

MARIN VRANIĆ, dipl.inž.
Fakultet prometnih znanosti
Zagreb, Vukelićeva 4

Prometna tehnika
Pregledni članak
UDK: 539.61 : 629.4
Primljeno 27.03.1991.
Prihvaćeno: 23.03.1992.

ADHEZIJA U ŽELJEZNIČKIH VUČNIH VOZILA

SAŽETAK

U ovom radu iznijeti su čimbenici utjecajni na koeficijent adhezije, kao što su tekućine, brzina kretanja, nametnuto klizanje, prisutnost čestica, materijal kočnih papučica, sile vođenja i drugi. Spoznaja o veličini utjecaja pojedinih čimbenika omogućuje i adekvatno unapređenje korištenja raspoložive adhezije. Ovdje se objašnjavaju metode i uređaji koji to omogućuju. Neki iskustveni rezultati prikazuju se dijagramski. Također se daju empirijski izrazi po kojima se računaju koeficijenti adhezije pri izračunavanju performansi vučnih vozila.

1. UVOD

Fenomen adhezije predstavlja glavno ograničenje za povećanje vučne i kočne sile pri malim i srednjim brzinama. U prošlosti to nije bio slučaj, ali povećanjem specifične snage, posebice u električnih vučnih vozila, problem adhezije je postao izražajan. Istraživanjima je uočeno mnogo čimbenika utjecajnih na adheziju, a iz njih su proizišle metode za bolje korištenje potencijalne adhezije i metode za poboljšanje uvjeta adhezije.

2. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA ADHEZIJU

Adheziju karakterizira koeficijent adhezije ψ koji je definiran kao odnos maksimalne tangencijalne sile i opterećenja kotača. Veza između kotača i tračnice općenito se izražava formulom:

$$F = \psi \cdot G$$

gdje je F maksimalna tangencijalna sila koja je prenesena od kotača na tračnice, a G opterećenje kotača. Koeficijent adhezije ψ nije konstantan i ovisi o mnogim čimbenicima.

2.1. Utjecaj tekućina na adheziju

Tekućina potpuno mijenja stanje kontakata između kovi- na. Na točkama na kojima je debljina sloja tekućine deblja od hrapavosti na kovini, otpor uslijed mehaničkog trenja zamjenjuje se mnogo manjim otporom uslijed internog trenja tekućine. U onim točkama u kojima je sloj tekućine dostatno tanak da može ispariti pod pritiskom kotača, otpor trenja je jednak otporu suhe tračnice, a mogao bi se čak i povećati s obzirom na to da isparivanje oduzima određenu količinu topline. Brzina vlaka i klizanja imaju određenu ulogu, jer utječu na debljinu tekućine i na prijenos topline odnosno na vrijeme isparivanja.

Ovisno o okolnostima (debljini sloja tekućine, viskozitetu, temperaturi, brzini, klizanju, hrapavosti površine), prisutnost tekućine utječe na adheziju na različite načine. U vlažnim tunelima ili na mostovima gdje su tračnice postavljane bez tucanika adhezija je često mala. Prva osovina nailazi na lošije stanje te će njen prolaz imati učinak čišćenja površine pa će koeficijent adhezije u sljedećih kotača biti nešto veći. Pri pljuskovima koji traju kratko adhezija će biti nepovoljna, a ako pljusak traje dovoljno dugo da očisti tračnice, adhezija će biti veća. U prvih vlakova u ranim satima često se sreću povoljni adhezijski uvjeti, a to se objašnjava postojanjem površinskog sloja vlage koji je toliki da ne sprečava kovinski kontakt već uslijed isparivanja apsorbira dostatnu količinu topline i povećava adheziju. Za vrijeme mraza, leda ili snijega, posebice u skandinavskim zemljama, sreću se vrlo slabi adhezijski uvjeti. Može se dogoditi da naslaga čvrstog snijega unutar tračnica uzrokuje manji kontaktni pritisak.

Utvrđeno je da je maksimalna tangencijalna sila na mokrim tračnicama popraćena znatno većim klizanjem nego na suhim tračnicama.

