

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Tadija Mrkonjić**

**MODIFICIRANJE METODE ZAJEDNIČKIH ANALITIČKIH  
USPOREDBI U ORGANIZACIJI VAGONSKIH TOKOVA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2019.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

MODIFICIRANJE METODE ZAJEDNIČKIH ANALITIČKIH USPOREDBI  
U ORGANIZACIJI VAGONSKIH TOKOVA

MODIFICATION OF THE METHOD OF JOINT ANALYTICAL  
COMPARISONS IN THE ORGANIZATION OF THE WAGON FLOWS

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Josip Mlinarić

Student: Tadija Mrkonjić

JMBAG: 0135213546

Zagreb, rujan 2019.

## SAŽETAK

Organizacija kretanja teretnih vagonских tokova predstavlja kompleksan praktični problem. Teretni vlakovi prevoze se direktno do odredišta ili se prerađuju na nekom od tranzitnih kolodvora. Na tome se temelji mogućnost različitih varijanata formiranja vlakova. Rješenja koja se koriste u praksi često mogu biti poboljšana uz korištenje matematičkih optimizacijskih metoda. Jedna od njih je metoda zajedničkih analitičkih usporedbi. Čičak M. u knjizi *"Organizacija železničkog saobraćaja"* opisuje princip rješavanja problema korištenjem metode koja se bazira na analizi različitih varijanti formiranja vagonских tokova i postupnom procesu pronalaska optimalnog rješenja. Praktičan problem potrebno je postaviti u matematički problem, a to se postiže definiranjem ključnih elemenata kroz brojčane vrijednosti. Ovaj rad analizira metodu zajedničkih analitičkih usporedbi i nudi poboljšanu modificiranu verziju. Modificirana metoda bazira se na originalnoj, te uz nekoliko izmjena nudi znatno bolja rješenja i jednostavniji princip rješavanja. Bolja rješenja dokazana su na nekoliko primjera.

**KLJUČNE RIJEČI:** organizacija kretanja vagonских tokova, optimizacijska metoda, metoda zajedničkih analitičkih usporedbi, analiza različitih varijanti formiranja vagonских tokova, modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi

## SUMMARY

The organization of rail freight transport is a complex practical problem. Freight trains can be transported directly to their destination or can be processed at one of the transit stations. Different solutions of organisation of rail freight transport are based on this. Solutions used in practice can often be improved by using mathematical optimization methods, like method of joint analytical comparisons. Čičak M. in the book *"Organizacija železničkog saobraćaja"* describes the principle of problem solving using this method. The method is based on the analysis of different solutions of train formations and the gradual process of finding the optimal solution. A practical problem must be presented by a mathematical problem, and this is achieved by defining key elements through numerical values. This thesis analyses the original method and offers an improved modified version. The modified method is based at most on the same principles and with a few modifications offers much better results and a simpler principle of problem solving. The advantages of the modified method have been demonstrated in several examples.

**KEY WORDS:** organization of rail freight transport, optimization method, method of joint analytical comparisons, analysis of different organizational solutions of rail freight transport, method of joint analytical comparisons

# Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Osnovna polazišta matematičkih metoda za optimizaciju kretanja vagonских tokova.....	3
2.1. Nakupljanje vagona .....	3
2.2. Prerada vagona.....	4
2.3. Vremensko definiranje nakupljanja i prerade vagona .....	6
3. Metoda zajedničkih analitičkih usporedbi.....	7
3.1. Značajke metode .....	7
3.1.1. Maksimalan broj kolodvora .....	7
3.1.2. Objedinjavanje vagonских struja .....	8
3.1.3. Točnost rješenja .....	9
3.1.4. Način rješavanja zadatka prema metodi .....	10
3.2. Pogreške u načinu rješavanja zadatka.....	14
4. Verzije modificiranih metoda zajedničkih analitičkih usporedbi .....	15
4.1. Modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa svim mogućim objedinjavanjima struja .....	16
4.2. Usporedba rješenja originalne i prve verzije modificirane metode zajedničkih analitičkih usporedbi.....	21
4.3. Modificirane metode zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjem struja koje dijele isti ishodišni kolodvor.....	25
4.3.1. Modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjem svih struja iz istog kolodvora.....	26
4.3.2. Modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjem susjednih struja iz istog kolodvora .....	28
5. Značajke modificiranih metoda zajedničkih analitičkih usporedbi .....	29
5.1. Maksimalan broj kolodvora.....	29
5.1.1. Određivanje maksimalnog broja kolodvora za modificiranu metodu sa svim objedinjavanjima .....	30
5.1.2. Određivanje maksimalnog broja kolodvora za modificiranu metodu sa objedinjavanjem svih struja iz istog kolodvora .....	36
5.1.3. Određivanje maksimalnog broja kolodvora za metodu sa objedinjavanjem susjednih struja iz istog kolodvora .....	39
5.2. Broj kombinacija objedinjavanja struja .....	40
5.3. Točnost rješenja .....	42
5.4. Složenost načina rješavanja zadataka korištenjem modificiranih metoda .....	43
5.5. Ukupna analiza značajki modificiranih metoda.....	44
6. Konačna verzija modificirane metode zajedničkih analitičkih usporedbi .....	46

6.1. Način rješavanja zadatka .....	46
6.2. Ispitivanje metode na primjerima zadataka.....	47
7. Zaključak.....	51
8. Literatura .....	53
9. Popis slika .....	54
10. Popis tablica.....	56

## 1. Uvod

Željeznica, kao i svaki drugi složen sustav, sačinjena je od mnogih cjelina unutar kojih se odvijaju različiti procesi. Takvi sustavi zahtijevaju posebnu organizaciju. Proces se unaprijed planiraju i najčešće se izvode kroz duže periode na iste načine ili uz manje promjene. Planiranje se provodi sa ciljem uspostavljanja organizacije koja će učiniti sustav što efikasnijim.

Za povećanje efikasnosti, moguće je poduzimati različite mjere. U željeznici, male pozitivne promjene u konačnici mogu rezultirati velikim pozitivnim učincima, jer one se ponavljaju kroz veći broj procesa. Na tome se temelji i optimizacija tehnoloških procesa.

Optimizacija podrazumijeva poboljšanje sustava, odnosno postizanje optimalnog rješenja koje će donositi najbolje rezultate s obzirom na željenu funkciju cilja. Funkcija cilja najčešće je novac, pa se time teži ostvarivati maksimalan profit ili minimalne troškove. Osim novca, najčešće kao funkcija cilja koriste se vrijeme, kako bi se određeni proces odvio u što kraćem vremenu, te udaljenost, za odvijanje određenog procesa uz prelazak minimalnih udaljenosti. Sve spomenute funkcije cilja najčešće su u korelaciji. Primjerice, prijevoz najkraćim putem najčešće će se odviti za najkraće vrijeme i uz najmanje troškove.

Optimizacija se primjenjuje u procesima koji se mogu jasno definirati. Na željeznici se, primjerice, može koristiti za određivanje potrebnog broja radnog osoblja za obavljanje određenih radnji, potrebnog broja lokomotiva i vagona za obavljanje prijevoza, određivanje zaliha rezervnih dijelova za vozila itd.

U ovom radu govorit će se o optimizaciji u organizaciji vagonskih tokova. To podrazumijeva razmatranje različitih planova prijevoza i pronalazak optimalnog plana. Plan prijevoza podrazumijeva poseban slijed vožnji vlakova na određenoj relaciji. Razlike među planovima proizlaze iz mogućnosti da se vagoni prevoze direktno do odredišta ili se prebacuju na određenom kolodvoru na drugi vlak. Pri tome se govori samo o teretnom prijevozu koji je pogodan za izvođenje takvih promjena.

U cjelokupnoj željezničkoj mreži neke države ili regije, vrlo je zahtjevno, a praktički i nemoguće, organizirati prijevoz na optimalan način. Razlog tome su razgranata mreža željezničkih pruga i velika količina prijevoza koja se odvija na njima. Različiti prometni pravci međusobno se

presijecaju, a to uzrokuje njihovu međuovisnost i kompleksnost u uspostavi optimalne usklađenosti.

U takvom sustavu, moguće je identificirati značajnije pravce, s većim intenzitetom prijevoza, te na njima organizirati prijevoz na optimalan način, a potom uskladiti preostali prijevoz u ovisnosti sa prethodno definiranim.

Evidencije o prijevozu kroz proteklo razdoblje koriste se za određivanje jačine vagonskih tokova. Svaki prijevoz popraćen je teretnim listom, iz čega su vidljivi podaci o količini vlakova, odnosno vagona koji se prevoze na određenom pravcu. Ti podaci predstavljaju značajne ulazne podatke za optimizaciju.

Ključna mjesta za planiranje prijevoza su kolodvori. U njima se odvija sastavljanje i rastavljanje vlakova. Ukupno vrijeme prijevoza najviše ovisi o potrebnom vremenu za odvijanje tih radnji. Vrijeme vožnje na otvorenoj pruzi definirano je ograničenjem brzine, komercijalnom brzinom vlaka, njegovom masom i drugim faktorima, čime predstavljaju drugačiji problem u pitanju optimizacije. U tom slučaju se smanjenje vremena vožnje ostvaruje poboljšanjem karakteristika vozila i infrastrukture. Za razliku od toga, optimizacija vremena zadržavanja vozila u kolodvoru predstavlja organizacijski problem, odnosno postiže se optimalnim planiranjem redoslijeda radnji u kolodvoru.

Preciznije, optimizacija u organizaciji vagonskih tokova svodi se na pronalazak optimalnog načina izvršavanja manevarskih radnji između kolodvora. To zahtijeva podatke o trajanju manevarskih vožnji pri sastavljanju i rastavljanju vlakova za svaki kolodvor i podatke o nakupljanju vagona u kolodvorima, koje je moguće iščitavati iz voznog reda. Uz te podatke i podatke o količini vozila, moguće je korištenjem matematičkih metoda izračunati vrijeme zadržavanja vozila u kolodvorima.



## 2. Osnovna polazišta matematičkih metoda za optimizaciju kretanja vagonских tokova

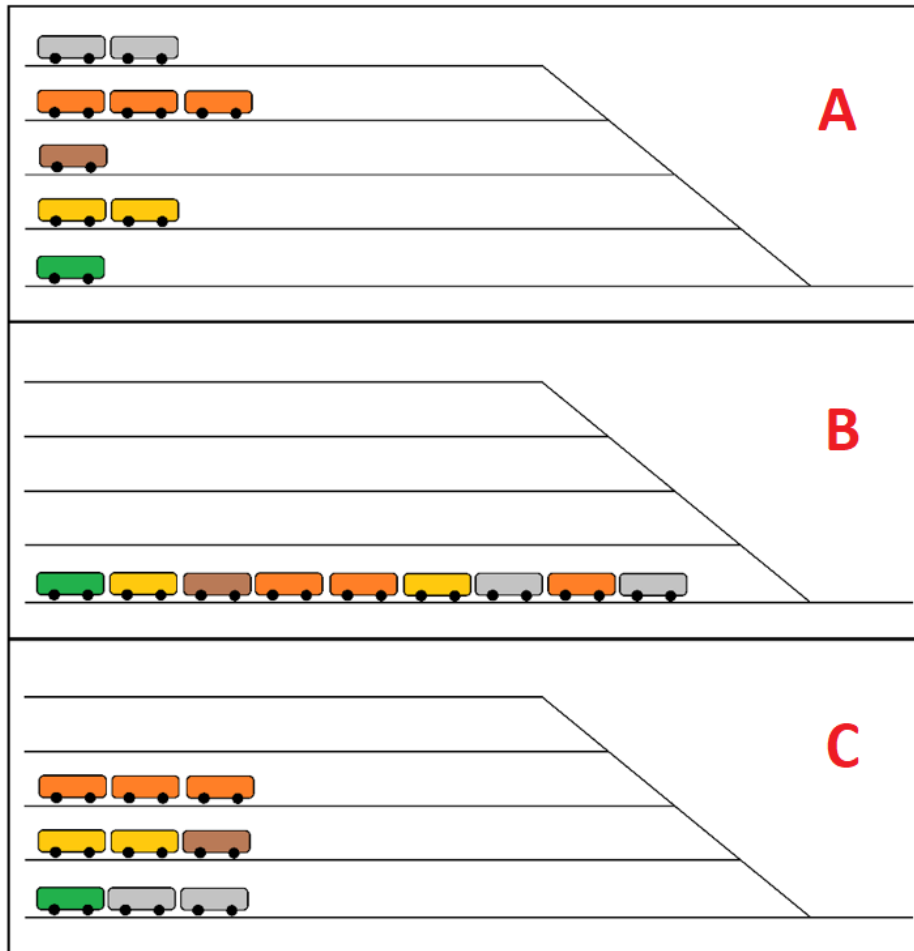
Matematičke metode za optimizaciju kretanja vagonских tokova zahtijevaju ulazne podatke za postavljanje zadatka i na osnovu kojih je moguće odrediti optimalno rješenje. Budući da se one temelje na smanjenju vremena zadržavanja vagona unutar kolodvora, potrebno je proučiti radnje sa vagonima u tehničkim kolodvorima i definirati ključne elemente.

Kao što je spomenuto, način organizacije temelji se na raspodjeli manevarskih radnji po tehničkim kolodvorima. Analizom radnji sa vagonima na tehničkim kolodvorima dolazi se do dva temeljna pojma – nakupljanje i prerada vagona.

### 2.1. Nakupljanje vagona

Nakupljanje predstavlja proces pristizanja vagona od kojih će se formirati vlak za daljnje kolodvore. Vagoni se mogu nakupljati na više načina, ovisno o broju kolodvora za koje se otpremaju ti vagoni. Slika 1 prikazuje 3 moguće varijante.

Prema varijanti A na svakom kolosijeku nakupljaju se vagoni samo za jedan kolodvor. Oni će se otpremati vlakovima koji ih direktno prevoze do odredišnog kolodvora. Varijanta B predstavlja nakupljanje svih vagona samo na jednom kolosijeku, bez obzira što se upućuju za različite kolodvore. Ti vagoni se otpremaju vlakovima koji će se prerađivati na nekom od narednih tehničkih kolodvora kako bi dospjeli na željeni kolodvor. Osim ove dvije varijante, postoje razne mogućnosti kombiniranja. Varijanta C predstavlja jednu od mogućih kombinacija. Dio vagona će dospjeti direktno na odredišni kolodvor, a ostatak će se prerađivati i prevoziti dalje.



**Slika 1.** Različite varijante nakupljanja vagona

## 2.2. Prerada vagona

Prerada vagona nužna je radnja u organizaciji teretnog prijevoza. Ona predstavlja rastavljanje vlakova na tehničkim kolodvorima s ciljem prebacivanja vagona na druge vlakove. Prebacivanjem vagona formiraju se novi vlakovi koji se upućuju do odredišta. Prerada se ne obavlja nad svim vlakovima. Najčešće se vrši nad vlakovima koji, do svog odredišta, prolaze kroz više tehničkih kolodvora jer imaju više prilika za preradu.

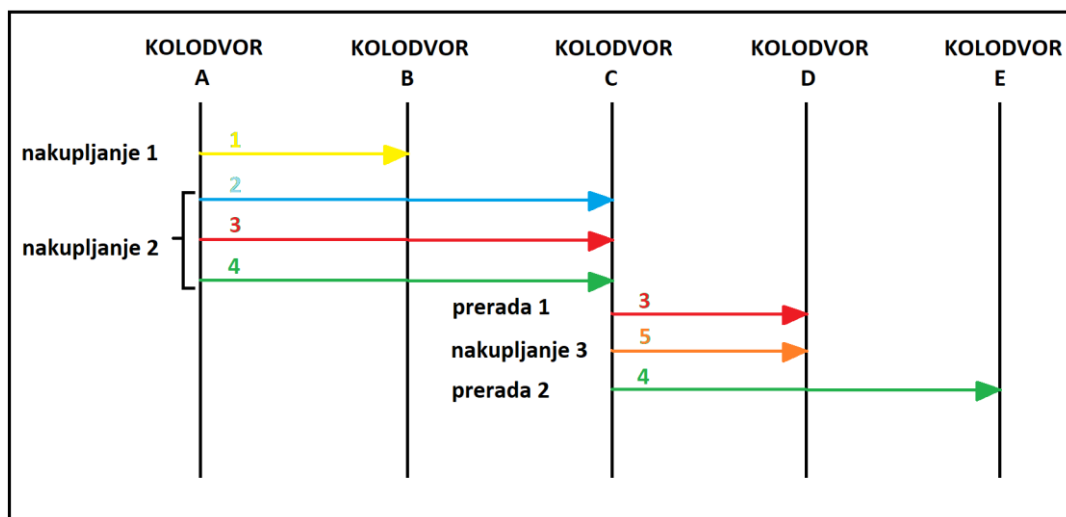
Analizom mogućih varijanti organiziranja prijevoza teretnih vagona uočava se sljedeće:

- ako se na jednom kolosijeku nakupljaju isključivo vagoni koji se upućuju na isti odredišni kolodvor, ti vagoni prevoziće se bez prerade na prolaznim tehničkim kolodvorima na putu do odredišta, te

- ako se na početnom kolodvoru na istom kolosijeku nakupljaju vagoni za različite odredišne kolodvore, određeni vagoni zahtijevat će preradu na nekom od narednih tehničkih kolodvora kako bi sa drugim vlakovima dospjeli do odredišta.

Prema tome, vagoni se nakupljaju ili prerađuju prije dolaska do odredišta. Vagoni koji se nakupljaju za vlakove koji voze do njihovog odredišnog kolodvora tranzitirat će kroz usputne tehničke kolodvore. Ostali vagoni ne nakupljaju se na početnom kolodvoru za vlakove koji će ih voziti direktno do odredišta bez prerade, nego će biti prevezeni drugim vlakovima do tehničkog kolodvora u kojem će se preraditi i potom otpremiti vlakom do odredišta.

Na slici 2 prikazana je jedna varijanta organizacije tokova na dionici sa 5 tehničkih kolodvora. Ona se sastoji od samo 5 vagnskih struja radi jednostavnijeg razumijevanja procesa nakupljanja i prerade. U kolodvoru A nakupljaju se vagoni za vlakove koji otpremaju vagoni na 2 različita kolodvora. Vagnska struja 1 prevozi se vlakovima za kolodvor B, a struje 2, 3 i 4 vlakovima za kolodvor C. Budući da samo struje 1 i 2 dopijevaju vlakovima iz kolodvora A do svojih odredišta, struje 3 i 4 prerađuju se u kolodvoru C kako bi dospjele do kolodvora D i E. Struja 3 spaja se sa strujom 5 koja se nakuplja na kolodvoru C za vlakove koji ih prevoze do kolodvora D. Struja 4 nakon prerade prevozi se do kolodvora E, pritom tranzitirajući kroz kolodvor D.



**Slika 2.** Nakupljanje i prerada vagona

Struja 2 (nakupljena na kolodvoru A) tranzitira kolodvor B, odnosno ne prerađuje se. Struje 3 i 4 ne nakupljaju se zasebno za vlakove koji će ih otpremiti direktno do odredišta bez prerade

na prolaznim kolodvorima. Time se štedi vrijeme pri nakupljanju u kolodvoru A jer se vagoni nakupljaju samo za 2 vrste vlakova. S druge strane, zbog tog nakupljanja, stvaraju se gubici zbog prerade u kolodvoru C.

