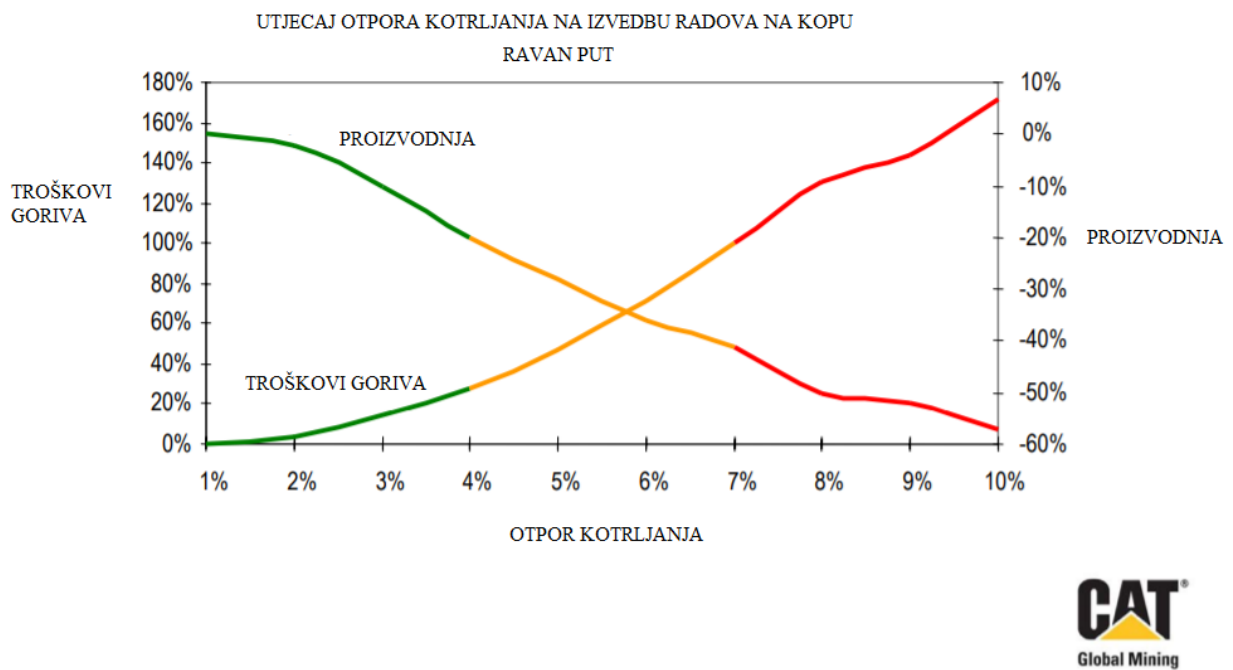


**SLIKA 5-1.** Utjecaj otpora kotrljanja i nagiba na brzinu punih kamiona (Komatsu, 2013)

Na slici 5-2. prikazan je primjer kako veliki otpor kotrljanja (30%) utječe na prodor guma u tlo. Dubina kolotraga iznosi 610 mm i dovodi do veće potrošnje goriva, habanje guma i općenito smanjuje trajnost ostalih dijelova kamiona. Ekonomski utjecaj otpora kotrljanja prikazan je na slici 5-3. Veliki otpor kotrljanja povećava troškove goriva prilikom spore vožnje malim brzinama te općenito troškove opreme i održavanja. Produktivnost proizvodnje opada s povećanjem troškova goriva.



