
EKSPLATACIJSKI PARAMETRI, BRZINE, NOSIVOST, PRIJEVOZNI UČINAK¹.

- 1. Osnovni eksploatacijski parametri teretnih vozila
 - 2. Analiza kretanja prijevoznih sredstava sa stajališta prijednog puta
 - 3. Brzine kretanja prijevoznih sredstava
 - 4. Analiza nazivne nosivosti prijevoznih sredstava
 - 5. Prijevozni učinak
-

1. OSNOVNI EKSPLOATACIJSKI PARAMETRI TERETNIH VOZILA

Definicije pojmova:

Masa vozila je masa praznog vozila uključujući gorivo i pribor. **Ukupna masa** podrazumijeva masu vozila i teret na vozilu kao i osobe u vozilu, te masu priključnog vozila s mogućim teretom. **Najveća dopuštena masa** je masa vozila i nosivost propisana deklaracijom.

Nosivost je dopuštena masa do koje se vozilo smije opteretiti prema deklaraciji proizvođača.

Osovinsko opterećenje je dio ukupne mase vozila kojom kotači osovine opterećuju kolnik u stanju mirovanja.

Najveća duljina vozila je razmak između najizbočenijega prednjeg i stražnjeg dijela vozila, bez tereta. **Najveća širina vozila** je razmak između najizbočenijih bočnih dijelova vozila, bez tereta. **Najveća visina vozila** je razmak između vodoravne podloge i najvišeg dijela vozila kad je neopterećeno i kada su gume napumpane na tlak koji propisuje proizvođač vozila.

Pravilnikom o dimenzijama, ukupnim masama i osovinskom opterećenju za teretno prijevozno sredstvo propisane su vrijednosti za sljedeće parametre:

- a) specifična snaga vozila
- b) koeficijent kompaktnosti
- c) koeficijent iskorištenje mase vozila
- d) koeficijent iskorištenja gabaritne površine vozila
- e) nosivost teretnog vozila
- f) specifična površinska nosivost vozila
- g) specifična volumenska nosivost
- h) koeficijent iskorištenja volumenske nosivosti
- i) kapacitet autobusa.

a) Specifična snaga prijevoznog sredstva (p_s)

Pokazatelj specifične snage dobije se dijeljenjem snage motora s najvećom masom vozila. Značenje tog pokazatelja je u tome što ima veći utjecaj na dinamička svojstva vozila.

¹ Materijal preuzet iz literature: Županović, I., Tehnologija cestovnog prijevoza, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1998. (dijelovi: 5.3., 5.14., 5.15., 5.16. i 5.17.)

$$p_s = \frac{P}{m_b} \quad [\text{kW/t}]$$

P – snaga motora (kW)

m_b – bruto masa vozila (t)

U *Pravilniku o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama* (NN 51/2010), čl.11 stoji sljedeće:

(1) Odnos bruto snage motora izražene u kilovatima i najveće dopuštene mase vozila izražene u tonama mora biti:

- 1) za osobne automobile, automobile i motocikle – najmanje 15 kW/t;
- 2) za autobuse, osim zglobnog autobusa – najmanje 9 kW/t;
- 3) za teretne automobile – najmanje 7 kW/t;
- 4) za zglobne autobuse – najmanje 6 kW/t;
- 5) za vozila namijenjena obavljanju komunalnih usluga, teretne automobile namijenjene za obavljanje prijevoza u poljoprivredi, šumarstvu, građevinarstvu i rudarstvu te za skupove motornih i priključnih vozila – najmanje 4 kW/t.

b) Kompaktnost prijevoznih sredstava (η_k)

Pod kompaktnošću prijevoznih sredstava podrazumijeva se koeficijent η_k koji se dobije dijeljenjem nazivne nosivosti s površinom namijenjenom smještaju tereta (vanjski rubovi sanduka) kod teretnih prijevoznih sredstava ili raspoloživom nosivom površinom:

$$\eta_k = \frac{q_n}{A \cdot B} \quad [\text{t/m}^2]$$

q_n – nazivna nosivost

A – duljina vanjskih izmjera vozila (m)

B – širina vanjskih izmjera vozila (m)

Analogno, kod putničkih automobila i autobusa kompaktnost se dobiva na temelju ukupne površine namijenjene putnicima i standarda propisanog za smještaj jednog putnika u vozilu, pri čemu se za jednog putnika u putničkom automobilu uzima normativ 0,5-0,7 m², a u autobusu u gradskom prometu od 0,12 do 0,15 m² za površine namijenjene stajanju i 0,315 m² za sjedenje. Koeficijent kompaktnosti za prijevozna sredstva namijenjena prijevozu tereta iznosi 0,15 do 0,5 t/m².

c) Iskorištenje mase prijevoznog sredstva (η_m)

Iskorištenje mase prijevoznog sredstva mjeri se koeficijentom η_m koji se dobije dijeljenjem vlastite mase vozila s nazivnom nosivošću:

$$\eta_m = \frac{m_v}{q_n}$$

m_v – masa prijevoznog sredstva bez opterećenja, spremnog za vožnju (t)

Uočava se da koeficijent iskorištenja mase prijevoznog sredstva ovisi u prvom redu o masi gradiva od kojeg je vozila izrađeno. Važećim *Pravilnikom o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama* (NN 51/2010) u čl. 10 propisane su najveće dopuštene mase i osovinska opterećenja. Najveća dopuštena masa motornih vozila, priključnog vozila ili skupa vozila, osovinsko opterećenje vozila u stanju mirovanja na vodoravnoj podlozi, ne smiju prelaziti sljedeće iznose:

1. NAJVEĆE DOPUŠTENE MASE MOTORNIH VOZILA ILI SKUPA VOZILA

1.1 Vozila koja su dio skupa vozila:

1.1.1 Jednoosovinska prikolica	10 t
1.1.2 Dvoosovinska prikolica	18 t
1.1.3 Troosovinska prikolica	24 t

1.2 Skup vozila

1.2.1 Skup vozila sa 5 ili 6 osovina:

- a) dvoosovinsko motorno vozilo s troosovinskom prikolicom 40 t
- b) troosovinsko motorno vozilo s dvo ili troosovinskom prikolicom 40 t

1.2.2 Tegljač s poluprikolicom s ukupno 5 ili 6 osovina:

- a) dvoosovinski tegljač s troosovinskom poluprikolicom 40 t
- b) troosovinski tegljač s dvo ili troosovinskom poluprikolicom 40 t
- c) troosovinski tegljač s dvo ili troosovinskom poluprikolicom kada prevozi 40-stopni ISO kontejner kao kombiniranu prijevoznu operaciju (jedinicu) 44 t

.....

1.3 Motorna vozila:

1.3.1 Dvoosovinsko motorno vozilo	18 t
1.3.2 Troosovinsko motorno vozilo	25 t
1.3.3 Četveroosovinsko motorno vozilo	31 t

2. OSOVINSKO OPTEREĆENJE VOZILA ODNOSNO SKUPA VOZILA U STANJU MIROVANJA NA VODORAVNOJ PODLOZI NE SMIJE PRELAZITI:

2.1 Jednostruka osovina (svaka osovina koja je od susjedne osovine udaljena 1,80 ili više m)

- a) jednostruka slobodna osovina 10 t
- b) jednostruka pogonska osovina 11,50 t

2.2 Dvostruke osovine prikolica i poluprikolica (dvije osovine ako im je međusobni razmak manji od 1,80 m ($d < 1,80$ m)). Zbroj opterećenja osovine dvostruke osovine ne smije prijeći, ako je razmak (d) između osovine:

- a) manji od 1,00 m ($d < 1,00$ m) 11 t
- b) od 1,00 m do manje od 1,30 m ($1,00 \text{ m} \leq d < 1,30 \text{ m}$) 16 t
- c) od 1,30 m do manje od 1,80 m ($1,30 \text{ m} \leq d < 1,80 \text{ m}$) 18 t

.....

2.5 Dvostruke osovine motornih vozila

Zbroj opterećenja osovine po dvostrukoj osovini ne smije prijeći, ako je razmak (d) između osovine:

- a) manji od 1,00 m ($d < 1,00$ m) 11,50 t

.....

Iz prakse je međutim, poznata a i vrlo raširena pojava prekoračenja propisanih opterećenja. Povodom predimenzioniranja teretnih prijevoznih sredstava uočava se da ima sve više zahtjeva za registraciju vozila koja ne udovoljavaju propisanim uvjetima u svezi s dimenzijama, dopuštenom masom i osovinskim opterećenjem. To je uvjetovalo osposobljavanje specifične službe koja je ovlaštena za davanje atesta. Ti poslovi povjereni su Centru za vozila Hrvatske koji je izradio katalog o predimenzioniranim vozilima prema kojemu su vozila svrstana u tri skupine:

- vozila čije izmjere premašuju propisane normative
- vozila čija je najveća dopuštena masa i osovinsko opterećenje premašuju dopuštene normative
- priključna vozila čija je ukupna masa 50% veća od mase vučnog vozila.

Osim tih skupina predimenzioniranih vozila, kategorizirana su i vozila s dopuštenim opterećenjem za neke osovinske sklopove te ona s dopuštenim opterećenjima za gume. Prijevozna sredstva koja odstupaju od propisanih normativa mogu prometovati u skladu sa Zakonom o osnovama sigurnosti na cestama ako imaju posebne registarske pločice crvene boje na kojima je bijelim slovima i brojkama ispisana oznaka registarskog domicila.

Teretna prijevozna sredstva koja premašuju najveću dopuštenu masu od 40 t podvrgavaju se propisanim tehničkim pregledima uz evidenciju da se radi o posebno obilježenim registarskim pločicama i priopćenje o kakvom se odstupanju – prekoračenju radi (širina, duljina, masa) što se i posebno unosi u registracijski list.

d) Iskorištenje gabaritne površine prijevoznog sredstva (η_p)

Iskorištenje gabaritne površine vozila mjeri se koeficijentom iskorištenja gabaritne površine η_p koji se dobije dijeljenjem korisne površine namijenjene smještaju predmeta prijevoza s gabaritnom površinom vozila:

$$\eta_p = \frac{a \cdot b}{A \cdot B}$$

a – duljina prostora namijenjenog smještaju predmeta prijevoza (m)

b – širina prostora namijenjenog smještaju predmeta prijevoza (m)

A – duljina vanjskih izmjera vozila (m)

B – širina vanjskih izmjera vozila (m)

U *Pravilniku o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama* (NN 51/2010), Čl. 4-6 navode se najveće dopuštene duljine vozila a ovdje su izdvojene sljedeće:

1) motornog vozila, osim autobusa	12,00 m
2) priključnog vozila s rudom (krutom vezom)	12,00 m
3) poluprikolice (mjereći od stražnjeg kraja do vučnog svornjaka)	12,00 m
4) tegljača s poluprikolicom	16,50 m
5) vučnog vozila s prikolicom	18,75 m
6) zglobovog autobusa	18,75 m
7) vučnog vozila i prikolice, za prijevoz automobila	21,00 m

Najveća dopuštena **širina vozila je 2,55 m**. Najveća dopuštena širina hladnjače sa stjenkom debljine najmanje 45 mm iznosi 2,60 m. Najveća dopuštena **visina vozila je 4,00 m**.

e) Nazivna nosivost prijevoznog sredstva (nazivni kapacitet)

Nazivna je nosivost (nazivni kapacitet vozila namijenjene prijevozu putnika) maksimalna količina tereta u tonama (broja putnika) koju prijevozno sredstvo može prevoziti s obzirom na svoje specifične značajke. Nazivna nosivost (nazivni kapacitet) je osnovni podatak o nekom prijevoznom sredstvu, a uvjetovan je, uz ostalo, u prvom redu konstrukcijskim značajkama vozila.