### 2.3. Vremensko definiranje nakupljanja i prerade vagona

Definiranjem nakupljanja i prerade vagona postaje jasno da različite varijante prijevoza zapravo predstavljaju različite kombinacije nakupljanja ili prerade vagonskih struja u tehničkim kolodvorima. Traženjem optimalnog rješenja dolazi se do pitanja – za koje vagonске struje i gdje (u kojem kolodvoru) će se obavljati nakupljanje ili prerada?

To pitanje zahtijeva određivanje vremenskog trajanja nakupljanja i prerade kako bi se zatim mogla usporediti zadržavanja vagona u kolodvorima.

### 3. Metoda zajedničkih analitičkih usporedbi

Metoda zajedničkih analitičkih usporedbi, kao i sve optimizacijske metode u organizaciji vagonских tokova, temelji se na pronalasku rješenja sa što kraćim zadržavanjem vagona unutar tehničkih kolodvora. Metoda se odvija prema određenim koracima i kroz više iteracija kako bi se došlo do konačnog rješenja.<sup>1</sup>

Kroz iteracije dolazi se do odgovora koje će se struje pojedinačno upućivati, a koje objedinjavati. Nakon svake iteracije, struje, za koje se pokaže da se upućuju pojedinačno ili se objedinjuju, eliminiraju se, a naredna iteracija se obavlja sa preostalim strujama. Postupak završava nakon zadnje iteracije kad je poznato kako se organiziraju sve struje.

#### 3.1. Značajke metode

Svaka metoda za organizaciju vagonских tokova ima svoje prednosti i mane koje je moguće promatrati kroz njihove karakteristike:

- maksimalan broj kolodvora za koje se primjenjuje metoda,
- broj kombinacija pri objedinjavanju struja,
- točnost rješenja i
- složenost načina rješavanja.

Prednosti i mane metode zajedničkih analitičkih usporedbi u daljnjem tekstu bit će obrađene i uspoređene sa metodom apsolutnog proračuna (apsolutnom metodom). Te dvije metode proučavaju se u sklopu kolegija Tehnologija željezničkog prometa 2.

##### 3.1.1. Maksimalan broj kolodvora

Metoda zajedničkih analitičkih usporedbi praktična je za dionice koje sadrže do 8 tehničkih kolodvora. Dionice sa 9 kolodvora uključuju prevelik broj kombinacija što je prezahtjevno za rješavanje problema ovom metodom. U usporedbi sa apsolutnom metodom, koja se

---

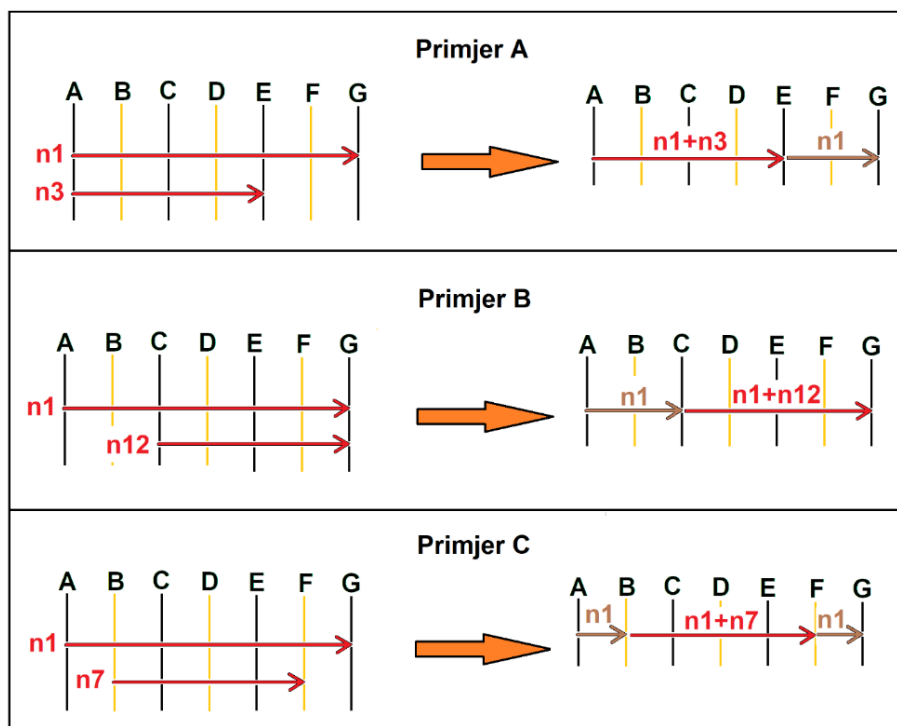
<sup>1</sup> Čičak, M.: Organizacija železničkog saobraćaja, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 1990.

primjenjuje za dionice do 5 kolodvora, metoda zajedničkih analitičkih usporedbi nudi znatno veće mogućnosti primjene.

8 kolodvora nudi mogućnost rješavanja velikog broja problema ovakvog tipa u praksi jer većina takvih problema pojavljuje se na dionicama sa brojem kolodvora od 4 do 8.

### 3.1.2. Objedinjavanje vagonskih struja

Metoda zajedničkih analitičkih usporedbi uzima u obzir sve moguće kombinacije objedinjavanja struja. Jedini uvjet pri objedinjavanju struja jest da objedinjene struje na dionici od ishodišnog do odredišnog kolodvora tranzitiraju zajedno barem kroz jedan tehnički kolodvor.<sup>2</sup>To znači da objedinjene struje mogu dijeliti zajednički ishodišni kolodvor (primjer A na slici 3) ili završavati u istom odredišnom kolodvoru (primjer B) ili ne moraju uopće dijeliti ishodišni ili odredišni kolodvor (primjer C).



Slika 3. Primjeri objedinjavanja struja

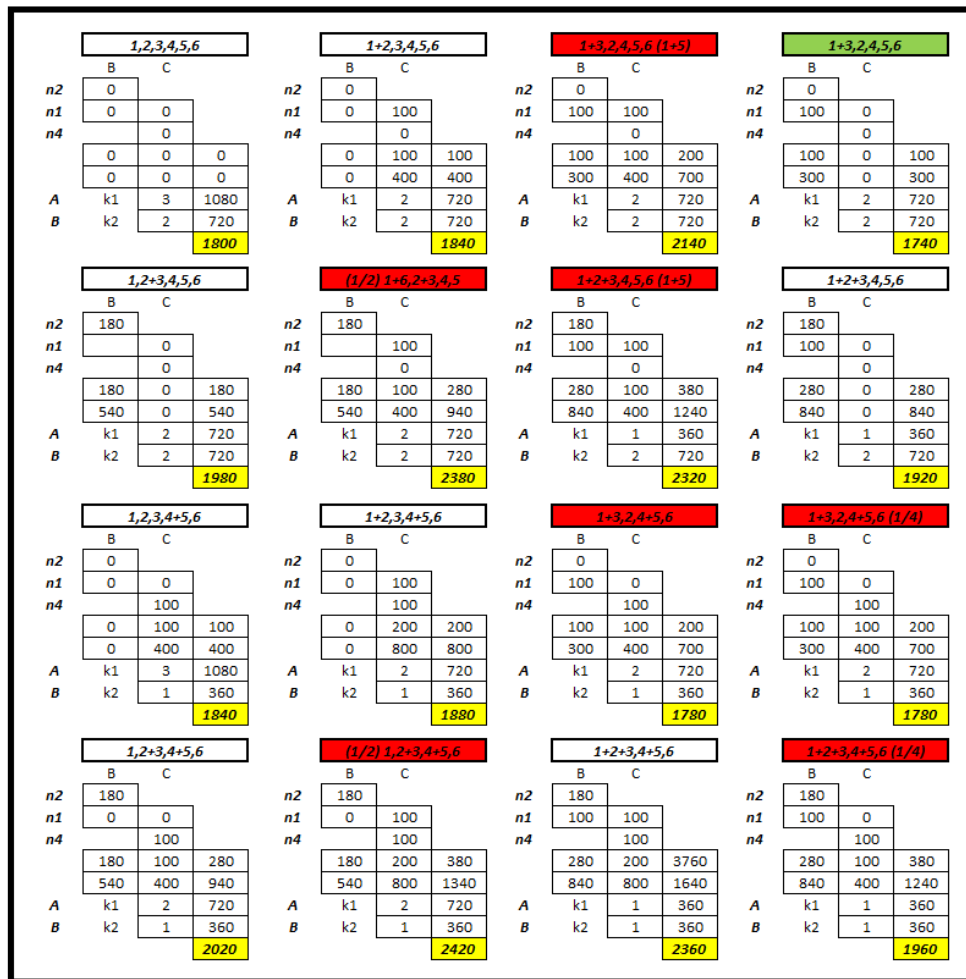
<sup>2</sup> Čičak, M.: Organizacija železničkog saobraćaja, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 1990.

U apsolutnoj metodi objedinjavanja struja vrši se samo nad susjednim strujama koje vožnju započinju u istom kolodvoru. Time se znatno smanjuje broj kombinacija objedinjavanja. Apsolutna metoda sastoji se u određivanju vagonskih sati za svaku varijantu i usporedbe rezultata, odnosno odabiru varijante sa najmanjim brojem vagonskih sati. Upravo iz toga proizlazi potreba za smanjenjem broja varijanti kako bi se smanjio opseg posla. Povećanjem broja kolodvora, broj mogućih kombinacija objedinjavanja jako se povećava. Pri tome izostaju pojedine varijante koje mogu u nekim slučajevima predstavljati optimalne, što nije slučaj u metodi zajedničkih analitičkih usporedbi. Ona uključuje sve moguće ili točnije sve konkurentne varijante objedinjavanja. Primjerice, prema apsolutnoj metodi nisu moguća objedinjavanja struja u primjeru B i C.

### 3.1.3. Točnost rješenja

Metoda zajedničkih analitičkih usporedbi ne daje uvijek optimalno rješenje, odnosno varijantu sa najmanjim brojem vagonskih sati, ali je rješenje uvijek približno jednako optimalnom, što se smatra prihvatljivim. Apsolutna metoda nudi optimalno rješenje za one varijante koje obrađuje. Međutim, apsolutna metoda ne obrađuje neke od varijanti koje se uzimaju u obzir u metodi zajedničkih analitičkih usporedbi. Iz toga proizlazi da je točnost rješenja metode zajedničkih analitičkih usporedbi veća u odnosu na apsolutnu metodu.

U svakoj iteraciji određuje se broj vagonskih sati za sve moguće objedinjene struje i potom se odabiru struje koje ostvaruju najveće uštede vagonskih sati pri tranzitu. To predstavlja polazište na kojemu se temelji ova metoda. Upravo zbog toga se eliminiraju pojedina objedinjavanja koja bi davala bolje rješenje, ali takve stvari je praktički nemoguće predviđati jer predstavljaju vrlo zahtjevan i vjerojatno nemoguć posao. Sve moguće varijante moguće je razmotriti na manjem broju kolodvora (4) na slici 4, primjenom načina rješavanja po apsolutnoj metodi, tj. uzimanjem u obzir i varijanti koje se inače ne razmatraju po toj metodi, čim bi se dolazilo do optimalnog rješenja. Već na dionici sa 5 kolodvora teorijski moguć broj varijanata iznosi 1024, dok na dionici sa 4 kolodvora iznosi 16.



Slika 4. Izračun svih varijanti formiranja vlakova na dionici sa 4 kolodvora prema apsolutnoj metodi

### 3.1.4. Način rešavanja zadatka prema metodi

Metoda zajedničkih analitičkih usporedbi odvija se u iteracijama kroz koje se definišu objedinjavanja struja ili pojedinačna upućivanja. Iteracije se odvijaju dok nije definirano kretanje svake struje od ishodišnog do odredišnog kolodvora.<sup>3</sup>

Metoda zahtijeva ulazne podatke (slika 5) na osnovu kojih je moguće dobiti rješenje kroz definirane korake. Potrebno je poznavati vrijeme nakupljanja u kolodvorima ( $c \times m$ ), vrijeme uštede pri tranzitu kroz kolodvor ( $t_{u}$ ) i broj vagona u strujama.

<sup>3</sup> Čičak, M.: Organizacija železničkog saobraćaja, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 1990.



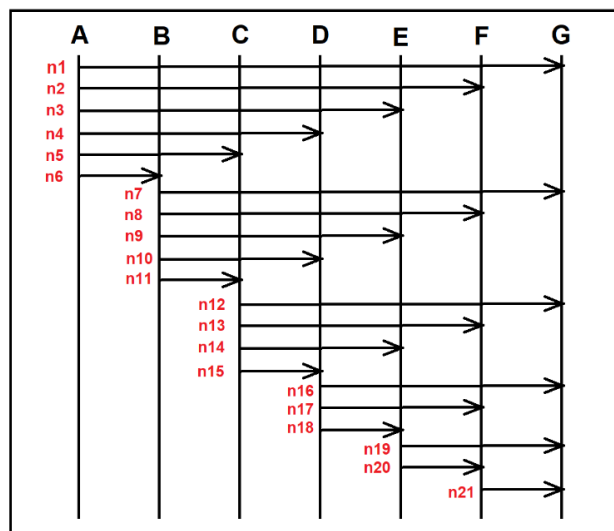
<i>kolodvor</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>									
<i>nakupljanje</i>	400	500	400	400	400										
<i>prerada</i>		5	6	6	6	5									

<i>struja</i>	<i>n1</i>	<i>n2</i>	<i>n3</i>	<i>n4</i>	<i>n5</i>	<i>n7</i>	<i>n8</i>	<i>n9</i>	<i>n10</i>	<i>n12</i>	<i>n13</i>	<i>n14</i>	<i>n16</i>	<i>n17</i>	<i>n19</i>
<i>broj vagona</i>	90	70	110	20	50	20	80	30	10	110	50	160	20	60	60

Slika 5. Ulazni podaci primjera zadatka 1

Ulazni podaci navedeni su za dionicu sa 7 kolodvora. Svi kolodvori međusobno su povezani sa 21 vagonskom strujom (slika 6). Struje n6, n11, n15, n18, n20 i n21 voze između 2 susjedna kolodvora, te se kao takve nakupljaju u ishodišnim kolodvorima i otpremaju do susjednog odredišnog kolodvora pri čemu nemaju mogućnost prerade. U svim varijantama organizacije vagonskih tokova te struje su fiksne. Iz tog razloga podaci o broju vagona tih struja nisu navedeni u ulaznim podacima. U kolodvoru F formira se isključivo struja n21 pa nije potreban podatak o nakupljanju vagona. Kolodvor A početni je kolodvor i u njemu nije moguća prerada vagona. Izostavljanjem spomenutih podataka postiže se bolja preglednost i pojednostavljenost u rješavanju problema.



Slika 6. Sve vagonске struje na dionici sa 7 kolodvora

Metoda analitičkih usporedbi sastoji se u određenim koracima kroz koje se određuje način organiziranja struja vagonskih tokova, a koraci se ponavljaju se kroz iteracije dok se odrede kretanja svih vagonskih struja.

Prvi korak u metodi je određivanje ušteta vagonskih sati pojedinačnih struja pri tranzitu kroz tehničke kolodvore bez prerade, te usporedba ušteta sa nakupljanjem struje u ishodišnom kolodvoru. Ukoliko su vrijednosti svih pojedinačnih ušteta u tranzitnim kolodvorima veće od nakupljanja, ta struja će se upućivati direktno bez prerade u tranzitnim kolodvorima. Primjerice, prema ulaznim podacima na slici 5 određene su uštete svih struja (slika 7).

	A	B	C	D	E	F	G
n1	c×m= 400	450	540	540	540	450	
n2	c×m= 400	350	420	420	420		
n3	c×m= 400	550	660	660			
n4	c×m= 400	100	120				
n5	c×m= 400	250					
n7	c×m= 500		120	120	120	100	
n8	c×m= 500		480	480	480		
n9	c×m= 500		180	180			
n10	c×m= 500		60				
n12	c×m= 400			660	660	550	
n13	c×m= 400			300	300		
n14	c×m= 400			960			
n16	c×m= 400				120	100	
n17	c×m= 400				360		
n19	c×m= 400					300	

**Slika 7.** Određivanje vagonskih sati nakupljanja i ušteta uslijed tranzita bez prerade za primjer zadatka 1

Analizom dobivenih rezultata dolazi se do zaključka da struje n1, n3, n12 i n14 troše manje vagonskih sati pri nakupljanju u ishodišnom kolodvoru nego pri preradi u nekom od tranzitnih tehničkih kolodvora. Iz toga slijedi da će se te struje upućivati direktno bez prerade do određinih kolodvora.

Profesor Čičak nadalje navodi da se spomenute struje eliminiraju se iz ulaznih podataka, a proces rješavanja zadatka se nastavlja sa preostalim podacima. U narednom koraku obavlja se analiza mogućih objedinjavanja struja vagonskih tokova i odabir najboljeg objedinjavanja. Dvije ili više struja mogu se objedinjavati ako poštuju nužan uvjet da nakon objedinjenja zajedno tranzitiraju minimalno kroz jedan tehnički kolodvor bez prerade. Objedinjavanje se obavlja nad preostalim strujama, strujama koje nisu eliminirane u prethodnom koraku.

Da bi objedinjavanje bilo moguće, objedinjene struje moraju zadovoljavati 2 uvjeta:

1. na svakom tranzitnom tehničkom kolodvoru mora vrijediti:  $n \times t_u \geq c \times m$ , tj. ušteda vagonskih sati kroz tranzitni kolodvor bez prerade mora biti veća ili jednaka nakupljanju struje za taj kolodvor, te
2. suma ušteda vagonskih sati u svim kolodvorima koje objedinjene struje tranzitiraju umanjena za vagonске sate nakupljanja u ishodišnom kolodvoru treba biti najveća:  

$$\sum n \times t_u - c \times m = \max.^4$$

Postoje brojne mogućnosti objedinjavanja preostalih struja, a neka od najpovoljnijih objedinjavanja prikazana su na slici 8. Sve prikazane zadovoljavaju uvjet veće uštede vagonskih sati pri tranzitu u odnosu na nakupljanje. Drugi uvjet zadovoljavaju objedinjene struje  $n2+n7+n8$  i njihovim objedinjavanjem završava se prva iteracija.

	A	B	C	D	E	F	G
$n2+n7+n8$	$c \times m = 500$		1020	1020	1020		$\sum n \times t_u - c \times m = 2560$
$n2+n7+n8+n9$	$c \times m = 500$		1200	1200			1900
$n2+n8$	$c \times m = 500$		900	900	900		2200
$n2+n8+n9$	$c \times m = 500$		1080	1080			1660

**Slika 8.** Najpovoljnije kombinacije objedinjavanja za primjer zadatka 1

**Slika 3.1.** Najpovoljnije kombinacije objedinjavanja za primjer zadatka 1

Prema profesoru Čičku, objedinjene struje eliminiraju se iz ulaznih podataka, a sljedeća iteracija sastoji se u ponovnom ispitivanju objedinjavanja preostalih struja. Kao što je već rečeno, proces rješavanja zadatka završava nakon što je poznata organizacija kretanja svih struja.