**Slika 5-2.** Dubina kolotruga pri otporu kotrljanja od 30% (Thompson, 2021)

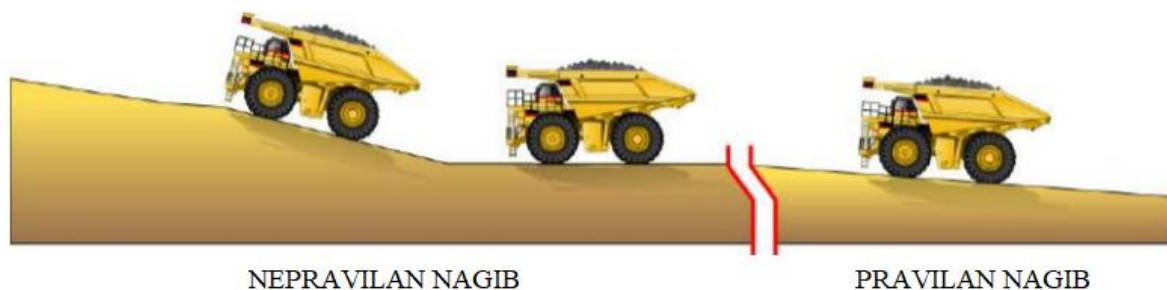


**Slika 5-3.** Utjecaj otpora kotrljanja na izvedbu radova na kopu. Kamion koji se kreće putem s većim otporom kotrljanja mora proizvesti više snage iz motora i potrošiti više goriva za svladavanje otpora.(Thompson, 2021)



## 5.2 Uzdužni nagib transportnog puta

Nagib trase je presjek linije koji se proteže središnjim dijelom ceste u promatranoj okomitoj ravnini. Pretjerano strmi nagibi skraćuju duljinu transportnog puta, ali zahtijevaju manju brzinu vozila što produljuje ukupni ciklus. Transportni put s manjim nagibom zahtijevaju više iskopavanja što dodatno produljuje ciklus i tada je on neučinkovit. Potrebno je naći optimalnu ravnotežu između kraćih ciklusa vožnje i minimalnog trošenja guma na vozilima. Nagib trase osobito je važan prilikom transporta teškim robusnim vozilima jer mora biti prilagođen zaustavnom putu i kočenju vozila. Primjerice, uzimajući u obzir karakteristike kočenja kamiona Komatsu 830E i 785C Caterpillar maksimalni nagib može biti 10 %. Svaka cesta trebala bi imati glatke prijelaze između ravnih dijelova te bi nagib trebao biti konstantan kako bi se smanjio prijenos između zupčanika što utječe na proizvodni ciklus i troškove rada i održavanja. Optimalan nagib održava veću prosječnu brzinu, smanjuje prosipanje materijala i potrošnju goriva te omogućava kočenje vozila. Preporuka je da nagib bude između 8-10 % uz otpor kotrljanja od 2%.



**Slika 5-4.** Primjer pravilnog i nepravilnog nagiba na transportnom putu (Thompson, 2021)

## 5.3 Poprečni nagib trase

Poprečni nagib predstavlja visinsku razliku između ruba ceste i centra ceste. To je široko korištena tehnika u gradnji koja pomaže zaštititi trasu od vode tako što smanjuje nakupljanje vode, mulja i pukotina na cesti. Faktor poprečnog nagiba ovisi o puno čimbenika, kao što su površina ceste, vremenski uvjeti i nagib. U tablici 5-1. prikazane su preporučene vrijednosti poprečnog nagiba ovisno o stanju površine i količini padalina.

**Tablica 5-1.** Preporučeni koeficijent poprečnog nagiba za cestu (Thompson, 2021)

NAGIB CESTE	MINIMALNI POPREČNI NAGIB – mala količina oborina ili glatka površina	MAKSIMALNI POPREČNI NAGIB- velika količina oborina ili hrapava površina
0 – 3%	2%	5%
4 – 6%	2%	3%
6 - 10% (maksimalni nagib)	1%	1.5%

Poprečni nagib na jednosmjernoj cesti određen je topografijom terena, dok se na dvosmjernom putu proteže od sredine prema rubovima ceste. Potrebno je imati minimalni nagib od 2 % kako bi se osigurala učinkovita drenaža vode. Veći poprečni nagib učinkovito se suprotstavlja centrifugalnoj sili te tako povećava brzinu kamiona (Tablica 5-2.), smanjuje opterećenje na okviru i gumama te sprječava prosipanje materijala. Poprečni nagib može biti ograničen u slučaju ako se previše opterete unutarnji kotači te može doći do proklizavanja u skliskim uvjetima.

**Tablica 5-2.** Ovisnost radijusa krivine i poprečnog nagiba. Iz tablice je vidljivo da povećanjem radijusa krivine i poprečnog nagiba povećavamo maksimalnu sigurnosnu brzinu kojom kamion može ući u krivinu bez opasnosti prevrtanja (Thompson, 2021).