Tračnica, koja je naizgled sasvim čista, obično je prekrivena filmom masnoće debljina kojega je nekoliko desetaka molekula oksidiranog ulja, vode i ostalih nečistoća. Lokomotive puštaju ulje i naftu po tračnicama, gdje se nakon isparivanja kondenzira. Kotači razmazuju ove naftine mrlje po tračnicama u sve tanje i tanje filmove dok eventualno ne nestanu karbonizacijom i djelomično mehaničkim habanjem. Češće, naftni film oksidira na zraku i svjetlu, jer pritisak kotača pogoduje kemijskim reakcijama i eventualno oblikuje vrlo tanki adhezivni masni film. Iz toga proizlazi da su kemijske značajke nafte, posebice one koje pogoduju adheziji, bitnije od viskozitetu. Kada se na tračnici nalazi tanki naftni film, adheziju znatno reducira vlaga. Testovima je utvrđeno da apsolutno čiste tračnice osiguravaju koeficijent adhezije od 0,6 do 0,7, a naftni film debljine od dvije do deset molekula reducira koeficijent adhezije na 0,2 ili čak i niže. Za deblji naftni film koeficijent adhezije je konstantan i iznosi 0,16.

2.2. Utjecaj štetnih industrijskih proizvoda

Svako onečišćenje tračnica (cementom, ugljenom prašinom ili drugim proizvodima industrijskih uređaja u blizini) nepovoljno utječe na adheziju, posebice ako je toliko da prekida kontakt između kotača i tračnice.

Tanki i suhi sloj rđe može povećati adheziju, dok deblji, a posebice vlažni slojevi uzrokuju pad adhezije.

Lišće ujesen je najštetnije onečišćenje. Ono se može nataložiti ispod kotača, lomi se i uslijed vlage prelazi u ljepljivu smjesu koja se opet razmazuje po drugim dijelovima tračnice.

2.3. Utjecaj kovinskih i pješčanih čestica

Analizom sastava tankog, masnog i adhezivnog filma, koji pokriva naizgled čistu tračnicu, mogu se pronaći vrlo fine čestice željeza, željeznog oksida i željeznih karbida (do 2×10^{-5} g/cm² na čistim tračnicama i do 40×10^{-5} g/cm² na masnim tračnicama). Zbog vrlo malih dimenzija tih čestica (nekoliko mikrona), one predstavljaju znatnu površinu. Čestice su zagađene naftom te će najviše oko 10% masnog filma (na relativno čistim tračnicama) biti u kontaktu s kovinom tračnice. Prisutnost takvih čestica povećat će adheziju, i to bolje što su čestice finije.

U slučajevima kada ima puno nafte, unatoč prisutnosti čestica, još uvijek ima nafte koja pokriva kovinu tračnice, adhezija postaje nepovoljna. Prisutnost čestica kovina ili pijeska na krajnje masnim tračnicama ima vrlo mali utjecaj.

Općenito, vlaga umanjuje utjecaj ovih čestica na naftni film, dok na čistim, ali masnim, tračnicama one mogu povećati vrijednost koeficijenta adhezije.

2.4. Utjecaj klizanja

Kretanje kotača uvijek je popraćeno nametnutim parazitskim kretanjima.

2.4.1. Koničnost kotača

Kontaktna površina koničnoga kotača ako kotač nije izložen tangencijalnoj sili, izložena je rotacijskom kretanju oko središta te površine, što se vidi ako se kutna brzina rastavi na komponente. Ova rotacija dobiva oblik jedne površine koja klizi po drugoj.

Ako se, pri istoj kutnoj brzini, kotač izloži tangencijalnoj sili, pojavit će se klizanje u uzdužnom smjeru (sl. 1).

2.4.2. Razlika između promjera kotača

Ako promjeri kotača istoga kolnog sloga nisu jednaki, bit će različita njihova obodna brzina. Isto se dešava ako kolni slog nije u centralnom položaju u odnosu na kolosijek. U oba

slučaja pojavljuje se zakretni moment između kotača. Zakretni moment prati klizanje koje je proporcionalno kontaktnim površinama dok, eventualno, ne počne oscilirajuće proklizivanje ("slip-stick" kretanje) i ne dosegne se maksimalna tangencijalna sila. Tada će se klizanje povećati dok ne postigne vrijednost koja odgovara geometrijskim uvjetima.

