

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Dario Oršić

**USPOREDBA NAČINA PRIJEVOZA S OBZIROM NA
POTROŠNJU ENERGIJE I ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**USPOREDBA NAČINA PRIJEVOZA S OBZIROM NA
POTROŠNJU ENERGIJE I ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA**

**COMPARISON OF TRANSPORT MODES WITH REGARD
TO ENERGY CONSUMPTION AND ENVIRONMENTAL
POLLUTION**

Mentor: dr. sc. Marko Slavulj

Student: Dario Oršić, 0135217706

Zagreb, veljača 2016.

SAŽETAK

Javni gradski prijevoz ima glavnu ulogu u rješavanju problema vezanih za potrošnju energije i zagađenje okoliša u urbanim područjima. Javni prijevoz predstavlja alternativu koja je manji zagađivač, te pridonosi čistijem zraku. Nužno je provesti određene mjere i restrikcije kako bi se smanjila potrošnja energije i zagađenje zraka, te odabrati najefikasnije oblike javnoga prijevoza kako bi se smanjila upotreba automobila, zadržala mobilnost i održivost postojećeg prometnog sustava. Postoje dva pristupa rješenja tog problema. Prvi uključuje prilagodbu postojećeg okruženja rastućem prometnom opterećenju i izgradnju adekvatne prometne infrastrukture. Drugi prilagođava promet prostoru, pokušava upravljati prometnom potražnjom sa svrhom očuvanja prostora primjenom odgovarajućih strategija planiranja prometa.

Ključne riječi: javni gradski prijevoz; potrošnja energije; onečišćenje okoliša

SUMMARY

Public transport plays a major role in solving problems related to energy consumption and environmental pollution in urban areas. Public transport is an alternative that is less pollutant, and contributes to cleaner air. It is necessary to implement certain measures and restrictions in order to reduce energy consumption and air pollution, and choose the most effective forms of public transport to reduce car use, maintain mobility and sustainability of the existing transport system. There are two approaches to this problem. The first involves adapting existing environment to the growing traffic load and the construction of adequate transport infrastructure. Other adjusts traffic to the area, trying to manage traffic demand with the purpose of preserving space using the appropriate traffic planning strategies.

Keywords: public transportation; energy consumption; environmental pollution

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PROSTORNE POTREBE POJEDINIH NAČINA PRIJEVOZA U GRADSKOM PROMETU	2
2.1. CESTOVNI PODSUSTAV	3
2.2. TRAČNIČKI PODSUSTAVI.....	5
3. USPOREDBA NAČINA PRIJEVOZA S OBZIROM NA POTROŠNJU ENERGIJE.....	10
4. USPOREDBA NAČINA PRIJEVOZA S OBZIROM NA ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA ...	18
5. INDIKATORI GRADSKOG PRIJEVOZA KOJI SE ODNOSE NA POTROŠNJU ENERGIJE I ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA	21
5.1. ZAGAĐENJE ZRAKA.....	21
5.2. BUKA	22
6. MJERE ZA SMANJENJE ONEČIŠĆENJA OKOLIŠA U GRADU	25
6.1. INTEGRIRANI TRANSPORT	28
6.2. PRIMJERI MJERA ZA SMANJENJE ZAGAĐENJA ZRAKA I OKOLIŠA U SVIJETU.....	30
7. ZAKLJUČAK	32
LITERATURA.....	33
POPIS KRATICA	34
POPIS TABLICA.....	35
POPIS SLIKA	36
POPIS GRAFIKONA.....	37

1. UVOD

Javni gradski prijevoz je složeni sustav u kojemu se koriste razna prijevozna sredstva, izgrađuju složeni infrastrukturni objekti i troši velika količina energije. Prijevoz ima glavnu ulogu u rješavanju problema vezanih za potrošnju energije i zagađenje okoliša u urbanim područjima. Za ublažavanje tih problema predlaže se korištenje javnog prijevoza.

Nadalje, cestovni promet je glavni izvor zagađenja, pogotovo zraka. Javni prijevoz predstavlja alternativu koja je manji zagađivač, te pridonosi čistijem zraku. Broj motornih vozila u gradovima stalno raste, pa tako i u Zagrebu. U razdoblju od desetak godina, od 1995.-2006. broj registriranih motornih vozila povećao se za čak 117%, sa 176 970 na 384 512 motornih vozila, što predstavlja godišnji porast od 15-20 tisuća.[1] Takav porast broja motornih vozila dugoročno nije održiv. To potvrđuje i Europska Zelena knjiga o gradskom prometu u kojoj se navodi da se zbog prometnog zagušenja i oboljenja uzrokovanih ispušnim plinovima prometa na godišnjoj razini gubi gotovo 100 milijardi eura.

Ovaj završni rad se sastoji od sedam poglavlja sa uvodom i zaključkom. Nakon uvoda, u drugom poglavlju se opisuju prostorne potrebe za pojedini cestovni i tračnički prijevoz.

U trećem poglavlju se prikazuje pregled potrošnje i vrste energije koju koriste određeni tipovi prijevoza. Isto tako, prednosti i nedostaci pojedinih vrsta energije u odnosu na utjecaj na okoliš.

U četvrtom poglavlju pod naslovom „Usporedba načina prijevoza s obzirom na onečišćenje okoliša“ prikazana su potencijalna rješenja smanjenja onečišćenja okoliša, te komparacija pojedinih oblika prijevoza u gradskom prometu.

Peto poglavlje pod nazivom „Indikatori gradskog prijevoza koji se odnose na potrošnju energije i onečišćenje okoliša“ opisuje sve moguće indikatore s obzirom na potrošnju i vrstu energije, te njihov negativan utjecaj na okoliš.

U šestom poglavlju izlažu se mogućnosti za smanjenje onečišćenja zraka, okoliša i buke u gradskim i prigradskim sredinama gdje se promet stalno povećava.

Na kraju završnog rada donosi se zaključak o svim naprijed obrađenim temama.

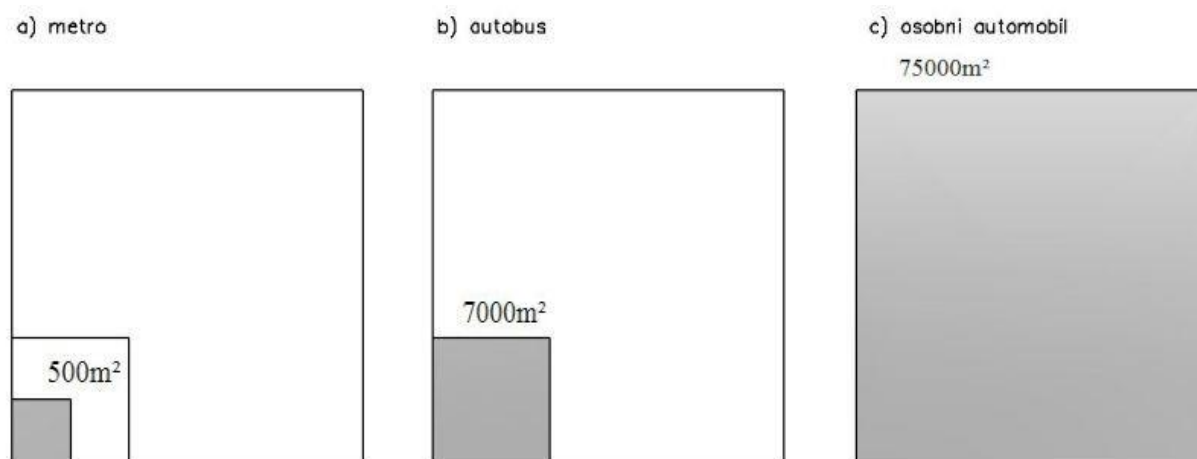
2. PROSTORNE POTREBE POJEDINIH NAČINA PRIJEVOZA U GRADSKOM PROMETU

Prilikom postupaka urbanističkog planiranja potrebno je uzeti u obzir utjecaje koje oblici motornog prometa imaju na gradski prostor i životnu sredinu. Individualna motorizacija, cestovni promet i klasični oblici javnog prijevoza zahtijevaju odgovarajuću mrežu prometnica koja zauzima velike površine. U površine i pripadajući prostor pripadaju trajno zauzete površine kao što su:

- cestovne prometnice
- raskrižja
- parkirališta i
- terminali.

Za komparativnu analizu bitni su ovi pojmovi: direktno zauzeti prostor po jednom putniku (m^2 /putnik) i prostorna racionalnost koja ukazuje na potrebnu površinu za prometnu jedinku, te prometni učinak.

Polazna točka za definiranje prostornih potreba je minimalno potrebna površina kolnika za kretanje i mirovanje osobnih automobila (PAJ). Pri neophodnim uvjetima prometne udobnosti ta površina se procjenjuje na $40 m^2$ /PAJ.[2]



Slika 1. Usporedba angažiranih površina za istovremeni prijevoz 1000 putnika [2]

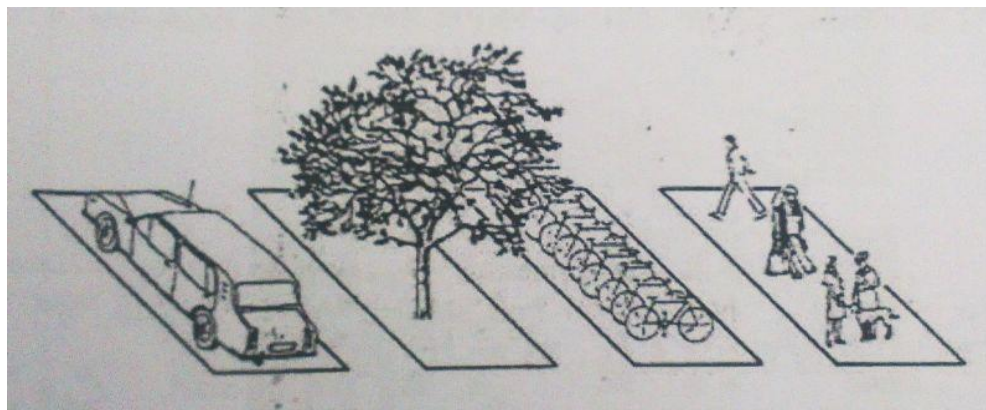
Iz slike 1 vidljivo je da je autobusni prijevoz racionalniji 10-15 puta od individualnog prijevoza automobilom, dok je kod metro sustava taj odnos povoljniji čak 150 puta.

Sustav javnog gradskog prometa čine dva glavna podsustava: cestovni i tračnički koji se razlikuju prema vrsti prometnica, te načinu upravljanja i vođenja prijevoznog sredstva.

2.1. CESTOVNI PODSUSTAV

Cestovni podsustav karakterizira slobodno (autobus) ili relativno slobodno (trolejbus) kretanje vozila cestom. Autobusni javni prijevoz putnika dobro je poznat jer je najčešći oblik javnoga gradskog prometa. Oko dvije trećine svih putovanja javnim prijevozom u svijetu obavlja se autobusnim sustavom.

Osim neracionalnog utroška energije, cestovni promet zagađuje zrak i degradira okoliš oduzimanjem površina prethodno korištenih u druge svrhe. Prometna mreža zauzima 1-3 % površine zemlje i to na mjestima gdje je velika potreba za drugim načinom korištenja zemljišta. Kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. U gradovima prometna mreža zauzima 20-50 % ukupne urbane mreže. Istraživanja obavljena u gradovima zapadne Europe pokazala su da bi za potrebe parkiranja i izgradnju podzemnih i nadzemnih garaža trebalo rezervirati oko 135 % površine gradskog središta. Potrebna površina za parkirališni prostor jednog osobnog vozila iznosi oko 10 m². Na slici 2 prikazana je usporedba prostora potrebnog za parkiranje 1 automobila na kojem bi se moglo postaviti čak deset bicikala.[3]



Slika 2. Potreban prostor za parkiranje jednog osobnog vozila [3]

Za gradnju jednog kilometra autoceste s tri prometna traka u svakom smjeru, potrebno je najmanje 25 000 m² prostora. Na tom istom prostoru moglo bi se izgraditi više od 60 stambenih zgrada. Za izgradnju jednog čvorišta potrebno je oko 40 ha površine na kojoj je moguće izgraditi oko 1 000 stambenih zgrada.[3]

Posjedovanje automobila zahtjeva zauzimanje gradskih površina čak i kad automobil miruje, koji pritom smanjuje mogućnosti za ostale korisnike prostora. Parkiranje uz cestu okupira prostorne površine potrebne za poboljšanje javnog prostora, trakova za javni prijevoz, biciklističkih trakova i boljeg protoka prometa. Jedan automobil u prosjeku zahtjeva 10-15 m² za parking uz cestu. To znači da bi bilo potrebno više od 3 km² parkirnog prostora za 100 000 automobila.[2]

Tablica 1. Prostorna potreba različitih oblika prijevoza u različitim operativnim uvjetima

[4]

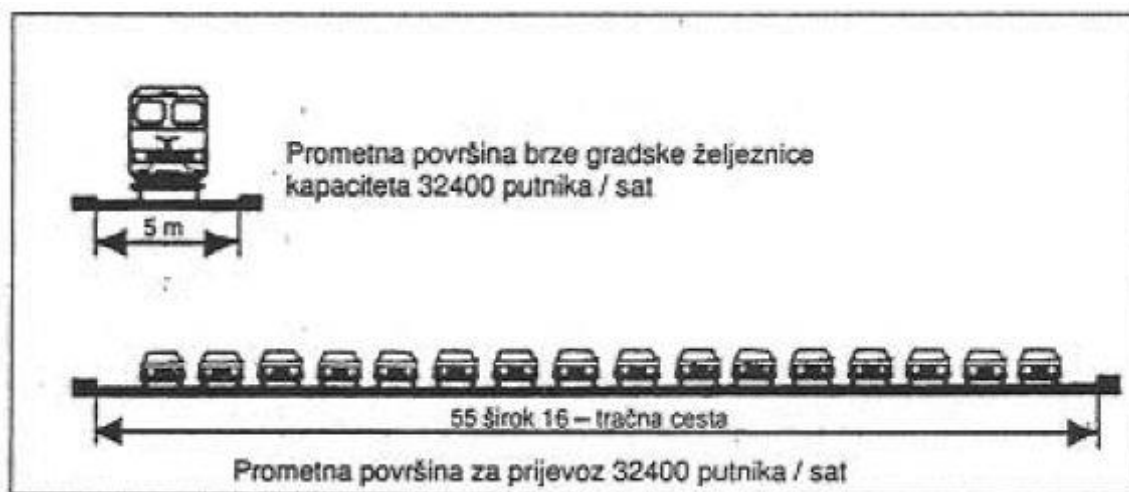
Vrsta prijevoza	Kapacitet (putnik/sat/prom.trak)	Brzina (km/h)	Potreba za prostorom (m ² po putniku)
Pješak	23500	4,7	0,7
Bicikl	5400	12	8
Motocikl	2400	12	17,5
Automobil (gradska ulica)	1050	12	40
Automobil(autoput)	3000	40	47
Autobus (55 sjedala)	7700	10	4,5
Autobus ili tramvaj (150 sjedala)	18000	10	2
Tramvaj (250 sjedala)	24000	10	1,5
Metro	40000	25	2,5

U tablici 1 prikazane su prostorne potrebe različitih oblika prijevoza u različitim operativnim uvjetima. Navedene vrijednosti nisu maksimalne vrijednosti ili uobičajene brzine za sve situacije, već predstavljaju potreban prostor u različitim uvjetima. Za širinu prometnog traka se pretpostavlja da iznosi 3,4 metra dok se za sve oblike javnog prijevoza uzima popunjenost od 80%.

2.2. TRAIČNIČKI PODSUSTAVI

Tračnički sustav karakterizira prisilno vođenje vozila po tračnicama (tramvaj, gradska željeznica, metro). Svojstva takvih sustava su vanjsko vođenje, tehnologija tračnica, električna vuča i djelomična izdvojenost trase. Razlike između pojedinih tračničkih sustava ovise upravo o zastupljenosti navedenih svojstava.

Željeznički promet prema trima glavnim utjecajnim činjenicama degradiranja okoliša: onečišćenju zraka, zauzimanju površina i utrošku energije, predstavlja najpovoljniji oblik prometa. Željeznica zahtijeva triput manje zemljišnog prostora uz približno jednako opterećenje. Potreba za prostorom dvokolosiječne pruge je 3,2 ha/km, a autoceste s četiri prometna traka 9,1 ha/km, s time da je kapacitet željezničke pruge za polovicu veći. Potreba za površinom tla po prevezenoj osobi u cestovnom prometu je devet i pol puta veća nego u tramvajskom i željezničkom prometu. Da željeznica štedi na prostoru govori i slijedeći podatak: dvokolosiječna pruga zahtijeva prostor širine 13,7 m, a autocesta sa 2x3 prometna traka 37,5 m.[3]

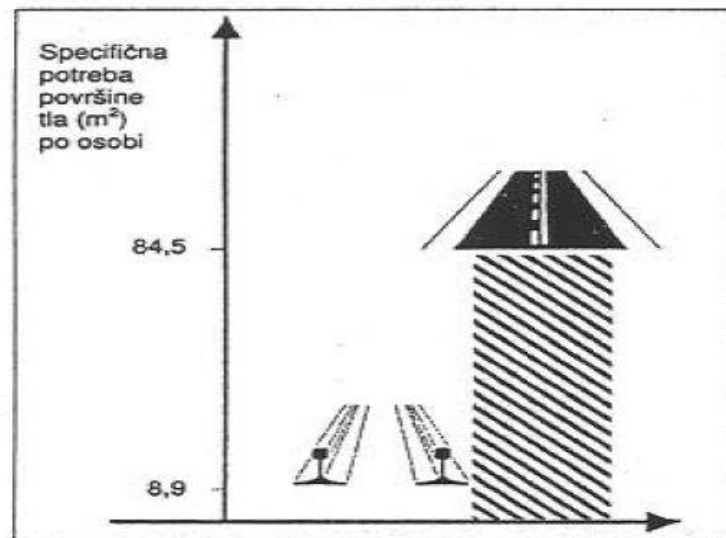


Slika 3. Prometna površina gradske željeznice i ceste jednake prijevozne moći [3]

Cestovni promet po prevezenoj osobi zahtijeva u prosjeku 84,5 m² površine tla, a tračnički promet 8,9 m² (Slika 3). Brza gradska željeznica koja zauzima prostor širine 5m može zamijeniti cestu sa šestnaest trakova širine 55m u prijevozu putnika. To svakako ide u prilog željeznici koja ima znatno racionalniju uštedu prostora. [3]

U budućnosti treba težiti linearnom pogonu i željezničkim sustavima temeljenim na magnetskoj lebdećoj tehnici. Najpoznatiji takav sustav je Transrapid koji već desetak godina prometuje u nekim razvijenim zemljama. Radi se o ekološki prihvatljivom,

ekonomski isplativom, sigurnom i pouzdanom prijevoznom sredstvu koje zauzima relativno malo prostora. Vozna staza Transrapida postavlja se na stupove iznad razine zemlje i zauzima manju površinu u usporedbi sa autocestom ili željezničkom prugom. Potrebni zemljani radovi mogu se smanjiti na minimum budući da tuneli, usjeci i nasipi najčešće nisu ni potrebni. Princip magnetske levitacije i prilagodljivost voznih trasa čine magnetsku lebdeću željeznicu ekonomičnom i vrlo pogodnom za okoliš, posebno gledano s aspekta racionalnog zauzimanja prostora. Na slici 4 se vidi da najveću potrebu za površinom tla po prevezenoj osobi ima cestovni promet.



Slika 4. Potreba za površinom tla po prevezenoj osobi u željezničkom i tramvajskom prometu u odnosu na cestovni promet [3]

Tramvaj je električno vozilo namijenjeno prijevozu putnika u javnom gradskom prijevozu koje se kreće po tračnicama, a napaja iz kontaktne mreže preko krovnog oduzimača struje, te zatvara strujni krug preko tračnica koje služe kao povratni vod.

Tramvajski se sustav sastoji od jednog, dva ili više električnih vozila koja se kreću tračnicama uz ostali promet na kolniku ili tramvajskom prugom koja je djelomično izdvojena od prometa posebnom trasom.

Tramvajska pruga omogućuje kretanje tramvaja, a kolosijek tramvajske pruge čine dvije tračnice zajedno. Širina tramvajskog kolosijeka mjeri se okomito na os pruge, 10 mm ispod površine kotrljanja između unutarnjih rubova tračnica i iznosi 1000 mm. Takvi kolosijeci pripadaju skupini uskotračnih pruga i imaju odgovarajuću prednost pred prugama standardne širine kolosijeka (1435 mm).

Jednostavniji su i jeftiniji za izgradnju, moguće je ostvariti manje vrijednosti polumjera zavoja, a manja i lakša vozila na njima omogućuju bolji odabir dimenzija gornjeg ustroja pruge.

Tablica 2. Usporedba svojstava tramvajskog prijevoza sa ostalim prijevoznim sustavima [2]

Vrsta prijevoza	Kretanje	Slijed (s)	Propusna moć (vozila/h/smjeru)	Prijevozna sposobnost (putnika/h/smjeru)
Autobus	u mješovitom toku s drugim vozilima	40-60	60-90	2700-16000
	u autobusnom traku	30-50	72-120	3200-21000
	po autobusnom kolniku	25-35	103-144	4600-21000
Tramvaj	u mješovitom toku	25-60	60-144	22000-58000
	po izdvojenoj pruži	20-120	30-180	22000-58000
Gradska željeznica	po izdvojenoj pruži	90-360	10-40	22000-108000

Tramvaj kao i željeznica također optimizira urbani prostor. Može prevesti isti broj putnika kao i dva autobusa ili 174 automobila (Tablica 2). Za usporedbu 200 putnika bi se moglo prevesti: sa jednim tramvajem duljine 32 metra, sa dva zglobna autobusa ili 174 automobila.[5] Tramvaj i gradska željeznica isto tako rasterećuju gradske i prigradske prometnice i parkirališta zbog toga što imaju veći jedinični i dinamični kapacitet u vremenskom intervalu kod povećane vršne prometne potražnje.

Tablica 3. Eksploatacijske značajke tračničkih sustava [6]

Pokazatelj	Brzi tramvaj	Brza gradska željeznica	Metro
Posebna trasa	60-90%	100%	100%
Prijevozna brzina	18-30 km/sat	30-50 km/sat	25-45 km/sat
Maksimalna brzina	40-50 km/sat	100-140 km/sat	80-120 km/sat
Kapacitet putnika	8-15 tisuća u satu	20-25 tisuća u satu	20-40 tisuća u satu
Razmak stajališta	400-800 m	800-2000 m	500-1000 m
Maksimalni broj vozila	2-4	4-10	4-8
Mjesta u vozilu	110-250	140-210	140-280

Iz podataka navedenih u tablici 3 vidljivo je da brza gradska željeznica i metro imaju prednost po brzini i kapacitetu prijevoznih usluga u odnosu na tramvajski promet.

Međusobni odnos tračničkih sustava tipa metroa prema izgradnji može se prikazati usporedbom:

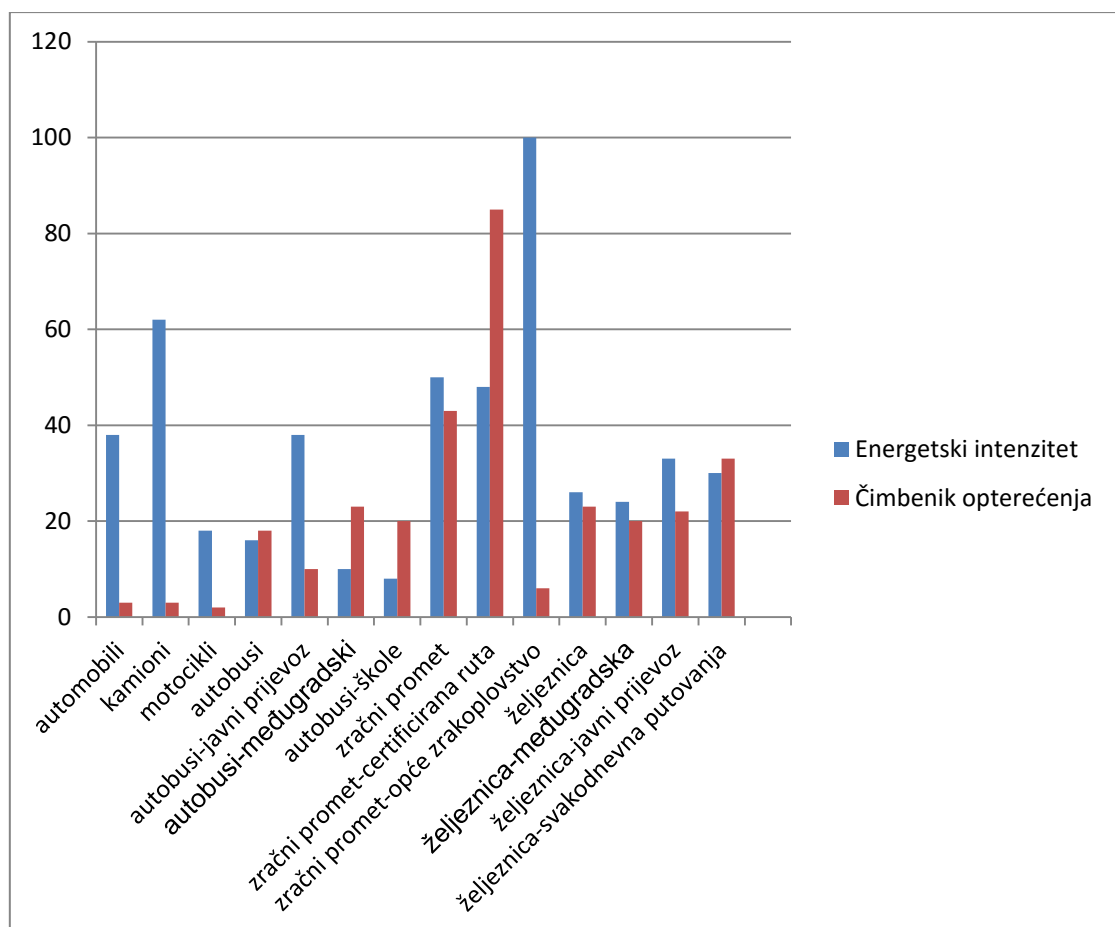
1. Ako se tračnički sustav gradi u razini terena ili uz postojeće kapacitete željeznice, koristeći trase industrijskih kolosijeka grada, ili kao ove trase koje prolaze kroz neurbanizirane zone postižu se najveće brzine gradnje i lako produljivanje trasa. Iako imaju navedene prednosti takvi kolosijeci u razini terena razdvajaju gradske cjeline i dolaze u prostorni sukob s drugim prometnim sustavima te imaju određene ekološke posljedice koje se očituju povećanjem buke.
2. Ukoliko se tračnički sustav postavlja plitko pod zemlju i gradi otvorenim iskopom, može se graditi samo ispod širokih koridora grada i samo u odgovarajućim ulicama. Prednosti takvog načina gradnje su oslobođeni površinski prostori grada i položaj perona blizu pješačkih tokova. Nedostaci su znatno veće zauzeće površina, teškoće prilikom gradnje, posebno zbog sukoba s komunalnim instalacijama koje je potrebno premjestiti.
3. Prednosti izgradnje tunelskog sustava na dubini 12 do 18 metara su u tome što nema sukoba s komunalnim instalacijama, a za vrijeme gradnje ostali promet se

odvija neometano i nema ekoloških utjecaja na okolinu. Takav sustav se koristi pri gradnji u urbaniziranim zonama s visokom gustoćom izgrađenosti.

4. Tračnički sustav je moguće izgraditi i na vijaduktima kao povišeni sustav iznad terena. Takav sustav ima višestruke prednosti zbog brzine gradnje, minimalnog zauzeća površina, lakog produljenja trase i mogućnost svih poprečnih veza pojedinih urbanih sredina. Najveći nedostatak tog sustava je vizualna usklađenost sa sadržajima koji ga okružuju. Problem buke i meteoroloških uvjeta se relativno lako da riješiti.

3. USPOREDBA NAČINA PRIJEVOZA S OBZIROM NA POTROŠNJU ENERGIJE

Jedan od problema koji se tiču prijevoza i ovisnosti o nafti je problem učinkovitosti pojedinih načina prijevoza. Intenzitet potrošnje energije zasnovan je na voznim kilometrima (ne uzima u obzir broj prevezenih putnika) za razliku od putničkih kilometara (jedan putnik po jednom kilometru). S istim brojem voznih kilometara, razlike u čimbeniku opterećenja ili broju putnika koje preveze svako vozilo mogu rezultirati velikom razlikom energetske intenziteta.



Grafikon 1. Intenziteti energije prema načinima prijevoza [7]

Na grafikonu 1 prikazana je energetska učinkovitost, koja je odvojena od dostupnosti radnih mjesta i postojanja alternativnih oblika prijevoza. Temeljni znak onečišćenja je

potrošnja energije. U europskom željezničkom prometu sa 3% energije obavlja se 23% teretnog i 9% putničkog prometa. U cestovnom prometu troši se 85% energije za 61% teretnog i 84% putničkog prometa. [3]

Prednost tračničkih podsustava je u mogućnosti korištenja električne energije kao vrste pogona. Nedostaci dizelskih i benzinskih motora u odnosu na električnu energiju su emisije štetnih plinova i potrošnja već osiromašenih neobnovljivih izvora energije. Dizelski ili benzinski motori imaju korisnost do 30% što znači da se 30% energije pretvara u mehanički rad, a ostalih 70% odlazi na toplinu.

Korisnost kod električnog vozila trostruko je veća od korisnosti kod dizelskog ili benzinskog vozila jer se 90% energije pretvara u mehanički rad, a 10% odlazi na toplinu.

Usporedba načina prijevoza na osnovi potrošnje energije po putniku/km u četiri razine:

- intenzitet energije: najčešća mjera energetske upotrebe. Izračunava se dijeljenjem pogonske energije po vozilu/km s prosječnim brojem putnika po vozilu
- energija cijelom duljinom linije: čini je energija potrebna za funkcioniranje stajališta, održavanje vozila, infrastrukture i izgradnju novih sustava
- modalna energija: energija koja se koristi za pristup načinu prijevoza (Park & Ride sustav)
- programska energija: uspoređuje modalnu energiju s energijom koja je potrošena korištenjem automobila od ishodišta do odredišta.

Tablica 4. Potrošnja energije prema načinu putovanja [7]

Način putovanja	Postotak potrošnje energije
vozni park kombija	4,49
autobus	5,68
teška željeznica	7,39
laka željeznica	9,38
automobilski vozni park	10,11
nova teška željeznica	12,20
automobil	18,82
vožnja po narudžbi	31,93
UKUPNO	100,00

U tablici 4 prikazane su vrijednosti potrošnje energije prema načinu putovanja. Noviji sustavi teške željeznice iziskuju više pogonske energije i većina ljudi se do tih stajališta vozi automobilima. Kod starijih sustava misli se prvenstveno na sustave nadzemne željeznice smještene u gadovima velike gustoće, gdje mnogi ljudi pješače do stajališta. Vozni park kombija ima najmanji postotak potrošnje energije zbog visokog koeficijenta iskorištenja mjesta. Takav način prijevoza ima prednost ukoliko više osoba živi i radi u blizini i kada su udaljenosti putovanja velike, tako da je konkurentan vremenu putovanja automobilom.

Električna vozila su ona vozila koja su pokretana elektromotorom. Takav pogon se naziva električnom vučom. Ne ispuštaju ispušne plinove, stvaraju vrlo malo buke, imaju bolji stupanj iskorištenja i bolja vozna svojstva od vozila pokretanih motorom s unutarnjim izgaranjem jednake snage. Postoje problemi vezani uz ograničenje autonomnosti uzrokovane tehničkim poteškoćama vezanim uz dobavu električne energije.

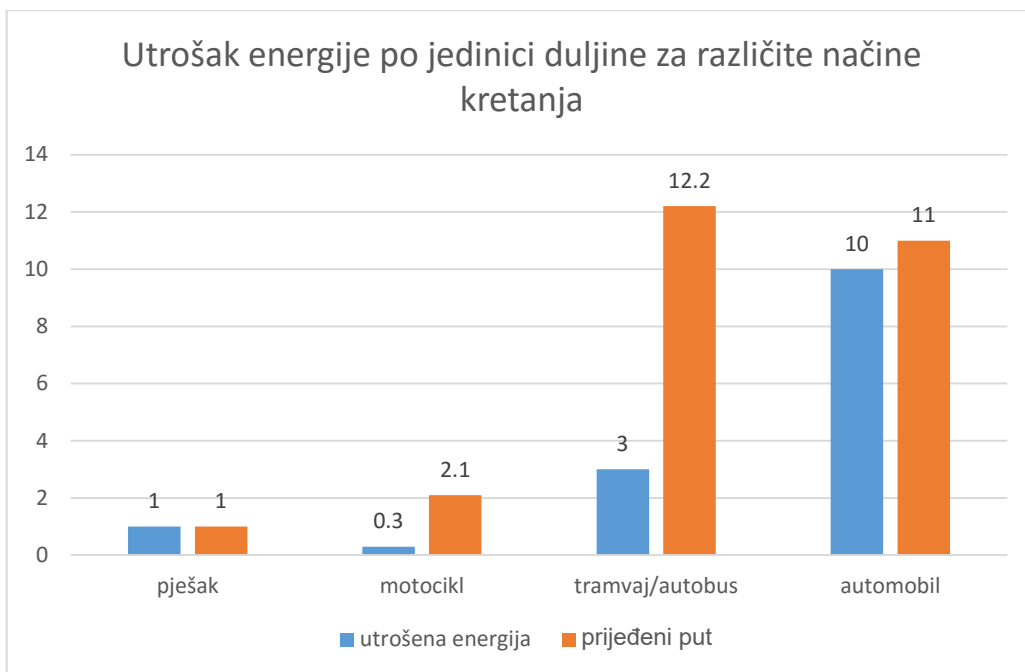
Tehničke i ekonomske prednosti električnog pogona osobito su uočljive u željezničkom prometu. U usporedbi sa dizelskim pogonom ističe se pouzdanošću, većom instaliranom snagom po osovini, prijevoznom i propusnom moći pruga, a manjim utroškom energije, troškovima iskorištavanja i štetnim utjecajem na okoliš. Higijensko tehnički uvjeti za rad osoblja su također bolji. Zbog velikih investicijskih ulaganja u elektrifikaciju željeznica, navedene prednosti dolaze do izražaja kod većih gustoća prometa.

Tablica 5. Potrošnja goriva pružnih motornih vozila u Hrvatskoj [3]

VRSTA GORIVA	JEDINICA	VRSTA VUČE	1960.g.	1970.g.	1980.g.	1990.g.
Kameni ugljen	t	PARNA	200275	105824	7231	-
Mrki ugljen	t		515765	256959	50241	-
Lignit	t		205817	87260	3813	-
Ugljen-ukupno	t		921857	450043	61325	
Mazut	t		5679	1968	zanemariva	
Plinsko ulje za motorna vozila	t		274	4710	478	3757
Plinsko ulje za dizelske						

lokomotive - manevarke	t		269	4104	6102	5105
Plinsko ulje za dizelske lokomotive - vozne	t	DIZEL	5870	32407	61958	44869
PLINSKO ULJE - UKUPNO	t		6414	41223	68538	53732
Elektroenergija za električne lokomotive	Mwh		12	126042	196965	225355
Elektroenergija za elektromotornu vuču	Mwh	ELEKT RO	0,177	13592	58298	37113
ELEKTROENE RGIJA- UKUPNO	Mwh		12195	139634	255263	262468

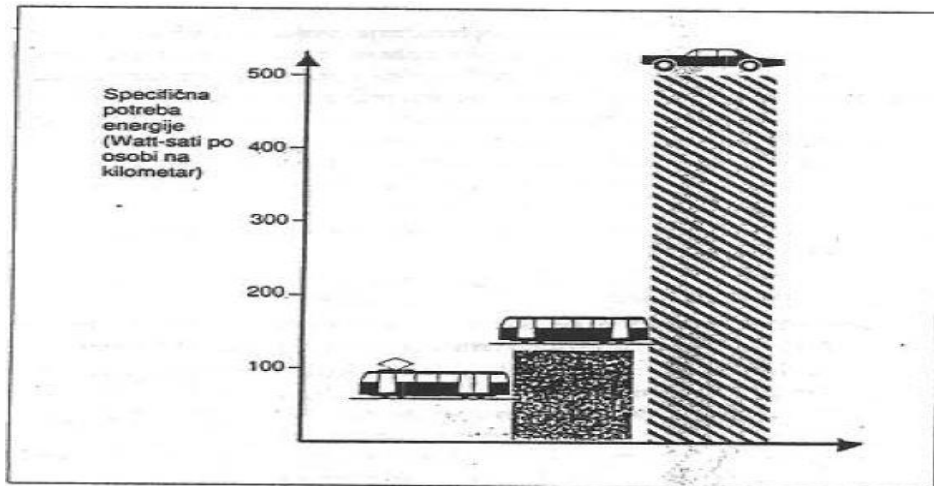
Željeznica za svoj pogon koristi 3 vrste energije: električnu energiju, tekuća goriva i ugljen (Tablica 5). Kod željezničkih vučnih vozila količina potrošenog goriva ovisi o: težini i brzini vlaka, vrsti vlaka, tipu snazi i konstrukcijskim značajkama dizel motora, tehničkom stanju motora, stanju kompletne lokomotive i vremenu trajanja pojedinih režima. Veliki utjecaj na potrošnju goriva ima i obučenost strojnog osoblja, njihovo poznavanje vučnih značajki lokomotive, poznavanje trase, stručnost u savladavanju tehnika vožnje te uvjeti vožnje i konfiguracija terena.



Grafikon 2. Utrošak energije po jedinici duljine za različite načine kretanja [3]

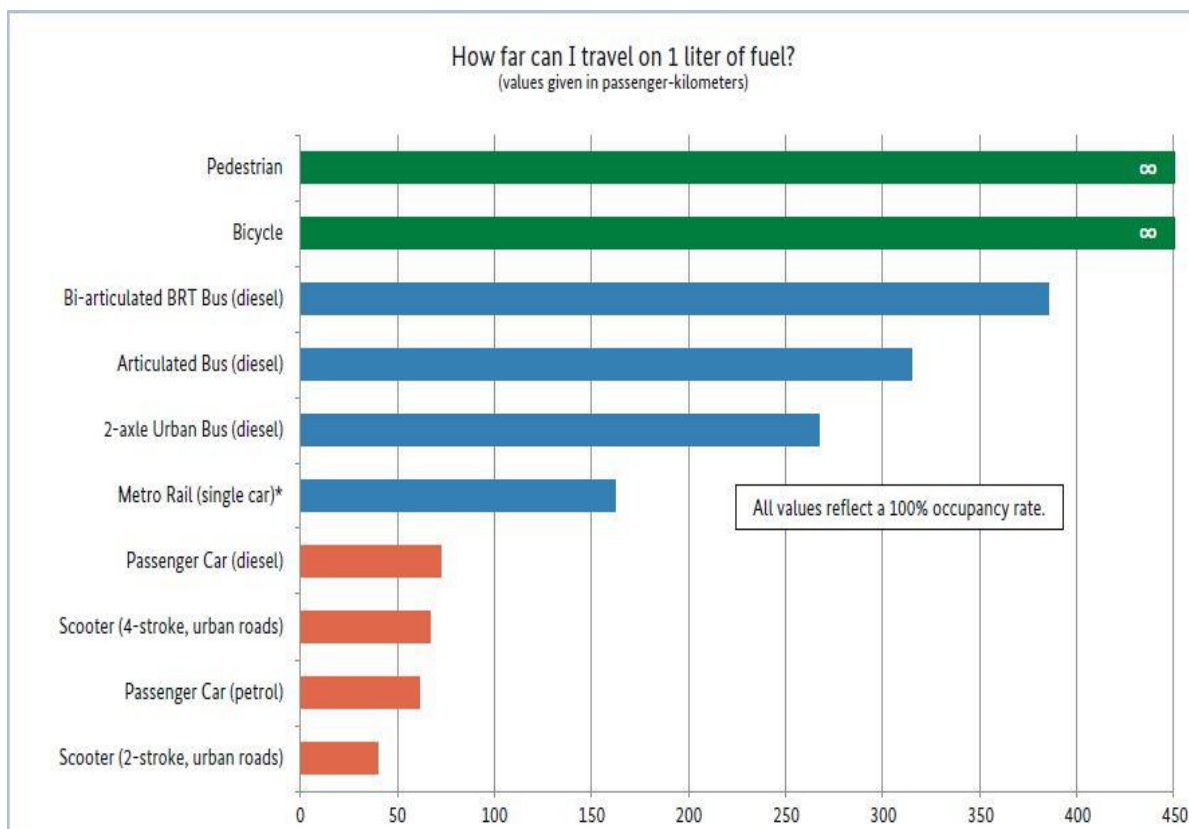
Na grafikonu 2 prikazane su usporedne vrijednosti specifičnog utroška energije po jedinici duljine za različite načine kretanja, a kao usporedna veličina izabran je pješak. Cestovni promet osobnih i teretnih vozila troši više energije za savladavanje jednog kilometra po osobi ili toni robe nego željeznički promet. Zbog toga treba težiti smanjenju utroška energije u cestovnom prometu.

Magnetski lebdeći vlakovi imaju velike prednosti u željezničkom prometu iz razloga što troše manje energije. Zahvaljujući dobroj aerodinamici i bezkontaktnoj tehnici, Transrapid pri jednakoj snazi troši trećinu manje energije nego što je to slučaj kod i onako male potrošnje energije željezničkih sustava. Pri 300 km/h Transrapid po putničkom mjestu i kilometru troši samo 38 Wh. Za usporedbu drugim vlakovima velikih brzina potrebno je 70 Wh. Sve to omogućava ekonomičnu eksploataciju već pri jednoj uobičajenoj cijeni prijevoza. Transrapid zahtijeva oko 30% manje energije od drugih vlakova. [3]



Slika 5. Specifična potreba energije po osobi po kilometru [3]

Potrošnja energije po osobi na kilometar kod osobnih automobila je u odnosu na željeznicu 4,2 puta veća, a u odnosu na tramvaj razlika je čak deset puta veća (Slika 5). Efikasnost putovanja povezana je sa potrošnjom energije različitih oblika prijevoza. Glavni parametri za učinkovitost putovanja su prednost različitih oblika prijevoza i popunjenost vozila. Specifična potrošnja energije po putničkom kilometru ili po tonskom kilometru varira između različitih oblika prijevoza. Učinkovit način za poboljšanje energetske učinkovitosti je poticanje građana na korištenje učinkovitijih oblika prijevoza, kao što su javni prijevoz ili nemotorizirani promet. U globalu, privatni motorizirani transport je manje energetski učinkovit od javnog prijevoza. Druge alternative uključuju nemotorizirane oblike prijevoza koje uopće ne zahtijevaju gorivo. Potrošnja energije po stanovniku uvelike ovisi o stupnju popunjenosti vozila koje se koristi.



Slika 6. Udaljenost koju je moguće prijeći sa 1 litrom goriva [8]

Slika 6 prikazuje potrebnu količinu energije (goriva) u odnosu na prijeđene putničke kilometre. Sve vrijednosti su prikazane u putničkim kilometrima i odnose se na popunjenost vozila od 100%. Treba uzeti u obzir da su ove vrijednosti okvirne i ovise o faktorima opterećenja, glatkoći prometnog toka i tehničkim standardima vozila i infrastrukture.

Metro je općeniti naziv za sustav električne podzemne željeznice koja služi javnom gradskom prijevozu putnika u velikim urbanim sredinama. Metro je popularni način prijevoza za putnike. Redovito dobiva visoke ocijene od istraživačkih anketa vezanih za zadovoljstvo putnika. Jedan je od najpouzdanijih oblika prijevoza. U 2009.g. broj prevezenih putnika metro sustavom je iznosio 57,3 milijuna. Postotak točnosti polazaka prema rasporedu vožnje je iznosio 99,96%. [9] Metro sustav je najpodobniji za okoliš. Potrošnja električne energije po putničkom kilometru iznosi oko 0,10 kWh. Iskorištenje prostora u metro vlaku je također ekonomičnije; metro je sposoban prevesti isti broj putnika kao i 700 automobila. Vozila metroa imaju dugi vijek trajanja, vagoni su u mogućnosti ostati funkciji rada i do 40 godina.

Tablica 6. Potrošnja energije i vode metroa u Helsinkiju (2009.g.) [9]

Vrsta resursa	Potrošena količina resursa
Električna energija (ukupno)	45,78 GWh
Energija za vožnju	41,96 GWh
Električna energija spremišta	2,72 GWh
Grijanje	1,10 GWh
Voda	3 691 m ³
Reciklirana voda	6 613 m ³
Goriva	47 078 litara

Na primjeru iz Helsinkija koji ima najsjeverniji metro sustav na svijetu, duljina tračnica iznosi 21,1 km. U tablici 6 prikazana je potrošnja resursa metro sustava koji ne uključuje samo resurse potrebne za vožnju već cjelokupne resurse sustava. HKL Metro Transport sustav ima 54 para vozila od kojih je 42 vlaka iz serije M 100 i 12 serije M 200. Dnevno je u prometu 45 vlakova. Ukupno u 2009.g. vlakovi su ostvarili prijeđenih 7 266 000 km. [9]

4. USPOREDBA NAČINA PRIJEVOZA S OBZIROM NA ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

Pored racionalnog zauzimanja prostora, pozitivan ekološki aspekt željezničkog prometa očituje se u mnogo manjim emisijama štetnih tvari u odnosu na druge oblike prijevoza. Kad je riječ o onečišćenju zraka, dizelska i parna pružna motorna vozila ispuštaju u atmosferu razne štetne tvari: ugljik (II) oksid, dušične okside, sumpor (IV) oksid, dim s raznim krutim česticama, ugljik (IV) oksid. Ispušni plinovi željezničkih vučnih vozila prisutni su u atmosferi zbog goriva koja se koriste. Na sastav ispušnog plina dizel motora lokomotive utječu kemijski sastav goriva, tehničko stanje motora, te režim rada i vrsta motora.

Prednosti tramvaja:

Za razliku od autobusa i dizelskih željezničkih vozila, tramvaji ne ispuštaju nikakve ispušne plinove za vrijeme upotrebe. Direktna emisija ispuštanja CO₂ za prijevoz 220 ljudi iznosi:

- za 174 automobila: CO₂ emisija iznosi 8,248 grama
- za 3 autobusa: CO₂ emisija iznosi 945 grama
- za 1 tramvaj CO₂ emisija iznosi 0 grama

Lakotračnički sustav zahtijeva 90% manje uložene energije nego okretanje kotača. Tramvaj generira električnu energiju koju koriste i drugi tramvaji. [5]

Ekološka prednost željeznice je u manjem zagađenju okoline. Emisija štetnih plinova u željezničkom prijevozu je 30 puta manja nego u cestovnom prometu što pridonosi očuvanju okoliša.

U usporedbi sa autobusima buka od tramvaja je u globalu prihvatljivija. Upotreba kolnih slogova uzrokuje klizanje između kotača i tračnice tijekom savladavanja zavoja. To stvara karakterističan visokofrekventni zvuk odnosno škripanje.

Tramvaji mogu dijeliti naponsku mrežu sa trolejbusima, a mogu se i prilagoditi broju putnika dodavanjem više vagona tijekom vršnog opterećenja. Nije potreban dodatni vozač za razliku od autobusa. U globalu tramvaji omogućuju veći kapacitet putnika od autobusa.

Višestruki ulazi omogućuju tramvajima brži ukrcaj putnika nego što je to slučaj kod autobusa. To također omogućuje i veću prijevoznu brzinu.

Tramvajske stanice su na ulici lako pristupačne za razliku od stanica metroa koje su pod zemljom. Udobnost putnika je često superiorna u odnosu na autobus zbog kontroliranog ubrzanja i usporenja i standardiziranosti radijusa zavoja.

Općenito, transport na tračnicama omogućuje ugodniju vožnju od cestovnog transporta.

Javni prijevoz lakom željeznicom jedan je od najpopularnijih oblika željezničkog javnog prijevoza. Predstavlja modernu verziju električnog tramvaja. Neke od prednosti lake željeznice su: veća sigurnost u odnosu na klasičnu željeznicu jer dobiva električnu energiju iz nadzemnog voda umjesto iz treće tračnice, veća fleksibilnost lokacije stajališta, pogodnija je u situaciji s nižom razinom potražnje i ako je trasirana na odvojenim prometnim pravcima prosječne brzine su veće od onih koje postižu autobusi.[10]

Tablica 7. Emisija onečišćivača u željezničkom i cestovnom prometu [3]

Naziv štetnih tvari	% u jediničnoj količini	% po vrstama prijevoza	
		željeznički	cestovni
Ugljični monoksid (CO)	68	1	98
Dušični oksid (NO _x)	17	4	90,5
Ugljikovodik (CH)	9	1	95
Sumporni dioksid (SO ₂)	2	10	74
Krute čestice	1	5	85
Ostali nusprodukti	3		

Udjeli emisije štetnih tvari kod željezničkih vozila znatno su manji od udjela koji vrijedi za cestovnu granu prometa. Željeznički promet u onečišćenju zraka ugljičnim monoksidom ima udio od 1%, a dušičnim oksidima 4%. Kada se radi o ugljikovodicima, udio željezničkog prometa u ukupnom onečišćenju vrlo je mali, svega 1%; u onečišćenju zraka sumpornim oksidima željeznica sudjeluje sa 10%, dok u emisiji krutih čestica sudjeluje sa 5% (Tablica 7).

Kod željezničkih vozila na električni pogon uopće nema kemijskog onečišćenja zraka, ali se javlja povećana koncentracija ionizirajućih čestica u zraku što ima negativan utjecaj na

zdravlje čovjeka. Kod veće koncentracije ionizirajućih čestica u zraku kod ljudi se mogu pojaviti glavobolje, agresivnost ili pad koncentracije.

Zbog potrebe da se željeznička pruga održi u što boljem stanju, prska se herbicidima. Tako se smanjuje nastanak i sprječava rast korova koji može omesti odvijanje željezničkog prijevoza i utjecati na nastanak buke. Održavanje pruge herbicidima ima štetne posljedice na tlo i podzemne vode. Nasip na kojem se postavlja željeznička pruga je vodopropusan što znači da površinske vode ispiru herbicide čiji toksični sastojci prodiru u tlo i tako zagađuju podzemne vode.

Kada je u pitanju cestovni promet, štetne posljedice na okoliš sve su izraženije. Tehnički i tehnološki razvoj vozila je utjecao na smanjenje emisije štetnih plinova u atmosferu.

Onečišćenje zraka očituje se na promjene u okolišu i na zdravlju ljudi budući da je danas mreža prometnica postala sastavni dio urbanih sredina. Emisija vozila i autobusa ima štetan utjecaj na prirodno okruženje, ali i na građevine, te kulturne spomenike jer uzrokuje propadanje materijala.

Motorna goriva koja se koriste u cestovnom prometu sastoje se od ugljika i vodika. Kada bi se takvo gorivo podvrgnulo idealnom izgaranju, u atmosferu bi odlazio samo ugljični dioksid i vodena para. Ipak, pri radu vozila na motorni pogon dolazi do nepotpunog izgaranja koje je uzrok gubitka dijela energije gorenja i emisije plinova u atmosferu.

Cestovni promet sudjeluje sa 98% ugljičnog monoksida u ukupnoj emisiji, a u emisiji dušičnih oksida sa 90,5%. [3] Kad se radi o onečišćenju zraka ugljikovodicima na cestovni promet otpada 95%, a emisija sumpornog dioksida prisutna je sa 74%. U ukupnoj emisiji krutih tvari cestovni promet ima najveći udio, čak 85%.

Osim svega navedenog, važno je reći da odvijanje cestovnog prometa uzrokuje i širenje olova, fluorida i ozona u zrak. Postoji opasnost i od katranskih isparavanja koja se javljaju kod izgradnje prometnica od asfalta, a štetna su za čovjeka jer su kancerogena. Imaju štetan utjecaj i na biljni svijet jer uzrokuju uništavanje klorofila. Isto možemo spriječiti postavljanjem betonskih ploča na prometnice.

Kvaliteta zraka u neposrednoj blizini prometnice je zadovoljavajuća kada je na prometnici manje od 15 000 vozila na dan, što znači da razina dušičnog dioksida iznosi $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na dan. Da bi kvaliteta zraka bila na prihvatljivoj razini, sumporni dioksid u atmosferi morao bi biti manji od $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a čestica ugljika manja od $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na dan. [11].

5. INDIKATORI GRADSKOG PRIJEVOZA KOJI SE ODOSE NA POTROŠNJU ENERGIJE I ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

Motorizirani promet ima višestruke negativne učinke na životnu sredinu u gradu, posebno u smislu emisije zagađenja zraka i prekomjerne buke. Negativna uloga prometa ne očituje se samo emisijom štetnih plinova i bukom nego i zauzimanjem obradivih površina te vizualnim degradiranjem prostora. Cestovni promet smanjuje kvalitetu okoliša i otpadnim tvarima nastalim trošenjem guma i površinskih slojeva kolnika.

5.1. ZAGAĐENJE ZRAKA

Problem zagađenja zraka u gradskom prometu je izravna posljedica rada motora s unutarnjim izgaranjem. Od više 100 komponenata najutjecajni su ugljični monoksid (CO), te dušični oksidi (NO_x), ugljikovodici (HC), sumporoksidi (SO_x), čestice ugljika (C) i olova (Pb).

Onečišćenje zraka ima izravan utjecaj na dišni sustav, tako se vezivanjem dušičnih oksida za čestice ugljika višestruko povećava opasnost od oboljenja dišnih organa, a postoje indicije da zagađenja zraka izazivaju i genetske promjene. S pojačanim radom motora raste i emisija štetnih komponenata izgaranja, pa je iz više razloga ta utjecajnost povećana i na raskrižjima u razini.

Postoje dvije vrste smoga:

Klasični smog - kombinacija je dima i magle, a poznat je već stoljećima. Do dima dolazi zbog spaljivanja goriva koje se koristi za grijanje, proizvodnju i potrošnju energije. To je najizraženije u zimskom periodu kada se spaljuje mnogo goriva.

Fotokemijski smog - stvaraju ga motorna vozila i djelovanjem sunčeve svjetlosti najčešće se pojavljuje za toplog vremena.

Obje vrste smoga štetno djeluju na ljudsko zdravlje i smanjuju vidljivost što ih čini nepoželjnim i s estetskog stajališta. Zagađuju biljni i životinjski svijet.

PRIMARNI ZAGAĐIVAČI ZRAKA

Ispuštaju se izravno u zrak iz stacionarnih ili mobilnih izvora. Najpoznatiji su:

- ugljični monoksid: najveći zagađivač prema težini, nastaje kao rezultat nepotpunog izgaranja. Iako se ne može sasvim eliminirati, može se reducirati katalizatorima koji se ugrađuju u automobile. U velikim koncentracijama je otrovan.
- ugljikovodici: hlapivi organski spojevi sadržani u gorivu koje ne izgori u potpunosti. Uključeni su u formiranje fotokemijskog smoga.
- dušični oksidi: nastaju zagrijavanjem zraka na visoku temperaturu. Štetno djelovanje očituje se stvaranjem smoga i nastanku kiselih kiša.
- čestice: sićušni dijelovi tvrde ili tekuće tvari. Za razliku od benzinskih motora, dizelski motori iz stvaraju više što se očituje po crnom dimu iz ispuha.
- sumporni dioksid: najopasniji je zagađivač zraka i glavna komponenta klasičnog smoga. Iritira dišni sustav, a može izazvati i smrt kod osoba koje imaju zdravstvenih problema sa dišnim sustavom.
- olovo: dodaje se gorivu kako bi se smanjilo prerano izgaranje komprimirane mješavine goriva. Nedostatak mu je to što uništava katalizatore koji se koriste za smanjene drugih zagađivača.

SEKUNDARNI ZAGAĐIVAČ ZRAKA

Sekundarni zagađivač zraka je ozon koji nastaje kemijskom reakcijom između ugljikovodika i dušičnih oksida u prisutnosti sunčeve svjetlosti. Smanjuje sposobnost fizičkih aktivnosti, a u većoj koncentraciji je otrovan. Ozon ima štetno djelovanje na respiratorni sustav, ali ima i korisna svojstva u gornjoj atmosferi zato što blokira štetne sunčeve zrake. Problem se javlja kada nastanu rupe u ozonskom sloju iznad polova.

5.2. BUKA

Buka se definira kao nepoželjan zvuk ili šum. Buka u gradskom prometu nastaje zbog rada motora i zbog kretanja vozila, a jačina buke ovisi o snazi i radu motora, ispravnosti i brzini vozila, te svojstvima trase i kolnika. Buka koju proizvode prijevozna sredstva najveći je izvor problema.

Preko 80% svih izvora buke otpada na prometna vozila, od toga 18% na promet na tračnicama. Na intenzitet buke utječu brzina i opterećenje vlaka, položaj kabine, karakteristike i stanje pruge, te tehnika vožnje. Ta se razina buke u posljednje vrijeme

znatno smanjila zavarivanjem pruga u kontinuirane trakove i kvalitetnim održavanjem tračnica.

Što se tiče autobusa posvećuje im se mala pažnja glede smanjenja buke, najviše zato što imaju manji udio u javnom prijevozu. Prilikom nabave novih autobusa bilo bi poželjno uključiti razinu buke u odredbe.

U usporedbi s ostalim zagađivačima, kontrola buke je bila zapostavljena zbog nedovoljnog znanja o negativnom učinku na čovjeka kao i zbog manjka kriterija. Iako se problem buke pripisivao kao problem u razvijenim zemljama, izloženost buci je često i veća u zemljama u razvoju, zbog veće gustoće naseljenosti te lošeg planiranja i izgradnje. Utjecaj buke na zdravlje kroz duže vrijeme je jednak u oba slučaja. Zbog toga nužne su mjere koje će ograničiti i kontrolirati izloženost buci.

Uzroci buke u prometu:

Buka povezana sa izgradnjom cesta i prometom dolazi od četiri glavna izvora:

- Buka na vozilu

Buka na vozilu dolazi od motora, mjenjača, ispuha i ovjesa. Najveća je prilikom ubrzavanja, na uzbrdicama, tijekom kočenja motorom, na lošim cestama i u uvjetima gradske gužve. Loše održavanje vozila je faktor koji pridonosi povećanju buke. Povećava se sa brojem okretaja motora i ovisi o brzini vozila i stupnju prijenosa.

- Buka od ceste i pneumatika

Buka koja se javlja prilikom dodira pneumatika i kolničkog zastora značajno pridonosi ukupnoj buci u prometu. Postoje dva važna mehanizma generacije buke: Hrapavost površine ceste koja uzrokuje vibracije pneumatika koji onda generiraju buku i pritisak tlaka zraka u pneumaticima na dodirnoj površini vode do aerodinamičke buke.

Cestovna buka kod modernih vozila u urbanim središtima dominira prilikom vožnje brzinom većom od 30 km/h. Jačina buke ovisi o stanju pneumatika i kolnika. Najveća buka od ceste i pneumatika se javlja kod velikih brzina i tijekom naglih kočenja.

- Ponašanje vozača

Vozači pridonose cestovnoj buci ako voze velikim brzinama, korištenjem zvučnih signala, slušanjem glasne glazbe i škripanjem guma prilikom naglih ubrzanja ili kočenja.

- Izgradnja i održavanje

Izgradnja cesta i održavanje zahtijevaju upotrebu teških strojeva iako su te aktivnosti lokalizirane i nisu konstantne, one svakako pridonose velikoj količini buke tijekom izvođenja radova.

Faktori vozila:

Različiti tipovi vozila uzrokuju različite razine buke. Teška vozila kao što su kamioni proizvode više buke od laganih automobila, često imaju više kotača i koriste motorne kočnice tijekom usporavanja. Loše održavana vozila sa lošim ispušnim sustavima ili potrošenim kočnicama su bučnija nego ona dobro održavana. Isto tako, određeni tipovi guma kao što su gume za terensku vožnju i zimske gume su naročito bučne.

Površina ceste:

Fizičke karakteristike cestovne površine i njezine okoline igraju veliku ulogu u određivanju izlazne buke. Dobro održavane ceste s glatkom površinom su manje bučne od onih sa grubom, raspucanom ili oštećenom površinom. Kompenzatori na mostovima su posebno bučni. Površine uz cestu kao što su površine na kojima raste vegetacija apsorbiraju i umanjuju buku dok reflektivne površine kao što su beton i asfalt nemaju učinkovitu funkciju u smanjenju buke.

6. MJERE ZA SMANJENJE ONEČIŠĆENJA OKOLIŠA U GRADU

Da bi se smanjilo zagađenje okoliša i omogućilo racionalno iskorištavanje energetske resursa potrebno je poduzeti određene mjere za učinkovitiju upotrebu cestovnih prijevoznih sredstava. To je moguće ostvariti većom upotrebom multimodalnog prijevoza, korištenjem cestovnih vozila sa pogonskim gorivom iz obnovljivih izvora energije, smanjenjem cestovnog prometa u odnosu na željeznicu i boljom organizacijom javnog prijevoza.

Kao mjera zaštite za smanjenje zagađenja zraka može se predvidjeti zelenilo koje služi za filtriranje i taloženje štetnih tvari iz zraka. Iz prakse je poznato da je zid debljine tek 20 do 40 m dostatan za dobro filtriranje i taloženje, ali takvo proširenje prometnica ide na štetu drugih korisnih sadržaja kao što su parkovi ili površine za rekreaciju.

Trajnije rješenje zaštite može se provesti na planerskoj i regulativnoj razini:

- forsiranje i stimuliranje ekološki prihvatljivijih oblika prijevoza (prijevoz elektrovučom, javni bicikli i sl.)
- restrikcijom prekomjernog korištenja automobila za gradska putovanja
- podizanje protočnosti na osnovnim dijelovima mreže i
- primjenom tehničkih mjera zaštite od zagađenja zraka i buke.

Mjere koje reduciraju potrošnju nafte u prijevozu:

Poboljšanje učinkovitosti goriva u vozilima: Smanjenje potrošnje goriva po prijeđenom kilometru povećava učinkovitost vozila. Postiže se razvijanjem novih tehnologija i poboljšanjima dizajna. Uključuje: ugradnju mjenjačke kutije s dužim stupnjevima prijenosa, indikator stupnja prijenosa, olakšanu karoseriju i sjedala, start & stop sustav, gume s manjim otporom kotrljanja, aerodinamičke preinake (sniženu karoseriju, glatke poklopce kotača itd.)

Korištenje alternativnih goriva za motorna vozila: kao moguća zamjena za benzin koriste se metanol i etanol, jednim dijelom zato što manje pridonose efektu staklenika. Druga alternativna goriva uključuju električnu struju, komprimirani prirodni plin i propan.

Metanol je alternativno gorivo koje se najviše promiče. Može se proizvesti iz ugljena, prirodnog plina ili prirodnog otpada. Sadrži oko 60 posto energije po litri u odnosu na benzin. To znači da plinski spremnici moraju biti veći ili se češće moraju puniti. Glavni

nedostatak je ispuštanje velike količine formaldehida koji iritira oči i doprinosi smogu, uništava boju, čelik i gume.

Etanol se može proizvesti iz zrna žita, šećerne trske ili smeća. Kao i metanol sadrži manje energije po litri.

Komprimirani prirodni plin: glavni nedostatak mu je u tome što zahtijeva komprimiranje pod velikim pritiskom u stanicama za punjenje i u vozilima. Potrebno je često punjenje koje poskupljuje cijenu automobila.

Propan ima prednost što je već ponuđen na tržištu u druge svrhe kao što su grijanje kućanstva, a cjenovno je konkurentan.

Ograničenje brzine: poznato je da vozila pri većim brzinama troše više goriva, pa se sa smanjenjem brzine smanjuje i potrošnja.

Poboljšanje prometnog protoka: pri režimu vožnje kreni – stani potrošnja goriva je visoka. Potrošnja goriva bi se mogla smanjiti reduciranjem prometnih tokova i smanjenjem prometnih gužvi.

Odabir putovanja: korištenje javnog prijevoza je energetski najučinkovitije. Korištenje nemotoriziranog prometa bi doprinijelo energetske učinkovitosti.

Povećanje zajedničke vožnje: automobilom se prosječno preveze 1,5 osoba što bi se moglo povećati izgradnjom trakova s prvenstvom prolaska za vozila s većom popunjenosti (3 ili više putnika).

Modeli učinkovitijeg korištenja zemljišta: reduciraju putovanja automobilima. Jedan od načina reduciranja je razvijanje grada oko stajališta za javni prijevoz. Drugi način je miješanje različitih vrsta korištenja zemljišta tako da ljudi pješaćenjem dolaze do određenih sadržaja.

Povećanje cijene goriva: podrazumijeva povećanje poreza na gorivo. Potiče ljude na odabir energetski učinkovitijih vozila, odabir lokacije stanovanja blizu mjesta rada i korištenje alternativnih oblika prijevoza.

Mjere za smanjenje buke:

Kada se buka prepoznata kao ozbiljan problem postavlja se pitanje što se može učiniti u vezi planiranja prometa i njezinog smanjenja. Cestovna buka u gradovima u razvoju može biti smanjena kroz određene strategije:

1. osvještavanjem javnosti o stvaranju buke

2. izbjegavanjem korištenja motoriziranog prometa
3. kontrolom motornih vozila
4. kontrolom korištenja zemljišta
5. kvalitetnim rukovođenjem prometa
6. dizajnom i održavanjem cestovnih površina
7. postavljanjem standarda za mjerenje buke

Vegetacija:

Ako je dovoljno visoka, široka i gusta može smanjiti prometnu buku i onečišćenje okoliša. Pojas guste vegetacije širine 60 metara može smanjiti buku za 10 decibela što znači da može prepoloviti glasnoću prometne buke. Često je nepraktično posaditi dovoljno vegetacije pored ceste da bi se postiglo takvo smanjenje buke. Ukoliko gusta vegetacija već postoji, sačuva se. Ako vegetacije uz cestu nema, može biti posađena radi psihološkog efekta olakšanja ako već ne može dovoljno smanjiti buku.

Tablica 8. Usporedba mogućih mjera protiv buke [12]

Vrsta mjere	Efektivnost	Usporedba troškova
zemljana barijera	isto kao i ostali tipovi barijera zahtijeva više prostora	jako jeftina kada je materijal za izgradnju dostupan na terenu
betonska, drvena, metalna ili neka druga ograda	dobra, zahtijeva manje prostora	10-100 puta veći trošak od zemljane barijere
podzemna cesta	ekstremna opcija za jako gust promet, zahtijeva ventilaciju ako duljina prelazi 300 m	80-16000 puta veći trošak u odnosu na zemljanu barijeru
dupli prozori za izolaciju	dobra, ali samo kada su prozori zatvoreni, ne štiti vanjski prostor	5-60 puta veći trošak u odnosu na zemljanu barijeru

Izolacija na zgradama, kao što su prozori s duplim staklom predstavljaju krajnju mjeru u smanjenju buke unutar zgrada. Troškovi i efektivnost nekih od mjera prikazani su i uspoređeni u tablici 8. Neki od planova za ublažavanje buke često objedinjuju više mjera odjednom. Prometna cesta koja prolazi kraj visokog nebodera zahtijevati će posebnu podlogu, barijeru ili zid za smanjenje buke na nižim katovima zgrade i izolaciju fasade na višim katovima zgrade.

6.1. INTEGRIRANI TRANSPORT

Kao posljedica stalnog rasta upotrebe osobnih automobila nastaje sve veći pritisak na urbani prostor. Jedno od dugoročno kvalitetnijih rješenja u razvoju urbanog prijevoza je objedinjavanje različitih oblika prijevoza (vlakovi, autobusi, tramvaji).

Željeznica ima prednosti na dužim relacijama, a autobusi koji dovoze putnike do željeznice imaju prednosti na kraćim relacijama. Takav sustav omogućava parkiranje automobila na stajalištima. Prednosti takvog javnog prijevoza nad osobnim su:

- višestruko manje zagađuje okoliš po prevezenom putniku
- troši višestruko manje energetske resurse po prevezenom putniku
- nekoliko je puta sigurniji od osobnog prijevoza
- zauzima puno manje prostora nego osobni prijevoz

Park & Ride sustav je jedan od najjednostavnijih načina smanjenja broja vozila u središtu grada. Temelji se na slijedećem principu: izgradnja parkirališta uz terminale javnog prijevoza i uz glavna stajališta na kojem vozači koji dolaze iz okolice grada ili perifernih područja, parkiraju svoje automobile te javnim gradskim prijevozom nastavljaju putovanje do centra grada. Na taj način se direktno utječe na smanjenje broja automobila i središtu grada, a ujedno se rješava i problem nedostatka parkirnih mjesta u gradskim jezgrama. Park & Ride parkirališta su uglavnom besplatna. Da bi ovaj sustav učinkovito funkcionirao potrebno je unaprijediti kvalitetu javnog gradskog prijevoza, a to prije svega podrazumijeva povećanje prosječne brzine vožnje. Najefikasnije rješenje za tu svrhu je onemogućavanje kretanja osobnih automobila unutar trake za javni prijevoz. To se može postići gradnjom fizičke barijere koja se proteže po žutoj traci. Još bolje rješenje je potpuna izdvojenost trase.

Vožnja biciklom jedan je od najraširenijih oblika rekreacije u svijetu, a velik broj ljudi koristi bicikl kao svakodnevno prijevozno sredstvo za odlazak na posao. Vožnja biciklom pozitivno utječe na opće zdravlje, smanjuje rizik od najčešćih bolesti današnjice: bolesti krvožilnog sustava i karcinoma, šećerne bolesti, a pomaže i u borbi protiv stresa i depresije. Sustavi javnih bicikala primjenjuju se u gradovima u cilju proširenja i integriranja biciklizma u multimodalne transportne sustave. Intermodalni biciklizam odnosi se na komponentu intermodalnog transporta. Sustav javnih bicikala povećava

mobilnost na području grada učinkovitim obogaćivanjem usluge javnog gradskog prijevoza iznajmljivanjem bicikala.

Prednosti za grad:

Udaljenosti do 5 kilometara automobil pređe prosječno za 9 minuta, dok vožnja autobusom, tramvajem ili podzemnom željeznicom iziskuje prosječno 23 minute. Jednaku udaljenost bicikl prijeđe za tek nešto više od 10 minuta. Što se tiče putovanja preko 5 kilometara, biciklom ili skuterom je potrebno otprilike jednako vremena kao i automobilom. Vožnja biciklom do udaljenosti od 7,5 kilometara se pokazala u prosjeku kao brža varijanta nego putovanje autobusom, tramvajem ili podzemnom željeznicom. Radi se o vremenu putovanja koje se mjeri "od vrata do vrata", a podatke je prikupio i obradio nizozemski Centralni ured za statistiku.

Veće korištenje bicikala u gradovima može ponuditi prednosti koje su uglavnom povezane s kvalitetom života, kvalitetom okoliša i dugoročni, uštedama kroz:

- Manji broj vozila u prometu, jer sve više stanovnika odabire bicikl kao način prijevoza na posao;
- Povećana privlačnost javnog prijevoza za putnike, ako kombinacija javnog prijevoza i bicikala bude dostupna;
- Općenito poboljšavanje kvalitete života u gradovima, primjerice manje zagađenje zraka, manja buka, ljepše javne površine;
- Ušteda prostora na cesti i na parkiralištima, a time i smanjenje ulaganja u prometnice te mogućnost drugačijeg korištenja javnog prostora;
- Smanjenje prometa će povećati atraktivnost gradskih središta, gdje javni prostor postaje dostupan za smještaj i trgovine, kulturu i razonodu;
- Smanjenost propadanja povijesnih spomenika i smanjeni troškovi održavanja, primjerice, rjeđe čišćenje;
- Manje investicije i troškovi za tijela javne vlasti (parkirališta, održavanje, nova infrastruktura itd.).

6.2. PRIMJERI MJERA ZA SMANJENJE ZAGAĐENJA ZRAKA I OKOLIŠA U SVIJETU

Na svjetskoj razini postoji više načina i mjera za smanjenje zagađenja zraka i okoline u gradovima i naseljenim mjestima. Neke od njih su niže navedene:

- BRT sustav u Bogoti

Prijevozni sustav baziran na autobusu, TransMilenio je projekt koji je napravio najviše za poboljšanje lokalnog prijevoznog sustava u Bogoti. Sustav broji više od 1 400 000 dnevnih putovanja; u prosjeku glavna linija preveze više od 45 000 putnika po satu. U vršnom vremenu taj broj iznosi više od 70 000 putnika. Korisnici tog sustava godišnje uštede 223 sata u prijevozu. Cilj je bio da do 2015.g. TransMilenio prevozi više od 80% stanovnika cijelog grada.

Maksimalno popunjeni autobusi imaju veliku prednost u učinkovitosti prijevoza putnika u usporedbi sa automobilima. Ta mjera je podigla energetske učinkovitost u Bogoti, a u isto vrijeme smanjila prometno zagušenje.

- ograničenja parkinga

Neke od lokalnih vlasti ograničavaju maksimalni kapacitet parkinga na određenim lokacijama ili unutar određenih područja. To destimulira upotrebu neučinkovitih automobila i potiče upotrebu učinkovitijeg javnog prijevoza. Grad Portland je 1975.g. postavio maksimalan kapacitet od 40 000 parkirnih mjesta. Taj broj se povećao na 44 000 mjesta do 1980.g. i opet se povećao 1990.g. Grad je zadovoljan sa parkirnom politikom koja je povećala upotrebu javnog prijevoza do 48% sredinom devedesetih.

- ograničenje upotrebe registarskih pločica

Ograničavanje upotrebe registarskih pločica može biti jako uspješno u namjeri da se što veći broj korisnika automobila prebaci na učinkovitije načine prijevoza. Mexico City koristi plan koji zabranjuje upotrebu automobila u određenom dijelu grada sa registracijskim pločicama koje završavaju sa jedan i pet ponedjeljkom, dva i šest utorkom i tako dalje tijekom cijelog petodnevnog radnog tjedna. Bogota koristi plan prema kojem 40% privatnih vozila ne može voziti u gradu između 7,00 h - 9,00 h i 17,30 h - 19,30 h prema određenom broju registarske pločice.

- naplata cestarine

Najstariji i vjerojatno najpoznatiji model je Model naplate cestarine u Singapuru. Prema tom modelu naplaćuje se cestarina vozilima na određenim mjestima i tijekom vremena kada se procjenjuje da ta vozila stvaraju najveće zagušenje. Godine 1975. udio ljudi koji su koristili javni prijevoz za odlazak na posao je iznosio 46%. Isti taj broj je 1968.g. iznosio 67%. Također dogodio se i uspješan pomak prema energetski učinkovitijim načinima prijevoza. Singapurski transportni sustav je značajno unaprijeđen.

- Car Free Day u Bogoti

Još 2000.g. gradonačelnik Bogote i međunarodna ekološka organizacija donijeli su odluku za prvi službeni dan bez automobila (Car Free Day). Na taj dan gotovo milijun privatnih vozila u gradu je prestalo s vožnjom na trinaest sati, ostavljajući ulice slobodne za građane da pješake ili voze bicikl. 75% građana Bogote je koristilo javni prijevoz, zagađenje zraka i buka su značajno smanjeni i po prvi puta u tri godine nije bilo teških prometnih nesreća. Taj se dan pokazao uspješnim i jako popularnim, te se sada održava svake godine.

Poboljšanja sustava javnog prijevoza mogu potaknuti izmjenu modaliteta, te pritom povećati energetsku učinkovitost. Kvalitetan sustav javnog prijevoza je onaj koji je atraktivan, pristupačan i pouzdan. Povećanjem frekvencije usluga potiče se korištenje javnog prijevoza. Sustav javnog gradskog prijevoza može sadržavati različite tipove prijevoza. Koji sustav je najprikladniji za određeni grad ili za određenu liniju ovisi o više faktora koji uključuju: troškove, vrijeme izgradnje, kapacitet putnika i strukturu grada. Sustav brzog autobusnog prijevoza nudi alternativu tračničkim sustavima i pokazao se vrlo uspješnim. Troškovi izgradnje su manji i zahtijevaju manje vremena za izgradnju, takvi sustavi također nude i veću fleksibilnost. Svi primjeri koji su navedeni u ovom poglavlju pokazali su se uspješnima. Potaknuli su korištenje javnog prijevoza, smanjili upotrebu automobila, a samim time smanjili zagušenje i zagađenje zraka dok se pritom povećala energetska učinkovitost i sigurnost u prometu.

7. ZAKLJUČAK

Kako bi se riješio problem prometnog zagušenja pa tako i njegovih nusprodukata, odnosno zagađenja zraka i buke nužno je odabrati odgovarajući pristup za rješavanje problema. Postoje dva međusobno suprotstavljena pristupa kao moguće rješenje. Prvi uključuje prilagodbu postojećeg okruženja rastućem prometnom opterećenju i izgradnju adekvatne prometne infrastrukture, prije svega nove ceste, parkirališta i garaže. Međutim takav pristup ima i određene nedostatke, često uzrokuje gubitak javnih površina te rušenje privatnih kuća, zgrada ili drugih objekata.

Druga metoda prilagođava promet prostoru, pokušava upravljati prometnom potražnjom sa svrhom očuvanja prostora primjenom odgovarajućih strategija planiranja prometa. U te strategije pripadaju: prostorno planiranje, razvoj i poboljšanje javnog prijevoza, razvoj biciklističkog prometa, parkirni menadžment te upravljanje prometnom potražnjom. Osim toga važno je odabrati adekvatan oblik javnog prijevoza kako bi se potrošnja energije i zagađenje zraka smanjili na najmanju moguću mjeru.

Treba težiti upotrebi električne energije umjesto klasičnih dizelskih motora kako u autobusnom tako i u željezničkom prometu. Nove sustave treba graditi ispod ili iznad razine zemlje kako bi se maksimalno iskoristio prostor.

Nužno je provesti određene mjere i restrikcije kako bi se smanjila potrošnja energije i zagađenje zraka, te odabrati najefikasnije oblike javnoga prijevoza kako bi se smanjila upotreba automobila, zadržala mobilnost i održivost postojećeg prometnog sustava. Potrebno je omogućiti intermodalni transport koji može skratiti vremena putovanja i rasteretiti središta grada od automobila.

Također potrebno je potaknuti svijest ljudi da prilikom putovanja u centar grada ne koriste privatni automobil već javni prijevoz i bicikl. Ovdje veliku ulogu ima i gradska uprava koja ima zadaću da alternativnim oblicima prijevoza maksimalno podigne kvalitetu usluge i atraktivnost kako bi bili privlačni što većem broju građana.

LITERATURA

- [1] Nacionalna zaklada za razvoj civilnoga društva: Usporedba zagrebačkog prometnog sustava s prometnim sustavima europskih gradova [http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelenakcija.production/zelenakcija/document translations/517/doc_files/original/usporedba_prometnog_sustava zagreba i eu-gradova.pdf?1270310425](http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelenakcija.production/zelenakcija/document%20translations/517/doc_files/original/usporedba_prometnog_sustava_zagreba_i_eu-gradova.pdf?1270310425) 5.8.2015.
- [2] Legac Ivan: Gradske prometnice, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
- [3] Golubić Jasna: Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
- [4] GTZ, Land Use Planning and Urban Transport
<https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAAahUKEwjHy8ywkKbHhAhXHvBoKHZZJC1Y&url=http%3A%2F%2Fwww.sutp.org%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F25-2a%3Fdownload%3D31%3A2a-lup-en&ei=rJbMVcfFBMf5apaTrbAF&usg=AFQjCNHT3-Sb-FIBFIqP1G8HNalE-38wrg>
- [5] Barcelona TRAM <http://www.tram.cat/en/the-tram/advantages/> 12.7.2015.
- [6] Stipetić A., Crnarić T.,: Prednosti željezničkog prometa u urbanim prostorima
https://bib.irb.hr/datoteka/260254.stipetic_paper.pdf 10.7.2015.
- [7] Štefančić Gordana: Tehnologija gradskog prometa 2, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
- [8] BMZ, Urban Transport and Energy Efficiency
http://www2.giz.de/wbf/4tDx9kw63gma/SUT_module5h.pdf 5.7.2015.
- [9] HKL, Metro Transport and Environment
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/a3578580409b014e8468b43ce15fc85f/metro_eng_web.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=a3578580409b014e8468b43ce15fc85f 5.7.2015.
- [10] Štefančić Gordana: Tehnologija gradskog prometa 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
- [11] Sršen, M.: Utjecaj cestovnog prometa na okoliš i mjere zaštite, Suvremeni promet, br. 3-4, HZDP, Zagreb, 2002.
- [12] BMZ, Noise and its Abatement
<https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAAahUKEwiuwafJkKbHhAhXJ1hoKHdwIDGk&url=http%3A%2F%2Fwww.sutp.org%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F50-5c%3Fdownload%3D100%3A5c-noisen&ei=35bMVe7VNsmta9yRsMgG&usg=AFQjCNFYIvgl0gSPtS3ub3gRh5q7-T3NtQ>

POPIS KRATICA

PAJ	putnička automobilska jedinica
MWH	(Mega Watt Sat) mjerna jedinica za snagu ekvivalentna milijunu Watta
GWH	(Giga Watt Sat) mjerna jedinica za snagu ekvivalentna milijardi Watta
BRT	(Bus Rapid Transit) brzi autobusni prijevoz
ha	hektar, mjerna jedinica za površinu

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prostorna potreba različitih oblika prijevoza u različitim operativnim uvjetima .	4
Tablica 2. Usporedba svojstava tramvajskog prijevoza sa ostalim prijevoznim sustavima..	7
Tablica 3. Eksploatacijske značajke tračničkih sustava	8
Tablica 4. Potrošnja energije prema načinima putovanja.....	11
Tablica 5. Potrošnja goriva pružnih motornih vozila u Hrvatskoj	12
Tablica 6. Potrošnja energije i vode metroa u Helsinkiju (2009.g.).....	17
Tablica 7. Emisija onečišćivača u željezničkom i cestovnom prometu	19
Tablica 8. Usporedba mogućih mjera protiv buke	27

POPIS SLIKA

Slika 1. Usporedba angažiranih površina za istovremeni prijevoz 1000 putnika.....	2
Slika 2. Potreban prostor za parkiranje jednog motornog vozila	3
Slika 3. Prometna površina gradske željeznice i ceste jednake prijevozne moći.....	5
Slika 4. Potreba za površinom tla po prevezenoj osobi u željezničkom i tramvajskom prometu u odnosu na cestovni promet.....	6
Slika 5. Specifična potreba energije po osobi po kilometru	15
Slika 6. Udaljenost koju je moguće prijeći sa 1 litrom goriva	16

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Intenziteti energije prema načinima prijevoza	10
Grafikon 2. Utrošak energije po jedinici duljine za različite načine kretanja	14