<sup>4</sup> Čičak, M.: Organizacija železničkog saobraćaja, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 1990.

### 3.2. Pogreške u načinu rješavanja zadatka

Pogreške u koracima pri rješavanju zadatka moguće je identificirati promatrajući proces kroz prethodno potpoglavlje. Osnovna načela, na kojima se temelji metoda, ispravna su, dok pojedina pravila unutar njih nisu opravdana i u konačnici dovode do lošijih rezultata.

Prvu pogrešku predstavlja eliminacija struja koje zadovoljavaju direktno upućivanje iz daljnjeg postupka rješavanja. Struje koje zadovoljavaju uvjet otpremat će se direktno, ali to ne znači nužno da im se ne mogu pridružiti struje koje se kreću istom dionicom. Struje koje im se pridružuju moraju započinjati vožnju u nekom od prethodnih kolodvora ili istom, a završavati u istom ili nekom od narednih kolodvora. Struja direktnog upućivanja ne smije se objedinjavati sa strujom koja započinje vožnju poslije njenog ishodišnog kolodvora ili završava prije odredišnog, jer pri tome bi se prerađivala u nekom od tehničkih kolodvora, odnosno ne bi se prevozila direktno.

Drugom pogreškom smatra se pravilo da objedinjene struje u svakom tranzitnom tehničkom kolodvoru moraju zadovoljavati uvjet:  $n \times t_u \geq c \times m$ , odnosno da ušteda vagonskih sati uslijed tranzita bez prerade mora biti veća od vagonskih sati nakupljanja. Postoje mogućnosti da je objedinjavanje opravdano, a da to pravilo nije ispoštovano.

Treća pogreška proizlazi iz činjenice da nakon objedinjavanja, objedinjene struje eliminiraju se iz daljnjeg postupka rješavanja. Problem leži u tome da pojedine struje nakon objedinjenja ne pristižu do odredišta i moraju na daljnjem putu tranzitirati tehnički kolodvor. Te struje ne smiju biti eliminirane, nego ih je potrebno pridodati drugim strujama sa kojima se poklapaju u nastavku vožnje. U slučaju eliminacije, te struje će se prerađivati na svakom od narednih tranzitnih kolodvora, dok prebacivanjem na druge struje, moguće ih je objединiti sa nekima od preostalih struja, što predstavlja povoljnije rješenje. Prebacivanje pojedinih struja na druge, nakon objedinjavanja, postavljaju se novi ulazni podaci za sljedeću iteraciju.

#### 4. Verzije modificiranih metoda zajedničkih analitičkih usporedbi

Na osnovu originalne metode zajedničkih analitičkih usporedbi, u ovom radu bit će izvedene modificirane metode s ciljem izrade metode koja donosi bolje rezultate. Modificirane metode se uvelike baziraju na originalnoj metodi, ali uz manje izmjene trebale bi ponuditi bolja rješenja. Modifikacije se temelje na ispravljanju pogreški navedenih u prošlom potpoglavlju 3.2.

Pri izradi modificirane metode dodatno je razmotren još jedan način rješavanja problema, pa će biti predstavljene tri verzije modificirane metode. Prva verzija bazirana je u potpunosti na originalnoj i razmatra sva moguća objedinjavanja struja. Jedini uvjet pri objedinjavanju jest da tranzitiraju barem kroz jedan tehnički kolodvor bez prerade.

Druge dvije verzije razmatrat će samo objedinjavanja struja koje dijele isti ishodišni kolodvor. Zajednički ishodišni kolodvor za objedinjavanje struja nužan je uvjet i u metodi apsolutnog proračuna. Razlog leži u činjenici da su struje iz istog kolodvora najkonkurentnije za objedinjavanje u većini slučajeva. Time se smanjuje broj kombinacija koje se uzimaju u obzir pri rješavanju zadatka. Uz ovaj uvjet, metoda apsolutnog proračuna ne dopušta objedinjavanje isključivo susjednih struja iz istog kolodvora. Susjedne struje podrazumijevaju struje koje vožnju započinju u istom kolodvoru, a odredišni kolodvori su im susjedni kolodvori. Susjedne struje konkurentnije su u odnosu na nesusjedne i njihovom eliminacijom znatno je olakšan posao, jer u tom slučaju postoji manje kombinacija za objedinjavanje<sup>5</sup>. Eliminacijom nesusjednih struja može doći do eliminiranja objedinjenja struja iz istog kolodvora koja se u nekim slučajevima mogu naći u optimalnom rješenju. Zato će biti razmotrene dvije verzije sa objedinjavanjem struja iz istog kolodvora, prva koja dopušta sva objedinjavanja struja iz istog kolodvora, te druga koja dopušta objedinjavanja susjednih struja iz istog kolodvora.

Prema karakteristikama varijanata modificiranih metoda, metode su nazvane:

1. modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa svim mogućim objedinjavanjima struja (metoda u potpunosti bazirana na originalnoj verziji),
2. modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjima svih struja koje dijele isti ishodišni kolodvor i

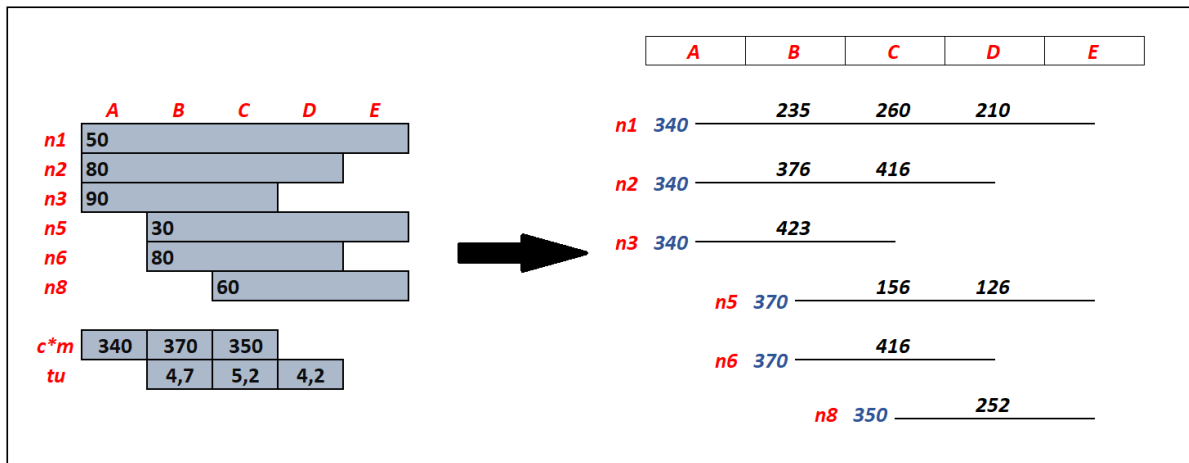
---

<sup>5</sup> Čičak, M.: Organizacija železničkog saobraćaja, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 1990.

3. modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjima susjednih struja koje dijele isti ishodišni kolodvor.

4.1. Modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa svim mogućim objedinjavanjima struja

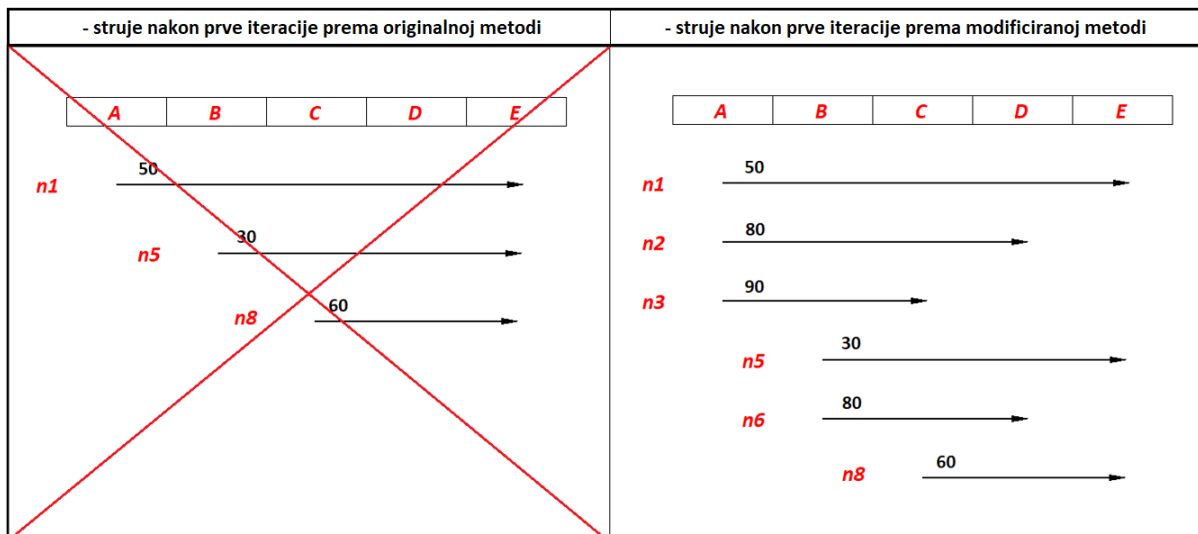
Ova verzija metode, kao i originalna metoda, započinje sa usporedbom vagonskih sati nakupljanja i vagonskih sati uštede uslijed tranzita bez prerade za svaku pojedinačnu struju. Ukoliko neka struja ostvaruje veće vagonске sate uštede u tranzitnim kolodvorima od nakupljanja, ta struja se upućuje direktno. Na slici 9 prikazan je jednostavan primjer sa 5 kolodvora i za ulazne podatke izveden je prvi korak metode.



**Slika 9.** Ulazni podaci i ispitivanje direktnog upućivanja objedinjavanja za primjer zadatka 2

Vidljivo je da struje *n2*, *n3* i *n6* zadovoljavaju uvjet direktnog upućivanja. Prvi korak modificirane metode identičan je kao originalnoj metodi. Nakon ispitivanja direktnog upućivanja, prema originalnoj metodi vrši se objedinjavanje preostalih struja, dok se struje koje zadovoljavaju uvjet iz prvog koraka eliminiraju i ne sudjeluju više u daljnjem procesu rješavanja.

Nakon određenih direktnih upućivanja kreira se skica sa strujama koje su "kandidati" za objedinjavanje. Na slici 10 su prikazane dvije skice. Prva skica izvedena je prema originalnoj metodi, gdje su eliminirane struje koje se upućuju direktno bez prerade. Druga skica izvedena je prema modificiranoj metodi. Kao što je rečeno, prema modificiranoj metodi smatra se da je moguće struje koje se upućuju direktno, objediniti sa nekima od preostalih struja koje ne zadovoljavaju uvjet direktnog upućivanja.



**Slika 10.** Prikaz vagnskih struja nakon ispitivanja direktnih upućivanja prema originalnoj i modificiranoj metodi objedinjavanja za primjer zadatka 2

Budući da se struje *n2*, *n3* i *n6* upućuju direktno do odredišnih kolodvora, jedina mogućnost jest da se njima pridruže neke od preostalih struja. Time se, primjerice, nudi mogućnost da se struja *n1* objedini sa *n2*, *n3* ili *n6*, ali ne nudi se mogućnost objedinjavanja struja *n2* i *n3* ili *n2* i *n6*. Objedinjavanjem struje *n2* sa *n3* došlo bi prerade struje *n2* u kolodvoru C, odnosno vagoni struje *n2* ne bi se upućivali direktno bez prerade do kolodvora D.

Za preostale struje, koje ne zadovoljavaju kriterij direktnog upućivanja, ispituju se mogućnosti objedinjavanja sa strujama s kojima je objedinjavanje moguće ostvariti. Objedinjavanje je moguće ako ispunjavaju uvjete za to. Kako bi se struja koja ne zadovoljava kriterij direktnog upućivanja, objedinila sa strujom direktnog upućivanja, ona mora zadovoljiti uvjet ishodišno/odredišnog kolodvora. To znači da ishodišni kolodvor struje koja se objedinjuje mora biti isti ili jedan od prethodnih u odnosu na ishodišni kolodvor struje direktnog upućivanja, a odredišni kolodvor mora biti isti ili jedan od narednih.

Prilikom objedinjavanja struja koje ne zadovoljavaju kriterij direktnog upućivanja, jedini uvjet za objedinjavanje jest da objedinjeno tranzitiraju barem jedan kolodvor bez prerade. Moguće kombinacije objedinjavanja struja za primjer zadatka iz ovog poglavlja prikazane su u tablici 1. Analizirano je kroz koje kolodvore objedinjene struje tranzitiraju, te da li je zadovoljen uvjet ishodišno/odredišnog kolodvora.

**Tablica 1.** Određivanje dopuštenih objedinjavanja za primjer zadatka 2

struja koja se objedinjuje	struje direktnog upućivanja	tranzitni kolodvori	uvjet ishodišno/određiškog kolodvora	struje koje se ne upućuju direktno	tranzitni kolodvori
n1	n2	B, C	zadovoljen		
	n3	B	zadovoljen	n5	C, D
	n6	C	zadovoljen	n8	D
n5	n2	C	nezadovoljen	n1	C, D
	n3	----	nezadovoljen		
	n6	C	zadovoljen	n8	D
n8	n2	----	nezadovoljen	n1	D
	n3	----	nezadovoljen	n5	D
	n6	----	nezadovoljen		
n1+n5	n2	C	nezadovoljen		
	n3	----	nezadovoljen		
	n6	C	nezadovoljen	n8	D
n1+n8	n2	----	nezadovoljen		
	n3	----	nezadovoljen	n5	D
	n6	----	nezadovoljen		
n5+n8	n2	----	nezadovoljen	n1	D
	n3	----	nezadovoljen		
	n6	----	nezadovoljen		
n1+n5+n8	n2	----	nezadovoljen		
	n3	----	nezadovoljen		
	n6	----	nezadovoljen		

Plavom bojom označeni su ispunjeni uvjeti za objedinjavanje. Prema tome, moguća objedinjavanja su: n1+n2, n1+n3, n1+n5, n1+n6, n1+n8, n5+n6, n5+n8 i n1+n5+n8. U daljnjem postupku rješavanja zadatka po metodi, odabire se objedinjenje struja sa najvećom razlikom zbroja vagonskih sati uštede uslijed tranzitiranja tehničkih kolodvora bez prerade i vagonskih sati nakupljanja (slika 11).

	A	B	C	D	E
<b>n1+n2</b>	<b>c*m=340</b>	<b>n*tu=611</b>	<b>n*tu=676</b>		<b>Σn*tu-c*m= 947</b>
<b>n1+n3</b>	<b>340</b>	<b>658</b>			<b>Σn*tu-cm= 318</b>
<b>n1+n5</b>		<b>370</b>	<b>416</b>	<b>336</b>	<b>Σn*tu-cm= 382</b>
<b>n1+n6</b>		<b>370</b>	<b>676</b>		<b>Σn*tu-cm= 306</b>
<b>n1+n8</b>			<b>350</b>	<b>462</b>	<b>Σn*tu-cm= 112</b>
<b>n5+n6</b>		<b>370</b>	<b>572</b>		<b>Σn*tu-cm= 202</b>
<b>n5+n8</b>			<b>350</b>	<b>378</b>	<b>Σn*tu-cm= 28</b>
<b>n1+n5+n8</b>			<b>350</b>	<b>588</b>	<b>Σn*tu-cm= 238</b>

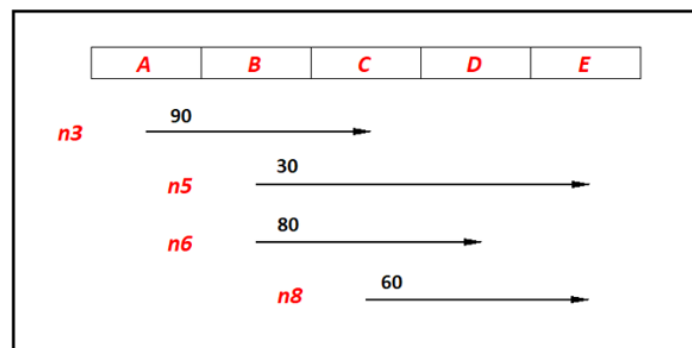
**Slika 11.** Analiza objedinjavanja vagonskih struja za primjer zadatka 2



Prema Slici je vidljivo da objedinjene struje n1 i n2 ostvaruju najveće uštede vagonskih sati. Taj rezultat predstavlja kraj prve iteracije i na osnovu njega se postavljaju ulazni podaci za drugu iteraciju. Struja n1 objedinjena sa n2 prevozi se do kolodvora D, gdje će se prerađivati i prevoziti sa strujom n9 do kolodvora E. Struja n10 (D-E) nije ucrtana jer, uz n4 (A-B), n7 (B-C), n9 (C-D), predstavlja struje na dionicama između dva susjedna kolodvora. Te struje ne mogu tranzitirati bez prerade i kao takve ne mogu ulaziti u kombinacije za objedinjavanja.

Struje n1 i n2 ne mogu se više kombinirati sa drugima i kao takve se eliminišu. Struja n1 prevozi se sa n2 do kolodvora D, što znači da je potrebno preraditi vagone u kolodvoru D i prevesti sa drugom strujom do kolodvora E. Kako je rečeno, struje na dionicama između 2 susjedna kolodvora ne uzimaju se u obzir i radi toga je moguće struju n1 potpuno eliminirati radi pojednostavljenog pregleda pri daljnjem rješavanju zadatka. Međutim, postoji mogućnost da nakon prijevoza sa objedinjenom strujom do određenog kolodvora, neka od struja mora tranzitirati barem jedan tehnički kolodvor do odredišnog.

U primjeru zadatka sa 5 kolodvora, takav slučaj moguć je samo ako dođe do objedinjavanja struja n1 i n3 ili n1, n2 i n3. U tom slučaju struja n1 prevozi se do kolodvora C (odredišni kolodvor za n3), a potom do odredišnog kolodvora E mora tranzitirati kolodvor D. Tada se struja n1 ne smije eliminirati, nego je potrebno vagone struje n1 pribrojiti vagonima struje n8 (struja koja se poklapa sa n1 nakon što n1 dospije u kolodvor C). Time se mijenjaju ulazni podaci za drugu iteraciju (slika 12). U tom slučaju može se dogoditi da struja n8, koja prema početnim podacima nije zadovoljavala uvjet direktnog upućivanja, nakon prve iteracije i povećanja broja vagona ipak zadovolji uvjet direktnog upućivanja u drugoj iteraciji.



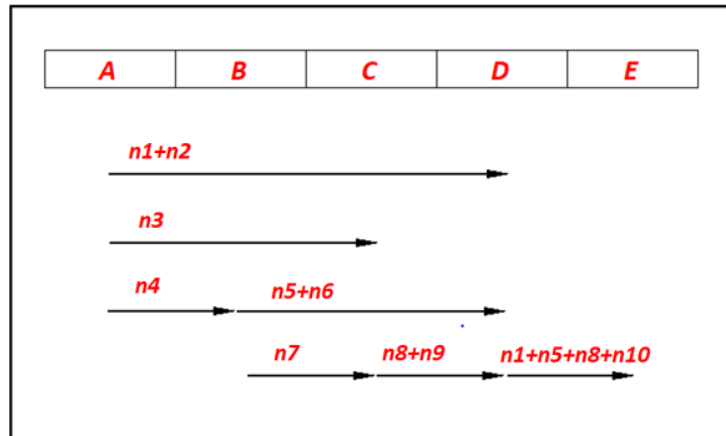
**Slika 12.** Ulazni podaci za drugu iteraciju objedinjavanja prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima za primjer zadatka 2

Budući da su  $n_3$  i  $n_6$  struje direktnog upućivanja, one se ne mogu objedinjavati međusobno. Također, struje  $n_5$  i  $n_8$  moraju zadovoljiti uvjet ishodišno/odredišnog kolodvora za objedinjavanje s njima. Struja  $n_3$  započinje u kolodvoru A, iz čega slijedi da struje  $n_5$  i  $n_8$  nije moguće kombinirati sa njom, kao što nije moguće kombinirati struje  $n_6$  i  $n_8$  jer struja  $n_8$  započinje vožnju u narednom kolodvoru. Jedino moguće objedinjenje sa strujom direktnog upućivanja jeste  $n_5$  i  $n_6$ . Uz to, moguće je objединiti struje  $n_5$  i  $n_8$  jer jedini uvjet za to objedinjavanje jest da zajedno tranzitiraju barem kroz jedan kolodvor. Po istom principu kao u prvoj iteraciji, vrši se odabir za objedinjavanje struja (slika 13).

	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>n5+n6</i>	370	572		$\Sigma n^*tu-cm= 202$
<i>n5+n8</i>		350	378	$\Sigma n^*tu-cm= 28$

**Slika 13.** Analiza mogućih objedinjavanja u drugoj iteraciji prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima za primjer zadatka 2

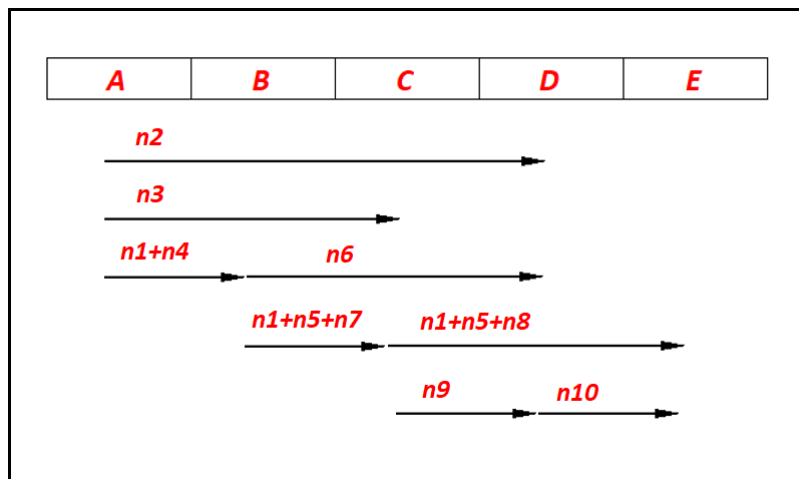
Struja  $n_5$  prevozi se sa strujom  $n_6$  do kolodvora D, prerađuje se i sa strujom  $n_{10}$  prebacuje do susjednog kolodvora. Struje  $n_5$  i  $n_6$  se eliminiraju. Preostale su struje  $n_3$  i  $n_8$  koje se ne objedinjuju sa drugim strujama na dionicama gdje će zajedno tranzitirati barem jedan kolodvor. Struja  $n_3$  zadovoljava uvjet direktnog upućivanja i prema tome se prevozi bez prerade na tranzitnom kolodvoru. Struja  $n_8$  ne zadovoljava uvjet direktnog upućivanja i prerađivat će se u kolodvoru D, odnosno do kolodvora D će se prevoziti sa strujom  $n_9$ , a potom sa  $n_{10}$  do kolodvora E. Dobiveno rješenje prikazano je grafički na slici 14.



**Slika 14.** Konačno rješenje primjera zadatka 2 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

4.2. Usporedba rješenja originalne i prve verzije modificirane metode zajedničkih analitičkih usporedbi

U svrhu usporedbe, prema originalnoj metodi za primjer zadatka 2 dobiva se rješenje prikazano grafički na slici 15.



**Slika 15.** Konačno rješenje zadatka 2 prema metodi zajedničkih analitičkih usporedbi

Ukratko opisano, u originalnoj metodi prvim korakom su određene struje direktnog upućivanja –  $n_2$ ,  $n_3$  i  $n_6$ . Od preostalih struja dobiva se da je najpovoljnije objedinjenje struja

n1, n5 i n8, čime ujedno u prvoj iteraciji završava se zadatak jer postoji više mogućnosti objedinjavanja.

Kroz tablicu 2 prikazani su rezultati izračuna vagonskih sati za modificiranu i originalnu metodu.

**Tablica 2.** Izračun ukupnih vagonskih sati prema dvjema metodama

<b>-prema modificiranoj metodi</b>				<b>-prema originalnoj metodi</b>			
	<b>vagonski sati</b>			<b>vagonski sati</b>			
	<b>nakupljanje</b>	<b>prerada</b>		<b>nakupljanje</b>	<b>prerada</b>		
n1	0	210	n1	0	495		
n2	340	0	n2	340	0		
n3	340	0	n3	340	0		
n4	340	0	n4	340	0		
n5	0	126	n5	0	156		
n6	340	0	n6	340	0		
n7	340	0	n7	340	0		
n8	0	252	n8	340	0		
n9	340	0	n9	340	0		
n10	340	0	n10	340	0		
<b>UKUPNO</b>	1700	588	<b>UKUPNO</b>	2040	651		
		<b>2288</b>			<b>2691</b>		

U tablici 2 izračunat je utrošak vagonskih sati nakupljanja i prerade za svaku struju pojedinačno. Prema modificiranoj metodi, ukupan broj vagonskih sati zadržavanja vagona u tehničkim kolodvorima iznosi 2288, prema originalnoj 2691. Modifikacijom metode moguće je postizati znatno bolje rezultate, što se očituje na ovom primjeru. Smanjenje vagonskih sati za 403 predstavlja smanjenje vagonskih sati za gotovo 15%.

Preračunavanje ulaznih podataka za drugu iteraciju ne djeluje na ovom primjeru na konačan rezultat, jer nije bilo potrebno zbog jednostavnog primjera sa pet kolodvora i zadanih ulaznih podataka. Međutim, u primjerima sa više kolodvora, koji nude veći broj kombinacija za objedinjavanje, puno češće može doći do utjecaja na konačan rezultat ukoliko se ne obavlja preračunavanje.

Uvjet da objedinjene struje u svakom tranzitnom kolodvoru postižu veće vagonске sate uštede ( $n \times t_u$ ) u odnosu na vagonске sate nakupljanja struje u tom kolodvoru ( $c \times m$ ) također ne dolazi do izražaja na ovom primjeru zadatka. Kao i za preračunavanje, razlog leži u jednostavnom primjeru i zadanim ulaznim podacima. Prema modificiranoj metodi taj uvjet ne mora biti ispoštovan.

Ipak, utjecaj tog uvjeta može se promotriti kroz dva načina rješavanja zadatka prema originalnoj metodi. Za prvi slučaj, u kojem je taj uvjet ispoštovan, rezultati su već prikazani u ovom potpoglavlju. Drugi slučaj prema originalnoj metodi, sa izuzetkom da taj uvjet ne mora biti zadovoljen, bit će razmotren u nastavku. Izbjegavanjem tog uvjeta i analiziranjem

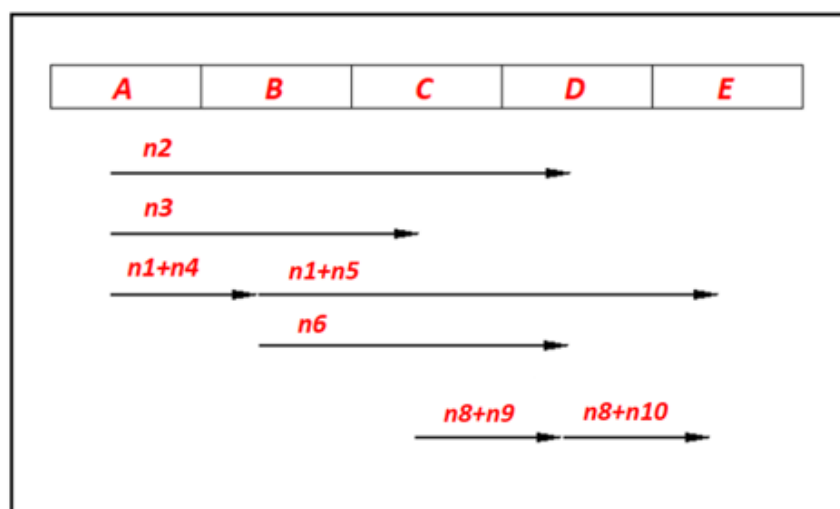
kombinacija koje sačinjavaju struje  $n_1$ ,  $n_5$  i  $n_8$  dolazi se do zaključka da  $n_1+n_5$  predstavlja najpovoljnije objedinjenje struja (slika 16), za razliku od prvog slučaja gdje se kao najpovoljnije uzima objedinjenje  $n_1+n_5+n_8$ .

	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
$n_1+n_5$	370	416	336	$\Sigma n \cdot t_{u-cm} = 382$
$n_1+n_8$		350	462	$\Sigma n \cdot t_{u-cm} = 112$
$n_5+n_8$		350	378	$\Sigma n \cdot t_{u-cm} = 28$
$n_1+n_5+n_8$		350	588	<del><math>\Sigma n \cdot t_{u-cm} = 238</math></del>

**Slika 16.** Odabir najpovoljnijeg objedinjenja pri izmijenjenom pravilu o objedinjavanju

Time se postiže najveća razlika uštede vremena prilikom tranzita bez prerade i nakupljanja ( $\Sigma n \cdot t_{u-cm}$ ). To objedinjavanje struja nije izvršeno prema originalnoj metodi jer ušteta vremena uslijed tranzita bez prerade manja je od vremena nakupljanja.

Obzirom da se struje  $n_2$ ,  $n_3$  i  $n_6$  zasebno direktno upućuju, te struje  $n_1$  i  $n_5$  objedinjuju, preostaje da se struja  $n_8$  prerađuje u kolodvoru D, odnosno da se sa  $n_9$  prevozi do kolodvora D, a nakon toga sa  $n_{10}$  do odredišnog kolodvora. To rješenje prikazano je grafički na slici 17.



**Slika 17.** Konačno rješenje primjera zadatka 2 prema originalnoj verziji metode uz izuzetak pravila o objedinjavanju struja

Za navedeno rješenje u tablici 3 izračunata je potrošnja vagonkih sati.

**Tablica 3.** Izračun ukupnih vagonkih sati za konačno rješenje primjera zadatka 2 prema originalnoj verziji uz izuzetak pravila o objedinjavanju struja

	<i>vagonski sati</i>		
	<i>nakupljanje</i>	<i>prerada</i>	
n1	0	235	
n2	340	0	
n3	340	0	
n4	340	0	
n5	340	0	
n6	340	0	
n7	340	0	
n8	0	312	
n9	340	0	
n10	340	0	
<b>UKUPNO</b>	2040	547	<b>2587</b>

Uspoređujući rješenje dobiveno originalnom metodom uz poštivanje svih pravila i rješenja uz izbjegavanje pravila o objedinjavanju, dobiva se razlika od:

$2691 - 2587 = 104$  [vagonkih sati].

To predstavlja dokaz da izbjegavanjem tog pravila moguće je doći do boljeg rješenja.

#### 4.3. Modificirane metode zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjem struja koje dijele isti ishodišni kolodvor

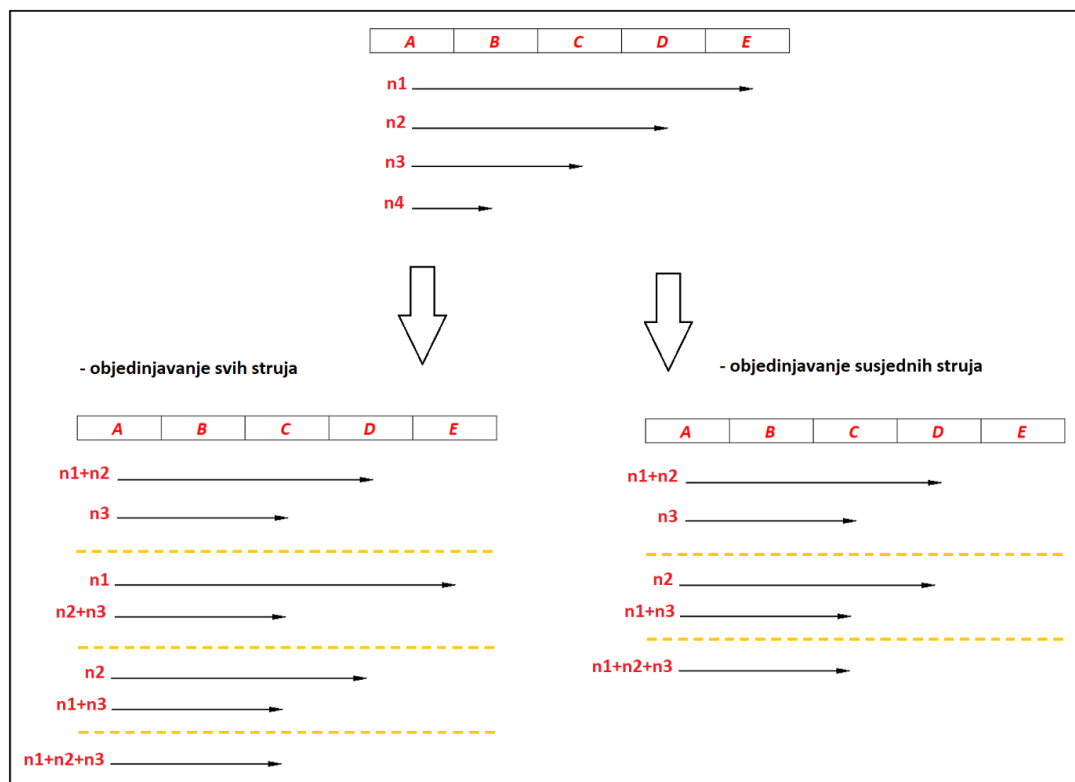
Objedinjavanjem struja koje dijele ishodišni kolodvor postiže se smanjenje opsega posla pri izračunu. Time se znatno smanjuje broj kombinacija za objedinjavanje u odnosu na razmatranje svih mogućih kombinacija. Postoji mogućnost da dobiveno rješenje nije optimalno, ali s obzirom na znatno olakšan izračun, manje razlike u konačnim rješenjima su prihvatljive.

Pri objedinjavanju struja iz istog kolodvora moguće je razmatrati dvije varijante objedinjavanja:

1. objedinjavanje svih struja i
2. objedinjavanje susjednih struja.

U prvom slučaju jedini uvjet za objedinjavanje jest da dvije struje iz istog kolodvora zajedno tranzitiraju barem 1 kolodvor do odredišta, dok u drugom slučaju te struje moraju biti i susjedne. U drugom slučaju smanjuje se broj kombinacija objedinjavanja.

Slika 18 prikazuje moguća objedinjavanja struja u kolodvoru A na relaciji sa pet kolodvora. Iz kolodvora se upućuje četiri struje, od čega tri tranzitiraju barem jedan kolodvor i moguće ih je objedinjavati. Objedinjavanje svih struja sadrži jedno različito objedinjavanje ( $n_1+n_3$ ) u odnosu na objedinjavanje susjednih struja. Povećanjem broja struja iz kolodvora povećava se broj kombinacija koje se ne uzimaju u razmatranje pri objedinjavanju susjednih struja.



**Slika 18.** Mogućnosti objedinjavanja svih struja i susjednih iz istog kolodvora

#### 4.3.1. Modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjem svih struja iz istog kolodvora

Način rješavanja problema po ovoj metodi praktički je isti kao kod metode sa svim mogućim objedinjavanjima, ali uz ograničen broj kombinacija za objedinjavanje. Koraci će biti opisani na istom primjeru zadatka na kojem je opisana metoda sa svim mogućim objedinjavanjima. Ulazni podaci prikazani su na slici 9.



Prvi korak ove metode, ispitivanje mogućnosti direktnih upućivanja, identičan je prethodnoj metodi. U drugom koraku dolazi do razlike zbog smanjenog broja kombinacija za objedinjavanje. Za svaki kolodvor ispituju se moguća objedinjavanja, a potom biraju ona sa najvećom razlikom ušteda vagonskih sati uslijed tranzita i nakupljanja u početnom kolodvoru (slika 19).

	A	B	C	D	E
$n1+n2$	$c*m=340$	$n*tu=611$	$n*tu=676$		$\Sigma n*tu-c*m= 947$
$n1+n3$	340	658			$\Sigma n*tu-cm= 318$
$n5+n6$		370	572		$\Sigma n*tu-cm= 202$

**Slika 19.** Ispitivanje objedinjavanja struja za primjer zadatka 2 prema modificiranoj metodi sa svim objedinjavanjima struja iz istog kolodvora

Budući da struje  $n2$  i  $n3$  iz kolodvora zadovoljavaju uvjet direktnog upućivanja, te struje nije moguće kombinirati međusobno. Time se eliminiraju objedinjavanja  $n2+n3$  i  $n1+n2+n3$ , jer u tom slučaju se struja  $n2$  ne bi prevozila direktno do odredišta. U kolodvoru B struja  $n6$  zadovoljava direktno upućivanje, ali to ne eliminira jedinu moguću kombinaciju  $n5+n6$ .

Usporedbom ušteda uslijed tranzita i nakupljanja dobiva se da objedinjavanja  $n1+n2$  i  $n5+n6$  zadovoljavaju uvjete. One se eliminiraju iz daljnjeg procesa rješavanja. Među preostalim strujama koje tranzitiraju kolodvor do odredišta su  $n3$  i  $n8$ , ali iz istih kolodvora ne postoje druge struje sa kojim ih je moguće objediniti. Iz tog razloga struje  $n3$  i  $n8$  objedinjuju se sa dioničkim vlakovima.

Dobiveno rješenje identično je rješenju dobivenom metodom koja uključuje sva moguća objedinjavanja (slika 17). Na primjerima sa manjim brojem kolodvora rješenja se gotovo uvijek poklapaju, jer pri manjem broju kolodvora vrlo je malen broj različitih kombinacija za objedinjavanje. Sa povećanjem broja kolodvora puno češće dolazi do različitih rješenja, ali ne i značajnih promjena u ukupnom broju vagonskih sati.

#### 4.3.2. Modificirana metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa objedinjavanjem susjednih struja iz istog kolodvora

Ova metoda bazirana je na istom principu rješavanja uz dodatno ograničavanje u načinu objedinjavanja struja. Osim istog kolodvora, struje koje se objedinjuju moraju biti susjedne unutar tog kolodvora.

Sa smanjenjem broja kombinacija za objedinjavanje pojavljuju se razlike u rješenjima, ali prihvatljive su s obzirom na pojednostavnjenost načina rješavanja. Ova metoda nudi pogodnost za rješavanje problema na dionicama sa većim brojem kolodvora.

Primjenom ove metode na istom primjeru zadatka iz prethodnih poglavlja dobiva se isto rješenje. Za bolju usporedbu rezultata potrebno je odrediti dionicu sa većim brojem kolodvora.

Sve modificirane metode imaju svoje prednosti i mane koje se očituju na različitim ulaznim podacima. Nijedna od ovih metoda ne može se smatrati idealnom. Postoji mogućnost kombiniranja metoda na način da se mogućnosti objedinjavanja mijenjaju kroz iteracije, a ne da se kroz sve iteracije vodi istim pravilom.

## 5. Značajke modificiranih metoda zajedničkih analitičkih usporedbi

Za usporedbu modificiranih metoda korištene su značajke iz poglavlja prema kojim je uspoređena metoda zajedničkih analitičkih usporedbi sa metodom apsolutnog proračuna. Značajke su u većinom u međusobnim korelacijama. Kroz nekoliko primjera sa specifičnim ulaznim podacima obavljene su usporedbe kako bi se dokazale prednosti i nedostaci metoda. Rješavanje primjera bit će razmotreno kroz rješavanje pismenim putem i korištenjem programskih alata.

### 5.1. Maksimalan broj kolodvora

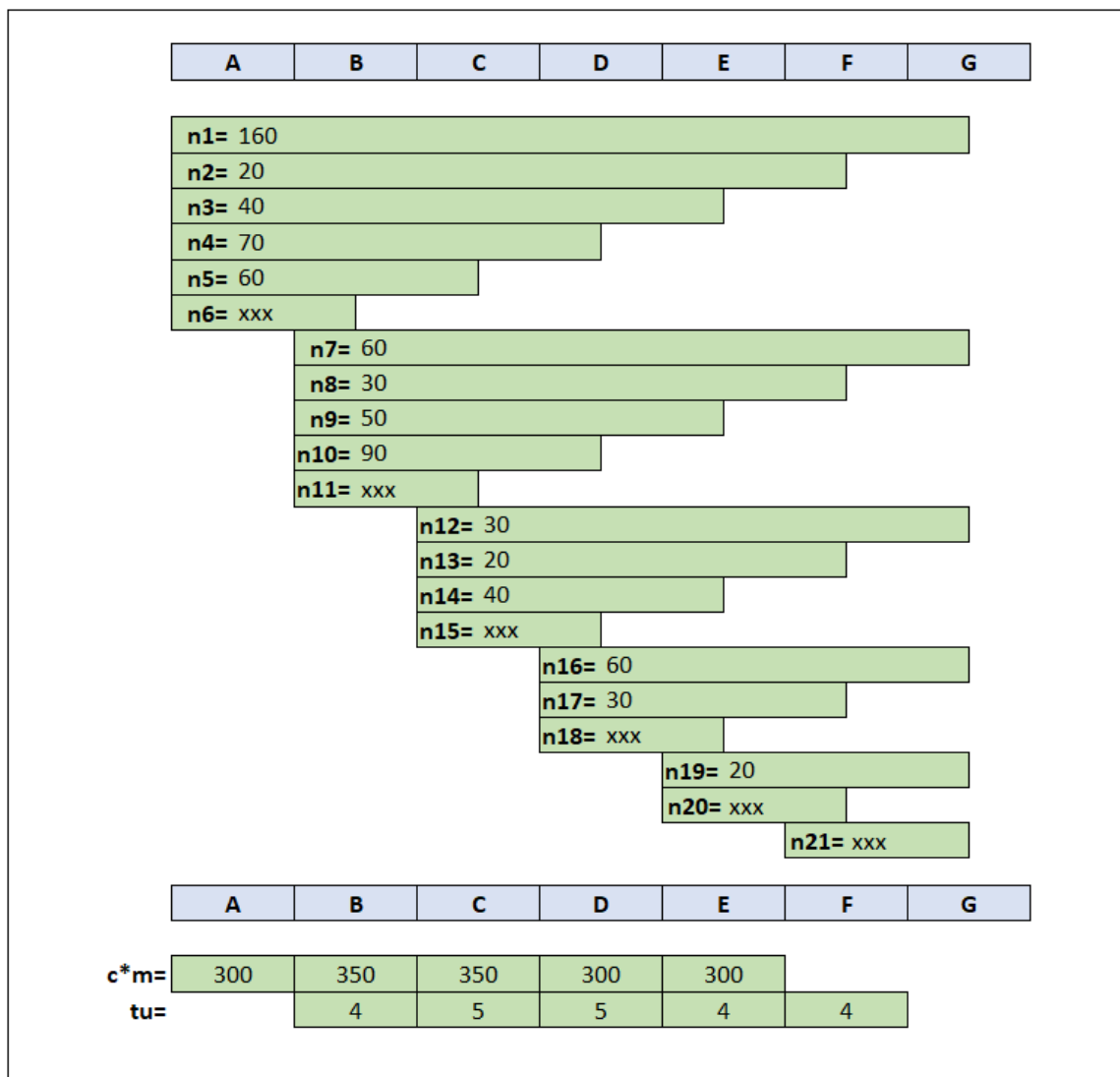
Maksimalan broj kolodvora bitna je značajka koja određuje područje primjenjivosti metode. Povećanjem broja kolodvora, povećava se i složenost načina rješavanja problema. Poželjno je da se metoda može primjenjivati na što većem broju kolodvora uz izračun u prihvatljivom vremenskom periodu. Ukoliko je potreban duži vremenski period za izračun određenom metodom, maksimalan broj kolodvora za primjenu metode potrebno je smanjiti, te smisliti jednostavniji način rješavanja pri većem broju kolodvora.

Nije moguće precizno definirati maksimalan broj kolodvora. On može ovisiti i o ulaznim podacima, pa tako u nekim slučajevima ulazni podaci mogu zahtijevati jednostavan izračun, a u nekim slučajevima složen do mjere da zadatak nije rješiv u prihvatljivom vremenskom periodu.

Korištenjem računalnih alata olakšava se izračun u odnosu na računanje pismenim putem. Radi toga su razmotrena rješavanja problema korištenjem programskih alata izrađenih u Excelu i pismenim putem. Jasno je da korištenjem programskih alata moguće je tražiti optimalna rješenja za dionice sa većim brojem kolodvora.

Budući da su modificirane metode prikazane kroz primjer sa 5 kolodvora gdje se jednostavno dolazilo do konačnog rješenja, u narednim primjerima bit će korišteno 7 kolodvora. Za sve tri verzije modificirane metode izrađeni su programski alati u Microsoft Excelu. Izrada programskog alata, kao i svakog programa, zahtijeva dugotrajniji posao, ali dugoročno isplativ. U konačnici je moguće izrađivati bezbrojna ispitivanja na jednostavniji i brži način nego što se obavlja pismenim putem.

Ulazni podaci, prema kojim će biti ispitana složenost rješavanja problema korištenjem modificiranih metoda, prikazani su na slici 20.



Slika 20. Ulazni podaci za primjer zadatka 3

5.1.1. Određivanje maksimalnog broja kolodvora za modificiranu metodu sa svim objedinjavanjima

Ispitivanjem direktnog upućivanja dobiva se da struje n1 i n10 ispunjavaju uvjete. Ispitivanje direktnih upućivanja prikazano je u tablici 4.

**Tablica 4.** Ispitivanje direktnih upućivanja za primjer zadatka 3

	B	C	D	E	F
<b>n1</b>	-340	-500	-500	-340	-340
<b>n2</b>	220	200	200	220	
<b>n3</b>	140	100	100		
<b>n4</b>	20	-50			
<b>n5</b>	60				
<b>n7</b>		50	50	110	110
<b>n8</b>		200	200	230	
<b>n9</b>		100	100		
<b>n10</b>		-100			
<b>n12</b>			200	230	230
<b>n13</b>			250	270	
<b>n14</b>			150		
<b>n16</b>				60	60
<b>n17</b>				180	
<b>n19</b>					220

Ispitivanje je izvedeno u izrađenom programu u Excelu. Za svaki tranzitni kolodvor izračunata je razlika vagonskih sati uštede i vagonskih sati nakupljanja u početnom kolodvoru. Sve moguće kombinacije objedinjavanja struja na dionici sa 7 kolodvora prikazane su u tablici 5.

**Tablica 5.** Analiza mogućih objedinjavanja za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

	KOLODVOR A										KOLODVOR B					KOLODVOR C			D								
	2 objed.			3 objed.				4 objed.			5 obj.	2		3		4		2	3	2							
	1	2	3	4	1+2	1+3	1+4	2+3	2+4	3+4	1+2+3	1+2+4	1+3+4	2+3+4	1+2+3+4	7	8	9	7+8	8+9	7+9	7+8+9	12	13	12+13	16	
<b>2</b>	2940																										
<b>3</b>	2500	540			2780																						
<b>4</b>	1770	510	690		1950	2130		870			2310																
<b>5</b>	580	20	100	220	660	740	860	180	300	380	820	940	1020	460	1100												
<b>7</b>	3610																										
<b>8</b>	2310	350			2590													910									
<b>9</b>	1750	350	550		1950	2150		750			2350						750	450		1050							
<b>10</b>	900	200	300	450	1000	1100	1250	400	550	650	1200	1350	1450	750	1550	400	250	350	550	500	650	800					
<b>12</b>	2120																	820									
<b>13</b>	1270	10			1450												370	370		640				100			
<b>14</b>	650	-50	50		750	850		150			950					150	0	100	300	250	400	550	0	-50	100		
<b>16</b>	1460																	660						420			
<b>17</b>	460	-100			540													60		180				-60	-100	20	60
<b>19</b>	420																	20						-100		20	
<b>7+8</b>	3150	1190			3430																						
<b>7+9</b>	2350	950	1150		2550	2750		1150			2950																
<b>7+10</b>	1200	500	600	750	1300	1400	1550	700	850	950	1500	1650	1750	1050	1850												
<b>8+9</b>	2050	650	850		2250	2450		1050			2650							1050									
<b>8+10</b>	1050	350	450	600	1150	1250	1400	550	700	800	1350	1500	1600	900	1700	550											
<b>9+10</b>	1150	450	550	700	1250	1350	1500	650	800	900	1450	1600	1700	1000	1800	650	500		800								
<b>7+8+9</b>	2650	1250	1450		2850	3050		650			3250																
<b>7+8+10</b>	1350	650	750	900	1450	1650	1700	850	1000	1100	1650	1800	1900	1200	2000												
<b>7+9+10</b>	1450	750	850	1000	1550	1650	1800	950	1100	1200	1750	1900	2000	1300	2100												
<b>8+9+10</b>	1300	600	700	850	1400	1500	1650	800	950	1050	1750	1750	1850	1150	1950	800											
<b>7+8+9+10</b>	1600	900	1000	1150	1700	1800	1950	1100	1250	1350	1900	2050	2150	1450	2250												
<b>12+13</b>	1540	280			1720													640	370		910						
<b>12+14</b>	800	100	200		900	1000		300			1100							300	150	250	450	400	550	700			
<b>13+14</b>	750	50	150		850	950		250			1050							250	100	200	400	350	500	650			

Polja ispunjena plavom bojom predstavljaju nemoguće kombinacije za objedinjavanje, a u preostalim je ispunjena razlika vagonskih sati uštede uslijed tranzita i nakupljanja u početnom

kolodvoru. Struje ispunjene vodoravno, poredane od početnog kolodvora A do kolodvora D, zadnjeg kolodvora koji upućuje struju koja tranzitira kolodvor do odredišta. Kombinacije se iščitavaju pogledom na redak i stupac u kojem je polje.

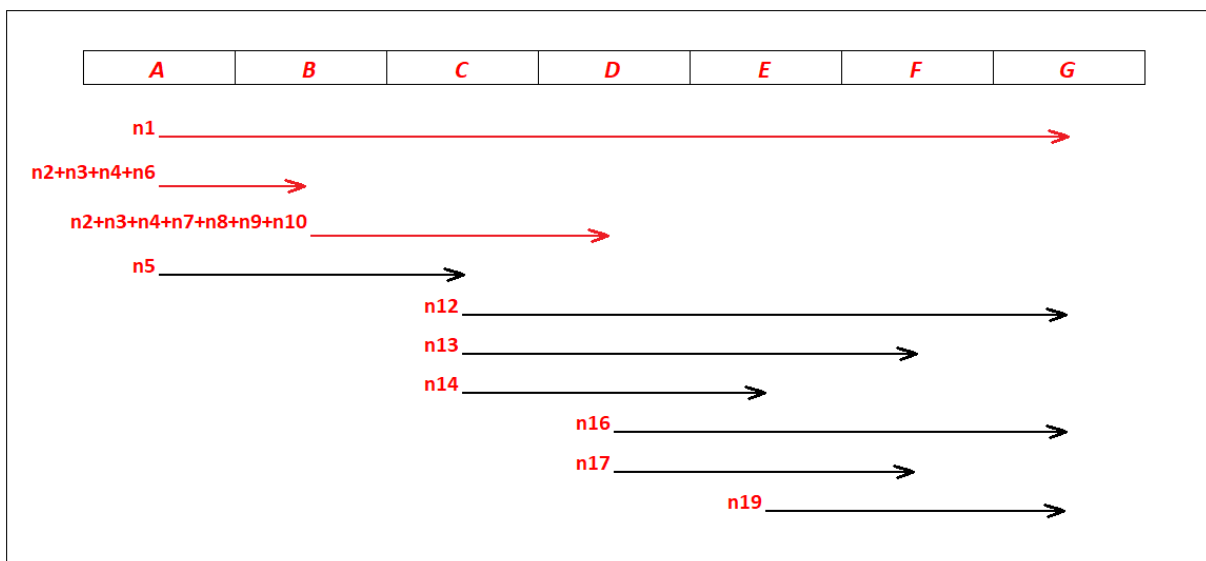
Najveća razlika u tablici 5 iznosi 3610 vagnskih sati. Polje sa brojem 3610 nalazi se u stupcu 1 i retku 7, što predstavlja kombinaciju  $n_1+n_7$ . Objedinjavanje tih dviju struja znači da se struja  $n_1$  otprema dioničkim vlakovima do kolodvora B i potom direktno upućuje sa strujom  $n_7$  do odredišnog kolodvora G.

Međutim, prema pravilu modificirane metode, struje direktnog upućivanja mogu se objedinjavati samo na način da se njima pridodaje druga struja, a ne one drugim strujama. U slučaju  $n_1+n_7$ , struja  $n_1$  ne bi bila direktno upućena od ishodišta do odredišta, pa je to objedinjavanje nemoguće. U tom slučaju, potrebno je potražiti iduće objedinjavanje sa najvećom razlikom. Iz tablice 5 moguće je eliminirati sve struje u kojima se struja  $n_1$  objedinjuje sa drugim strujama, jer kao najbolje rješenje prema broju vagnskih sati nudi se puno kombinacija sa  $n_1$ . Eliminacijom se dolazi do tablice 6.

**Tablica 6.** Pregled mogućih objedinjavanja nakon eliminacije struje  $n_1$  za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

	2	3	4	2+3	2+4	3+4	2+3+4	7	8	9	7+8	8+9	7+9	7+8+9	12	13	12+13	16
2																		
3	540																	
4	510	690		870														
5	20	100	220	180	300	380	460											
7																		
8	350							910										
9	350	550		750				750	450		1050							
10	200	300	450	400	550	650	750	400	250	350	550	500	650	800				
12								820										
13	10							370	370		640				100			
14	-50	50		150				150	0	100	300	250	400	550	0	-50	100	
16								660							420			
17	-100							60			180				-60	-100	20	60
19								20							-100			20
7+8	1190																	
7+9	950	1150		1150														
7+10	500	600	750	700	850	950	1050											
8+9	650	850		1050				1050										
8+10	350	450	600	550	700	800	900	550										
9+10	450	550	700	650	800	900	1000	650	500		800							
7+8+9	1250	1450		650														
7+8+10	650	750	900	850	1000	1100	1200											
7+9+10	750	850	1000	950	1100	1200	1300											
8+9+10	600	700	850	800	950	1050	1150	800										
7+8+9+10	900	1000	1150	1100	1250	1350	1450											
12+13	280							640	370		910							
12+14	100	200		300				300	150	250	450	400	550	700				
13+14	50	150		250				250	100	200	400	350	500	650				

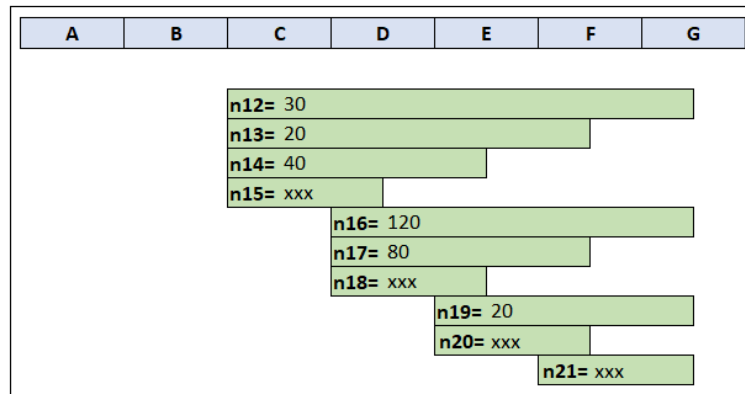
Prema rezultatima u tablici 6 vidljivo je da najpovoljnije objedinjavanje predstavlja  $n_2+n_3+n_4+n_7+n_8+n_9+n_{10}$  sa ostvarenih 1450 vagonskih sati uštede. Struje  $n_2$ ,  $n_3$  i  $n_4$  dioničkim vlakovima prevozi će se do kolodvora B, gdje će se preraditi, odnosno objединiti sa strujom  $n_7+n_8+n_9+n_{10}$ . Ovo kombinacija uključuje struju  $n_{10}$  koja zadovoljava uvjet direktnog upućivanja, ali za razliku od kombinacija sa strujom  $n_1$ , struja  $n_{10}$  prevozi se direktno bez prerade do svog odredišta. Nakon prve iteracije, dobiva se stanje prikazano na slici 21.



**Slika 21.** Pregled vagonskih struja nakon prve iteracije za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

Struja  $n_1$  eliminira se iz daljnjeg postupka rješavanja, jer zadovoljava direktno upućivanje, a ne može se objединiti sa drugim strujama na način da se ne preraduje do odredišta. Iz objedinjenja  $n_2+n_3+n_4+n_7+n_8+n_9+n_{10}$  određene struje moguće je eliminirati. Struje  $n_{10}$  i  $n_4$  stižu do odredišta i time se eliminiraju. Uz njih, struje  $n_3$  i  $n_9$  potrebno je dopremiti do narednog kolodvora, a to se obavlja objedinjavanjem sa dioničkim vlakovima struje  $n_{11}$ . Time se eliminiraju struje  $n_3$  i  $n_9$ . Preostale struje  $n_2$ ,  $n_7$  i  $n_8$  na putu do odredišta tranzitiraju barem po još jedan kolodvor i nije ih moguće eliminirati. Struja  $n_5$  preostaje kao jedina struja iz kolodvora A i zbog kratke dionice na kojoj putuje ne može se objedinjavati više sa drugim strujama, pa se i ona eliminira. Kako nije zadovoljila uvjet direktnog upućivanja, ta struja bit će otpremljena dioničkim vlakovima  $n_6$  i  $n_{15}$ , odnosno preradivat će se u kolodvoru B.

Budući da su struje n2, n7 i n8 dopremljene do kolodvora D, potrebno je njihove vagone brojčano pridodati vagonima struja s kojima se poklapaju u daljnjem nastavku vožnje. Struju n7 potrebno je dopremiti do kolodvora G, pa se ta struja pridodaje struji n16. Struje n2 i n8 kreću se do kolodvora F i pridodaju se struji n17. Na osnovu toga potrebno je korigirati ulazne podatke prije druge iteracije. Eliminacijom struja i prebacivanjem vagona dobivaju se ulazni podaci prikazani na slici 22.



**Slika 22.** Ulazni podaci za drugu iteraciju za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

Zbog promjena u ulaznim podacima, potrebno je izvršiti ponovno ispitivanje direktnog upućivanja. Istim načinom ispitivanja dobiva se iz tablice 7 da struje n16 i n17 zadovoljavaju uvjet.

**Tablica 7.** Ispitivanje direktnih upućivanja u drugoj iteraciji za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

	B	C	D	E	F
<i>n12</i>			200	230	230
<i>n13</i>			250	270	
<i>n14</i>			150		
<i>n16</i>				-180	-180
<i>n17</i>				-20	
<i>n19</i>					220

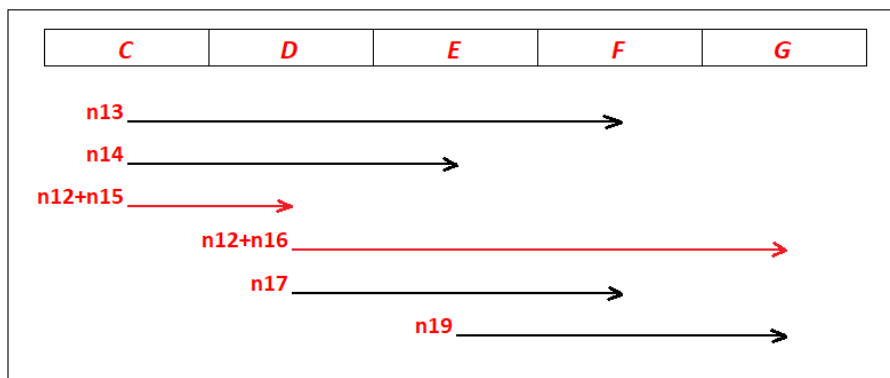
Ispitivanje mogućnosti objedinjavanja može se promotriti ovaj put na puno manjoj tablici, jer većina struja je eliminirana. Kako je prikazano u tablici 8, najpovoljnije objedinjavanje predstavlja n12+n16 sa 900 vagonskih sati uštede.



**Tablica 8.** Analiza mogućih objedinjavanja za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

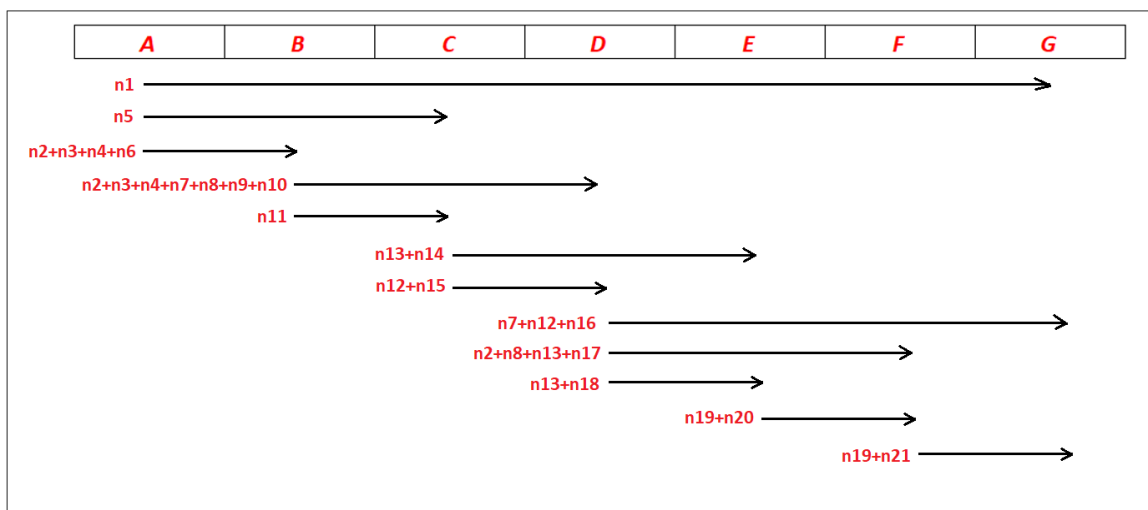
	KOLODVOR C			D
	2	3	2	
	12	13	12+13	16
12				
13	100			
14	0	-50	100	
16	900			
17	140	100	220	500
19	-100			260

Ovom iteracijom dolazi se do eliminiranja objedinjenih struja  $n_{12}$  i  $n_{16}$  koje se nakon objedinjenja dopremaju do određivnog kolodvora. Uz njih eliminira se i struja  $n_{16}$  koja se upućuje direktno, a nijedna od preostalih struja ne može joj se pridružiti. Slika 23 prikazuje rezultat druge iteracije.



**Slika 23.** Pregled vagnskih struja nakon druge iteracije za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

Nakon eliminiranja struja  $n_{12}$  i  $n_{16}$ , preostala moguća objedinjavanja su  $n_{13}+n_{14}$  i  $n_{13}+n_{17}$ . Struja  $n_{13}+n_{14}$  ne zadovoljava uvjet, dok  $n_{13}+n_{17}$  ostvaruje uštedu od 100 vagnskih sati. Time se dobiva konačno rješenje prikazano na slici 24.



**Slika 24.** Konačno rješenje za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima

Analizom riješenog zadatka sa aspekta složenosti načina rješavanja korištenjem programskog alata, vidljivo je da 7 kolodvora predstavlja granicu. Postoji eventualno mogućnost izrade složenijeg programa koji uključuje još 1 kolodvor, dok već 9 kolodvora predstavlja prezahtjevan posao za obradu svih mogućih kombinacija.

Pismenim putem ovaj primjer zadatka nerješiv je u prihvatljivom vremenskom periodu. Prevelik broj kombinacija zahtijeva puno vremena za računanje, čime se može smatrati da 6 kolodvora predstavlja granicu, iako i u tom slučaju može doći do složenog izračuna.

#### 5.1.2. Određivanje maksimalnog broja kolodvora za modificiranu metodu sa objedinjavanjem svih struja iz istog kolodvora

Budući da je objedinjavanje struja ograničeno uvjetom da objedinjene struje moraju polaziti iz istog kolodvora, broj kombinacija znatno se smanjuje. Najviše kombinacija stvara se u prvom kolodvoru i smanjuje se uvelike svakim idućim kolodvorom, što znači da složenost izračuna ovisi najviše o prvom kolodvoru u nizu.

Ispitivanje direktnih upućivanja identično je kao u poglavlju 5.1.1. Razlike u načinu rješavanja pojavljuju se u odabiru objedinjavanja. Tablica 9 prikazuje objedinjavanja i njihove razlike ušteda vagonskih sati uslijed tranzita i nakupljanja.

**Tablica 9.** Sve varijante objedinjavanja za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa objedinjavanjima svih struja iz istog kolodvora

KOLODVOR A							
	B	C	D	E	$\Sigma n^*tu$	$c^*m$	$\Sigma n^*tu - c^*m$
1+2	720	900	900	720	3240	300	2940
1+3	800	1000	1000		2800	300	2500
1+4	920	1150			2070	300	1770
1+5	880				880	300	580
2+3	240	300	300		840	300	540
2+4	360	450			810	300	510
2+5	320				320	300	20
3+4	440	550			990	300	690
3+5	400				400	300	100
4+5	520				520	300	220
1+2+3	880	1100	1100		3080	300	2780
1+2+4	1000	1250			2250	300	1950
1+2+5	960				960	300	660
1+3+4	1080	1350			2430	300	2130
1+3+5	1040				1040	300	740
1+4+5	1160				1160	300	860
2+3+4	520	650			1170	300	870
2+3+5	480				480	300	180
2+4+5	600				600	300	300
3+4+5	680				680	300	380
1+2+3+4	1160	1450			2610	300	2310
1+2+3+5	1120				1120	300	820
1+2+4+5	1240				1240	300	940
1+3+4+5	1320				1320	300	1020
2+3+4+5	760				760	300	460
1+2+3+4+5	1400				1400	300	1100

KOLODVOR B							
	C	D	E	$\Sigma n^*tu$	$c^*m$	$\Sigma n^*tu - c^*m$	
7+8	450	450	360	1260	350	910	
7+9	550	550		1100	350	750	
7+10	750			750	350	400	
8+9	400	400		800	350	450	
8+10	600			600	350	250	
9+10	700			700	350	350	
7+8+9	700	700		1400	350	1050	
7+8+10	900			900	350	550	
7+9+10	1000			1000	350	650	
8+9+10	850			850	350	500	
7+8+9+10	1150			1150	350	800	

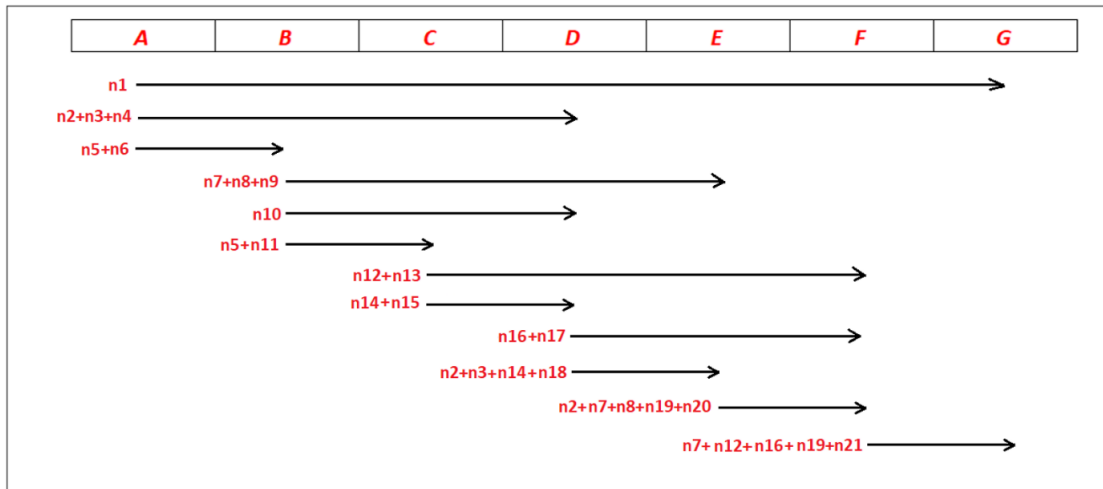
KOLODVOR C					
	D	E	$\Sigma n^*tu$	$c^*m$	$\Sigma n^*tu - c^*m$
12+13	250	200	450	350	100
12+14	350		350	350	0
13+14	300		300	350	-50
12+13+14	450		450	350	100

KOLODVOR D				
	E	$\Sigma n^*tu$	$c^*m$	$\Sigma n^*tu - c^*m$
16+17	560	560	300	260

Crvena boja prikazuje eliminirana objedinjavanja, jer n1 zadovoljava direktno upućivanje i kao takva se ne može objediniti sa nijednom drugom strujom, a da pritom zadrži direktno upućivanje. U jednoj iteraciji moguće je odrediti po jedno objedinjavanje za svaki kolodvor. U ovom slučaju to su n2+n3+n4 za kolodvor A, n7+n8+n9 za B, n12+n13 za C i n16+n17 za D. Kolodvor C nudi objedinjavanje n12+n13+n14 sa istim brojem vagonskih sati uštede, ali u tom slučaju struja n12 mora tranzitirati još jedan kolodvor nakon objedinjavanja. Razlog za objedinjenje n12+n13 leži u tome da ova metoda ne dopušta objedinjavanja struja koje ne dijele isti kolodvor, zbog čega se struja n12 ne može objediniti sa strujom n19 (ukoliko bi zadovoljavale uvjet za objedinjavanje), nego bi se do odredišta još jednom morala prerađivati, što uključuje dodatne vagonске sate zadržavanja u kolodvoru.

Zbog mogućeg većeg broja objedinjavanja u jednoj iteraciji, rješenje u ovom primjeru postiže se već u prvoj iteraciji. Preostale neobjedinjene struje su n1 i n5 iz kolodvora A, koje nije moguće objediniti, n10 iz kolodvora B, n14 iz C i n19 iz E. Struje n1 i n10 upućuju se direktno bez prerade, a n5, n14 i n19 će se prerađivati, odnosno prevoziti dioničkim vlakovima. Konačno rješenje prikazano je na slici 25.



**Slika 25.** Konačno rješenje za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa objedinjavanjima svih struja iz istog kolodvora

Analizom procesa rješavanja zadatka dolazi se do zaključka da proces nije složen. Štoviše, ovaj način rješavanja nije zahtjevan ni za rješavanje pismenim putem. Dodavanjem kolodvora povećava se broj kombinacija, pa tako na dionici sa 8 kolodvora u prvom kolodvoru moguće je formirati 57 objedinjavanja, 120 na dionici sa 9 kolodvora (slika 26).

dodatni kolodvori			dionica sa 7 kolodvora						
+3	+2	+1	A	B	C	D	E	F	G
						1			
			26		4				
				11					
		57							
	120								
247									

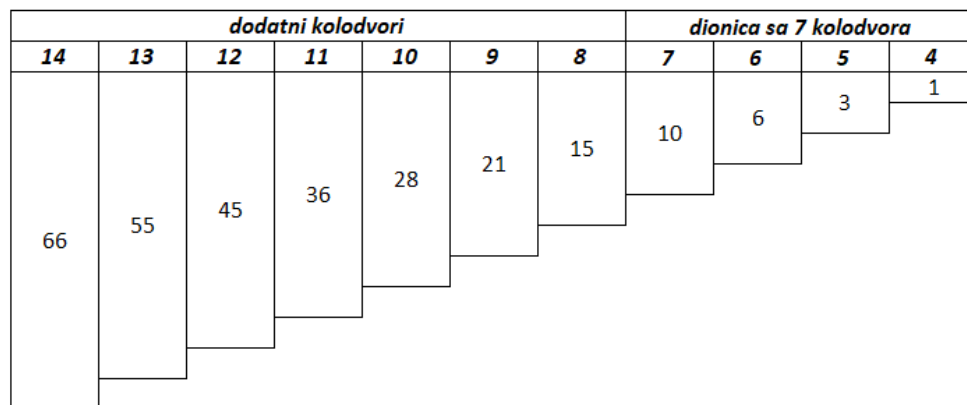
**Slika 26.** Usporedba broja kombinacija objedinjavanja u početnom kolodvoru pri objedinjavanju svih struja iz istog kolodvora

Uspoređujući zahtjevnost izrade programskog alata za ovu metodu sa programom korištenim za modificiranu metodu sa svim objedinjavanjima, izrada programa za izračun na dionici sa 9 kolodvora prema ovoj metodi približno odgovara zahtjevnosti izrade programa za dionicu sa 7 kolodvora prema prošloj metodi. Prema tome, maksimalan broj kolodvora za izračun korištenjem programskog alata iznosi 9, dok za izračun pismenim putem iznosi 7.

5.1.3. Određivanje maksimalnog broja kolodvora za metodu sa objedinjavanjem susjednih struja iz istog kolodvora

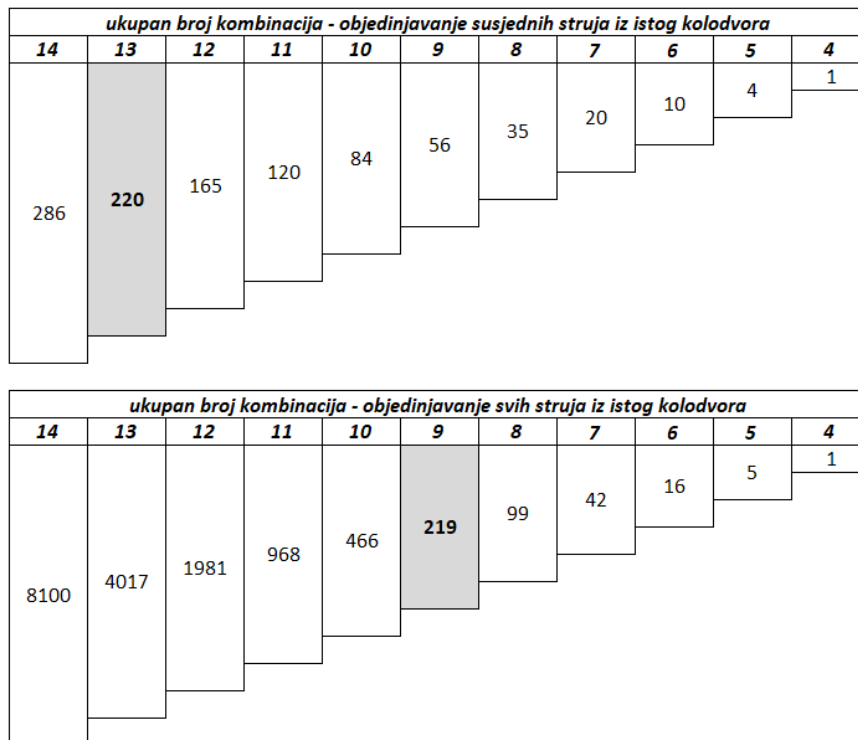
Ako se pažljivo promotri proces rješavanja zadatka u prethodnom poglavlju, dolazi se do zaključka da ova metoda rezultira istim rješenjima. Struje objedinjene u ovom primjeru zapravo su susjedne, čime se dobivaju identična rješenja. Proces rješavanja bio bi jednostavniji prema ovoj metodi, jer ona analizira manji broj kombinacija.

Broj kombinacija sa povećanjem kolodvora ne raste jednako brzo, kao u prethodnoj metodi (slika 27). To doprinosi primjeni na većem broju kolodvora.



**Slika 27.** Usporedba broja kombinacija objedinjavanja u početnom kolodvoru pri objedinjavanju svih svih susjednih struja iz istog kolodvora

U prethodnoj metodi vidljiv je brži rast broja kombinacija. Radi toga, nije prihvatljivo uspoređivati broj kombinacija početnih kolodvora u ovim dvjema metodama, u svrhu usporedbe zahtjevnosti izrade programskog alata. Jednostavnije rečeno, za maksimalan broj kolodvora u prethodnoj metodi određeno je 9 kolodvora, pri čemu je u početnom kolodvoru moguće formirati 120 različitih kombinacija objedinjavanja. Na slici 27 vidljivo je da čak na dionici sa 14 kolodvora nije moguće formirati 120 objedinjavanja u početnom kolodvoru, a prema rastu broja kombinacija moguće je zaključiti da taj broj neće biti dostignut za narednih nekoliko kolodvora. Iz tog razloga, na slici 28 uspoređeni su brojevi ukupnog broja kombinacija koje se obrađuju, dakle, zbrojeno po svim kolodvorima (od zadnjeg do prvog).



**Slika 28.** Ukupan broj kombinacija pri objedinjavanju struja iz istog kolodvora za obje metode objedinjavanja struja iz istog kolodvora na dionicama sa različitim brojem kolodvora

Ukupan broj kombinacija za koje se vrši izračun prema prethodnoj metodi pri maksimalnom broju kolodvora iznosi 219. Taj broj gotovo je jednak broju kombinacija koje se analiziraju u ovoj metodi na dionici sa 13 kolodvora i može se smatrati maksimalnim brojem. Ukupan broj kombinacija za 7 kolodvora, koji predstavlja maksimalan broj kolodvora prema prethodnoj metodi pri izračunu pismenim putem, iznosi 42. Prema tome, maksimalan broj kolodvora za izračun prema ovoj metodi pismenim putem iznosi 8-9 kolodvora.

## 5.2. Broj kombinacija objedinjavanja struja

Broj kombinacija objedinjavanja često jest, ali ne mora biti nužno, povezan sa preciznošću rješenja koje nudi metoda i složenošću načina rješavanja. Ograničavanjem kombinacija i razmatranjem manjeg broja njih, postoji mogućnost eliminacije boljih rješenja. S druge strane, veći broj kombinacija često može povećati opseg posla pri rješavanju problema. Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju, broj kombinacija predstavlja glavni faktor u određivanju maksimalnog broja kolodvora za primjenu metode.

Modificirana metoda sa svim mogućim objedinjavanjima praktički uključuje sve konkurentne varijante formiranja vlakova. Ne sadrži nikakva ograničenja u objedinjavanjima vagonskih struja, što znači da obrađuje maksimalan broj kombinacija. Objedinjavanjem svih struja iz istog kolodvora postavlja se ograničenje koje smanjuje uvelike broj objedinjavanja. Razlog tomu je što struje koje dijele isti ishodišni kolodvor, konkurentnije su za objedinjavanje. Do tog zaključka dolazi se analizom primjera riješenih metodom sa svim objedinjavanjima. Većina objedinjavanja upravo su objedinjavanja struja iz istih kolodvora. Dodatnim ograničenjem, korištenim u trećoj modificiranoj metodi, kojim se objedinjavaju isključivo susjedne struje iz istih kolodvora, postiže se još veće smanjenje objedinjavanja struja. U tablici 10 vidljiv je rast mogućih objedinjavanja s obzirom na broj kolodvora.

**Tablica 10.** Broj kombinacija objedinjavanja u ovisnosti od broja kolodvora

<i>broj kolodvora</i>	<i>broj kombinacija objedinjavanja</i>		
	<i>sva moguća objedinjavanja</i>	<i>sve struje iz istog kolodvora</i>	<i>susjedne struje iz istog kolodvora</i>
4	2	1	1
5	15	5	4
6	118	16	10
7	...	42	20
8	...	99	35
9	...	219	56
10	...	466	84

Pri svim mogućim objedinjavanjima bilježi se izrazito brži rast u odnosu na druga dva načina objedinjavanja. Teško je računati broj kombinacija za veći broj kolodvora pri svim objedinjavanjima, pa ti podaci nisu navedeni u tablici 10. U preostala dva načina objedinjavanja broj kombinacija sporije raste, te je moguće opisati taj rast određenim matematičkim redom, što omogućuje jednostavan izračun broja kombinacija za veće brojeve kolodvora.

Svaki novi dodatni kolodvor pri objedinjavanju svih struja iz istog kolodvora omogućuje novih:  $2^{(k-2)} - (k - 1)$  objedinjavanja, gdje  $k$  označava broj kolodvora na dionici. Primjerice, dodatni 8. kolodvor stvara novih:

$$2^{(k-2)} - (k - 1) = 2^{(8-2)} - (8 - 1) = 64 - 7 = 57 \text{ objedinjavanja.}$$

U tablici 10 je vidljivo da broj kombinacija za 7 kolodvora iznosi 42, iz čega slijedi da dodavanjem novog kolodvora ukupan broj se uvećava na 99 kombinacija. Formula za

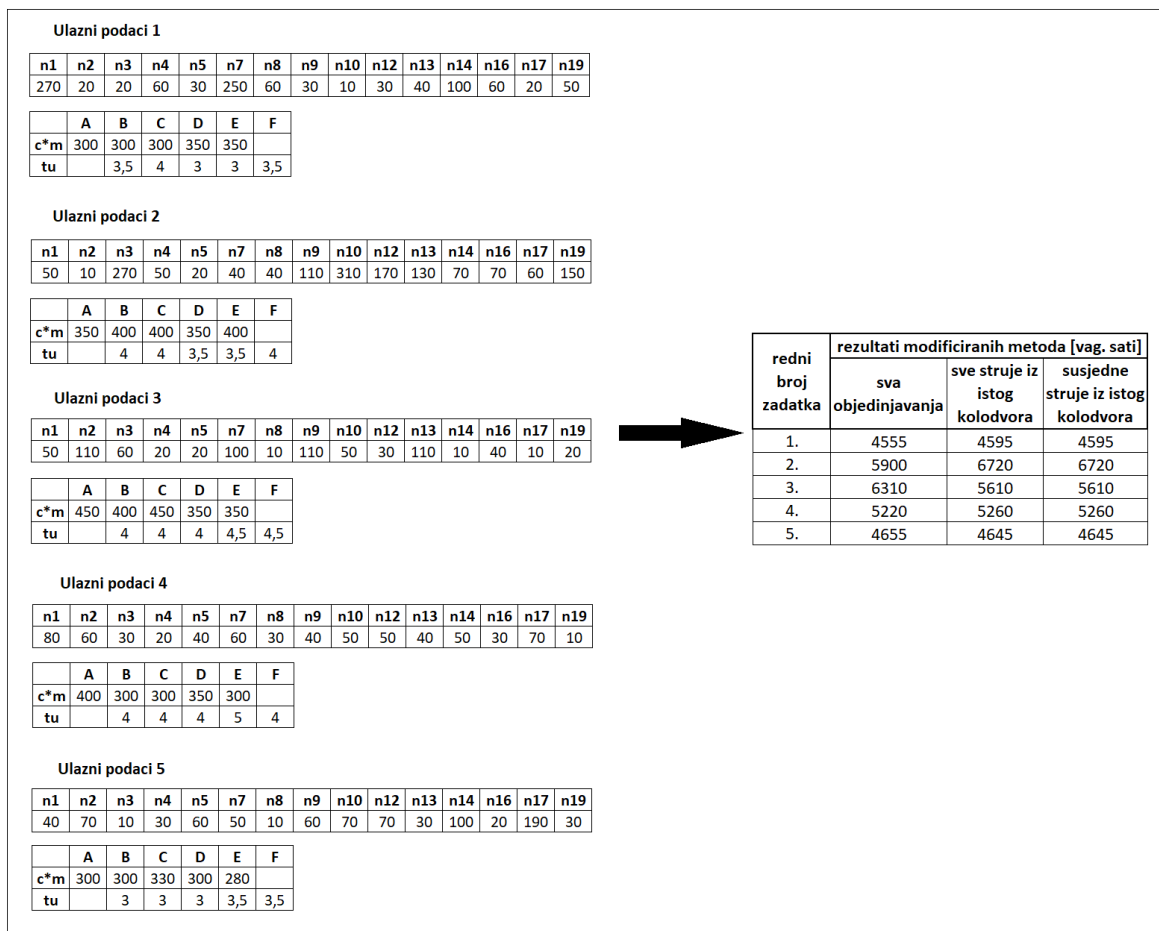
povećanje broja kombinacija u ovisnosti o broju kolodvora je eksponencijalna funkcija i dokazuje brz rast kombinacija pri objedinjavanju svih struja istog ishodišnog kolodvora.

Pri objedinjavanju susjednih struja iz istog kolodvora, broj kombinacija za svaki dodatni kolodvor povećava se za:  $\frac{(k-2) \times (k-3)}{2}$  objedinjavanja. Ova kvadratna funkcija dokazuje blaži porast.

### 5.3. Točnost rješenja

Budući da se izvedene tri modificirane metode razlikuju po broju kombinacija objedinjavanja, velika je mogućnost da dolazi do različitih rješenja. Rješenje metode sa svim objedinjavanjima trebalo bi biti uvijek najbolje, jer uzima u obzir najveći broj kombinacija. Međutim, moguće su situacije kad se dobivaju lošija rješenja. Problem leži u tome što se kroz iteracije odabiru najpovoljnija objedinjavanja, a time dolazi do eliminiranja drugih, te naposljetku pojedine struje potpuno gube mogućnost objedinjavanja i ostvaruju velika zadržavanja u kolodvorima. Takve situacije teško je predvidjeti unaprijed, jer zahtijevaju razmišljanje više koraka unaprijed. Također, prezahtjevno je složen problem rješavati na više načina da bi se došlo do najboljeg rješenja, osim ako osoba koja obavlja taj posao nije veliki stručnjak ili ne posjeduje dobar programski alat. U takvim situacijama najpovoljnije je osmisliti metodu koja će u prosjeku ostvarivati najbolja rješenja, a da u istom trenutku nije jako složena i da se može primjenjivati na većem broju problema. U svrhu analize rezultata, za 5 primjera ulaznih podataka izračunata su rješenja i prikazana na slici 29.





**Slika 29.** Analiza rezultata triju modificiranih metoda za 5 primjera zadataka

Razlike u rješenjima primjera 1, 4 i 5 gotovo su neznatne, dok su u primjerima 2 i 3 vrlo značajne. Metode sa objedinjavanjem struja iz istih kolodvora daju ista rješenja u svih 5 primjera. Na većem broju kolodvora veće su mogućnosti da dolazi do manjih razlika u rješenjima. Razlog većih razlika rješenja metode sa svim objedinjavanjima u primjerima 2 i 3 proizlazi iz različitog načina rješavanja, odnosno objedinjavanja struja ne obavlja se na isti način. U tim slučaju dolazi do mogućih problema, jer se često zbog odabira određenog objedinjavanja eliminiraju neka druga povoljna objedinjavanja, te u konačnici dolazi do lošijih rezultata. Lošiji rezultati metoda sa objedinjavanjem struja iz istog kolodvora proizlaze iz činjenice da nije moguće objedinjavati struje iz različitih kolodvora.

#### 5.4. Složenost načina rješavanja zadataka korištenjem modificiranih metoda

Složenost načina rješavanja zadataka prema modificiranim metodama ovisi o pravilima koje treba poštovati pri rješavanju i broju kombinacija objedinjavanja. Prvi korak određivanja

direktnih struja zajednički je za sve metode, a razlike se javljaju u načinu objedinjavanja struja. Modificirana metoda sa svim objedinjavanjima struja razmatra sve moguće kombinacije i u svakoj iteraciji odabire onu sa najvećom razlikom uštede vagonskih sati uslijed tranzita bez prerade i nakupljanja ( $\sum n \times t_u - c \times m$ ). Moguće je odabrati samo jedno objedinjavanje tijekom jedne iteracije. S druge strane, metode sa objedinjavanjem struja iz istih kolodvora pružaju mogućnost odabira više objedinjavanja tijekom jedne iteracije, odnosno po jedno najpovoljnije objedinjavanje za svaki kolodvor, ukoliko ona ispunjavaju uvjet za to. Zadatak se na taj način završava u manjem broju koraka. Također, manji broj kombinacija znatno olakšava opseg posla.

### 5.5. Ukupna analiza značajki modificiranih metoda

Tablica 11 predstavlja pregled značajki modificiranih metoda i sumiranu usporedbu rezultata iz ovog poglavlja.

**Tablica 11.** Usporedba modificiranih metoda prema njihovim značajkama

ZNAČAJKE	MODIFICIRANE METODE ZAJEDNIČKIH ANALITIČKIH USPOREDBI		
	<i>sva moguća objedinjavanja</i>	<i>sve struje iz istog kolodvora</i>	<i>susjedne struje iz istog kolodvora</i>
MAKSIMALAN BROJ KOLODVORA	- pismenim putem: 6 - uz korištenje programa: 7, maksimalno 8	- pismenim putem: 7 - uz korištenje programa: 9	- pismenim putem: 8, maksimalno 9 - uz korištenje programa: 13
BROJ KOMBINACIJA OBJEDINJAVANJA	- sa povećanjem broja kolodvora bilježi najbrži rast broja kombinacija - ograničavajući faktor za primjenu na većem broju kolodvora	- eksponencijalan rast broja kombinacija, znatno veći nego pri objedinjavanju isključivo susjednih struja	- najsporiji rast broja kombinacija što omogućuje primjenu na na dionicama većim brojem kolodvora
TOČNOST REZULTATA	- u prosjeku najbolji rezultati, ali ne puno bolji od ostalih metoda - moguće su lošija rješenja bez obzira što se temelji na odabiru najpovoljnijih objedinjavanja	- u prosjeku nisu značajno lošiji - ograničenja u objedinjavanju predstavljaju problem za postizanje boljih rezultata	- na dionicama do 7-8 kolodvora identična su na većini primjera kao kod objedinjavanja svih struja iz istog kolodvora
SLOŽENOST NAČINA RJEŠAVANJA ZADATKA	- najsloženija metoda zbog pravila objedinjavanja, te broja kombinacija - najveći broj iteracija	- manji broj iteracija zbog mogućeg većeg broja objedinjavanja u jednoj iteraciji - jednostavnija zbog manjeg broja kombinacija	- najjednostavnija metoda zbog najmanjeg broja kombinacija i mogućnosti većeg broja objedinjavanja unutar jedne iteracije

Svaka metoda ima pojedine prednosti i mane, odnosno nije moguće odabrati idealnu metodu prema svim značajkama. Metoda sa objedinjavanjem susjednih struja iz istog kolodvora najjednostavnija je i ne ostvaruju znatno lošije rezultate, a moguće je primijeniti ju na većem

broju kolodvora. Postoji mogućnost određenih modifikacija u načinu rješavanja zadatka tom metodom sa svrhom postizanja boljih rezultata. Takva metoda mogla bi predstavljati idealnu u odnosu prema prethodno razrađenim.

## 6. Konačna verzija modificirane metode zajedničkih analitičkih usporedbi

Analizom modificiranih metoda u prethodnom poglavlju dolazi se do zaključka da najpovoljniju metodu predstavlja metoda sa objedinjavanjem susjednih struja iz istog kolodvora, te da uz određene modifikacije može davati bolje rezultate. Točnost rezultata predstavlja upravo najveći nedostatak te metode. Rezultati su lošiji zbog ograničenja u objedinjavanju struja, odnosno nemogućnosti objedinjavanja struja sa strujama iz drugih kolodvora. Omogućavanje objedinjavanja sa strujama predstavljat će glavnu izmjenu u cilju izrade idealne modificirane metode zajedničkih analitičkih usporedbi.

Dakle, nova modificirana metoda sadržavat će ponajbolje značajke svih obrađenih metoda, a potom biti ispitana kako bi se vidjelo da li donosi bolje rezultate.

### 6.1. Način rješavanja zadatka

Način rješavanja uglavnom se temelji na modificiranoj metodi zajedničkih analitičkih sa objedinjavanjem susjednih struja istih kolodvora. Princip rješavanja strogo je definiran kroz sljedeće korake koji su prikazani u tablici 12.

**Tablica 12.** Koraci konačne verzije modificirane metode koji se ponavljaju kroz iteracije

KORAK	OPIS
1. ispitivanje direktnih upućivanja	- za svaku struju određuje se razlika uštede vagonskih sati uslijed tranzita bez prerade i nakupljanja u početnom kolodvoru - struje, koje ostvaruju veće vagonске sate uštede u svakom tranzitnom kolodvoru u odnosu na nakupljanje, zadovoljavaju uvjet direktnog upućivanja
2. objedinjavanja susjednih struja iz istih kolodvora	- prvi uvjet: objedinjavanje je moguće za susjedne struje sa zajedničkim ishodišnim kolodvorom - drugi uvjet: struje koje zadovoljavaju uvjet direktnog upućivanja ne smiju se objedinjavati sa susjednom strujom čiji je određeni kolodvor prije njihovog određenišnog kolodvora - za sva objedinjavanja koja ispunjavaju uvjete, određuju se razlike uštede vagonskih sati uslijed tranzita bez prerade i nakupljanja u početnom kolodvoru - objedinjenje sa najvećom razlikom smatra se najpovoljnijim - najpovoljnija objedinjenja odabiru se za sve kolodvore u kojima postoje struje koje je moguće objedinjavati
3. eliminacija objedinjenih struja i prebacivanje vagona (određivanje novih ulaznih podataka)	- objedinjavanjem pojedine struje ostvaruju prijevoz do određišta, i kao takve, potrebno ih je eliminirati iz ulaznih podataka - svaka struja koja pristiže do određišta ili kolodvora koji prethodi njenom određištu, eliminira se iz ulaznih podataka - struje koje stižu u kolodvor koji prethodi određišnom, prevozi će se do određišta dioničkim vlakovima, odnosno neće tranzitirati kolodvor do određišta i time gube mogućnost još jednog objedinjavanja - struje koje nakon objedinjavanja moraju opet tranzitirati barem jedan kolodvor nije moguće eliminirati potpuno iz daljnjeg postupka rješavanja, pa se vagoni tih struja prebacuju na druge struje - prebacivanje se obavlja na način tako da se broj vagona pristigle struje pribroji broju vagona struje čije je ishodište kolodvor u koji je pristigla struja nakon objedinjenja, a određište jednako pristigloj struji - na taj način (prebacivanjem) pristigla struja se eliminira iz početnog zapisa, ali ostaje u procesu rješavanja pribrojena drugoj struji
<b>KRAJ ITERACIJE</b>	
- prebacivanjem vagona i preračunavanjem ulaznih podataka dolazi se do novih ulaznih podataka za sljedeću iteraciju - iteracije se ponavljaju dok god postoji mogućnost objedinjavanja struja koje dijele zajednički ishodišni kolodvor	

Za razliku od metode sa objedinjavanjem susjednih struja istog kolodvora, ova metoda uključuje dva dodatna koraka navedena u tablici 13. Dodatni koraci nadoknađuju nedostatke omogućavanjem objedinjavanja struja iz drugih kolodvora.

**Tablica 13.** Dodatni koraci za objedinjavanje struja koje ne dijele isti ishodišni kolodvor

KORAK	OPIS
<b>4. objedinjavanje struja iz različitih kolodvora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kad ponestanu mogućnosti objedinjavanja struja iz istih kolodvora, ispituje se mogućnost objedinjavanja struja koje ne dijele isti ishodišni kolodvor</li> <li>- jedini uvjet pri ovom objedinjavanju jest da objedinjene struje tranzitiraju zajedno barem jedan tehnički kolodvor</li> <li>- nakon izvršenih prethodnih koraka, većina struja uglavnom je eliminirana, te ne preostaje puno mogućnosti za objedinjavanje</li> </ul>
<b>5. ispitivanje direktnih upućivanja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- struje koje nakon 4. koraka nisu objedinjene, a do odredišta tranzitiraju barem jedan kolodvor, potrebno je ispitati na direktno upućivanje</li> <li>- ispitivanje se ne obavlja po istom principu kao u 1. koraku, nego se računa razlika ukupnih vagonskih sati uštede uslijed tranzita bez prerade i nakupljanja u početnom kolodvoru</li> <li>- ukoliko je razlika pozitivna, struja se upućuje direktno bez prerade do odredišta</li> </ul>

## 6.2. Ispitivanje metode na primjerima zadataka

Metoda je ispitana na zadacima iz potpoglavlja 5.3, kako bi se naposljetku usporedili rezultati. Prvi primjer od 5 navedenih riješen je detaljno kroz korake, a za preostale će se usporediti samo konačni rezultati. Ulazni podaci za prvi primjer prikazani su na slici 30.

Ulazni podaci 1														
n1	n2	n3	n4	n5	n7	n8	n9	n10	n12	n13	n14	n16	n17	n19
270	20	20	60	30	250	60	30	10	30	40	100	60	20	50
	A	B	C	D	E	F								
c*m	300	300	300	350	350									
tu		3,5	4	3	3	3,5								

**Slika 30.** Ulazni podaci primjer zadatka 4

Rezultati prvog koraka (ispitivanja direktnih upućivanja) prikazani su na Slici. Za svaku struju koja tranzitira barem jedan kolodvor, u plavim poljima navedeno je vrijeme nakupljanja, a u žutim poljima vrijeme uštede vagonskih sati uštede uslijed tranzita bez prerade.

**Tablica 14.** Ispitivanje direktnih upućivanja za primjer zadatka 4

	A	B	C	D	E	F	G
1	300	945	1080	810	810	945	
2	300	70	80	60	60		
3	300	70	80	60			
4	300	210	240				
5	300	105					
7		300	1000	750	750	875	
8		300	240	180	180		
9		300	120	90			
10		300	40				
12			300	90	90	105	
13			300	120	120		
14			300	300			
16				350	180	210	
17				350	60		
19					350	175	

Uvjet za direktno upućivanje jest da ušteda vagonskih sati uslijed tranzita bez prerade bude jednaka ili veća od nakupljanja ( $n \times tu \geq c \times m$ ) na svakom prolaznom kolodvoru. Struje n1, n7 i n14 ispunjavaju taj uvjet. Struje n1 i n7 voze do posljednjeg kolodvora. Zbog uvjeta da struje direktnih upućivanja ne smiju se objedinjavati sa strujama koje završavaju vožnju prije njihovog odredišnog kolodvora, struju n1 nije moguće objединити niti sa jednom drugom strujom, pa će se ona samostalno prevoziti. Struju n7 moguće je objединити isključivo sa n1, u slučaju da ne ispunjava uvjet direktnog upućivanja, što znači da se i ona samostalno prevozi. Za struju n14 i preostale struje izračunavaju i uspoređuju rezultati objedinjavanja (tablica 15).

**Tablica 15.** Analiza mogućih objedinjavanja za primjer zadatka 4

KOLODVOR A							
	B	C	D	E	$\Sigma n \cdot tu$	$c \cdot m$	$\Sigma n \cdot tu - c \cdot m$
2+3	140	160	120		420	300	120
3+4	280	320			600	300	300
4+5	315				315	300	15
2+3+4	350	400			750	300	450
3+4+5	385				385	300	85
2+3+4+5	455				455	300	155

KOLODVOR B						
	C	D	E	$\Sigma n \cdot tu$	$c \cdot m$	$\Sigma n \cdot tu - c \cdot m$
8+9	360	270		630	300	330
9+10	160			160	300	-140

KOLODVOR C						
	D	E	$\Sigma n \cdot tu$	$c \cdot m$	$\Sigma n \cdot tu - c \cdot m$	
12+13	210	210	420	300	120	
13+14	420		420	300	120	
12+13+14	510		510	300	210	

KOLODVOR D						
	E	$\Sigma n \cdot tu$	$c \cdot m$	$\Sigma n \cdot tu - c \cdot m$		
16+17	240	240	350	-110		

Iz tablice 15 vidljivo je da u prvoj iteraciji objedinjavanja ostvaruju struje  $n_2+n_3+n_4$ ,  $n_8+n_9$  i  $n_{12}+n_{13}+n_{14}$ . Prema pravilima trećeg koraka, eliminiraju se direktna upućivanja  $n_1$  i  $n_7$  iz prethodnih obrazloženja, a nakon objedinjavanja eliminiraju se struje  $n_4$ ,  $n_9$  i  $n_{14}$  koje stižu do određinih kolodvora, te struje  $n_3$ ,  $n_8$  i  $n_{13}$  koje će se prevoziti dioničkim vlakovima. Struje  $n_2$  i  $n_{12}$  do odredišta tranzitiraju kroz jedan kolodvor, te ih je potrebno pribrojiti strujama sa kojima se "poklapaju" nakon objedinjavanja. Prema tome, vagoni struje  $n_2$  pridodaju se struji  $n_{17}$ , a vagoni struje  $n_{12}$  struji  $n_{19}$ . Time se dobivaju novi ulazni podaci (slika 31) za sljedeću iteraciju.

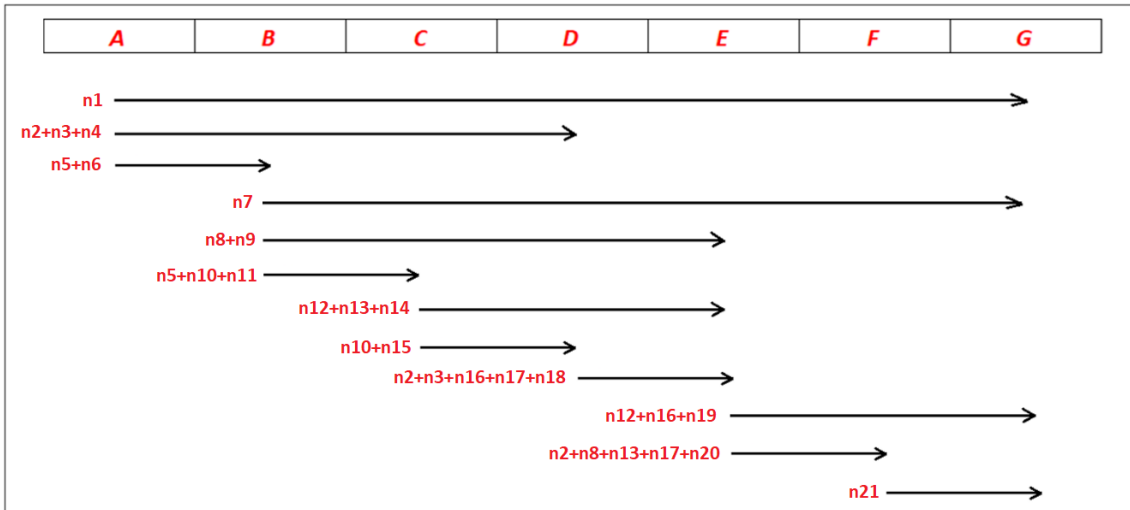
n1	n2	n3	n4	n5	n7	n8	n9	n10	n12	n13	n14	n16	n17	n19
				20				50				60	40	80

	A	B	C	D	E	F
c*m	300	300	300	350	350	
tu		3,5	4	3	3	3,5

**Slika 31.** Ulazni podaci za drugu iteraciju za primjer zadatka 4 prema konačnoj verziji modificirane metode

Nakon završene iteracije, potrebno je ponoviti iste korake ukoliko postoje struje iz istog kolodvora koje je moguće objediniti. Nijedna struja ne zadovoljava direktno upućivanje. Objedinjavanje je moguće između struja  $n_{16}$  i  $n_{17}$ , jedine struje koje dijele isti ishodišni kolodvor, ali uvjet za to nije zadovoljen. Podaci ostaju neizmijenjeni jer struje nisu eliminirane. Nakon završene druge iteracije bez promjena, prelazi se na korake 4, 5 i 6.

Struje  $n_5$ ,  $n_{10}$  i  $n_{17}$  ne dijele sa strujama iz drugih kolodvora niti jedan tranzitni kolodvor, pa ih nije moguće objedinjavati. Jedino moguće objedinjenje jest  $n_{16}+n_{19}$ , koje ujedno zadovoljava uvjet. Ostale struje prevozi će se dioničkim vlakovima. Iz toga slijedi konačno rješenje prikazano na slici 32.



**Slika 32.** Konačno rješenje za primjer zadatka 4 prema konačnoj verziji modificirane metode

Broj vagonskih sati za optimalno rješenje prema konačnoj verziji modificirane metode iznosi 4345. Rješenje za ovaj primjer i naredna 4 uspoređena su na slici 33. sa dobivenim rješenjima za ostale 3 metode iz potpoglavlja 5.3.

primjer	početne verzije modificiranih metoda			konačna verzija modificirane metode
	sva moguća objedinjavanja	sve struje iz istog kolodvora	susjedne struje iz istog kolodvora	
1	4555	4595	4595	<b>4345</b>
2	5900	6720	6720	6040
3	6310	5610	5610	<b>5610</b>
4	5220	5260	5260	<b>5060</b>
5	4655	4645	4645	<b>4585</b>

**Slika 33.** Usporedba rješenja konačne verzije modificirane metode sa rješenjima početnih modificiranih metoda



## 7. Zaključak

Cilj ovog rada bio je istraživanje metode zajedničkih analitičkih usporedbi, odnosno pravila koja se primjenjuju pri postupku rješavanja zadatka, te ponuditi poboljšanja u obliku modificirane metode. Koraci u procesu rješavanja definirani su posebnim pravilima. Analizom tih pravila uočeno je da pojedina pravila moguće je izmijeniti ili izostaviti, a da se pritom ostvaruju bolji rezultati.

Prva verzija modificirane metode, uz minimalne izmjene u odnosu na originalnu, daje osjetno bolje rezultate. Ipak, ta verzija, kao i originalna, kompleksna je za izračun jer razmatra velik broj kombinacija pri objedinjavanju struja i zahtjevna je za primjenu na većem broju kolodvora. Iz tog razloga su razmotrene dodatne dvije verzije modificiranih metoda sa ograničenim mogućnostima objedinjavanja. Njima se postiže pojednostavnjenost u procesu rješavanja zadatka, a rješenja koja nude približno su jednaka rješenjima prve verzije.

Analizom triju verzija modificiranih metoda dolazi se do zaključka da idealno rješenje predstavlja metoda koja uključuje pravila različitih verzija unutar jedne metode. Budući da je treća verzija modificirane metode najjednostavnija u postupku rješavanja, ali ipak ograničena nemogućnošću objedinjavanja struja koje ne dijele isti ishodišni kolodvor, pretpostavlja se da bi idealno rješenje bila metoda koja najprije dopušta objedinjavanja susjednih struja iz istog kolodvora, a potom se, kad ta objedinjavanja više nisu moguća, razmatraju objedinjavanja svih struja koje dijele barem jedan tranzitni kolodvor. Početnim iteracijama se dolazi do eliminacije većeg broja struja, te naposljetku objedinjavanja svih preostalih struja ne predstavljaju zahtjevan posao.

Na osnovu toga izrađena je konačna verzija modificirane metode i ispitana na primjerima zadataka već korištenih u ispitivanju točnosti rezultata prethodnih triju verzija. Rezultati su u prosjeku bolji u odnosu na sve prethodne verzije. Proces rješavanja nije značajno otežan i time zadržava mogućnost primjene na većem broju kolodvora (devet i više).

Određene otežavajuće okolnosti javljaju se pri primjeni metode u praksi. Određivanje ulaznih podataka, prije svega vremenskih parametara, zahtijeva određena mjerenja. Nakupljanja za sve struje iz istog kolodvora u stvarnosti nisu jednaka. Kolodvorski kapaciteti nisu dostupni za bilo koju varijantu organizacije vagonских tokova.

Uz sve to, Europska Unija stvara liberalizirano tržište, pa tako i na željeznici. Veći broj teretnih prijevoznika prevozi robu na istim dionicama pruga. U slučaju jednog prijevoznika moguće je planirati dostupnost svih kolodvorskih kapaciteta na dionici i primjena metode bila bi znatno olakšana. Taj problem vidljiv je na primjeru Republike Hrvatske. Dionica pruge Rijeka – Zagreb predstavlja pogodnu dionicu za organizaciju teretnog prijevoza prema metodi zajedničkih analitičkih usporedbi. Međutim, prisustvo drugih prijevoznika uz nacionalnog (HŽ Cargo) i pad količine prevezene robe u zadnjim desecima godina razlog su nemogućnosti primjene metode.

## 8. Literatura

### Knjige:

1. Čičak, M.: Organizacija železničkog saobraćaja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1990.
2. Čičak, M., Vesković, S.: Organizacija železničkog saobraćaja 2, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1999.
3. Badanjak D., Bogović, B., Jenić, V.: Organizacija željezničkog pometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.

## 9. Popis slika

<b>Slika 1.</b> Različite varijante nakupljanja vagona .....	4
<b>Slika 2.</b> Nakupljanje i prerada vagona.....	5
<b>Slika 3.</b> Primjeri objedinjavanja struja .....	8
<b>Slika 4.</b> Izračun svih varijanti formiranja vlakova na dionici sa 4 kolodvora prema apsolutnoj metodi .....	10
<b>Slika 5.</b> Ulazni podaci primjera zadatka 1 .....	11
<b>Slika 6.</b> Sve vagonске struje na dionici sa 7 kolodvora .....	11
<b>Slika 7.</b> Određivanje vagonских sati nakupljanja i uštede uslijed tranzita bez prerade za primjer zadatka 1.....	12
<b>Slika 8.</b> Najpovoljnije kombinacije objedinjavanja za primjer zadatka 1.....	13
<b>Slika 9.</b> Ulazni podaci i ispitivanje direktnog upućivanja objedinjavanja za primjer zadatka 2 .....	16
<b>Slika 10.</b> Prikaz vagonских struja nakon ispitivanja direktnih upućivanja prema originalnoj i modificiranoj metodi objedinjavanja za primjer zadatka 2 .....	17
<b>Slika 11.</b> Analiza objedinjavanja vagonских struja za primjer zadatka 2 .....	18
<b>Slika 12.</b> Ulazni podaci za drugu iteraciju objedinjavanja prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima za primjer zadatka 2 .....	19
<b>Slika 13.</b> Analiza mogućih objedinjavanja u drugoj iteraciji prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima za primjer zadatka 2 .....	20
<b>Slika 14.</b> Konačno rješenje primjera zadatka 2 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima .....	21
<b>Slika 15.</b> Konačno rješenje zadatka 2 prema metodi zajedničkih analitičkih usporedbi .....	21
<b>Slika 16.</b> Odabir najpovoljnijeg objedinjenja pri izmijenjenom pravilu o objedinjavanju .....	24
<b>Slika 17.</b> Konačno rješenje primjera zadatka 2 prema originalnoj verziji metode uz izuzetak pravila o objedinjavanju struja.....	24
<b>Slika 18.</b> Mogućnosti objedinjavanja svih struja i susjednih iz istog kolodvora .....	26
<b>Slika 19.</b> Ispitivanje objedinjavanja struja za primjer zadatka 2 prema modificiranoj metodi sa svim objedinjavanjima struja iz istog kolodvora .....	27
<b>Slika 20.</b> Ulazni podaci za primjer zadatka 3.....	30

<b>Slika 21.</b> Pregled vagonских struja nakon prve iteracije za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima .....	33
<b>Slika 22.</b> Ulazni podaci za drugu iteraciju za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima.....	34
<b>Slika 23.</b> Pregled vagonских struja nakon druge iteracije za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima .....	35
<b>Slika 24.</b> Konačno rješenje za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima .....	36
<b>Slika 25.</b> Konačno rješenje za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa objedinjavanjima svih struja iz istog kolodvora .....	38
<b>Slika 26.</b> Usporedba broja kombinacija objedinjavanja u početnom kolodvoru pri objedinjavanju svih struja iz istog kolodvora .....	38
<b>Slika 27.</b> Usporedba broja kombinacija objedinjavanja u početnom kolodvoru pri objedinjavanju svih svih susjednih struja iz istog kolodvora .....	39
<b>Slika 28.</b> Ukupan broj kombinacija pri objedinjavanju struja iz istog kolodvora za obje metode objedinjavanja struja iz istog kolodvora na dionicama sa različitim brojem kolodvora .....	40
<b>Slika 29.</b> Analiza rezultata triju modificiranih metoda za 5 primjera zadataka .....	43
<b>Slika 30.</b> Ulazni podaci primjer zadatka 4 .....	47
<b>Slika 31.</b> Ulazni podaci za drugu iteraciju za primjer zadatka 4 prema konačnoj verziji modificirane metode.....	49
<b>Slika 32.</b> Konačno rješenje za primjer zadatka 4 prema konačnoj verziji modificirane metode .....	50
<b>Slika 33.</b> Usporedba rješenja konačne verzije modificirane metode sa rješenjima početnih modificiranih metoda.....	50

## 10. Popis tablica

<b>Tablica 1.</b> Određivanje dopuštenih objedinjavanja za primjer zadatka 2.....	18
<b>Tablica 2.</b> Izračun ukupnih vagonskih sati prema dvjema metodama.....	23
<b>Tablica 3.</b> Izračun ukupnih vagonskih sati za konačno rješenje primjera zadatka 2 prema originalnoj verziji uz izuzetak pravila o objedinjavanju struja .....	25
<b>Tablica 4.</b> Ispitivanje direktnih upućivanja za primjer zadatka 3 .....	31
<b>Tablica 5.</b> Analiza mogućih objedinjavanja za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima .....	31
<b>Tablica 6.</b> Pregled mogućih objedinjavanja nakon eliminacije struje n1 za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima.....	32
<b>Tablica 7.</b> Ispitivanje direktnih upućivanja u drugoj iteraciji za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima .....	34
<b>Tablica 8.</b> Analiza mogućih objedinjavanja za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa svim mogućim objedinjavanjima .....	35
<b>Tablica 9.</b> Sve varijante objedinjavanja za primjer zadatka 3 prema modificiranoj metodi sa objedinjavanjima svih struja iz istog kolodvora .....	37
<b>Tablica 10.</b> Broj kombinacija objedinjavanja u ovisnosti od broja kolodvora .....	41
<b>Tablica 11.</b> Usporedba modificiranih metoda prema njihovim značajkama .....	44
<b>Tablica 12.</b> Koraci konačne verzije modificirane metode koji se ponavljaju kroz iteracije .....	46
<b>Tablica 13.</b> Dodatni koraci za objedinjavanje struja koje ne dijele isti ishodišni kolodvor.....	47
<b>Tablica 14.</b> Ispitivanje direktnih upućivanja za primjer zadatka 4.....	48
<b>Tablica 15.</b> Analiza mogućih objedinjavanja za primjer zadatka 4 .....	48