RADIJUS ZAKRIVLJENOSTI (m)	BRZINA (km/hr)					
	16	24	32	40	48	56
30	7 %	15 %	27 %	-	-	-
45	4 %	10 %	18 %	28 %	-	-
60	3 %	8 %	13 %	21 %	30 %	-
90	2 %	5 %	9 %	14 %	20 %	27 %
150	1 %	3 %	5 %	8 %	12 %	16 %
215	1 %	2 %	4 %	6 %	9 %	12 %
300	1 %	2 %	3 %	4 %	6 %	8 %

## 5.4 Utjecaj dužine vidljivog puta vozača

Prema zahtjevima norme zaustavnog puta potrebno je imati vidokrug od najmanje 150 m. Kada to nije moguće dužina vidljivog puta mora biti veća barem za 5 metara od dužine zaustavnog puta Ovo je ponekad teško postići jer cesta nije cijeli put ravna, damper se kreće po zavojima (Slika 5-5.) ili nailazi na pozitivne i negativne nagibe. Za proračun udaljenosti prepreke na koju damper nailazi i vidokruga vozača koristimo se formulom (5-1) :

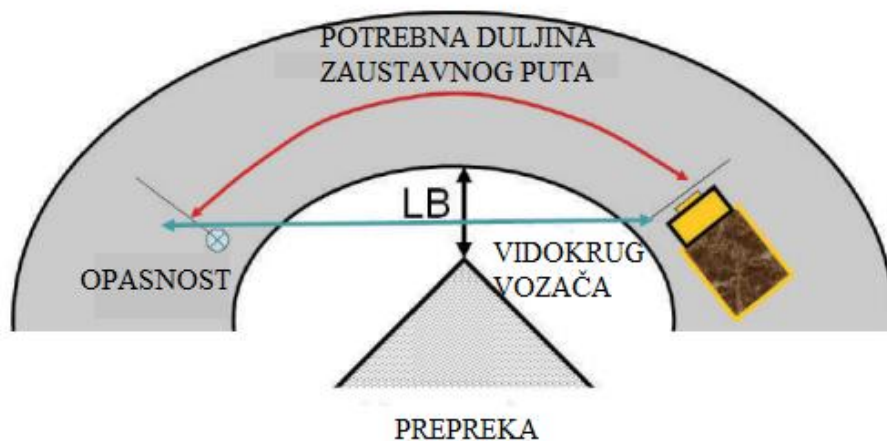
$$LB = SD [1 - \cos(28,65 * R/SD)] \quad (5-1)$$

Gdje je :  $LB$  -eng.*layback*, duljina zaustavnog puta od uočene prepreke do dužine vidljivog puta vozača

$SD$  - eng.*stopping distance*, minimalni zaustavni put

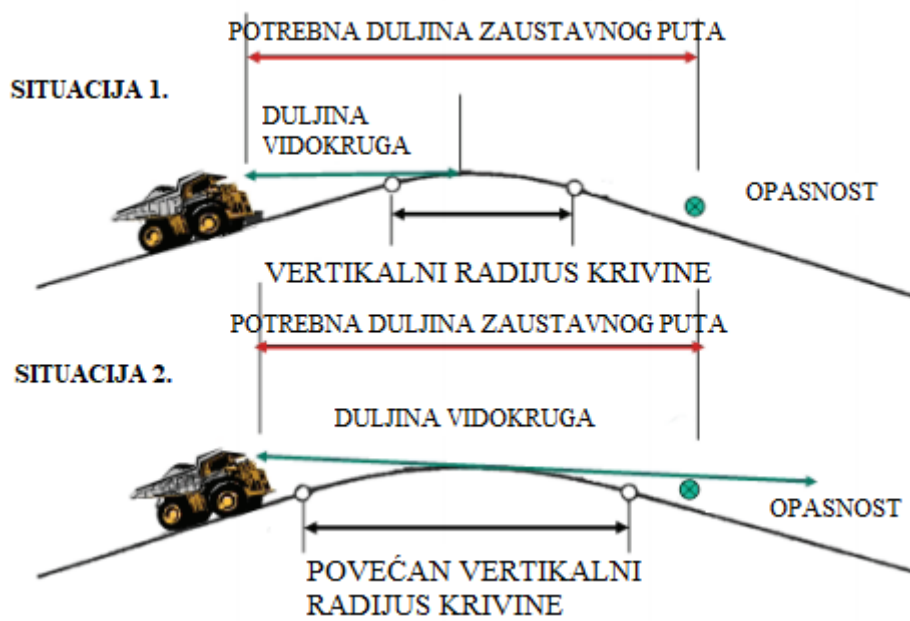
$R$  - radijus krivine (m)