2.4.3. Zavoji

Kada bi se kolni slog i mogao postaviti radijalno, razlikuju se putovi koje svaki kotač treba prijeći, te se uspostavlja torzijsko naprezanje i klizanje. Budući da je kolni slog uvijek ili dio okretnog postolja ili glavnog okvira, on će se morati kretati kroz zavoj pod danim određenim kutom u odnosu na radijalni položaj.

Pod utjecajem sile koja djeluje između kolosijeka i grebena kotača (bandaže), prednji vanjski kotač će kliziti u poprečnom smjeru. Zbog toga klizanja će, preko osovine koja će biti opterećena na savijanje, doći do stanovitoga klizanja drugoga kotača.

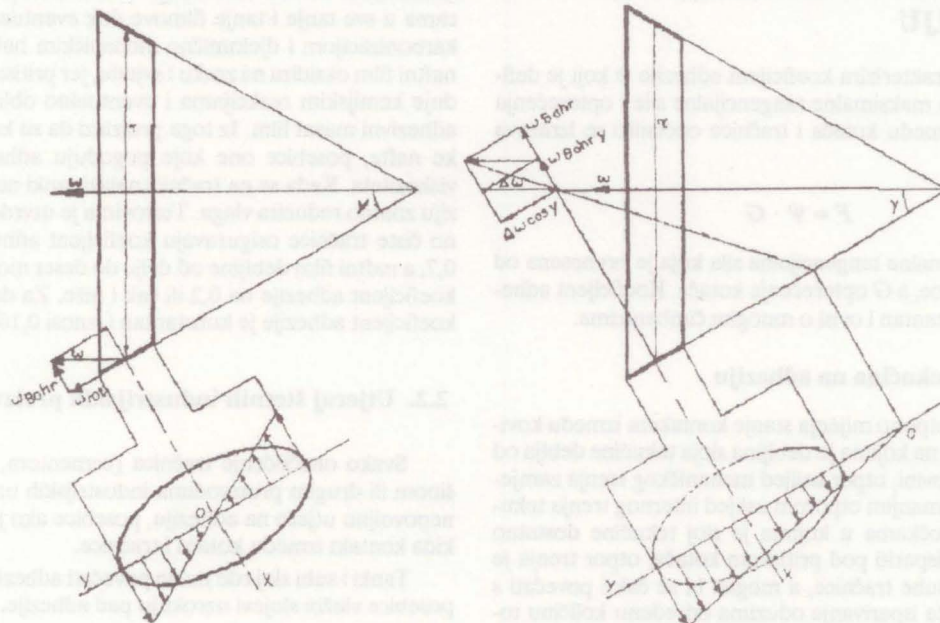
2.4.4. Ljuljanje

Slična nametnuta klizanja koja se pojavljuju pri prolasku kroz zavoj, doduše u manjoj mjeri, izaziva ljuljanje koje postoji čak i na ravnom kolosijeku.

2.4.5. Utjecaj nametnutoga klizanja na prijenosnu vučnu ili kočnu silu

Djelovanjem vučne ili kočne sile pojavljuje se uzdužno klizno kretanje koje se vektorski zbraja s nametnutim kliznim kretanjem. Rezultantno klizno kretanje, za svaki kotač posebno, određuje tangencijalnu silu koja se može prenijeti.

Maksimalna vučna i kočna sila je uzdužna komponenta ove prijenosne tangencijalne sile, a niža je od maksimalne bez kliznoga kretanja, jer pada s kutom koji rezultantno klizno kretanje zatvara s uzdužnim smjerom. Rezultantno klizno kretanje nije isto za oba kotača jednoga kolnog sloga.



Slika 1. Klizanje uzrokovano koničnošću kotača

2.5. Utjecaj sile vođenja

Sile vođenja koje djeluju između grebena kotača (bandaže) i tračnice djeluju na adheziju jer,

- uzdužna komponenta otpora trenja, koja odgovara sili vođenja, izravno se zbraja s tangencijalnom silom te tako povećava silu adhezije,
- vertikalna komponenta otpora trenja, koja odgovara sili vođenja, kao i vertikalna komponenta same sile, uzrokuju prijenos težine dalje od kotača i smanjuju adheziju.

Smanjenje adhezije uzrokovane ovom silom ovisi o: polumjeru kotača, koničnosti kotača, vezi između kolnih slogova, obliku grebena kotača, obliku tračnice i o brzini vlaka.

2.6. Utjecaj materijala kočne papuče i hrapavosti površine kotrljanja kotača

Kočne papuče od ljevenog željeza povoljno utječu na adheziju. One skidaju nečistoću i naftu s površine kotrljanja kotača na način da ih spale, ali tako da još uvijek ostanu male čestice željeza, željeznog oksida ili željeznoga karbida koji povećavaju adheziju. Uz to uzrokuju i određenu hrapavost površine kotrljanja kotača.

Kočne papuče od miješanog materijala mogu na površini kotača i na tračnicama ostaviti film proizvoda s malom adhezijom.

Disk-kočnice ne čiste kotrljajući površinu kotača te se nafta na taj način ne karbonizira. Stoga se na neke lokomotive montiraju dodatne kočne papuče od ljevenog željeza radi povećanja adhezije.

Mišljenja o utjecaju hrapavosti površine kotrljanja kotača se razlikuju. Collins i Pritchard smatraju da je ta hrapavost uvijek puno manja od debljine naftnog filma koji je uvijek prisutan i o kojemu adhezija najviše ovisi.

3. SREDSTVA ZA UNAPREĐENJE ADHEZIJE I NJENOGA KORIŠTENJA

3.1. Poboljšanje nepovoljnih uvjeta adhezije

3.1.1. Posipanje pijeska

Pijesak je još uvijek najčešće rabljeno sredstvo. Da bi pijesak bio djelotvoran, mora zadovoljiti neke zahtjeve s obzirom na granulometriju, sastav, stupanj vlage i još neke parametre.

Pjescarenje ima i niz nedostataka:

- mala djelotvornost pri velikim brzinama, jer se pijesak nestigne nataložiti između kotača i tračnice,
- pri mrazu, snijegu te lišću nema učinka i može čak biti i beskorisno,
- ako je pijesak vlažan ili nekvalitetan, pojavljuju se problemi s uređajima za pjescarenje,
- povećava se habanje tračnica i nekih dijelova lokomotive,
- pretjerana uporaba može oštetiti električne instalacije za kontrolu skretanja, križanja i signalnih uređaja,
- adekvatna priprema pijeska je skupa.

Preporučljivo je zato koristiti pijesak samo na onim mjestima gdje postoje loši adhezijski uvjeti.

3.1.2. Obrada tračnica kemijskim deterdžentima

Na nekim dionicama, gdje su adhezijski uvjeti posebno loši, primjenjuju se kemijski deterdženti. U tu svrhu se ko-

riste sredstva koja su dostatno aktivna da otope i uklone nečistoću, a ne ostavljaju masni film na tračnicama. Najbolje rezultate daju proizvodi s etilkaprilatnom i natrijmetasilikatnom otopinom.

Deterdženti se nanose distributorima montiranim na lokomotivu ili uzduž pruge na mjestima gdje su uvjeti posebno loši. Prednost se daje distributorima postavljenima uzduž kolosijeka koji se aktiviraju automatski osovinskim pritiskom pri prolazu lokomotive.

3.1.3. Obrada kolosijeka električnim lukom ili plamenom pod inertnim plinom

Nafta i ostale nečistoće s tračnica mogu se odstraniti električnim lukom. Elektrode s pratećom opremom za napajanje i upravljanje mogu se montirati na vozilo kojim se onda jednom ili nekoliko puta prolazi dionicom sa slabom adhezijom. Takvom obradom sačuva se adhezija nekoliko dana. Postupkom se znatno poboljšava adhezija, međutim, zahtijeva veliku električnu snagu, a popraćen je bukom, smetnjama na kolosiječnim krugovima, telefonskim vezama i radiofonskim komunikacijama.

Nečistoća se može otkloniti obradom kolosijeka s pomoću plamena pod inertnim plinom. Primjenom ove metode izbjegavaju se štetne popratne pojave koje se pojavljuju pri obradi električnim lukom.

3.1.4. Mehaničko čišćenje jako zagađenih tračnica

Na jako zagađenim tračnicama navedenim se postupcima ne može poboljšati adhezija. To se događa kada masnoća, ugljena prašina ili cement stvore jedan izuzetno adhezivni sloj. Tada se koriste kovinske četke ili mlaznice s vodom ili parom. Ova sredstva sama po sebi ne osiguravaju dovoljnu adheziju, ali odstranjuju veći dio zagađenja.

3.2. Sredstva za suzbijanje lošega korištenja potencijalne adhezije

Mjere koje treba poduzeti za sprečavanje lošega korištenja potencijalne adhezije:

- a) Promjere kotača potrebno je što je moguće više održavati jednakim i to ne samo za dva kotača istoga kolnog sloga već i za sve kolne slogove iste lokomotive.
- b) S aspekta adhezije koničnost kotača treba biti što manja.
- c) Razlike između značajki "vučna sila/brzina" različitih vučnih motora iste lokomotive trebaju biti što manje.
- d) Broj startnih stupnjeva treba biti što veći, a najpovoljnija je kontinuirana kontrola vučne sile (tiristorska regulacija).
- e) Svaka mjera koja reducira ljuljanje ili kut naleta između kolnog sloga i tračnica u zavoju pogodovat će korištenju adhezije. Mali hod između kolnog sloga i kolosijeka također pogoduje adheziji.
- f) Sve mjere za reduciranje vertikalnih dinamičkih pomicanja tijela vozila i okretnih postolja pogoduju korištenju adhezije.
- g) Budući da je jedan od najštetnijih čimbenika za korištenje adhezije nejednaka raspodjela vertikalnih opterećenja, svaka mjera koja sprečava prijenos težine pogodovat će adheziji. Za kompenziranje prijenosa težine potrebno je ili dodatno opteretiti kotače (npr. pneumatskim ili hidrauličkim cilindrima) ili prilagoditi vučne sile prijenosu težine. Primjenom kočnice moguće je izbjeći redukciju vučne sile.

3.3. Mjere za ublaživanje posljedica premašenja adhezijskog limita

Lokomotive koje dopuštaju stanovito premašenje adhezijskog limita bez progresivnog proklizivanja omogućuju maksimalno korištenje adhezijskog limita, a na lokomotivama u kojih postoji vjerojatnost da će se pojaviti progresivno proklizivanje čim se premaši adhezijski limit može doći do oštećenja te je potrebno da ostanu dovoljno ispod limita adhezije.

Za ublaživanje posljedica primjenjuju se brojna rješenja.

3.3.1. Strukturalne značajke

Elastični pogoni i visoke vrijednosti momenta inercije setova kotača i armature motora povećat će mogućnost ponovnog uspostavljanja normalne adhezije nakon premašenja njene maksimalne vrijednosti.

3.3.2. Ravnotežna veza između induktora paralelno spojenih motora

Dodavanjem, između induktora paralelno spojenih motora, poprečne veze s armature strane, magnetski tok motora koji bi mogao proklizati bit će podržan armaturnom strujom drugog motora te se klizanje sporije ubrzava. Zbog razlika između znakovitih krivulja armaturni namotaji bi se mogli izložiti jakim cirkulacijskim strujama. Da bi se izbjegnulo ovaj učinak, ravnotežne veze moraju sadržavati dostatan omski ili induktivni otpor koji pak reducira učinkovitost s aspekta adhezije. Potrebno je stoga pronaći kompromisnu varijantu.

3.3.3. Reduciranje gradijenta $\Delta U/\Delta I$ na dizelsko-električnim lokomotivama

Osjetljivost lokomotive pri premašenju adhezijskog limita ne ovisi samo o obliku značajke "vučna sila/brzina" već i o odnosu $\Delta U/\Delta I$ (promjena napona na priključcima motora/promjena struje) koji mora biti što manji.

Gradijent $\Delta U/\Delta I$ može se reducirati napuštanjem padajućeg oblika značajki koje bi zato bile popraćene znatnim povećanjem kratkoga kruga u startu ili korekcijom značajki "napon/struja" s pomoću posebnog uzbuđnog namotaja koji izravnava ove krivulje.

3.3.4. Protuklizna kočnica

Za lokomotive s ravnim značajkama progresivno se proklizivanje može izbjeći laganim kočenjem u momentu početka klizanja. Neke željeznice koriste protukliznu kočnicu u preventivne svrhe u trenutku kada se koriste glavne vučne sile. U tom slučaju kočnica se treba rabiti na mahove, tako da se startna sila ne reducira znatno, a da se pravodobno spriječi proklizivanje.

3.3.5. Protuklizni relej

Lokomotive su često opremljene i protukliznim uređajima, čija je namjena da otkriju početak klizanja, da obavijeste strojovodu o početku klizanja i da izazovu automatsko pješčenje ili automatsku primjenu protuklizne kočnice ili automatsko smanjenje vučne sile na obodu kotača. Da bi protuklizni uređaj bio djelotvoran, mora intervenirati odmah nakon početka klizanja, dok je koeficijent trenja između kotača i tračnice još uvijek dostatno velik, a kinetička energija motora i kotača još nije prevelika.

Za otkrivanje klizanja koristi se nekoliko metoda:

a) Diferencijalni relej koji uspoređuje veličinu napona (pri serijskoj vezi) odnosno struje (pri paralelnoj vezi) na priključcima motora. Nedostaci su ovih releja:

- s obzirom na razlike znakovitih krivulja motora i promjera kotača njihova osjetljivost se podešava tako da oni mogu otkriti samo izraženije klizanje. To će uzrokovati znatno zakašnjenje u aktiviranju,
- ne može se uvijek otkriti istodobno klizanje više kolnih slogova.

b) Diferencijalni releji koji uspoređuju brzine različitih pogonskih osovina bilo jednu s drugom bilo sa slobodnom osovinom. Osjetljivost ovakvih uređaja je relativno velika jer je ograničena samo razlikama između promjera kotača. Ovi releji omogućuju otkrivanje istodobnoga klizanja više osovina.

c) Uređaji (obično elektronički) za mjerenje ubrzanja svake pogonske osovine i za uspoređivanje izmjerene s maksimalnim ubrzanjem. Ubrzanje klizne osovine mnogo je veće od normalnog ubrzanja pri pokretanju, te je osjetljivost ovakvih uređaja velika.

d) Precizno mjerenje makroklizanja svake osovine. Ovom metodom se ograničuje makroklizanje na vrijednost koja je nešto iznad vrijednosti klizanja za maksimalnu tangencijalnu vučnu silu pod normalnim adhezijskim uvjetima. Zbog toga što za lošiju adheziju maksimalna vučna sila odgovara većem kliznom kretanju, ova metoda osigurava, za slučaj progresivnog proklizivanja, sigurnosnu granicu koja je veća što je adhezija slabija. Da bi se postiglo što povoljnije korištenje adhezije, uređaj se može regulirati tako da se omogući nešto veće klizno kretanje za manje vučne sile odnosno za veće brzine.

4. USPOREĐIVANJE I TUMAČENJE KRIVULJA ADHEZIJE

S obzirom na to da na adheziju utječe velik broj čimbenika, da bi se omogućilo uspoređivanje krivulja, potrebno je da one zadovoljavaju određene zahtjeve:

a) treba definirati na koje se stanje površine ta krivulja odnosi (suho, pljusak...), specificirati maksimalnu i minimalnu vrijednost otpora trenja pri brzini $v=0$, a poželjno je i mjerenje s pomoću standardnih uređaja za mjerenje,

b) da bi se krivulje mogle uspoređivati, moraju se temeljiti na jednakom tumačenju koeficijenta adhezije,

c) jedna krivulja ili jedna familija krivulja ne pruža dovoljno indikacija o raspršenosti koeficijenta adhezije. Za dobivanje najvjerojatnije vrijednosti koeficijenta adhezije ψ_r i minimalne vrijednosti koeficijenta adhezije ψ'_c ispod koje bi koeficijent adhezije pao samo uz danu vjerojatnost, potrebno je koristiti, iz dostatnog broja rezultata mjerenja, statističku metodu,

d) u načelu, značajka adhezije može vrijediti samo za jedan tip lokomotive. Ako se vrijednosti parametara, znatno utjecajnih na ψ_r odnosno na ψ'_c , jasno naznače, moguće je uspoređivati krivulje adhezije jednu s drugom te ih koristiti (uz aproksimaciju) za druge tipove lokomotiva.

S obzirom na to da većina krivulja adhezije ne odgovara ovim uvjetima, koje je teško zadovoljiti, krivulje adhezije treba uspoređivati s određenim oprezom, što ne znači da to ne može biti korisno za aproksimativnu usporedbu između različitih tipova lokomotiva te za izračunavanje performansi vlakova.

Za dobivanje koeficijenta adhezije ψ koriste se izrazi dobiveni eksperimentalno.

Tako su Curtius i Kniffler dobili izraz koji se i danas koristi:

$$\psi = \frac{\psi_0}{0.33} \cdot \left(0.161 + \frac{7.5}{(v + 44)} \right)$$

gdje je ψ_0 koeficijent adhezije pri brzini $v=0$.

Vrijednosti ψ_0 dobili su se mjerenjima i one iznose (npr. po SNCF):

$\psi_0 = 0.18$ za d.c. lokomotive sa srednjim naponom bez protukliznog uređaja

$\psi_0 = 0.25$ za d.c. motore sa srednjim naponom i protukliznim uređajem

$\psi_0 = 0.27$ za d.c. motore s punim naponom i protukliznim uređajem

$\psi_0 = 0.33$ za a.c. lokomotive s pojedinačnom kontrolom svake osovine

$\psi_0 = 0.35$ za a.c. lokomotive s monomotornim okretnim postoljem

Prema Kotheru:

$$\psi = 0.1160 + \frac{9}{(v + 42)}$$

BR koriste formulu:

$$\psi = \psi_0 \cdot \left(0.2115 + \frac{20.5}{(v + 26)} \right)$$

s time da je $\psi_0 = 0.20$ do 0.24 , a v je u (km/h).

Na slici 2. prikazane su krivulje adhezije koje se rabe u Europi.

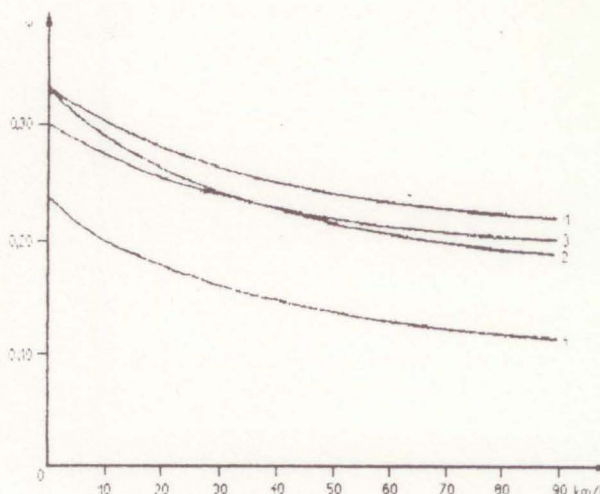
5. ZAKLJUČAK

Budući da je sila adhezije ograničujući čimbenik pri uporabi velikih vučnih sila, potrebno je za njeno što bolje iskorištenje poznavati njene utjecajne čimbenike. Istraživanja i mjerenja su pokazala koji čimbenici utječu štetno a koji povoljno na koeficijent adhezije koji obilježuje silu adhezije. Da bi se mogle primijeniti velike vučne sile, potrebno je koeficijent adhezije održati što je moguće višim, a po mogućnosti čak ga i povećati. Adekvatnim održavanjem vučnih vozila i kolosijeka te ugradbom odgovarajućih uređaja, kako u vučna vozila tako i na kolosijek, moguće je koeficijent adhezije održati dovoljno visoko i na onim dionicama gdje bi on bio nepovoljan te tako ograničavao uporabu raspoloživih vučnih sila.

SUMMARY

ADHESION IN RAIL TRACTION VEHICLES

This paper deals with some factors that exert influence upon the coefficient of adhesion in rail traction vehicles, as: fluids, speed, induced skidding, presence of particles, material of breaking pedals, forces of forward movement, etc. Knowledge of the value of influence of individual factors makes possible corresponding improvements in making use of available adhesion. The paper further discusses respective methods and devices making it possible. Some practical results are given in graphical presentation. Also, empirical equations are provided for computation of the coefficient of adhesion in the process of working out rail traction vehicle performances.



Slika 2. Krivulje adhezije koje se rabe u Europi

1. Curtius-Kniffler sa $\psi_0 = 0.33$
2. Curtius-Kniffler sa $\psi_0 = 0.30$
3. Kofler
4. BR sa $\psi_0 = 0.24$

LITERATURA

- [1] H. VERBECCK: "Present knowledge of adhesion and its utilisation". Rail International, june 1973, str. 625-735.
- [2] D. DINIĆ: Električna vuča vozova I i II. Građevinska knjiga, Beograd 1986.