Nosivost teretnog prijevoznog sredstva određuje se korisnom nosivošću (t), specifičnom volumenskom nosivošću (t/m^3), koeficijentom iskorištenja korisne nosivosti u funkciji izmjere prostora za teret, a koristi se i podatak o specifičnoj površinskoj nosivosti (t/m^2).

Korisna nosivost je kvalitetan podatak koji se iznosi u reklamnim materijalima. Tu su još i marka vozila i uz nju ukupna masa i snaga motora čime se definira i tip. Oznaka za kotače (4x4) ili (4x2) znači da su od četiri kotača sva četiri pogonska ili samo dva.

f) Specifična površinska nosivost prijevoznog sredstva (SP_q)

Dobiva se dijeljenjem nazivne nosivosti i korisne površine sanduka – prostora za smještaj tereta:

$$SP_q = \frac{q_n}{a \cdot b} \quad [t/m^2]$$

g) Specifična volumenska nosivost (SV_q)

Specifična volumenska nosivost je količnik koji se dobije dijeljenjem nazivne nosivosti i volumena namijenjenoga prijevozu tereta:

$$SV_q = \frac{q_n}{a \cdot b \cdot c} \quad [t/m^3]$$

Ako se prevozi rasuti teret koji može ispadati iz sanduka tada nije moguće govoriti o teorijskom volumenu nego o praktičnom (smanjenom) volumenu koji osigurava zadržavanje tereta u sanduku. U tom slučaju, visina sanduka nije "c" već iznosi "c-x", gdje je "x" zaštitna visina. Ako se prevozi teret relativno male volumenske mase, tada se on uz osiguranje vezama ili drugim zaštitnim sredstvima može slagati do visine "c+y" ali ne na način da ukupna visina vozila s teretom bude veća od 4 m.

h) Koeficijent iskorištenja volumenske nosivosti (η_{qv})

Taj se koeficijent dobije kada se iskorišteni volumen ukrcanoga prijevoznog sredstva podijeli s nazivnom nosivošću:

$$\eta_{qV} = \frac{V \cdot \eta_V \cdot \rho}{q_n}$$

V – volumen prostora namijenjenog teretu (m^3)

η_V – koeficijent iskorištenja volumena prostora za određenu vrstu robe

ρ – zapreminska masa tereta (t/m^3)

q_n – nazivna nosivost prijevoznog sredstva (t)

i) Kapacitet autobusa

Kapacitet autobusa u međumjesnom prometu praktično je određen brojem sjedala. U tom slučaju korisna površina je samo ona na kojoj se nalazi putnik (sjedalo+prostor za noge), a površine namijenjene ulasku i prolasku putnika ne smatraju se korisnim površinama jer je stajanje putnika u međumjesnom prometu zabranjeno. Suvremeni autobusi na međumjesnim i međunarodnim linijama opremljeni su i prostorom za ugodnije provođenje vremena kao i sanitarnim prostorom pa se u tom slučaju i ti prostori smatraju korisnom površinom. U autobusima namijenjenima gradskom i prigradskom prometu svi prostori na kojima mogu stajati putnici smatraju se korisnim prostorom i uvjetuju kapacitet autobusa.

2. ANALIZA KRETANJA PRIJEVOZNIH SREDSTAVA SA STAJALIŠTA PRIJEĐENOG PUTA

2.1. Iskorištenost prijeđenog puta

Tijekom angažiranosti prijevoznog sredstva, ono ostvaruje određeni prijevozni učinak. Taj učinak ovisi o više čimbenika. Jednu skupinu čimbenika čine objektivni koji su uvjetovani tehničkim značajkama vozila i stanjem infrastrukture. Drugu skupinu čine tzv. subjektivni čimbenici tj. organizacija rada. Sa stajališta iskorištenosti nazivne nosivosti, optimalan je onaj prijevozni proces u kojemu je postignuta puna iskorištenost nazivne nosivosti. To se u praksi rijetko događa, češće je prijevozno sredstvo potkapacitirano, prekapacitirano ili uopće nije opterećeno. Ako prijevozno sredstvo nije opterećeno, tada ostvaruje samo djelomične učinke.

U praksi se pojavljuje i prekapacitirano prijevozno sredstvo uz uvjerenje da se time ostvaruje i veći ukupni učinak. To, međutim, uglavnom nije tako jer prekapacitiranost izaziva i negativne učinke na prijevoznom sredstvu koji su teško mjerljivi i obično se naknadno očituju.

U procesu prijevoza prijevozno sredstvo prelazi određeni **put**, i to:

- prijevozni put od smještajnog do operativnog prostora
- prijevozni put na relaciji prijevoza
- prijevozni put od operativnog prostora ili prijevozne relacije do smještajnog prostora:

$$s = s_{01} + s_p + s_t + s_{02} \quad [\text{km}]$$

$$s_0 = s_{01} + s_{02} \quad [\text{km}]$$

$$s = s_0 + s_t + s_p \quad [\text{km}]$$

s	– ukupno prijeđeni put prijevoznog sredstva (km)
s_{01}	– udaljenost od smještajnog prostora do mjesta ukrcaja (km)
s_t	– put koji je prijevozno sredstvo prešlo pod opterećenjem (km)
s_p	– put koji je prijevozno sredstvo prešlo bez tereta na relaciji prijevoza (km)
s_{02}	– udaljenost od završetka prijevoza do povratka u mjesto smještaja (km)
s_0	– nulti prijeđeni put, udaljenost koju je prijevozno sredstvo prešlo od smještajnog prostora do prvog mjesta ukrcaja i od zadnjeg mjesta iskrcaja natrag do smještajnog prostora (km)

Sa stajališta djelovanja prijevoznog sredstva poželjno je analizirati sve faze kretanja. U procesu prijevoza koji se ponavlja, elementi s_t i s_p povećavaju se u apsolutnom iznosu približno proporcionalno tijekom vremena. Pritom opada udio prvog s_{01} i zadnjeg s_{02} elementa. Iskorištavanje prijeđenog puta (ili prijeđeni put prijevoznog sredstva s teretom i bez tereta) analizira se pomoću dva koeficijenta.

Koeficijent β pokazuje iskorištenost prijeđenog puta sa teretom na prijevoznom sredstvu, bez obzira na to u kojoj je mjeri iskorištena nazivna nosivost. Dakle, **koeficijent iskorištenja prijeđenog puta** je udio prijeđenog puta pod opterećenjem i ukupnog prijeđenog puta, te je za jedno prijevozno sredstvo:

$$\beta = \frac{s_t}{s}$$

Koeficijent β_0 je tzv. koeficijent nultoga prijeđenog puta. Ovim se koeficijentom može mjeriti i iskorištenost prijeđenog puta za prijevozni proces bez ponavljanja i s ponavljanjem, kao i proces u kojemu prijevozno sredstvo zatvara prijevozni krug poznat pod nazivom "obrtaj". Koeficijent nultoga prijeđenog puta je udio nultoga prijeđenog puta u ukupnom prijeđenom putu:

$$\beta_0 = \frac{s_0}{s}$$

2.2. Srednja udaljenost vožnje s teretom

Srednja udaljenost vožnje s teretom pri radu jednog prijevoznog sredstva je aritmetička sredina svih udaljenosti vožnja s teretom, odnosno:

$$s_{st} = \frac{s_{t1} + s_{t2} + \dots + s_{tm}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n s_{ti}}{n} = \frac{s_t}{n} \quad [\text{km}]$$

$s_{t1}, s_{t2}, \dots, s_{tm}$ – duljine vožnja s teretom (km)

n – broj vožnja s teretom

3. BRZINE KRETANJA PRIJEVOZNIH SREDSTAVA

Brzina kretanja sredstava bitna je veličina koja utječe na prijevozni učinak, a osnovne su:

- prometna brzina
- prijevozna brzina
- brzina obrtaja.

Prometna brzina (v) je brzina koju ostvaruje prijevozno sredstvo u prijevoznom procesu, uzimajući u obzir samo vrijeme vožnje (rad motora) a isključujući stajanja zbog usputnog zadržavanja koje ne uzrokuje prometni tijek:

$$v = \frac{s}{t} \quad [\text{km/h}]$$

t – vrijeme vožnje (h)

Prijevozna brzina (v_{pr}) razlikuje se od prometne utoliko što uzima u obzir i vrijeme mogućeg zadržavanja od polaska do dolaska bez obzira na razloge zadržavanja. Međutim, u vrijeme provedeno u prijevozu nisu uključena vremena ukrcaja i iskrcaja u polaznoj i završnoj točki relacije na kojoj je prijevoz obavljen. Stoga je prijevozna brzina manja ili jednaka prometnoj brzini:

$$v_{pr} = \frac{s}{t_{pr}} \quad [\text{km/h}]$$

s – udaljenost između polazne i završne točke između kojih je obavljen prijevoz (km)

t_{pr} – vrijeme prijevoza (h)

Brzina obrtaja (v_o) je brzina koju ostvaruje prijevozno sredstvo u linijskom prijevozu putnika ili robe radeći obrtaje između dva terminala linije. Vrijednost brzine obrtaja dobiva se kao količnik dvostruke duljine linije i vremena trajanja obrtaja. Vrijeme obrtaja obuhvaća vrijeme vožnje, vrijeme zadržavanja na usputnim i završnim postajama radi ukrcaja/iskrcaja tereta odnosno putnika, kao i vrijeme zadržavanja prijevoznih sredstava u terminalima linije, radi odmora osoblja, pregleda prijevoznog sredstva, itd. Prema tome:

$$s_o = 2 \cdot s_l \quad [\text{km}]$$

$$t_o = t_v + t_{u/i} + t_z \quad [\text{h}]$$

$$v_o = \frac{s_o}{t_o} \quad [\text{km/h}]$$

s_l – duljina linije (km)

s_o – ukupna udaljenost u obrtaju, tj. dvostruka duljina linije (km)

t_o – vrijeme obrtaja (h)

t_v – vrijeme vožnje u obrtaju (h)

$t_{u/i}$ – vrijeme ukrcaja/iskrcaja u obrtaju (h)

t_z – vrijeme zadržavanja u obrtaju, odnosno na terminalima linije (h)

4. ANALIZA NAZIVNE NOSIVOSTI PRIJEVOZNIH SREDSTAVA

4.1. Koeficijent statičkog opterećenja (iskorištenja nazivne nosivosti μ_s)

Koeficijent statičkog opterećenja prijevoznih sredstava μ_s je količnik koji se dobije dijeljenjem stvarnog i mogućeg (nazivnog) opterećenja:

$$\mu_s = \frac{q_t}{q_n}$$

q_t – stvarna količina tereta na prijevoznom sredstvu tijekom jedne vožnje (t)

q_n – nazivna nosivost prijevoznog sredstva (t)

Ako se promatra jedno prijevozno sredstvo u nekom određenom razdoblju tada bi koeficijent statičkog opterećenja bio:

$$\mu_s = \frac{Q_t}{q_n \cdot n} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{ti}}{\sum_{i=1}^n q_{ni}}$$

Q_t – ukupna količina tereta prevezena jednim prijevoznim sredstvom u određenom razdoblju (t)

n – broj vožnji s teretom u promatranom razdoblju

4.2. Koeficijent dinamičkog opterećenja (iskorištenja nazivne nosivosti μ_d)

Koeficijent dinamičkog iskorištenja korisne nosivosti prijevoznih sredstava je količnik koji se dobije dijeljenjem ostvarenog i mogućega prometnog učinka. Za razliku od koeficijenta statičkog iskorištenja nazivne nosivosti koji se dobiva pomoću stvarne količine prevezene robe, koeficijent dinamičkog iskorištenja nazivne nosivosti uključuje, osim stvarno prevezene robe, i udaljenosti na kojima se roba prevozi. Nedostatno iskorištenje nazivne nosivosti prijevoznog sredstva utječe na gubitak prometnog učinka, i to sve više što je udaljenost prijevoza veća.

Koeficijent dinamičkog iskorištenja korisne nosivosti za jedno prijevozno sredstvo tijekom jedne vožnje je:

$$\mu_d = \frac{q_t \cdot s_t}{q_n \cdot s_t} = \frac{q_t}{q_n}$$

s_t – prijeđena udaljenost u jednoj vožnji (km)

Za jedno prijevozno sredstvo u nekom određenom razdoblju dobiva se:

$$\mu_d = \frac{\sum_{i=1}^n q_{ti} \cdot s_{ti}}{\sum_{i=1}^n q_{ni} \cdot s_{ti}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{ti} \cdot s_{ti}}{q_n \cdot \sum_{i=1}^n s_{ti}}$$

s_{ti} – prijeđena udaljenost s teretom u pojedinim vožnjama (km); $i = 1, \dots, n$

5. PRIJEVOZNI UČINAK

Učinak prijevoznog sredstva (U) iskazuje se produktom prevezene količine robe u tonama, odnosno prevezenog broja putnika i prijeđenog puta u kilometrima. Jedinica mjere su tonski kilometri (tkm), odnosno putnički kilometri (pkm). Učinak ne uključuje samo količinu prevezene robe nego i udaljenost na kojoj se roba prevozila. Maksimalni učinak je:

$$U_{\max} = s_t \cdot q_n \quad [\text{tkm}]$$

$$U_{\max} = \beta \cdot s \cdot q_n \quad [\text{tkm}]$$

s_t – put koji je prijevozno sredstvo prešlo pod opterećenjem (km)

s – ukupno prijeđeni put prijevoznog sredstva (km)

β – koeficijent iskorištenja prijeđenog puta

Maksimalni učinak će se ostvariti ako je prijevozno sredstvo optimalno opterećeno. Ako nije, pojavit će se manji učinak od mogućeg. Mjerenje odstupanja opterećenja odnosno iskorištenja nazivne nosivosti prema nazivnom opterećenju postiže se analizom koeficijenata statičkog i dinamičkog iskorištenja (μ_s i μ_d):

$$\mu_d = \frac{U}{U_{\max}}$$

U – ostvareni prijevozni učinak (km)

U_{\max} – mogući prijevozni učinak (km)

Prema tome, ostvareni prijevozni učinak je:

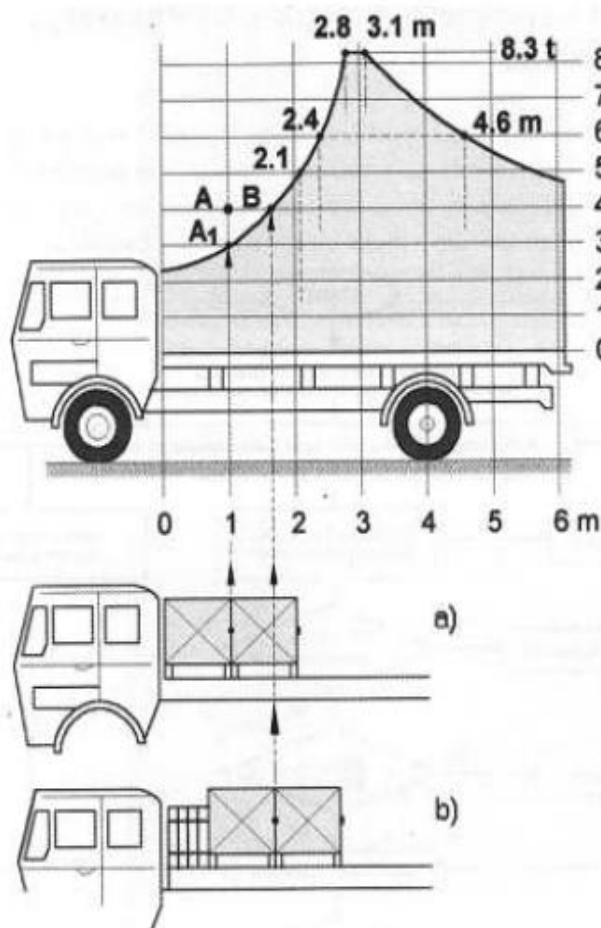
$$U = U_{\max} \cdot \mu_d = q_n \cdot s_t \cdot \mu_d \quad [\text{tkm}]$$

RAZDIOBA TERETA NA PRIJEVOZNOM SREDSTVU, ITINERARI.

- 1. Razdioba tereta na prijevoznom sredstvu kao element opterećenja, potrošnje guma i sigurnosti vožnje
- 2. Izbor itinerara u procesu prijevoza tereta
- 3. Zadatak

1. RAZDIOBA TERETA NA PRIJEVOZNOM SREDSTVU KAO ELEMENT OPTEREĆENJA, POTROŠNJE GUMA I SIGURNOSTI VOŽNJE²

U praksi je poznato da položaj tereta na prijevoznom sredstvu utječe na trošenje guma, sigurnost vožnje i na samu mogućnost opterećenja. Na to se u praksi redovito zaboravlja, a u stručnoj se obradi to zapostavlja. Štetnost zanemarivanja pokazat će se na primjeru jednog kamiona klasičnih značajki (slika 1).

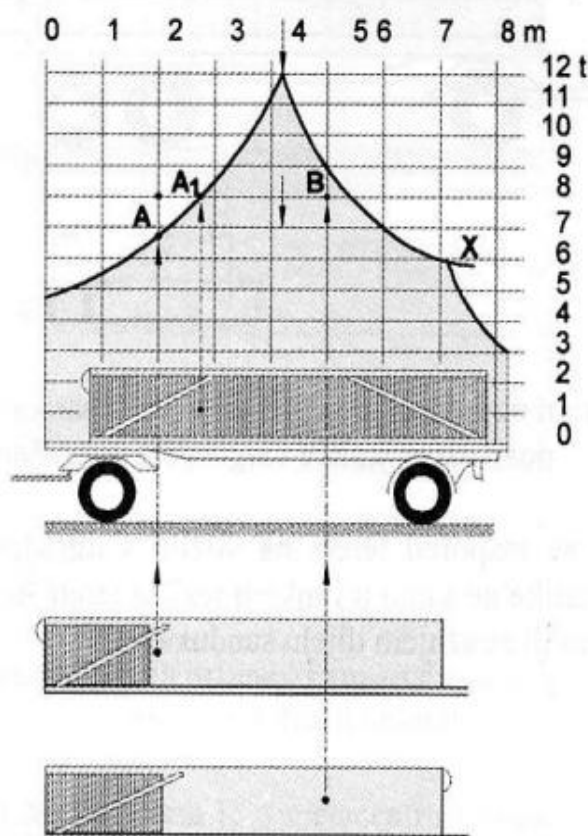


Slika 1. Položaj tereta na prijevoznom sredstvu kao element dopuštenog opterećenja

Polazne pretpostavke analize su obavezno pridržavanje dopuštene nazivne nosivosti, dopuštene ukupne nosivosti i osiguranje minimalnog opterećenja upravljačke osovine. U prikazanom dijagramu (slika 1) uočava se da se pri položaju tereta pod a) teretno vozilo može opteretiti sa svega 3 t (položaj A₁). Ako se položaj tereta i težišta tog tereta pomakne unatrag za širinu četiri prazne palete (položaj B), zapaža se da je pritom u položaju B na dijagramu mogućnost opterećenja 4 t. Ako se položaj tereta pomakne još unatrag, povećat će se i mogućnost opterećenja, a najbolji rezultati postići će se u položaju udaljenom 2,8 – 3,1 m od početka sanduka vozila. Svaki daljnji pomak težišta tereta utjecat će na smanjenje nazivnog opterećenja u funkciji optimalnog upravljanja i opterećenja

pneumatika. Nazivna nosivost prijevoznog sredstva, koja se navodi u prospektu, planirana je za ravnomjeran raspored težišta ili kada je težište tereta u središnjem metacentru sanduka.

² Materijal preuzet iz literature: Županović, I., Tehnologija cestovnog prijevoza, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1998. (dio 5.20., str. 248-254)

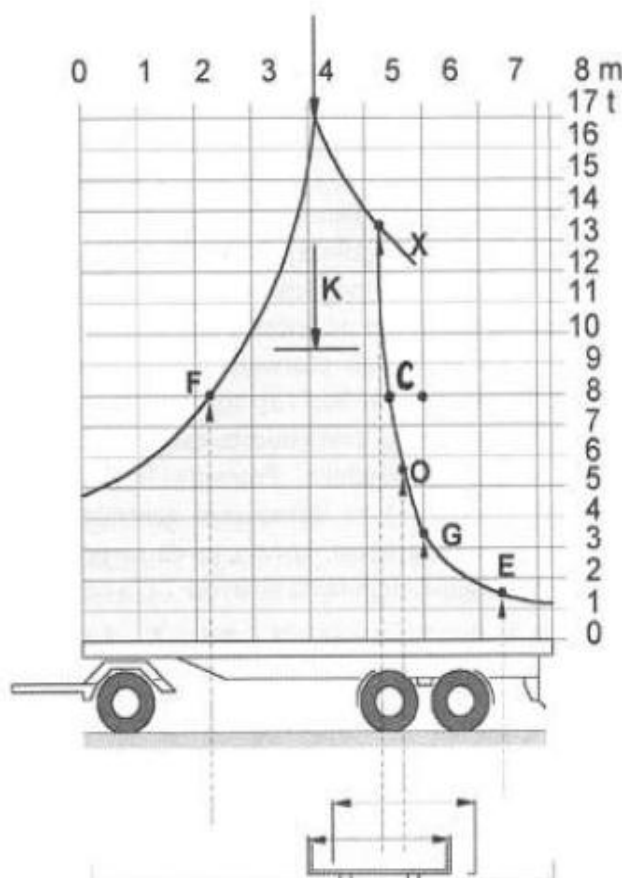


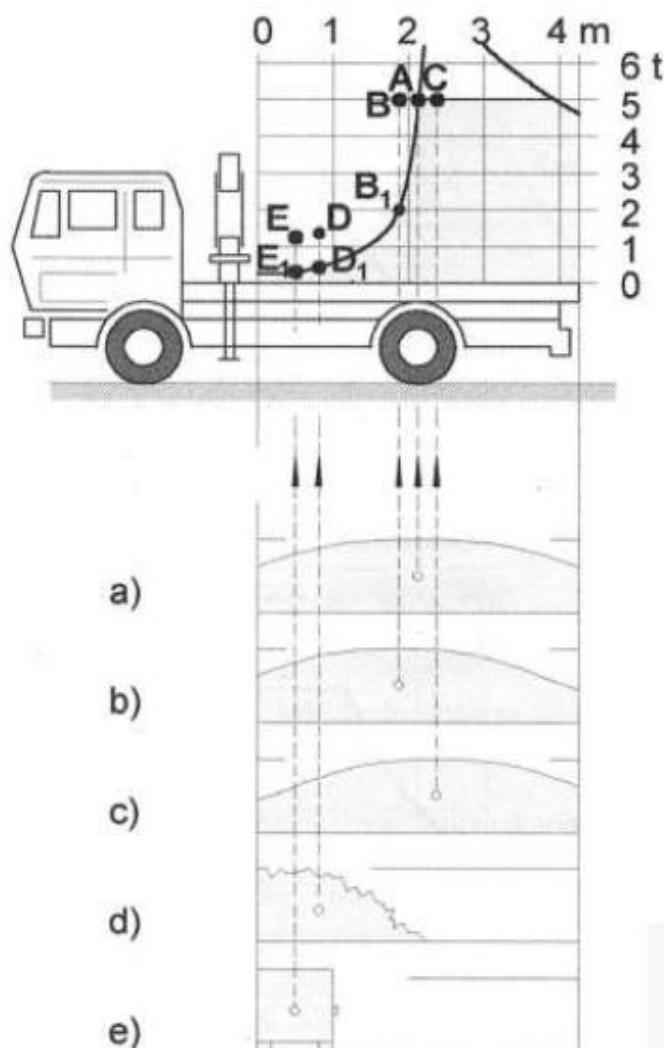
Slika 3. Dijagram dopuštenog opterećenja pneumatika s obzirom na nazivnu nosivost prikolice i sigurnost upravljanja

Slika 3 još upečatljivije pokazuje koje opasnosti prijete ako se ne vodi računa o razdiobi tereta na sanduku prikolice. Iz dijagrama plana razdiobe tereta uočava se da neki teret težak primjerice 8 t u položaju težišta koji odgovara položaju O ne može prevoziti, a još je lošije ako je težište u položaju G. Terete će se bez teškoća moći prevoziti ako je njegovo težište u položaju C, kao i u svakom drugom položaju do F. U svakom daljnjem položaju nije zadovoljen uvjet opterećenja upravljačke osovine. Ako bi se zanemario raspored tereta i naglo zakrenula upravljačka osovina prikolica bi se prevrnula.

Slika 2. Dijagram dopuštenog opterećenja dvoosovinske prikolice nosivosti 16 t

Na slici 2 promatra se dvoosovinska prikolica dopuštene nosivosti 16 t uz opterećenje generalnim teretom mase 8 t s težištem 2 m od ruba generalnog tereta. Uočava se da se pritom planirani teret i ne može prevoziti jer je u položaju A dopuštena nosivost 7 t (a teret je 8 t). S položajem težišta u položaju A₁ generalni teret je moguće prevoziti kao i u položaju B.



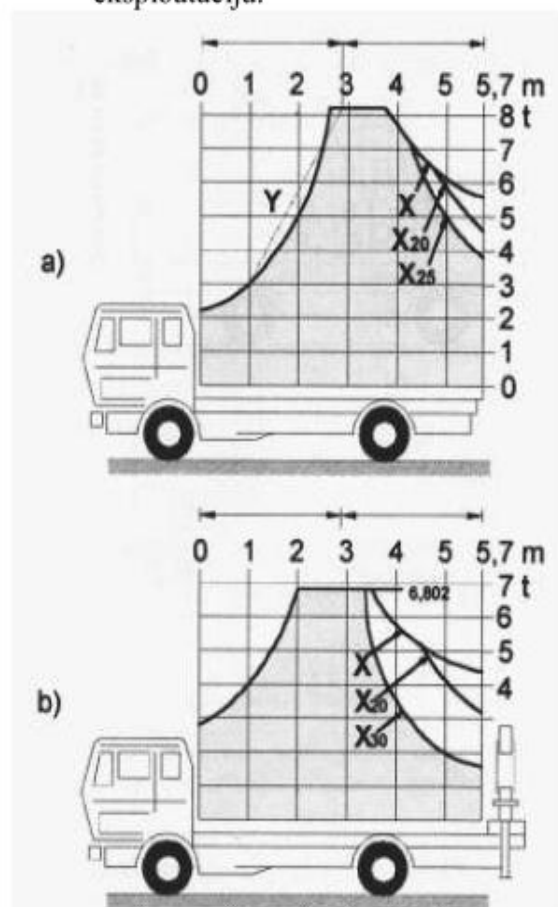


Slika 5. Dijagram dopuštenog opterećenja teretnog prijeznog sredstva s ugrađenom dizalicom na stražnjem dijelu vozila

Prijevozno sredstvo s ugrađenom dizalicom na stražnjem dijelu ima sasvim drukčiji dijagram razdiobe tereta u sanduku u odnosu na vozilo s dizalicom na prednjem dijelu (slika 5). Slika a) pokazuje plan razdiobe tereta ako nema dizalice. Ako se ugradi dizalica nosivost se već zbog toga smanjuje, ali i stoga što se mora osigurati (povećano) minimalno opterećenje upravljačke osovine (b - 30% i a - 25%). Tako da se u nekim slučajevima mora preispitati isplativost skidanja manipulacijskog sredstva radi potpunijeg iskorištenja nazivne nosivosti. To bi kupac vozila morao znati unaprijed te tražiti od proizvođača dijagram razdiobe tereta.

Slika 4. Plan razdiobe tereta na prijevoznom sredstvu s ugrađenom dizalicom na prednjem dijelu vozila

Promatra li se raspored tereta na vozilu s ugrađenom dizalicom (slika 4) uočavaju se znatne razlike ne samo u funkciji težišta tereta nego i u ovisnosti o tomu je li dizalica na prednjem ili stražnjem dijelu sanduka. Na slici pod a) težište tereta je u metacentru i nema teškoća s opterećenjem i može se prevoziti teret od 5 t. Ako se, međutim, težište pomakne u položaj B₁ (primjer b) može se prevoziti teret od samo 2 t. Ako se, primjerice, prevozi kamen i ukrcava uz prednji dio sanduka (primjer d i e), posljedica će biti iznadprosječno trošenje pneumatika, jer je u tim položajima dopušteno opterećenje tek oko 0,5 t. Taj primjer pokazuje da bez plana opterećenja taj tip vozila ne bi trebalo pustiti u eksploataciju.



2. IZBOR ITINERARA U PROCESU PRIJEVOZA TERETA³

Tijekom prijevoznog procesa koriste se različiti modeli organizacije kretanja prijevoznih sredstava što se primjenjuju u ovisnosti o robnim tokovima, udaljenosti prijevoza i vrsti upotrijebljenih prijevoznih sredstava. Optimalna organizacija kretanja prijevoznih sredstava tijekom realizacije prijevoza robe osigurava maksimalni učinak prijevoznih sredstava, čime se istodobno postiže minimalna razina troškova prijevoza.

Itinerar je pravac kretanja prijevoznog sredstva od početne do završne točke zadanog prijevoza. **Duljina itinerara** je prijeđeni razmak prijevoznim sredstvom do početne do završne točke itinerara.

Nulto dnevno vrijeme prijevoznih sredstava je dio dnevnoga radnog vremena koje prijevozno sredstvo utroši za prijeđeni nulti put. Na početku radnog vremena to je vrijeme potrebno za prijelaz nultih kilometara od garaže do prvog mjesta utovara i na kraju radnog vremena za prijelaz nultih kilometara od posljednjeg mjesta istovara do garaže.

Obrt prijevoznog sredstva je završen potpuni ciklus prijevoznog procesa s povratkom prijevoznog sredstva u početnu točku. **Vrijeme obrta** je vrijeme rada prijevoznog sredstva potrebno za izvršenje obrta prijevoznog sredstva.

Sa stajališta **oblika itinerara** razlikuju se:

- ponavljajući,
- radijalni,
- prstenasti (kružni),
- zbirni ili distributivni.

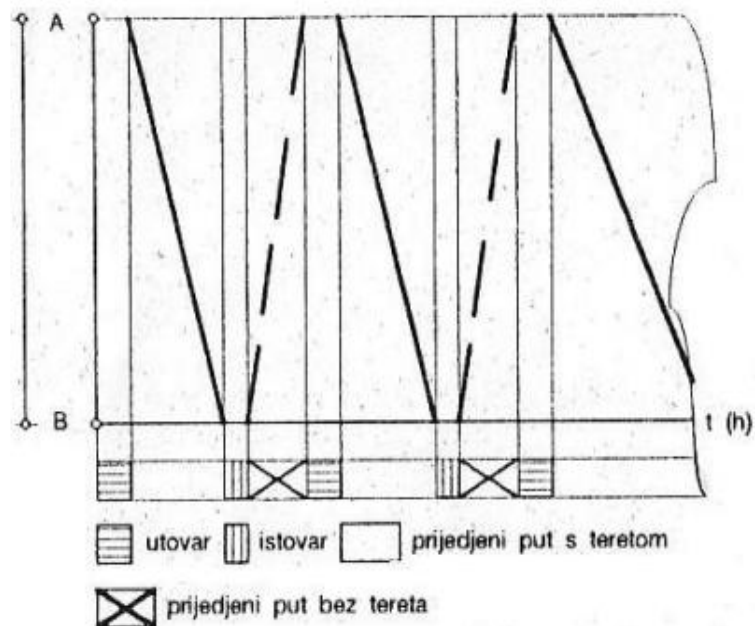
Ponavljajući itinerar je pravac kretanja prijevoznih sredstava u kojem se pojedine vožnje tijekom prijevoznog procesa ponavljaju istim itinerarom između dviju točaka. Pri tom obliku itinerara razlikuju se tri načina prijevoza:

- s prijevozom robe samo u jednom smjeru,
- s prijevozom robe u oba smjera,
- s djelomičnim iskorištenjem prijeđenog puta u jednom ili oba smjera.

³ Materijal preuzet iz literature: Županović, I., Ribarić, B., Organizacija i praćenje učinka cestovnih prijevoznih sredstava, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1993. (dio 5., str. 160-165)

Ponavljajući itinerar s prijevozom robe samo u jednom smjeru

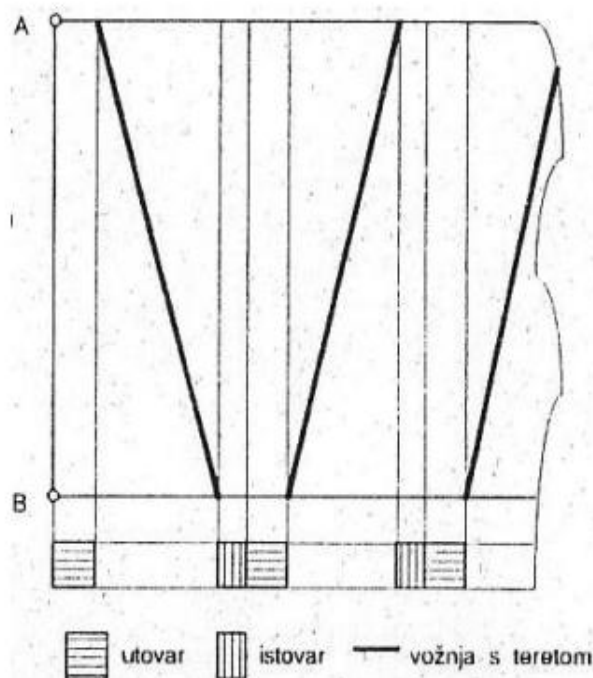
Za izbor takvoga prijevoznog pravca u praksi ima najmanje opravdanja, jer se tijekom rada prijevoznog sredstva u jednom obrtu napravi samo jedna vožnja s teretom.



Slika 6. Ponavljajući prijevozni put s praznom vožnjom

Ponavljajući itinerar s prijevozom robe u oba smjera

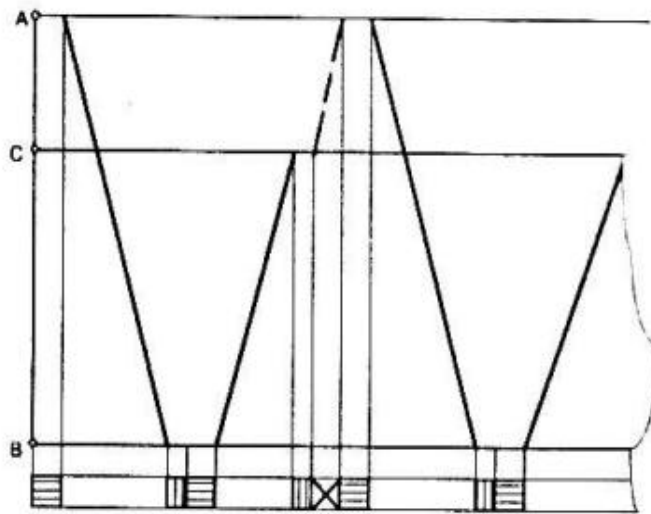
Pri ovom tipu ponavljajućeg itinerara tijekom svakog obrta vozilo će ostvariti dvije vožnje s teretom. Nulti prijedjeni put će bez obzira na položaj garaže uvijek biti jednak dvostrukom razmaku od garaže do točke u kojoj se obavlja prvi utovar vozila.



Slika 7. Ponavljajući prijevozni put s prijevozom u oba smjera

Ponavljajući itinerar s djelomičnim iskorištenjem prijednog puta

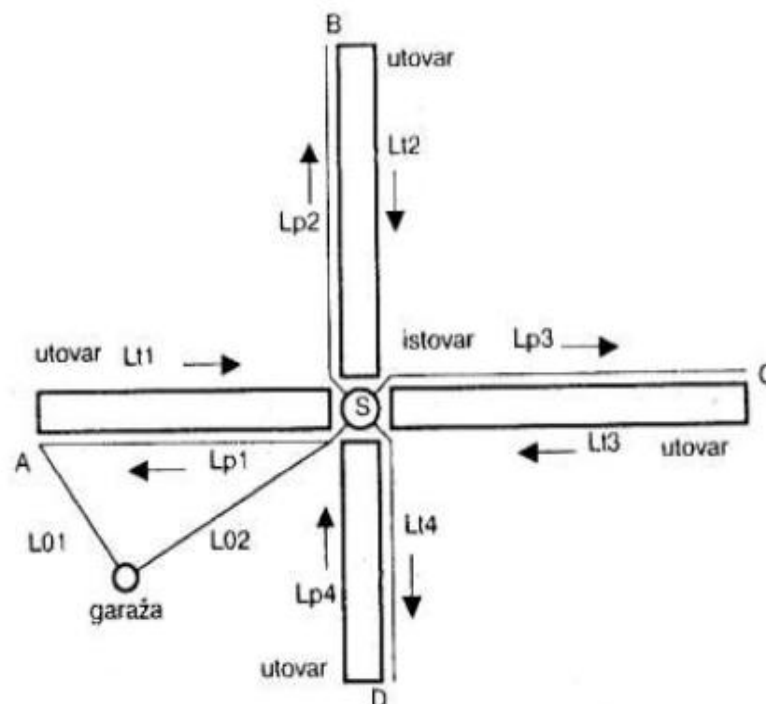
Pri ovom tipu ponavljajućeg itinerara prijevozno sredstvo tijekom obrta ostvari dvije vožnje s teretom.



Slika 8. Ponavljajući itinerar s djelomičnim iskorištenjem prijednog puta u povratnoj vožnji

Radikalni itinerar

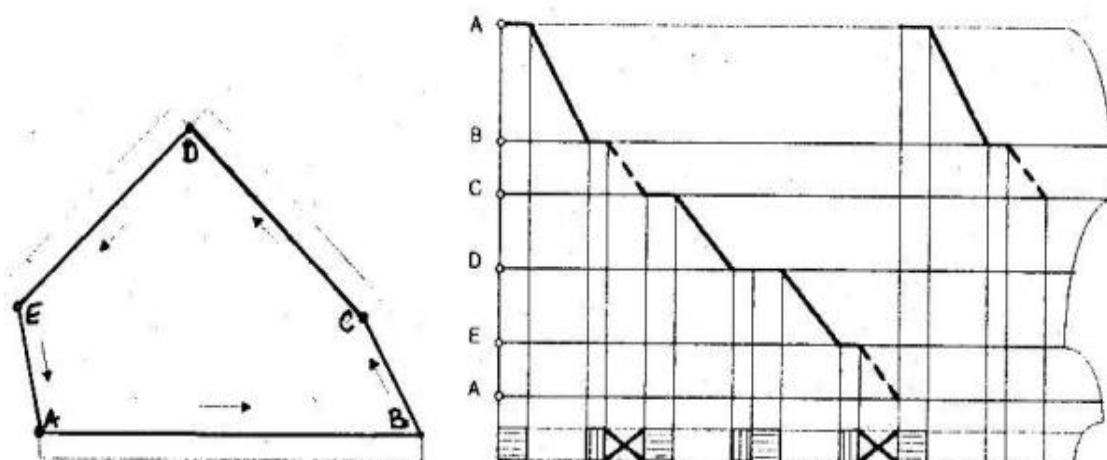
Radijalni (zrakasti) itinerar odgovara zbroju nekoliko ponavljajućih itinerara s prevoženjem u jednom smjeru koji se spajaju u jednu točku s više mjesta isporuke ili se teret otprema s jednog mjesta na veći broj mjesta prijema stvari. Pri tom prijevoznom putu količina prijevoza po pojedinim pravcima je mala i duljine vožnje s teretom su kratke.



Slika 9. Zrakasti prijevozni put

Prstenasti ili kružni itinerar

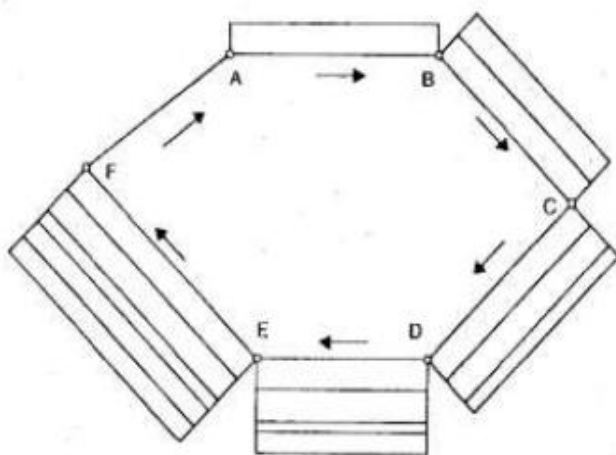
Prstenasti itinerar je kretanje prijevoznog sredstva po zatvorenom prstenu sastavljenom od prijevoza s nekoliko točaka utovara i istovara.



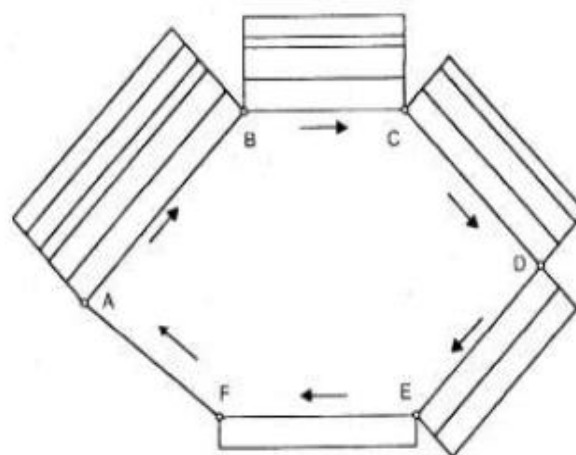
Slika 10. Prstenasti itinerar

Distributivni (zbirni) itinerar

Distributivni odnosno zbirni itinerar razlikuje se od prstenastog po tomu što se tijekom vožnje postupno istovaruju ili utovaruju stvari. U prvom slučaju, količina stvari na prijevoznom sredstvu postupno se smanjuje, a pri zbirnom prijevoznom pravcu postupno povećava. Distributivno-zbirni itinerar je onaj pri kojemu se u obilasku točaka što ih uslužuje vozilo jedna vrsta stvari postupno smanjuje a druga postupno raste (razvoz mineralne vode u bocama do prodavaonica i skupljanje praznih boca).



Slika 11. Zbirni itinerar



Slika 12. Distributivni itinerar

PRAKTIČNI ZADACI – ITINERARI

Zadatak 1.

Tijekom mjeseca koji ima 24 radna dana potrebno je prevesti 1680 t tereta iz mjesta *B* u mjesto *D*, zatim 1536 t tereta iz mjesta *C* u mjesto *B* i 1368 t tereta iz mjesta *D* u mjesto *A*. Prijevoz se obavlja kamionima nosivosti 10 t. Dnevno radno vrijeme prijevoznih sredstava je 8 h. Na kraju radnog dana sva se prijevozna sredstva vraćaju u garažu.

Koeficijent statičkog iskorištenja nazivne nosivosti za relaciju *BD* iznosi 0,5, za relaciju *CB* 0,8 te za relaciju *DA* 0,95. Vrijeme trajanja ukrcaja je 8 min/voz. a vrijeme iskrcaja je 6 min/voz. Prometna brzina tijekom prijevoza tereta je 30 km/h, dok za prazne odnosno nulte kilometre prometna brzina iznosi 40 km/h.

Podaci:

$$D_k = 28, D_r = 24$$

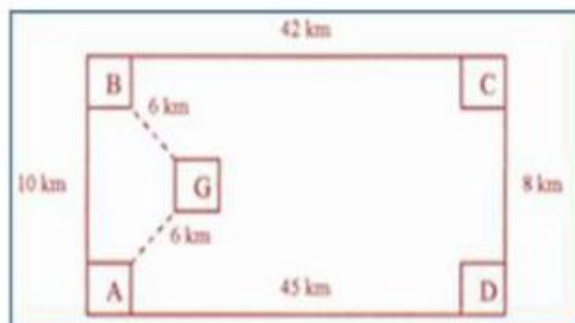
$$q_n = 10 \text{ t}$$

$$H_r = 8 \text{ h}, t_u = 8 \text{ min/voz.}, t_i = 6 \text{ min/voz.}$$

$$v_t = 30 \text{ km/h}, v_p = 40 \text{ km/h}$$

$$\mu_{sBD}=0,5; \mu_{sCB}=0,8; \mu_{sDA}=0,95$$

$$Q_{BD} = 1680 \text{ t}; Q_{CB} = 1536 \text{ t}; Q_{DA} = 1368 \text{ t}$$



Postupak i rješenja:

a) Potreban broj vožnji na relaciji:



$$\mu_s = \frac{Q_t}{q_n \cdot n}$$

μ_s – koeficijent statičkog opterećenja prijevoznih sredstava

q_t – stvarna količina tereta na prijevoznom sredstvu tijekom jedne vožnje (t)

q_n – nazivna nosivost prijevoznog sredstva (t)

Q_t – ukupna količina tereta prevezena jednim prijevoznim sredstvom u određenom razdoblju (t)

n – broj vožnji s teretom u promatranom razdoblju



$$n_{DB} = \frac{Q_{BD}}{q_n \cdot \mu_{sDB}} = \frac{1680}{10 \cdot 0,5} = \frac{1680}{5} = 336 \text{ vožnji}$$

$$n_{CB} = \frac{Q_{CB}}{q_n \cdot \mu_{sCB}} = \frac{1536}{10 \cdot 0,8} = \frac{1536}{8} = 192 \text{ vožnje}$$

$$n_{DA} = \frac{Q_{DA}}{q_n \cdot \mu_{sDA}} = \frac{1368}{10 \cdot 0,95} = \frac{1368}{9,5} = 144 \text{ vožnje}$$

b) Potreban broj vožnji tijekom dana:

$$n_{dBD} = \frac{n_{BD}}{D_r} = \frac{336}{24} = 14 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dCB} = \frac{n_{CB}}{D_r} = \frac{192}{24} = 8 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dDA} = \frac{n_{DA}}{D_r} = \frac{144}{24} = 6 \text{ vož./dan}$$

c) Vrijeme trajanja obrta na itineraru:

Obrt 1 (BD, CB)

Obrt 2 (BD, DA)

$$t_{v1} = \frac{s_{BD} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{DC} \cdot 60}{v_p} + \frac{s_{CB} \cdot 60}{v_t}$$

$$t_{v1} = \frac{50 \cdot 60}{30} + \frac{8 \cdot 60}{40} + \frac{42 \cdot 60}{30}$$

$$t_{v1} = 100 + 12 + 84 = 196 \text{ min}$$

$$t_{u/i1} = t_{uB} + t_{iD} + t_{uC} + t_{iB} = 8 + 6 + 8 + 6 = 28 \text{ min}$$

$$t_{O1} = t_{v1} + t_{u/i1} = 196 + 28 = 224 \text{ min}$$

$$t_{v2} = \frac{s_{BD} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{DA} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{AB} \cdot 60}{v_p}$$

$$t_{v2} = \frac{50 \cdot 60}{30} + \frac{45 \cdot 60}{30} + \frac{10 \cdot 60}{40}$$

$$t_{v2} = 100 + 90 + 15 = 205 \text{ min}$$

$$t_{u/i2} = t_{uB} + t_{iD} + t_{uD} + t_{iA} = 8 + 6 + 8 + 6 = 28 \text{ min}$$

$$t_{O2} = t_{v2} + t_{u/i2} = 205 + 28 = 233 \text{ min}$$

d) Mogući broj obrta tijekom dana:

$$n_{dO1} = \frac{\left(H_r - \frac{2 \cdot s_{BG}}{v_p} \right) \cdot 60}{t_{O1}} = \frac{\left(8 - \frac{2 \cdot 6}{40} \right) \cdot 60}{224} = \frac{462}{224} = 2,06 \approx 2 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dO2} = \frac{\left(H_r - \frac{(s_{GB} + s_{AG})}{v_p} + \frac{s_{AB}}{v_p} \right) \cdot 60}{t_{O1}} = \frac{\left(8 - \frac{12}{40} + \frac{10}{40} \right) \cdot 60}{224} = \frac{477}{233} = 2,04 \approx 2 \text{ vož./dan}$$

e) Potreban broj prijevoznih sredstava:

$$PS_1 = \frac{n_{d1}}{n_{dO1}} = \frac{8}{2} = 4 \text{ voz.}$$

$$PS_2 = \frac{n_{d2}}{n_{dO2}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ voz.}$$

$$PS = PS_1 + PS_2 = 7 \text{ voz.}$$

f) Ukupan broj sati rada svih prijevoznih sredstava tijekom prijevoza zadane količine robe (sati vožnje – puni, prazni, nulti i sati ukrcaja/iskrcaja) – • ∃

g) Ukupan broj sati vožnje prijevoznih sredstava – • ∃

h) Ukupan prijeđeni put prijevoznih sredstava tijekom prijevoza zadane količine robe:

$$\begin{aligned}
 s_t &= n_1 \cdot (s_{BD} + s_{CB}) + n_2 \cdot (s_{BD} + s_{DA}) = \\
 &= 192 \cdot (50 + 42) + 144 \cdot (50 + 45) = 31\,344 \text{ km} \\
 s_p &= n_1 \cdot s_{DC} + [PS_2 \cdot (n_{dO2} - 1) \cdot s_{AB} \cdot D_r] = \\
 &= 192 \cdot 8 + [3 \cdot (2 - 1) \cdot 10 \cdot 24] = 2\,256 \text{ km} \\
 s_0 &= [PS_1 \cdot (s_{GB} + s_{BG}) + PS_2 \cdot (s_{GB} + s_{AG})] \cdot D_r = \\
 &= [4 \cdot (6 + 6) + 3 \cdot (6 + 6)] \cdot 24 = 2\,016 \text{ km} \\
 s &= s_t + s_p + s_0 = 31\,344 + 2\,256 + 2\,016 = 35\,616 \text{ km}
 \end{aligned}$$

i) Koeficijent iskorištenja prijeđenog puta i koeficijent iskorištenja nultog puta:

$$\beta = \frac{s_t}{s} = \frac{31\,344}{35\,616} = 0,88; \quad \beta_0 = \frac{s_0}{s} = \frac{2\,016}{35\,616} = 0,0566$$

j) Srednja udaljenost prijevoza jedne tone tereta:

$$\begin{aligned}
 \bar{s} &= \frac{U}{Q} = \frac{Q_{BD} \cdot s_{BD} + Q_{CB} \cdot s_{CB} + Q_{DA} \cdot s_{DA}}{Q_{BD} + Q_{CB} + Q_{DA}} = \\
 &= \frac{1680 \cdot 50 + 1536 \cdot 42 + 1368 \cdot 45}{1680 + 1536 + 1368} = \frac{210\,072}{4\,584} = 45,83 \text{ km}
 \end{aligned}$$

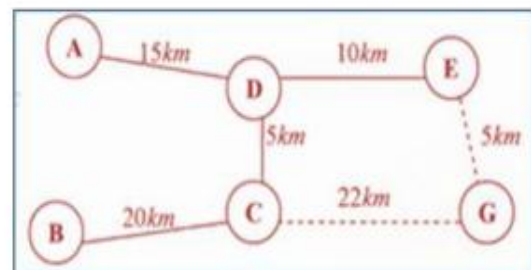
Zadatak 2.

Tijekom mjeseca siječnja koji ima 24 radna dana potrebno je prevesti 1152 t tereta iz mjesta *A* u mjesto *E*, zatim 2016 t tereta iz mjesta *B* u mjesto *D* i 2592 t tereta iz mjesta *E* u mjesto *C*. Prijevoz se obavlja kamionima s prikolicama. Nazivna nosivost kamiona je 5 t, a isto toliko je i nosivost prikolice. Dnevno radno vrijeme prijevoznih sredstava je 16 h. Na kraju radnog dana sva se prijevozna sredstva vraćaju u garažu.

Koeficijent statičkog iskorištenja nazivne nosivosti za relaciju *AE* iznosi 0,8, za relaciju *BD* 0,7 te za relaciju *EC* 0,6. Vrijeme trajanja ukrcaja je 10 min/voz., a vrijeme iskrcaja je 5 min/voz. Prometna brzina tijekom prijevoza tereta je 30 km/h, dok za prazne odnosno nulte kilometre prometna brzina iznosi 40 km/h.

Podaci:

$$\begin{aligned}
 D_k &= 31, D_r = 24 \\
 q_n &= 10 \text{ t} \\
 H_r &= 16 \text{ h}, t_u = 10 \text{ min/voz.}, t_i = 5 \text{ min/voz.} \\
 v_t &= 30 \text{ km/h}, v_p = 40 \text{ km/h} \\
 \mu_{sAE} &= 0,8; \mu_{sBD} = 0,7; \mu_{sEC} = 0,6 \\
 Q_{AE} &= 1152 \text{ t}; Q_{BD} = 2016 \text{ t}; Q_{EC} = 2592 \text{ t}
 \end{aligned}$$



Postupak i rješenja:

a) Potreban broj vožnji na relaciji:

$$n_{AE} = \frac{Q_{AE}}{q_n \cdot \mu_{sAE}} = \frac{1152}{10 \cdot 0,8} = \frac{1680}{8} = 144 \text{ vožnje}$$

$$n_{BD} = \frac{Q_{BD}}{q_n \cdot \mu_{sBD}} = \frac{2016}{10 \cdot 0,7} = \frac{2016}{7} = 288 \text{ vožnji}$$

$$n_{EC} = \frac{Q_{EC}}{q_n \cdot \mu_{sEC}} = \frac{2592}{10 \cdot 0,6} = \frac{2592}{6} = 432 \text{ vožnje}$$

b) Potreban broj vožnji tijekom dana:

$$n_{dAE} = \frac{n_{AE}}{D_r} = \frac{144}{24} = 6 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dBD} = \frac{n_{BD}}{D_r} = \frac{288}{24} = 12 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dEC} = \frac{n_{EC}}{D_r} = \frac{432}{24} = 18 \text{ vož./dan}$$

c) Vrijeme trajanja obrta na itineraru:

Obrt 1 (EC, BD)

Obrt 2 (EC, AE)

$$t_{v1} = \frac{s_{EC} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{CB} \cdot 60}{v_p} + \frac{s_{BD} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{DE} \cdot 60}{v_p}$$

$$t_{v1} = \frac{15 \cdot 60}{30} + \frac{20 \cdot 60}{40} + \frac{25 \cdot 60}{30} + \frac{10 \cdot 60}{40}$$

$$t_{v1} = 30 + 30 + 50 + 15 = 125 \text{ min}$$

$$t_{u/i1} = t_{uE} + t_{iC} + t_{uB} + t_{iD} = 10 + 5 + 10 + 5 = 30 \text{ min}$$

$$t_{O1} = t_{v1} + t_{u/i1} = 125 + 30 = 155 \text{ min}$$

$$t_{v2} = \frac{s_{EC} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{CA} \cdot 60}{v_p} + \frac{s_{AE} \cdot 60}{v_t}$$

$$t_{v2} = \frac{15 \cdot 60}{30} + \frac{20 \cdot 60}{40} + \frac{25 \cdot 60}{30}$$

$$t_{v2} = 30 + 30 + 50 = 110 \text{ min}$$

$$t_{u/i2} = t_{uE} + t_{iC} + t_{uA} + t_{iE} = 10 + 5 + 10 + 5 = 30 \text{ min}$$

$$t_{O2} = t_{v2} + t_{u/i2} = 110 + 30 = 140 \text{ min}$$

d) Mogući broj obrta tijekom dana:

$$n_{dO1} = \frac{\left(H_r - \frac{2 \cdot s_{EG}}{v_p}\right) \cdot 60}{t_{O1}} = \frac{\left(16 - \frac{2 \cdot 5}{40}\right) \cdot 60}{155} = \frac{945}{155} = 6,09 \approx 6 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dO2} = \frac{\left(H_r - \frac{2 \cdot s_{EG}}{v_p}\right) \cdot 60}{t_{O2}} = \frac{\left(16 - \frac{2 \cdot 5}{40}\right) \cdot 60}{140} = \frac{945}{140} = 6,75 \approx 6 \text{ vož./dan}$$

e) Potreban broj prijevoznih sredstava:

$$PS_1 = \frac{n_{d1}}{n_{dO1}} = \frac{12}{6} = 2 \text{ voz.}$$

$$PS_2 = \frac{n_{d2}}{n_{dO2}} = \frac{6}{6} = 1 \text{ voz.}$$

$$PS = PS_1 + PS_2 = 3 \text{ voz.}$$

f) Ukupan broj sati rada svih prijevoznih sredstava tijekom prijevoza zadane količine robe (sati vožnje – puni, prazni, nulti i sati ukrcaja/iskrcaja)

$$\begin{aligned} H_{rPS} &= n_1 \cdot \frac{t_{O1}}{60} + n_2 \cdot \frac{t_{O2}}{60} + D_r \cdot PS \cdot \frac{2s_{EG}}{v_p} = \\ &= 288 \cdot \frac{155}{60} + 144 \cdot \frac{140}{60} + 72 \cdot \frac{2 \cdot 5}{40} = \\ &= 744 + 336 + 18 = 1\,098 \text{ h} \end{aligned}$$

g) Ukupan broj sati vožnje prijevoznih sredstava

$$\begin{aligned} H_{vPS} &= n_1 \cdot \frac{t_{v1}}{60} + n_2 \cdot \frac{t_{v2}}{60} + D_r \cdot PS \cdot \frac{2s_{EG}}{v_p} = \\ &= 288 \cdot \frac{125}{60} + 144 \cdot \frac{110}{60} + 24 \cdot 3 \cdot \frac{2 \cdot 5}{40} = \\ &= 600 + 264 + 18 = 882 \text{ h} \end{aligned}$$

h) Ukupan prijeđeni put prijevoznih sredstava tijekom prijevoza zadane količine robe:

$$\begin{aligned} s_t &= n_1 \cdot (s_{EC} + s_{BD}) + n_2 \cdot (s_{EC} + s_{AE}) = \\ &= 288 \cdot (15 + 25) + 144 \cdot (15 + 25) = 17\,280 \text{ km} \\ s_p &= n_1 \cdot s_{CB} + [PS_1 \cdot (n_{dO1} - 1) \cdot s_{DE} \cdot D_r] + n_2 \cdot s_{CA} = \\ &= 288 \cdot 20 + [2 \cdot (6 - 1) \cdot 10 \cdot 24] + 144 \cdot 20 = 11\,040 \text{ km} \\ s_0 &= [PS_1 \cdot (s_{GE} + s_{DG}) + PS_2 \cdot (s_{GE} + s_{EG})] \cdot D_r = \\ &= [2 \cdot (5 + 15) + 1 \cdot (5 + 5)] \cdot 24 = 1\,200 \text{ km} \\ s &= s_t + s_p + s_0 = 17\,280 + 11\,040 + 1\,200 = 29\,520 \text{ km} \end{aligned}$$

i) Koeficijent iskorištenja prijeđenog puta i koeficijent iskorištenja nultoga prijeđenog puta:

$$\beta = \frac{s_t}{s} = \frac{17\,280}{29\,520} = 0,5854; \quad \beta_0 = \frac{s_0}{s} = \frac{1\,200}{29\,520} = 0,0406$$

j) Srednja udaljenost prijevoza jedne tone tereta:

$$\begin{aligned} \bar{s} &= \frac{U}{Q} = \frac{Q_{AE} \cdot s_{AE} + Q_{BD} \cdot s_{BD} + Q_{EC} \cdot s_{EC}}{Q_{AE} + Q_{BD} + Q_{EC}} = \\ &= \frac{1152 \cdot 25 + 2016 \cdot 25 + 2592 \cdot 15}{1152 + 2016 + 2592} = \frac{1118\,080}{5\,760} = 20,5 \text{ km} \end{aligned}$$

Zadatak 3.

U listopadu u kojem ima 25 radnih dana, treba prevesti 2100 t tereta iz mjesta *A* u mjesto *C*, zatim 1600 t tereta iz mjesta *C* u mjesto *B* i 2700 t tereta iz mjesta *B* u mjesto *A*. Prijevoz se obavlja kamionima nazivne nosivosti 10 t. Dnevno radno vrijeme iznosi 10 h. Na kraju radnog dana sva se prijevozna sredstva vraćaju u garažu.

Koeficijent statičkog iskorištenja nazivne nosivosti za relaciju *AC* iznosi 0,7, za relaciju *CB* 0,8 te za relaciju *CA* 0,9. Vrijeme trajanja ukrcaja je 10 min/voz, a vrijeme iskrcaja je 5 min/voz. U mjestu *C* radnik koji radi na iskrcaju je na bolovanju, te je u tom mjestu za iskrcaj potrebno dva puta više vremena. Prometna brzina tijekom prijevoza tereta je 30 km/h, dok za prazne odnosno nulte kilometre prometna brzina iznosi 40 km/h.

Podaci:

$$D_k = 31, D_r = 25$$

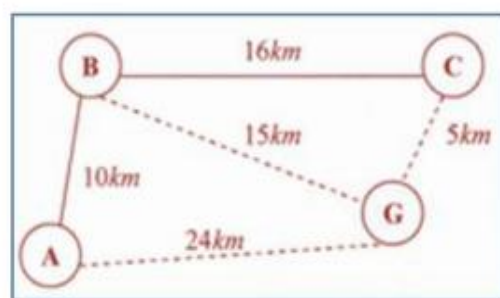
$$q_n = 10 \text{ t}$$

$$H_r = 10 \text{ h}, t_u = 10 \text{ min/voz}, t_i = 5 \text{ min/voz}$$

$$v_t = 30 \text{ km/h}, v_p = 40 \text{ km/h}$$

$$\mu_{sAC} = 0,7; \mu_{sCB} = 0,8; \mu_{sCA} = 0,9$$

$$Q_{AC} = 2100 \text{ t}; Q_{CB} = 1600 \text{ t}; Q_{CA} = 2700 \text{ t}$$

Postupak i rješenja:

a) Potreban broj vožnji na relaciji:

$$n_{AC} = \frac{Q_{AC}}{q_n \cdot \mu_{sAC}} = \frac{2100}{10 \cdot 0,7} = 300 \text{ vožnji}$$

$$n_{CB} = \frac{Q_{CB}}{q_n \cdot \mu_{sCB}} = \frac{1600}{10 \cdot 0,8} = 200 \text{ vožnji}$$

$$n_{CA} = \frac{Q_{CA}}{q_n \cdot \mu_{sCA}} = \frac{2700}{10 \cdot 0,9} = 300 \text{ vožnji}$$

b) Potreban broj vožnji tijekom dana:

$$n_{dAC} = \frac{n_{AC}}{D_r} = \frac{300}{25} = 12 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dCB} = \frac{n_{CB}}{D_r} = \frac{200}{25} = 8 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dCA} = \frac{n_{CA}}{D_r} = \frac{300}{25} = 12 \text{ vož./dan}$$

c) Vrijeme trajanja obrta na itineraru:

Obrt 1 (*CA, AC*)

Obrt 2 (*CB*)

$$t_{v1} = \frac{s_{CA} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{AC} \cdot 60}{v_t}$$

$$t_{v1} = \frac{26 \cdot 60}{30} + \frac{26 \cdot 60}{30}$$

$$t_{v1} = 52 + 52 = 104 \text{ min}$$

$$t_{u/i1} = t_{uC} + t_{iA} + t_{uA} + t_{iC} = 10 + 5 + 10 + 10 = 35 \text{ min}$$

$$t_{O1} = t_{v1} + t_{u/i1} = 104 + 35 = 139 \text{ min}$$

$$t_{v2} = \frac{s_{CB} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{BC} \cdot 60}{v_p}$$

$$t_{v2} = \frac{16 \cdot 60}{30} + \frac{16 \cdot 60}{40}$$

$$t_{v2} = 32 + 24 = 56 \text{ min}$$

$$t_{u/i2} = t_{uC} + t_{iB} = 10 + 5 = 15 \text{ min}$$

$$t_{O2} = t_{v2} + t_{u/i2} = 56 + 15 = 71 \text{ min}$$

d) Mogući broj obrta tijekom dana:

$$n_{dO1} = \frac{\left(H_r - \frac{2 \cdot s_{GC}}{v_p}\right) \cdot 60}{t_{O1}} = \frac{\left(10 - \frac{2 \cdot 5}{40}\right) \cdot 60}{139} = \frac{585}{139} = 4,21 \approx 4 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dO2} = \frac{\left(H_r - \frac{s_{GC} + s_{BG} - s_{BC}}{v_p}\right) \cdot 60}{t_{O2}} = \frac{\left(10 - \frac{5 + 15 - 16}{40}\right) \cdot 60}{71} = \frac{593}{71} = 8,37 \approx 8 \text{ vož./dan}$$

e) Potreban broj prijevoznih sredstava:

$$PS_1 = \frac{n_{d1}}{n_{dO1}} = \frac{12}{4} = 3 \text{ voz.}$$

$$PS_2 = \frac{n_{d2}}{n_{dO2}} = \frac{8}{8} = 1 \text{ voz.}$$

$$PS = PS_1 + PS_2 = 4 \text{ voz.}$$

f) Ukupan broj sati rada prijevoznih sredstava

$$H_{rPS1} = \frac{n_1 \cdot t_{O1}}{60} + D_r \cdot PS_1 \cdot \frac{2s_{GC}}{v_p} = \frac{300 \cdot 139}{60} + 25 \cdot 3 \cdot \frac{2 \cdot 5}{40} = 695 + 18,75 = 713,75 \text{ h}$$

$$H_{rPS2} = \frac{n_2 \cdot t_{O2}}{60} + D_r \cdot PS_2 \cdot \frac{s_{GC} + s_{BG} - s_{BC}}{v_p} = \frac{200 \cdot 71}{60} + 25 \cdot 1 \cdot \frac{5 + 15 - 16}{40} = 236,66 + 2,5 = 239,16 \text{ h}$$

$$H_{rPS} = H_{rPS1} + H_{rPS2} = 713,75 + 239,16 = 952,91 \text{ h}$$

g) Ukupan broj sati vožnje prijevoznih sredstava

$$H_{vPS1} = \frac{n_1 \cdot t_{v1}}{60} + D_r \cdot PS_1 \cdot \frac{2s_{GC}}{v_p} = \frac{300 \cdot 104}{60} + 25 \cdot 3 \cdot \frac{2 \cdot 5}{40} = 520 + 18,75 = 538,75 \text{ h}$$

$$H_{vPS2} = \frac{n_2 \cdot t_{v2}}{60} + D_r \cdot PS_2 \cdot \frac{s_{GC} + s_{BG} - s_{BC}}{v_p} = \frac{200 \cdot 56}{60} + 25 \cdot 1 \cdot \frac{5 + 15 - 16}{40} = 186,67 + 2,5 = 189,17 \text{ h}$$

$$H_{vPS} = H_{vPS1} + H_{vPS2} = 538,75 + 189,17 = 727,92 \text{ h}$$

h) Ukupan prijeđeni put prijevoznih sredstava tijekom prijevoza zadane količine robe:

$$s_t = n_1 \cdot (s_{CA} + s_{AC}) + n_2 \cdot s_{CB} = 300 \cdot (26 + 26) + 200 \cdot 16 = 18\,800 \text{ km}$$

$$s_p = [PS_2 \cdot (n_{dO1} - 1) \cdot s_{BC} \cdot D_r] = [1 \cdot (8 - 1) \cdot 16 \cdot 25] = 2\,800 \text{ km}$$

$$s_0 = [PS_1 \cdot (s_{GC} + s_{CG}) + PS_2 \cdot (s_{GC} + s_{BG})] \cdot D_r = [3 \cdot 10 + 1 \cdot 20] \cdot 25 = 1\,250 \text{ km}$$

$$s = s_t + s_p + s_0 = 18\,800 + 2\,800 + 1\,250 = 22\,850 \text{ km}$$

i) Koeficijent iskorištenja prijednog puta i koeficijent iskorištenja nultoga prijednog puta:

$$\beta = \frac{s_t}{s} = \frac{18\,800}{22\,850} = 0,823 \quad \beta_0 = \frac{s_0}{s} = \frac{1\,250}{22\,850} = 0,055$$

j) Srednja udaljenost prijevoza jedne tone tereta:

$$\begin{aligned} \bar{s} &= \frac{U}{Q} = \frac{Q_{CA} \cdot s_{CA} + Q_{CB} \cdot s_{CB} + Q_{AC} \cdot s_{AC}}{Q_{CA} + Q_{CB} + Q_{AC}} = \\ &= \frac{2700 \cdot 26 + 1600 \cdot 16 + 2100 \cdot 26}{2700 + 1600 + 2100} = \frac{150\,400}{6\,400} = 23,5 \text{ km} \end{aligned}$$

Zadatak 4.

U kalendarskom mjesecu od 30 dana ima 25 radnih dana. U tom je vremenu potrebno prevesti 1500 t tereta iz mjesta A u mjesto D, zatim 1500 t tereta iz mjesta C u mjesto A i 1800 t tereta iz mjesta D u mjesto B. Prijevoz se obavlja kamionima nazivne nosivosti 10 t. Dnevno radno vrijeme iznosi 9 h. Na kraju radnog dana sva se prijevozna sredstva vraćaju u garažu.

Koeficijent statičkog iskorištenja nazivne nosivosti za relaciju AD iznosi 0,5, za relaciju CA 0,6 te za relaciju DB 0,6. Vrijeme trajanja ukrcaja je 4 min/t, a vrijeme iskrcaja je 3 min/t. Prometna brzina tijekom prijevoza tereta je 20 km/h, dok za prazne odnosno nulte kilometre prometna brzina iznosi 24 km/h.

Podaci:

$$D_k = 30, D_r = 25$$

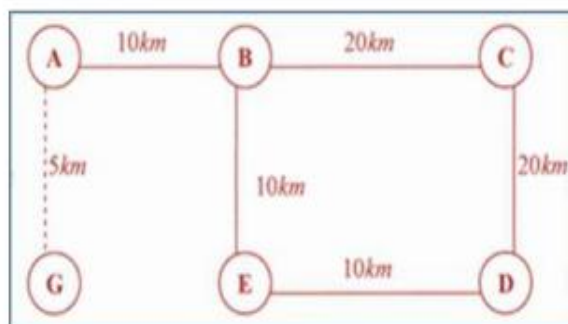
$$q_n = 10 \text{ t}$$

$$H_r = 9 \text{ h}, t_u = 4 \text{ min/t}, t_i = 3 \text{ min/t}$$

$$v_t = 20 \text{ km/h}, v_p = 24 \text{ km/h}$$

$$\mu_{sAD} = 0,5; \mu_{sCA} = 0,6; \mu_{sDB} = 0,6$$

$$Q_{AD} = 1500 \text{ t}; Q_{CA} = 1500 \text{ t}; Q_{DB} = 1800 \text{ t}$$



Postupak i rješenja:

a) Potreban broj vožnji na relaciji:

$$n_{AD} = \frac{Q_{AD}}{q_n \cdot \mu_{sAD}} = \frac{1500}{10 \cdot 0,5} = 300 \text{ vožnji}$$

$$n_{CA} = \frac{Q_{CA}}{q_n \cdot \mu_{sCA}} = \frac{1500}{10 \cdot 0,6} = 250 \text{ vožnji}$$

$$n_{DB} = \frac{Q_{DB}}{q_n \cdot \mu_{sDB}} = \frac{1800}{10 \cdot 0,6} = 300 \text{ vožnji}$$

b) Potreban broj vožnji tijekom dana:

$$n_{dAD} = \frac{n_{AD}}{D_r} = \frac{300}{25} = 12 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dCA} = \frac{n_{CA}}{D_r} = \frac{250}{25} = 10 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dDB} = \frac{n_{DB}}{D_r} = \frac{300}{25} = 12 \text{ vož./dan}$$

c) Vrijeme trajanja obrta na itineraru:

Obrt 1 (AD, DB)

Obrt 2 (CA)

$t_{v1} = \frac{s_{AD} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{DB} \cdot 60}{v_t} + \frac{s_{BA} \cdot 60}{v_p}$ $t_{v1} = \frac{30 \cdot 60}{20} + \frac{20 \cdot 60}{20} + \frac{10 \cdot 60}{24}$ $t_{v1} = 90 + 60 + 25 = 175 \text{ min}$ $t_{u/i1} = t_{uA} + t_{iD} + t_{uD} + t_{iB} = 20 + 15 + 24 + 18 = 77 \text{ min}$ $t_{O1} = t_{v1} + t_{u/i1} = 175 + 77 = 252 \text{ min}$	$t_{v2} = \frac{s_{AC} \cdot 60}{v_p} + \frac{s_{CA} \cdot 60}{v_t}$ $t_{v2} = \frac{30 \cdot 60}{24} + \frac{30 \cdot 60}{20}$ $t_{v2} = 75 + 90 = 165 \text{ min}$ $t_{u/i2} = t_{uC} + t_{iA} = 24 + 18 = 42 \text{ min}$ $t_{O2} = t_{v2} + t_{u/i2} = 165 + 42 = 207 \text{ min}$
<p>Vrijeme ukrcaja / iskrcaja kamiona (AD, DB)</p> $t_{uA} = t_{u/t} \cdot q_n \cdot \mu_{sAD} = 4 \cdot 10 \cdot 0,5 = 20 \text{ min}$ $t_{iD} = t_{i/t} \cdot q_n \cdot \mu_{sAD} = 3 \cdot 10 \cdot 0,5 = 15 \text{ min}$ $t_{uD} = t_{u/t} \cdot q_n \cdot \mu_{sDB} = 4 \cdot 10 \cdot 0,6 = 24 \text{ min}$ $t_{iB} = t_{i/t} \cdot q_n \cdot \mu_{sDB} = 3 \cdot 10 \cdot 0,6 = 18 \text{ min}$	<p>Vrijeme ukrcaja/iskrcaja kamiona(CA)</p> $t_{uC} = t_{u/t} \cdot q_n \cdot \mu_{sCA} = 4 \cdot 10 \cdot 0,6 = 24 \text{ min}$ $t_{iA} = t_{i/t} \cdot q_n \cdot \mu_{sCA} = 3 \cdot 10 \cdot 0,6 = 18 \text{ min}$

d) Mogući broj obrta tijekom dana:

$$n_{dO1} = \frac{\left(H_r - \frac{2 \cdot s_{GA}}{v_p} \right) \cdot 60}{t_{O1}} = \frac{\left(9 - \frac{2 \cdot 5}{24} \right) \cdot 60}{252} = 2,04 \approx 2 \text{ vož./dan}$$

$$n_{dO2} = \frac{\left(H_r - \frac{2 \cdot s_{AG}}{v_p} \right) \cdot 60}{t_{O2}} = \frac{\left(9 - \frac{2 \cdot 5}{24} \right) \cdot 60}{207} = 2,48 \approx 2 \text{ vož./dan}$$

e) Potreban broj prijevoznih sredstava:

$$PS_1 = \frac{n_{d1}}{n_{dO1}} = \frac{12}{2} = 6 \text{ voz.}$$

$$PS_2 = \frac{n_{d2}}{n_{dO2}} = \frac{10}{2} = 5 \text{ voz.}$$

$$PS = PS_1 + PS_2 = 11 \text{ voz.}$$

f) Ukupan broj sati rada svih prijevoznih sredstava tijekom prijevoza zadane količine robe (sati vožnje – puni, prazni, nulti i sati ukrcaja/iskrcaja)

$$\begin{aligned} H_{rPS} &= \frac{n_1 \cdot t_{O1} + n_2 \cdot t_{O2}}{60} + D_r \cdot PS \cdot \frac{2s_{GA}}{v_p} = \\ &= \frac{300 \cdot 252 + 250 \cdot 207}{60} + 25 \cdot 11 \cdot \frac{2 \cdot 5}{24} = \\ &= 2122,5 + 114,6 = 2\,237,1 \text{ h} \end{aligned}$$

g) Ukupan broj sati vožnje prijevoznih sredstava

$$\begin{aligned} H_{vPS} &= \frac{n_1 t_{v1} + n_2 t_{v2}}{60} + D_r \cdot PS \cdot \frac{2s_{GA}}{v_p} = \\ &= \frac{300 \cdot 175 + 250 \cdot 165}{60} + 25 \cdot 11 \cdot \frac{2 \cdot 5}{40} = \\ &= 1562,5 + 114,58 = 1677,08 \text{ h} \end{aligned}$$

h) Ukupan prijedeni put prijevoznih sredstava tijekom prijevoza zadane količine robe:

$$\begin{aligned} s_t &= n_1 \cdot (s_{AD} + s_{DB}) + n_2 \cdot s_{CA} = \\ &= 300 \cdot (30 + 20) + 250 \cdot 30 = 22\,500 \text{ km} \\ s_p &= [PS_1 \cdot (n_{dO1} - 1) \cdot s_{BA} \cdot D_r] + [PS_2 \cdot (n_{dO1} - 1) \cdot s_{AC} \cdot D_r] = \\ &= [6 \cdot (2 - 1) \cdot 10 \cdot 25] + [6 \cdot (2 - 1) \cdot 30 \cdot 25] = 6\,000 \text{ km} \\ s_0 &= [PS_1 \cdot (s_{GA} + s_{BG}) + PS_2 \cdot (s_{GC} + s_{AG})] \cdot D_r = \\ &= [6 \cdot 20 + 5 \cdot 40] \cdot 25 = 8\,000 \text{ km} \\ s &= s_t + s_p + s_0 = 22\,500 + 6\,000 + 8\,000 = 36\,500 \text{ km} \end{aligned}$$

i) Koeficijent iskorištenja prijedenog puta i koeficijent iskorištenja nultoga prijedenog puta:

$$\beta = \frac{s_t}{s} = \frac{22\,500}{36\,500} = 0,6164; \quad \beta_0 = \frac{s_0}{s} = \frac{8\,000}{36\,500} = 0,2192$$