Duljina  $L$  (m) vertikalnih zavoja može biti određena uzimajući u obzir visinu na kojoj se vozač nalazi u odnosu na tlo ( $h_1$ ).



**Slika 5-5.** Prikaz situacije u kojoj vozilo nailazi na zavoj (Thompson, 2021)

Na slici 5-6. prikazane su dvije situacije kada damper nailazi na manji i veći vertikalni radijus krivine. Situacija 1. predstavlja opasnost jer je vidokrug manji od zaustavnog puta dok je na drugom primjeru povećan vertikalni radijus i situacija je sigurna za vožnju. Prema tome, možemo zaključiti da će sigurnosna brzina kamiona prema kriteriju dužine vidljivog puta biti veća, ukoliko se poveća vertikalni radijus krivine.



Slika 5-6. Odnos zaustavnog puta i dužine vidljivog puta (Thompson, 2021)

## 6.ZAKLJUČAK

Prije početka eksploatacije potrebno je odabrati transportno sredstvo koje će najbolje odgovarati karakteristikama transportnog puta. Sigurnost transporta, kapacitet proizvodnje i tehničke karakteristike vozila najviše ovise o dobro isplaniranoj i izgrađenoj cesti. Najveći utjecaj na trajanje ciklusa odnosno brzinu dampera imat će otpor kotrljanja, stoga je potrebno posvetiti veliku pozornost konstrukciji transportnog puta kao i samom održavanju. Važan je i nagib trase, potrebno je osigurati glatke prijelaze na cesti, bez naglih promjena kako se ne bi dodatno usporavao transportni ciklus. Preporuka je da uzdužni nagib transportnog puta bude između 8-10 % uz otpor kotrljanja od 2%. Veći poprečni nagib učinkovito se suprotstavlja centrifugalnoj sili te tako povećava brzinu kamiona i smanjuje opterećenje na okviru i gumama sprečavajući na taj način prosipanje materijala. Sigurnu vožnju osigurat će i dovoljno velika dužina vidljivog puta te tako spriječiti opasne potencijalne susrete svih vozila koje sudjeluju u radu na kopu.

## 7. LITERATURA

Alarie, S., & Gamache, M. (2002). Overview of solution strategies used in truck dispatching systems for open pit mines. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 16(1), 59-76.

Caterpillar Handbook, 32nd Ed. (2001.) , Caterpillar Inc., Peoria,II

Čeliković R., Subašić S., Mehmedović A., 2012. Kamioni. Tuzla : Univerzitet u Tuzli: Rudarsko geološko građevinski fakultet. URL:  
<https://www.scribd.com/document/379691955/Kamioni>

Komatsu 2013, Specifications & application handbook. Edition 31. April 2013

Korman T. 2019. Transport i izvoz. Proračun transporta kamionima. Zagreb: Rudarsko-geološko naftni fakultet. URL:  
<https://moodle.srce.hr/2019-2020/mod/resource/view.php?id=1027991>

Kujundžić T. 2019. Transport i izvoz. Skripta kolegija . Sredstva kamionskog transporta. Zagreb: Rudarsko-geološko naftni fakultet. URL:  
<https://moodle.srce.hr/2019-2020/mod/resource/view.php?id=1027973>

Linarić Z. 2021. Učinak građevinskih strojeva. Zagreb. Građevinski fakultet .URL:  
[https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/ucinakgradevinskihstrojeva.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/ucinakgradevinskihstrojeva.pdf)

Thompson R.J. ,2021. Mining roads. Mine haul road deisgn, construction & maintenance managment . URL:  
<https://www.scribd.com/document/331410091/Mine-Haul-Road-Design-Construction-and-Maintenance-management-pdf>

Wikipedia 2021. Pneumatika . URL:  
<https://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatika>