

Z

ŽELJEZNICA, prometni sustav kojemu su vozila s kotačima prisilno vođena po točno određenom putu (tračnice, čelično uže). U tu definiciju nisu uključena vozila koja ne moraju biti u mehaničkom dodiru s podlogom (v. *Lebdeća vozila*, TE 7, str. 492).

Prema načinu prijenosa vučne sile željeznice se dijele na adhezijske, zupčane i žične. *Adhezijska željeznicna* je ona kojoj je za vuču vlaka dovoljna sila trenja između kotača i tračnica. U te se željeznice ubraja i *tramvaj* kao specifična gradска željeznicna (v. *Električna vuču i elektromotorna vozila*, TE 3, str. 689). *Zupčana željeznicna* primjenjuje se na strminama gdje trenje između kotača i tračnica nije dovoljno da se svladava uspon. Stoga se po sredini kolosijeka ugrađuje treća tračnica u koju zahvaćaju zupčanici lokomotive, te se tako svladavaju strme dionice pruge (v. *Lokomotive*, TE 7, str. 562). *Žične željeznicne* mogu biti stabilne ili uspijajuće (v. *Uspinjača*) i viseće željeznicne. Kabine viseće željeznicne obješene su preko hvataljki i postolja s kotačima o nosivo čelično uže, a tegli ih drugo, vučno uže (v. *Prenosila i dizala*, TE 11, str. 151).

U ovom se članku opisuju samo adhezijske željeznicne. Ostali tipovi željeznicna opisani su u navedenim člancima, a posebno je obrađen željeznički kolodvor (v. *Željeznički kolodvor*).

Počeci prisilnog vođenja prometnih sredstava datiraju još iz rimskog doba, pa su i u Istri i Dalmaciji otkriveni ostatci cesta sa željezovima u kamenoj podlozi kojima su prolazili kotači zaprežnih vozila radi što manjeg otpora pri tegljenju. Preteča tračnice nastala je u rudnicima XVI. stoljeća. Na crtežu u knjizi *Cosmographia Universalis* Sebastiana Münstera, objavljenoj 1550. u Baselu, prikazano je kako rudar u rudniku srebra Leberthal u Elzasu gura malo vozilo po tračnicama. G. Agricola (pravo ime Georg Bauer) opisuje 1556. u svom djelu *De re metalica libri XII* rudarsku kolicu prisilno vođena po drvenim gredicama. U knjizi *Voyages Métallurgiques* Gabriela Jarsa, objavljenoj 1765. u Parizu, nalazi se i crtež teretnog vagona iz jednog rudnika u Durhamu u Engleskoj (sl. 1.). Vagon je imao gotovo sve glavne dijelove kao i današnja željeznička vozila: sanduk, vozno postolje (sa željeznim kotačima koji su imali vijenac za vođenje), ručnu kočenicu i elemente za vuču, jedino nije imao odbojnike. Prve željezne tračnice imale su oblik gljive i ležale su u papučama na kamenim klesancima. Temeljni oblik današnje tračnice, koja ima glavu, vrat i široku nožicu, izradio je 1830. u Americi R. Stevens, a u Europu ju je 1836. uveo Ch. Vignoles, po kojemu je i dobila ime.

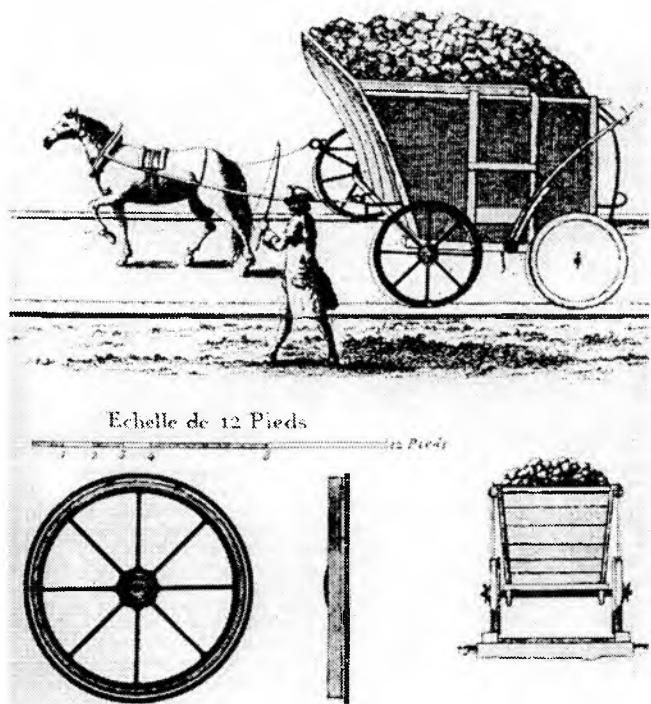
Izum parnog stroja potakao je mnoge istraživače krajem XVIII. i početkom XIX. st. da mogućnosti i snagu stroja primijene i na vučnu vozila. Prvi koji je došao na zamisao da parni stroj upotrijebi na željezničkom vozilu bio je engleski inženjer R. Trevithick. Godine 1804. njegova je lokomotiva u rudniku, na industrijskoj pruzi duljine 15,6 km, vozila vlak od 5 vagona, mase ~25 t, brzinom od 25,2 km/h.

Pojavom Engleza G. Stephensonova započinje pravi razvitak željeznicne. Stephenson već 1814. počinje gradnju lokomotiva, a upravlja gradnjom željezničke pruge Stockton – Darlington (40,2 km), koja je 1825. otvorena kao prva željeznicna javnog prometa i na kojoj vozi njegova lokomotiva *Locomotion*. Stephenson je 1826. dobio koncesiju za gradnju željezničke pruge Liverpool – Manchester. Na natjecaju za najbolju lokomotivu koja će voziti na novoj pruzi, održanoj 8. listopada 1829. u dolini Rainhill, pobijedila je Stephensonova lokomotiva *Rocket*, postigavši brzinu od 47,4 km/h, a pritom je vukla vlak mase 12,75 t. Pruga je otvorena za promet 15. rujna 1830. i imala je sva svojstva željeznicne dalekog prometa. Radovi su bili opsežni, uz gradnju visokih nasipa i dubokih usjeka te velikog broja mostova, vijadukata i tunela.

Iz Engleske se željeznicna brzo širi u druge europske zemlje. Tako je 1826. otvorena prva željeznička pruga u Francuskoj (St. Etienne – Andresieux, 22 km), a 1835. u Belgiji (Bruxelles – Malines) i Njemačkoj (Nürnberg – Fürth). Rusija gradi prvu prugu 1837. godine, a iste godine i Austrija (Wien – Floridsdorf).

Željeznička mreža u Hrvatskoj planirala se do 1918. iz Beča i Pešte. Godine 1836. bilo je određeno 13 željezničkih pruga koje će iz tih središta voditi u ostale krajeve monarhije. Zakon o izgradnji dvokolosiječne željezničke pruge Beč – Graz – Maribor – Ljubljana – Trst donesen je 1837., a gradnja započinje 1840. godine. Trasa vodi od Maribora preko Celja do Zidanog Mosta, kroz područje koje graniči sa sjeverozapadnim dijelom Hrvatske. Gradnja pruge napreduje postupno, tako da se i željeznički promet otvara po dionicama. Izravan promet od Beča do Trsta uspostavljen je 1857., a Ugarska tu pruga odmah povezuje s Peštom, gradeći spoj kroz Međimurje (94 km), od Murakeresztúra preko Kotoriba i Čakova do Pragerskog. Dionica Kotoriba – Čakovec – Macinec (42,3 km) otvorena je 24. travnja 1860. Taj se datum uzima i kao dan otvaranja prve željezničke pruge u Hrvatskoj.

Pripreme za gradnju prve željezničke pruge u Hrvatskoj započinju, međutim, deset godina ranije. Državno vijeće u Beču izdaje 1851. narednje Generalnoj direkciji za gradnje željeznicna da započne s pripremama za gradnju pruge savskom dolinom od Zidanog Mosta prema Zagrebu i Sisku. Trasiranje počinje 1852., a građevinski radovi 1855. godine. Nadzor gradnje obavlja A. Thomen, projektant i graditelj pruga u Alpama, a gradnju pruge preuzimaju poduzetnici braća Guido i Oskar Pongratz. Javni promet na toj pruzi otvoren je 1. listopada 1862. godine. Zagreb tako dobiva prvu željezničku prugu, koja ga povezuje s Bečom i Peštom, te s Ljubljonom i tršćanskom lukom. Duljina pruge od Zidanog Mosta do Zagreba (Južni kolodvor, danas Zapadni kolodvor) iznosi je 75,44 km, od čega na području Hrvatske 26,5 km. Dionica Zagreb – Sisak bila je duga 49,87 km, što je ukupno činilo 125,31 km. Od Siska do pristaništa na Savi kod Galjeva bio je položen kolosijek duljine 2,27 km. Tako je luka u Sisku, do koje je Sava plovna, spojena



Sl. 1. Crtež željezničkog vagona iz 1765. godine

ŽELJEZNICA

željeznicom s jadranskom lukom u Trstu. Društvo južnih željeznica preuzima odmah i gradnju pruge Zagreb–Karlovac, koju otvara za promet 1. lipnja 1865. godine.

Nakon Austro-ugarske nagodbe (1867) Ugarska sama preuzima brigu o željezničkoj mreži na svom području, koje obuhvaća i hrvatske krajeve (Primorje, središnju Hrvatsku, Slavoniju, Baranju i Srijem), izuzev Dalmaciju i Istre, koje su u nadležnosti Beča. Pošto je dovršila izgradnju željezničkih pruga predviđenih glavnim programom, Ugarska nije više imala dovoljno sredstava kojima bi nastavila izgradnju sporednih pruga, pa ju je bila prinudena prepustiti privatnom kapitalu. Tako je i u Hrvatskoj do 1918. izgrađeno mnogo takvih pruga (tabl. 1), koje su poslije na nekim prvcima pretvorene u magistralne pruge, a s gradnjom pruga nastavilo se, dakako, i poslije (tabl. 2).

Tablica 1

VEĆE ŽELJEZNIČKE PRUGE IZGRAĐENE U HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1860–1918.

<i>Pruga</i>	<i>Duljina km</i>	<i>Datum otvorenja</i>
(Pragersko)–Čakovac–Kotoriba–madžarska granica	94,0	24. 04. 1860.
(Zidani Most)–Zagreb–Sisak	125,3	1. 10. 1862.
Zagreb–Karlovac	53,0	1. 06. 1865.
(Gyékényes)–Koprivnica–Zagreb	100,8	4. 01. 1870.
(Sombor)–Dalj–Osijek	60,9	20. 12. 1870.
Osijek–Beli Manastir	32,0	20. 12. 1870.
(Pivka)–Šapjane–Rijeka	54,4	20. 06. 1873.
Karlovac–Rijeka	176,5	23. 10. 1873.
(Divaća)–Buzet–Pula	122,3	20. 09. 1876.
Kanfanar–Rovinj	21,0	20. 09. 1876.
Split–Siverić	78,9	4. 10. 1877.
Perković–Šibenik	21,6	4. 10. 1877.
Dalj–Borovo	16,0	13. 09. 1878.
Borovo–Vinkovci–Slavonski Brod	80,0	22. 11. 1878.
Vrpolje–(Šamac)	19,7	1. 01. 1879.
Sisak–Sunja–(Dobrljin)	47,7	4. 10. 1882.
(Barcs)–Pakrac	91,6	18. 08. 1885.
Suhopolje–Podravska Slatina	17,2	4. 10. 1885.
Bastaji–Končanica	12,8	4. 10. 1885.
Zaprešić–Varaždin	87,4	4. 09. 1886.
Zabok–Krapina	16,2	4. 09. 1886.
Vinkovci–Gunja	51,8	29. 10. 1886.
Varaždin–Čakovac	11,0	13. 12. 1886.
Sunja–Nova Gradiška	76,0	10. 01. 1888.
Siverić–Knin	24,0	7. 06. 1888.
Nova Gradiška–Slavonski Brod	57,0	18. 09. 1889.
Varaždin–Lepoglava	27,0	1. 07. 1890.
Lepoglava–Golubovec	6,7	5. 10. 1890.
Čakovac–Lendava	26,4	19. 10. 1890.
Borovo–Vukovar	3,1	14. 01. 1891.
Vinkovci–Tovarnik–srpska granica	73,2	11. 07. 1891.
Osijek–Našice	48,4	2. 12. 1893.
Križevci–Bjelovar	32,0	2. 09. 1894.
Našice–Nova Kapela	59,7	3. 12. 1894.
Pleternica–Požega	14,0	3. 12. 1894.
Našice–Podravska Slatina	42,8	21. 05. 1895.
Podravska Slatina–Noskovci	14,0	21. 05. 1895.
Dugo Selo–Novska	84,3	29. 11. 1897.
Banova Jaruga–Pakrac	29,6	29. 11. 1897.
Bjelovar–Mišulinovac	10,0	1. 11. 1899.
Mišulinovac–Kloštar–Katalena	12,0	4. 01. 1900.
Katalena–Virovitica	36,0	2. 01. 1900.
Vinkovci–Županja	33,4	30. 09. 1901.
Sisak, predgrade–Vrginmost	61,0	29. 07. 1903.
Osijek–Đakovo–Vrpolje	47,7	19. 10. 1905.
Vrginmost–Karlovac	40,5	27. 08. 1907.
Kloštar–Virje	15,0	9. 12. 1909.
Beli Manastir–Petrovo Selo	12,3	31. 07. 1910.
Beli Manastir–Batina Skela	27,8	31. 07. 1910.
Vinkovci–Gaboš	33,6	23. 11. 1910.
Vukovar–Ilača	25,4	22. 10. 1912.
Virje–Koprivnica	20,0	9. 11. 1912.
Bjelovar–Velika Pisanica	23,0	21. 12. 1912.
Velika Pisanica–Garešnica	23,0	11. 06. 1913.
Pavlovac Dražica–Grubišno Polje	14,9	11. 06. 1913.
Karlovac–Bubnjarci	28,7	22. 11. 1913.
Ogulin–Plaški	21,8	14. 10. 1914.
Požega–Velika	11,0	15. 12. 1914.
Zabok–Gornja Stubica	10,6	18. 06. 1916.
Plaški–Vrhovine	42,2	12. 06. 1918.

Tablica 2
VEĆE ŽELJEZNIČKE PRUGE IZGRAĐENE U HRVATSKOJ
OD 1918. DO DANAS

<i>Pruga</i>	<i>Duljina km</i>	<i>Datum otvorenja</i>
Vrhovine–Gospic	47,4	23. 03. 1920.
Gospic–Gračac	43,9	15. 06. 1922.
Gračac–Knin	57,9	25. 07. 1925.
Slavonski Brod–Tovarnik–srpska granica (2. kolosijek)	97,0	15. 12. 1928.
Novska–Slavonski Brod (2. kolosijek)	85,6	5. 02. 1929.
Krapina–(Rogatec)	19,4	16. 02. 1930.
Škrljevo–Bakar	10,1	12. 07. 1931.
Koprivnica–Varaždin	42,0	17. 12. 1937.
Zagreb–Sutla–slovenska granica (2. kolosijek)	26,7	13. 07. 1944.
(Bihać)–Knin	112,0	29. 11. 1948.
Lupoglavl–Raša	53,2	1. 06. 1952.
Savski Marof–Kumrovec	31,2	22. 12. 1956.
Kumrovec–Imčno–slovenska granica	39,5	4. 07. 1960.
Metković–Ploče	22,0	26. 09. 1966.
Knin–Kistanje	24,8	25. 01. 1962.
Kistanje–Benkovac	32,0	25. 06. 1963.
Benkovac–Bibinje	33,7	20. 03. 1967.
Sesvete–Velika Gorica	16,4	27. 11. 1968.
Drenovci–(Brčko)	8,5	5. 03. 1971.
Bizovac–Belisce	13,0	25. 12. 1971.
Ražine–Šibenik	3,0	1. 06. 1984.

Karakteristike željeznice. Željeznicu je više od jednog stoljeća bila okosnicom kopnenog prometa. Tvrdi i glatki kotači nailaze na tvrdim i gлатkim tračnicama na vrlo malen otpor kトルjanja, približno deset puta manji od otpora cestovnih vozila, što omogućuje vožnju vlakova takvih masa i duljina kakve ni za jedno kopreno prijevozno sredstvo nisu moguće. I danas, pri nagnom razvoju cestovnog i zračnog prometa, njezine su prednosti: društvena (gospodarska) rentabilnost (mali otpori, dugi vlakovi), manja specifična potrošnja energije (3 puta manja od potrošnje automobila, 5 puta manja od potrošnje zrakoplova po putničkom kilometru, 3 puta manja od potrošnje kamiona po netotonskom kilometru), relativno malen potreban prostor (3 puta manji od autoceste jednakoga prometnog kapaciteta), najmanje štetno djelovanje na okoliš (sve je veći udio električne vuće, pa je sve manje ispušnih plinova i buke), velik stupanj sigurnosti u prijevozu putnika i robe, mogućnost velikih prosječnih brzina te pouzdanost i pri vremenskim nepogodama (snijeg, magla).

Osnovna je karakteristika željeznice prisilno vođenje vozila kolosijekom mehaničkim dodirom kotača i tračnica. Tim se dodirom ostvaruje nošenje, vođenje, pogon i kočenje vozila. Trenje između kotača i tračnice relativno je maleno, pa je željeznicu vrlo osjetljiva na veće uspone. Zbog svoje velike mase i velikih brzina imaju željeznički vlakovi i veliku kinetičku energiju. Za poništenje te energije pri zaustavljanju vlaka kočenjem na raspolažanju je relativno malena sila trenja između kotača i tračnica. Posljedica je toga dugi zaustavni put od više stotina, pa i nekoliko tisuća metara, što ovisi o brzini i masi vlaka. Dugi zaustavni put ne omogućuje vožnju na vid, kao što se vozi u cestovnom prometu, gdje je vidljivost veća od zaustavnog puta. Stoga su željezničke pruge opremljene signalno-sigurnosnim i telekomunikacijskim uređajima koji služe za automatizaciju i sigurnost željezničkog prometa (v. *Signalno-sigurnosna tehniku*, TE12, str. 64).

Prema namjeni se razlikuju željeznicu javnog prometa i željeznicu koje ne služe javnom prometu. Željeznicu javnog prometa dostupne su svakome i imaju objavljen vozni red i cjenik. To mogu biti željeznicе bliskog prometa i željeznicе dalekog prometa. Željeznicе bliskog prometa obuhvaćaju brze gradske i priogradske željeznicе (nadzemne i podzemne), cestovne željeznicе (tramvaj), te male željeznicе (turističke i sl.). Željeznicе dalekog prometa čine najveću skupinu željeznicu, a njihove se pruge dijele na magistralne pruge (glavne i pomoćne) i ostale pruge (pruge prvog reda i pruge drugog reda).

Magistralne pruge čine međunarodni magistralni pravci obuhvaćeni europskim sporazumom (AGC) o najvažnijim međunarodnim željezničkim prugama na kojima se obavlja opsežan

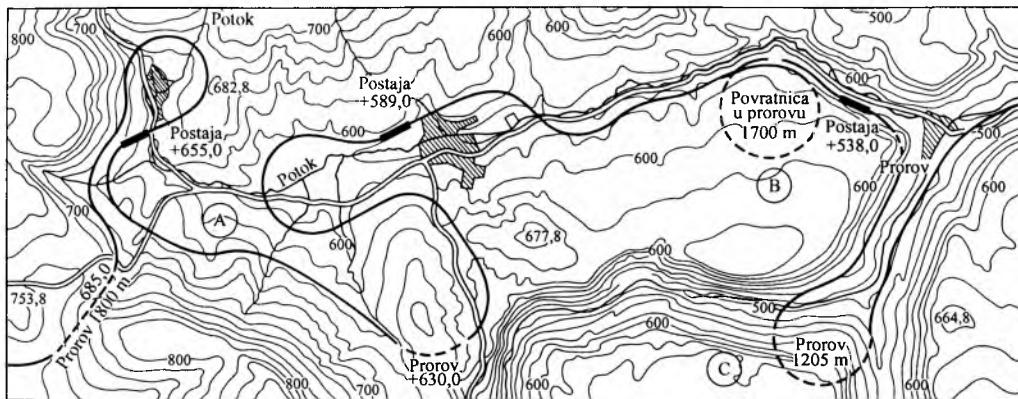
međunarodni i unutrašnji prijevoz. Te željezničke pruge nose oznaku E i broj pod kojim su uvrštene u europsku željezničku mrežu. *Pruge prvog i drugog reda* svrstavaju se prema namjeni, opsegu prometa i gospodarskoj važnosti u unutrašnjem željezničkom prometu. Na prugama prvog reda obavlja se znatan unutrašnji promet i one povezuju važnija gospodarska središta i područja. Manje važne pruge svrstavaju se u pruge drugog reda.

Željeznice koje ne služe javnom prometu obuhvaćaju industrijske željeznice (pruge), industrijske priključke (kolosijek), te radne i privremene kolosijek. Te su pruge i kolosijeci organizacijske cjeline posebnih namjena, mogu biti u vlasništvu željeznice ili privredne organizacije, a služe pretežno u gospodarstvu i industriji. Povezane su na mrežu željeznica za opće potrebe u željezničkoj postaji (kolodvoru) ili pak preko posebne primopredajne skupine kolosijeka, primjerice u industrijskim zonama, lučkim postrojenjima i sl.

VOĐENJE TRASE

Pod vođenjem trase ili *trasiranjem* željezničke pruge razumije se određivanje položaja buduće pruge u prostoru. Vođenje trase ovisi o konfiguraciji terena te o geografskim, geološkim, geomehaničkim, hidrološkim i klimatskim svojstvima područja kroz koja pruga prolazi. Uvjeti uređenja prostora zahtijevaju zaštitu prirode, posebno izvorišta pitke vode, zaštitu nacionalnih parkova, povijesnih i arheoloških lokaliteta, a u urbaniziranim sredinama bitan je i odnos željeznice prema naseljima, prometnicama, hidroenergetskim, gospodarstvenim i vojnim objektima.

Sl. 3. Produljenje trase. A zavojnice, B zaokretni tunel, C zavojnica u sporednoj dolini



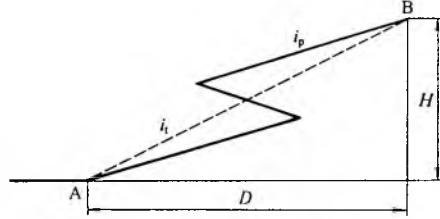
Željeznička pruga nižeg ranga, predviđena za manje brzine, prilagođuje se karakteristikama terena, dok je pruga višeg ranga, na kojoj voze vlakovi većih brzina, ispruženija, s mnogo umjetnih građevina: tunela, vijadukata, galerija, potpornih i obložnih zidova. Već prema terenu i uvjetima uređenja prostora razlikuje se slobodno, prisilno i umjetno vođenje trase.

U ravničarskim nenaseljenim predjelima, te na brežuljkastom terenu, gdje je prirodnji nagib terena manji od najvećeg dopuštenog nagiba pruge, primjenjuje se *slobodno vođenje trase*. Trasa je ispružena primjenom velikih polumjera zavoja, a građevinski su radovi relativno malog opsega (npr. pruga Zagreb–Vinkovci). *Prisilno vođenje trase* primjenjuje se u brdovitom području, gdje je nagib terena približno jednak dopuštenom nagibu pruge ili gdje je konfiguracija terena povoljna, pa se trasa bez većih objekata može prilagoditi terenu. Prisilnost vođenja trase odnosi se na objekte koji se kao prisilne točke moraju mimoći (hidroenergetski objekti, vodozaštitna područja, vojni objekti, naseljena mjesta i dr.). *Umjetno vođenje trase* primjenjuje se u teškom planinskom terenu, gdje su na malim udaljenostima velike visinske razlike, primjerice u zaleđu naših jadranskih luka. Trasa se tada mora produljiti na jednome ili na više mesta.

Produljenje trase. Radi svladavanja većih visinskih razlika pod manjim nagibom (sl. 2), trasa se pri umjetnom vođenju produljuje. Produljenje trase iznosi

$$\Delta D = H \left(\frac{1}{i_p} - \frac{1}{i_t} \right), \quad (1)$$

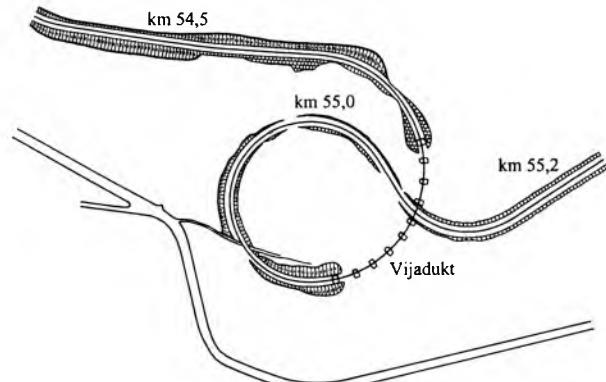
Sl. 2. Umjetno vođenje trase. i_t prosječni nagib terena, i_p prosječni nagib pruge



gdje je H visinska razlika, i_p prosječni nagib pruge (omjer visinske razlike i duljine pruge), a i_t prosječni nagib terena. Produljenje trase postiže se, već prema tehničkim elementima pruge, konfiguraciji terena i geološkim karakteristikama tla, na nekoliko načina: pomoću povratnice, zavojnice i petlje (sl. 3).

Povratnica se danas primjenjuje samo na industrijskim prugama, kada nema drugih mogućnosti za vođenje trase. Građevinski su troškovi maleni, ali je pogon složen i skup. *Lučna zavojnica* zamjenjuje povratnicu na padinama brijege, kada se trasa penje i pritom mijenja smjer za 180° . Dvostruka zavojnica (serpentina) nastaje kada trasa promjeni smjer za 360° . *Zavojnica u sporednoj dolini* primjenjuje se vrlo često u brdovitom i planinskem terenu, a katkada se tako uz povoljan nagib dobiju i kraći objekti, npr. pri prijelazu preko vodotoka. *Petlja* omogućuje da trasa načini zaokret za 360° . Pritom se uвijek dvije točke na pruzi nalaze jedna povrh druge. *Otvorena petlja* može se izvesti samo na pogodnom mjestu, npr. kada trasa prelazi iz uvalje na padinu brijege. Pruga pravi puni krug, te mostom ili vijaduktom prelazi

iznad dijela trase koji se nalazi na nižoj koti (sl. 4). *Zaokretni tunel* (tunelna petlja) primjenjuje se u uskim i strmim dolinama. Trasa ulazi u tunel, pravi krug i izlazi na padini brijege, često nedaleko od ulaza, ali na višoj koti (sl. 4).



Sl. 4. Otvorena petlja

Vođenje trase preko razvođa. Prijelaz preko razvođa rješava se otvorenom trasom ili tunelom. Povoljne okolnosti pruža onaj teren koji s obje strane gorskog lanca ima riječne doline duboko usjećene do sedla, najniže točke razvođa. Tim se prometnim pravcima putovalo od pamтивjeka, npr. prijevojima Simplon, Brenner i St. Gotthard u Alpama, pa su prikladni i za prolaz željeznice.

Sedlo (prijevoj) je prema tome prisilna točka na otvorenoj trasi željezničke pruge, a pritom i najpovoljnija točka u teškim terenskim uvjetima.

Trasa može prijeći razvođe i tunelom. Kota prijelaza (nadmorska visina) ovisi o mnogim činocima, a najviše o klimatskim uvjetima, koji će znatno utjecati na troškove pogona i održavanja pruge. Na višoj koti tunel je kraći, ali se moraju graditi prilazne rampe koje su obično s najvećim dopuštenim nagibom i u konstantnom usponu. Na trasi su česti vijadukti i tuneli u jednostranom (jednostrešnom) nagibu. Druga je mogućnost izgradnja baznog tunela umjesto dugih prilaznih rampi i kraćeg tunela. Takav tunel većinom spaja dvije doline približno iste nadmorske visine, te je najčešće velike duljine. Trasa je, međutim, tada mnogo kraća. Bazni se tuneli grade na magistralnim pravcima međunarodnog značenja, gdje se zahtijeva ispruženost trase, mali (blagi) nagibi i velike brzine.

Željezničke pruge u Hrvatskoj na pravcu Jadran–Podunavlje prelaze alpsko-dinarski planinski lanac na razvodu jadranskog i crnogorskog riječnog slijeva na prugama Zagreb–Rijeka (tunel Sljeme, nadmorska visina 836 m) i Ogulin–Split (Rudopolje, 870 m, i Malovan, 794 m). U Alpama su željeznički prijelazi na mnogo višoj koti, npr. tuneli Brenner (Austrija–Italija, 1371 m), Gotthard (Švicarska–Italija, 1155 m), Arlberg (Austrija, 1310 m), Mont Cenis (Francuska–Italija, 1295 m). Na nekim kontinentima povoljni klimatski uvjeti dopuštaju mnogo veće visine prijelaza. Najviša željezница na svijetu (4825 m) nalazi se između Čilea i Bolivije na trasi Antofagasta–Oruro–La Paz.

TEHNIČKI ELEMENTI ŽELJEZNIČKE PRUGE

Tehnički elementi željezničke pruge sastoje se od općih i osnovnih elemenata.

Opći elementi pruge (vrsta pruge i vrsta vuće) određuju se u prvom redu zakonima, pravilnicima, propisima i normama željezničkih uprava, a ako se odnose na magistralne europske pravce, onda su obvezujuće preporuke utvrđene međunarodnim sporazumima i konvencijama.

Osnovni elementi pruge (najveća dopuštena brzina i mjerodavni nagib pruge) određuju se za svaku prugu zasebno, već prema njezinu značenju i namjeni u državnoj i europskoj mreži, očekivanom prometu (prognozi prometa), gravitacijskom području (zaledu), potreboj propusnoj i prijevoznoj moći, karakteristikama terena itd.

Vrsta pruge

Pod vrstom pruge razumiju se opće karakteristike pruge koje obuhvaćaju širinu i broj kolosijeka te kategoriju pruge.

Širinom kolosijeka naziva se najmanji razmak unutrašnjih rubova tračnica, i to mjereno na mjestu koje je 14 mm ispod gornjeg ruba glave tračnice. *Normalna širina kolosijeka* u pravcu iznosi 1435 mm. Željeznice s razmakom tračnica manjim od 1435 mm nazivaju se *uskotračne* (pruge uskog kolosijeka), a one većeg razmaka *širokotračne* (pruge širokog kolosijeka). Tu je podjelu donijela Međunarodna konferencija za tehničko jedinstvo željeznica 1887. u Bernu.

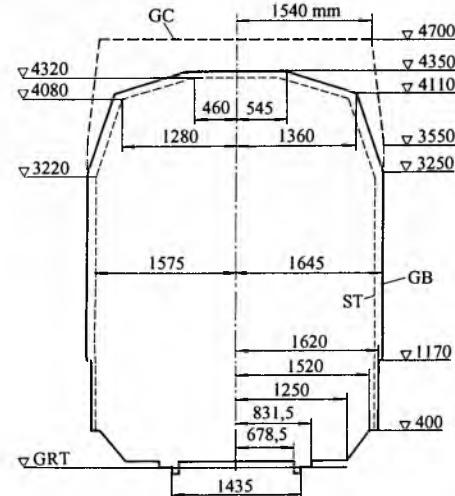
Normalna širina kolosijeka nastala je u Engleskoj pri gradnji prve pruge javnog prometa Stockton–Darlington (1825), gdje je primijenjen razmak kotača poštanske kočije, koji je iznosio 4 stope i 8,5 palaca. Stephensonova tvornica dobavljala je lokomotive europskim zemljama, pa se ta širina kolosijeka brzo proširila kontinentom, te se danas nalazi u dvije trećine svih izgrađenih pruga u svijetu. Neke su zemlje iz vojnih i strateških razloga gradile pruge s većim razmakom tračnica: Španjolska, Portugal, Čile, Argentina i Indija sa širinom od 1676 mm, a Rusija sa širinom od 1524 mm. Druge su zemlje prišle izgradnji uskotračnih pruga, jer su se te pruge mogle bolje prilagoditi brdskoj i planinskoj konfiguraciji terena, pa su stoga bile i jeftinije: Južnoafrička Republika i Japan (1067 mm), te Burma, Brazil, Švicarska i Grčka (1000 mm).

Na području Hrvatske kao uskotračne građene su 1890–1907. godine slavonsko-podravske željeznice sa širinom kolosijeka od 1000 mm i u ukupnoj duljini od oko 180 km. Širina kolosijeka od 760 mm primjenjena je i na dubrovačkom području kao nastavak bosanskohercegovačke željeznice. Iste je širine kolosijeka bila i

pruga Solin–Sinj (1903) u duljini od 45 km. Sve su uskotračne pruge u Hrvatskoj demontirane, a dopuštena je izgradnja pruga samo normalne širine kolosijeka.

Profil vozila. Položaj vozila koja služe u prometu međunarodnim željezničkim prugama (najmanji dopušteni polunajmljivo zavoja 250 m) mora na kolosijeku u svakom trenutku biti takav da ona mogu prolaziti kolosijekom bez opasnosti od bilo kakvog dodira s vozilima na susjednom kolosijeku ili s čvrstim objektima uz prugu. Zbog toga treba izmjere i karakteristike vozila uskladiti s propisanim ovojnicama statičkog i kinematičkog profila vozila.

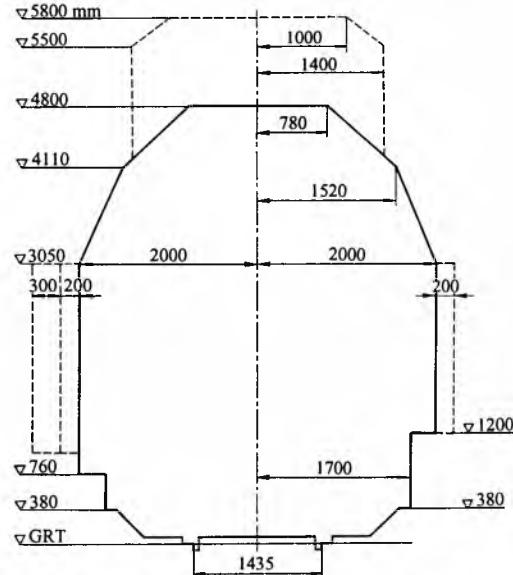
Statički profil vozila odnosi se na vozilo u mirovanju. To je kontura poprečnog presjeka vozila koje miruje (ubrajajući i teret na otvorenom vagonu). Vozilo treba biti takvih izmjera da ne prelazi propisanu ovojnicu statičkog profila (ovojnica ST, sl. 5).



Sl. 5. Glavne izmjere ovojnica statičkog profila (ST) i kinematičkog profila (GB, GC) željezničkih vozila prema propisu UIC

Kinematički profil vozila odnosi se na vozilo u pokretu. To je kontura u ravnni okomitoj na os kolosijeka što je opisuju rubovi vozila u pokretu prilikom njegova naginjanja u poprečnom smjeru. Vozilo treba biti takvih izmjera i karakteristika da niti u jednom trenutku ne prijeđe propisanu ovojnici kinematičkog profila (ovojnica GB, sl. 5). Izmjere ovojnica kinematičkog profila mijenjaju se u skladu s razvojem željezničkog prometa, npr. uvođenjem dvokatnih vagona, kontejnerskog prijevoza ili prijevoza cestovnih vozila (ovojnica GC, sl. 5).

Slobodni (svijetli) profil pruge. Taj se profil odnosi na prostor uz kolosijek. To je ovojnica u ravnni poprečnoj na os kolosijeka (sl. 6), u koju ne smiju ući objekti i postrojenja uz prugu (uredaji



Sl. 6. Glavne izmjere slobodnog profila na prugama Hrvatskih željeznica

električne mreže, signalni uređaji, otvori tunela, konstrukcijski dijelovi mostova i vijadukata i sl.).

Prostor između kinematičkog profila vozila i slobodnog profila pruge rezervni je prostor za eventualne pomake vozila u naj-nepovoljnijim uvjetima (loše stanje kolosijeka, jake oscilacije vozila, istrošenost vozila i tračnica itd.).

Broj kolosijeka ovisi o potreboj propusnoj i prijevoznoj moći pruge. *Propusna moć* iskazuje se brojem vlakova koji mogu proći prugom u oba smjera u određenom vremenu, a *prijevozna moć (kapacitet)* je ukupna bruto masa koja se može prevesti prugom u oba smjera u određenom vremenu. Za proračun propusne i prijevozne moći važni su tehnički elementi pruge: brzina, nagibi i udaljenosti između postaja.

Godišnji kapacitet jednokolosiječne pruge iznosi približno 8...12 milijuna tona, uz pretpostavku dnevнog rada od 20 sati tijekom 300 radnih dana. Kapacitet brdskih i planinskih pruga bliži je donjoj granici, a kapacitet ravnicaških pruga gornjoj granici toga raspona. Godišnji kapacitet dvokolosiječne pruge dostiže 30...40 milijuna tona, pa i više, već prema omjeru teretnog i putničkog prometa. Upotreba istih pruga za vožnju brzih putničkih i sporih teretnih vlakova, naročito ako su te razlike brzina velike, otežava promet i održavanje pruga. To vrijedi i za bliski (prigradski) i daljinski promet na istim kolosijecima. Stoga se potreba daljeg povećanja broja kolosijeka rješava najčešće izgradnjom nove dvokolosiječne pruge za veće brzine te razdvajanjem putničkog od teretnog prometa.

Razmak kolosijeka jest udaljenost između osi usporednih kolosijeka mjerena okomito na osi, a ovisi o vrsti prijevoza (putnički ili teretni), brzini vlakova, slobodnom profilu, položaju kontaktne mreže i načinu održavanja gornjeg ustroja. Na industrijskim kolosijecima i prugama, na kojima se obavlja samo teretni promet te se vozi manjim brzinama, za razmak kolosijeka važna je u prvom redu vrsta tereta. Razmak kolosijeka dvokolosiječne pruge namijenjene samo putničkom prometu (brze gradske i prigradske željeznice, daljinski brzi i superbrzi vlakovi) ovisi, međutim, o brzini, jer prolazak vlaka velike brzine djeluje na okolinu i na sigurnost prometa. Takvo je djelovanje poseban problem pri mješovitom prometu, osobito kada su razlike brzina putničkog i teretnog vlaka vrlo velike. Kontaktna se mreža elektrificirane pruge postavlja za svaki kolosijek odvojeno i na potreboj udaljenosti. Na prugama s vrlo velikim brzinama vlakova aerodinamički se utjecaj smanjuje upotrebom posebnih kompaktnih (zatvorenih) kompozicija.

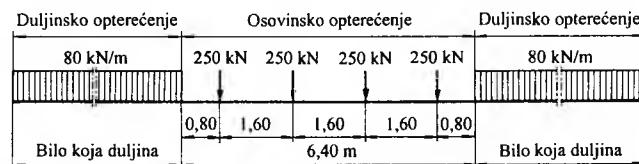
Za međunarodne magistralne pravce Europska je unija preporučila najmanje razmake kolosijeka: pri rekonstrukciji postojećih dvokolosiječnih pruga za brzine do 160 km/h razmak kolosijeka trebao bi iznositi najmanje 4,00 m, a na novim prugama za mješoviti promet (do 250 km/h) i na novim putničkim prugama (do 300 km/h) najmanje 4,20 m.

Širina ravnika (planuma). Završna gornja ploha nasipa i usječka, na koju se polaze gornji ustroj, naziva se ravnik pruge (*planum*). Širina ravnika obuhvaća prostor s obje strane osi kolosijeka do ruba pokosa. Poprečni nagib ravnika jednokolosiječne pruge može biti jednostran ili dvostran, dok je za dvokolosiječnu prugu ponajčešće dvostran. Dvokolosiječne pruge, prije svega magi-

stralne, većinom su elektrificirane s pojedinačnim stupovima kontaktne mreže, za koje je predviđen prostor na ravniku. Na rubnu se stazu pokraj kolosijeka ugrađuje i oprema pruge (signalna postrojenja, oznake, strujni kabeli). Ta je staza potrebna i kao radni prostor pri održavanju pruge, ali je, kao i za razmak kolosijeka, pristup određivanju širine ravnika različit (tabl. 3).

Kategorizacija pruge obavlja se u skladu s propisima UIC-700, koji su obvezujući za sve članice Međunarodne željezničke unije (Union Internationale des Chemin de Fer, UIC). Za svaku razvrstanu prugu propisuje se dopušteno osovinsko opterećenje, za koje se ugrađuju odgovarajuće pružne građevine i gornji ustroj.

Osovinsko opterećenje željezničkog vozila jest onaj dio težine vozila koji se preko kotača jedne osovine prenosi na tračnice. Osovinsko opterećenje izravno utječe na dinamičko opterećenje gornjeg ustroja i pružnih građevina kolosijeka, a dopušteno osovinsko opterećenje ovisi o najvećoj brzini, pa za brzinu do 200 km/h iznosi 225 kN, za brzine 200...250 km/h je 150 do 200 kN, a za brzine veće od 250 km/h samo 170 kN.



Sl. 7. Shema opterećenja mosta kao građevinskog elementa kolosijeka

Za proračun građevinskih elemenata kolosijeka (npr. za mostove) propisana je shema opterećenja UIC-71, koja osim osovinskog opterećenja propisuje i opterećenje po duljinskom metru (sl. 7).

Vrsta vuče

Vuča vlakova na željeznicu obavlja se lokomotivama, a razlikuje se dizelska i električna vuča. Parni pogon gotovo je potpuno nestao sa željeznicama, te je pretežno zamijenjen dizelskom vučom, dok se na magistralnim pravcima, gdje je promet putnika i tereta vrlo velik, sve više uvodi štedljivija električna vuča (v. *Električna vuča i elektromotorna vozila*, TE 3, str. 689).

U Hrvatskoj su do danas elektrificirane sljedeće pruge: slovenska granica – Zagreb – Vinkovci – Tovarnik – srpska granica, madžarska granica – Botovo – Koprivnica – Zagreb – Rijeka – Šapjane – slovenska granica, Škrljevo – Bakar, Zagreb – Sunja – Knin. Na njima su primijenjena dva sustava električne vuče: s izmjeničnom i s istosmjernom strujom (v. *Elektrifikacija željeznica*, TE 4, str. 283). Za sve nove elektrificirane pruge zakonski je propisan jednofazni sustav napona 25 kV i frekvencije 50 Hz. Sustav istosmjerne struje napona 3 kV ostao je još samo na dionici riječke pruge od Moravica preko Rijeke do Šapjana te od Škrljeva do Bakra.

Najveća dopuštena brzina

Najveća dopuštena brzina vlaka ovisi o tehničkim karakteristikama prometnice i o tehničkim i konstrukcijskim svojstvima vozila. Osim te brzine, u željezničkom su prometu poznate i *računska (traserska) brzina*, koja služi za proračun geometrijskih elemenata trase i drugih elemenata potrebnih za oblikovanje i opremu pruge, tako da se omogući vožnja vlakova najvećom dopuštenom brzinom; *tehnička brzina*, omjer puta i vremena vožnje, u koji su uračunani i gubitci pri ubrzavanju i usporavanju vlaka, ali ne i zadržavanje u postajama, te *komercijalna brzina*, omjer duljine dionice pruge i ukupnog vremena putovanja po njoj. To odgovara pojmu prijevozne (transportne) brzine i putovanja putnika od polazišta do odredišta, a služi i za usporedbu trajanja vožnje željeznicom i drugim prijevoznim sredstvima.

Izbor najveće dopuštenе brzine kao osnovnog elementa za proračun geometrije kolosijeka ima velikog utjecaja na troškove građenja, pogona i održavanja pruge. Na prugama koje služe samo teretnom prometu moguće su samo manje brzine uz skromnije tehničke elemente. U gradskom i prigradskom prometu grade se pruge samo za putnički promet, gdje su brzine ograničene na 80...120 km/h radi čestog zaustavljanja na postajama. Najbrojnije su pruge za mješoviti daljinski promet (putnički i teretni vlakovi), s brzinama 80...160 km/h. Na europskim magistralnim

Tablica 3

RAZMAK KOLOSIJEKA I ŠIRINA RAVNIKA NEKIH NOVIJIH MAGISTRALNIH PRUGA

Pruga	Vrsta prometa	Razmak kolosijeka m	Širina ravnika m
Pariz – Lyon	putnički	4,20	13,00
Tokyo – Osaka	putnički	4,20	10,70
Osaka – Hakata	putnički	4,30	11,60
Firenca – Rim	mješoviti	4,30	11,70
Würzburg – Hannover	mješoviti	4,70	13,70
Katowice – Varšava	mješoviti	4,50	10,90
Zagreb – Rijeka (u projektu)	mješoviti	4,40	13,40
Ljubljana – Zagreb (u projektu)	mješoviti	4,30	13,10

pravcima najveće su dopuštene brzine do 200 km/h, iznimno do 250 km/h, a na novim prugama koje služe samo putničkom prometu brzine vlakova dosežu 250–300 km/h, pa i više (npr. u Japanu i Francuskoj).

Najveća dopuštena brzina na prugama najvišeg ranga (magistralne pruge) uskladena je s preporukama Međunarodne željezničke unije u nastojanju da željeznicu bude konkurentna drugim prijevoznim sredstvima. Velika se prednost željeznicu može očitovati pri prijevozu na relacijama do 500 km. Trajanje putovanja vlaka na toj udaljenosti treba iznositi najviše dvije trećine vremena potrebnog automobilu koji vozi prosječnom brzinom 90 km/h, a iz toga proistječe zahtjev za prosječnom brzinom vlaka od 135–140 km/h, što opet traži da najveća brzina vlaka bude 160 km/h. Konkurentnost sa zračnim prometom ostvariva je na udaljenostima do 300 km. Trajanju putovanja zrakoplovom valja pribrojiti i vrijeme potrebno za vožnju od grada do zračne luke u odlasku i povratku te vrijeme utrošeno na pregled i čekanje prije ulaska u zrakoplov.

Brzine vlakova na magistralnim prvcima svrstane su, s obzirom na troškove ulaganja u rekonstrukciju postojeće ili gradnju nove željezničke pruge, u tri kategorije: brzine do 160 km/h moguće su na rekonstruiranim i osuvremenjenim postojećim prugama, brzine od 160–200 km/h moguće su u povoljnim okolnostima (na ravničarskom terenu) na rekonstruiranim i osuvremenjenim postojećim prugama te na novoizgrađenim prugama, a brzine od 200–300 km/h, pa i više, moguće su samo na potpuno novim prugama.

Najveća dopuštena brzina osnovni je element u proračunu ostalih geometrijskih elemenata trase, polumjera horizontalnog i vertikalnog luka, nadvišenja, prijelaznih lukova i prijelaznih rampi nadvišenja te međupravaca između lukova (v. poglavje Gornji ustroj pruge).

Mjerodavni nagib pruge

Osim najveće dopuštene brzine, mjerodavni nagib pruge drugi je osnovni element koji ima najveći utjecaj na kretanje vlaka. To je zbroj otpora koji se pojavljuju zbog uzdužnog nagiba pruge i zbog lukova.

Uzdužni prosječni nagib pruge omjer je visinske razlike i duljine pruge. Otpor kretanju vlaka, koji nastaje zbog uspona pruge, oduzima se od vučne sile lokomotive, dok zbog pada pruge djeluje kao dodatna ubrzavajuća sila u smjeru kretanja vlaka i pridržava se vučnoj sili lokomotive. Stoga je nagib pruge u usponu mjerodavan za određivanje vučne sile, a nagib pruge u padu za određivanje sile kočenja. O nagibu ovise i glavne karakteristike pruge: duljina pruge, troškovi građenja, pogona i održavanja te propusna i prijevozna moć pruge.

Najveći dopušteni mjerodavni nagib, na prugama s putničkim prometom, prema novom Pravilniku Hrvatskih željeznica, iznosi

35% (prije 25%). Općenito se smatra da najveći mjerodavni nagib na magistralnim prugama mješovitog prometa ne bi trebao biti veći od 18%. Takav nagib još omogućuje ponovno pokretanje vlaka nakon zaustavljanja uz najveće iskoristenje snage lokomotive, dok primjena većeg nagiba zahtjeva upotrebu dvostrukе vuče u teretnom prometu. Na prugama mješovitog prometa, gdje putnički vlakovi voze velikim brzinama (160–200 km/h, pa i 250 km/h), preporučuje se mjerodavni nagib do 12,5%.

Veliki opseg teretnog prometa dopušta samo umjerene nagibe, što u brdovitom i planinskem terenu produljuje trasu, a time i povećava troškove građenja. U ravničarskim predjelima mjerodavni će nagibi biti mnogo manji od 12,5%. Pruga Zagreb–Vinovci ima vrlo povoljan mjerodavni nagib, do 5%. Pruge koje služe samo putničkom prometu imaju katkada mjerodavne nagibe i do 35% (pruga Pariz–Lyon). Time se izbjegla građenja tunela, jer nagib bitno utječe na udio tunela i vrijednost tunela na trasi (tabl. 4).

Tablica 4
OVISNOST UDJELA TUNELA O MJERODAVNOM NAGIBU PRUGE

Pruga	Duljina km	Mjerodavni nagib %	Duljina tunela km	Udio tunela %
Pariz–Lyon	410	35	0	0
Tokyo–Osaka	516	20	69	13
Sarajevo–Ploče	185	→15 ↔24	36	18,4
Stuttgart–Mannheim	105	12,5 (18)	26	25
Zagreb–Rijeka (u projektu)	126,6	7	51,7	40,9

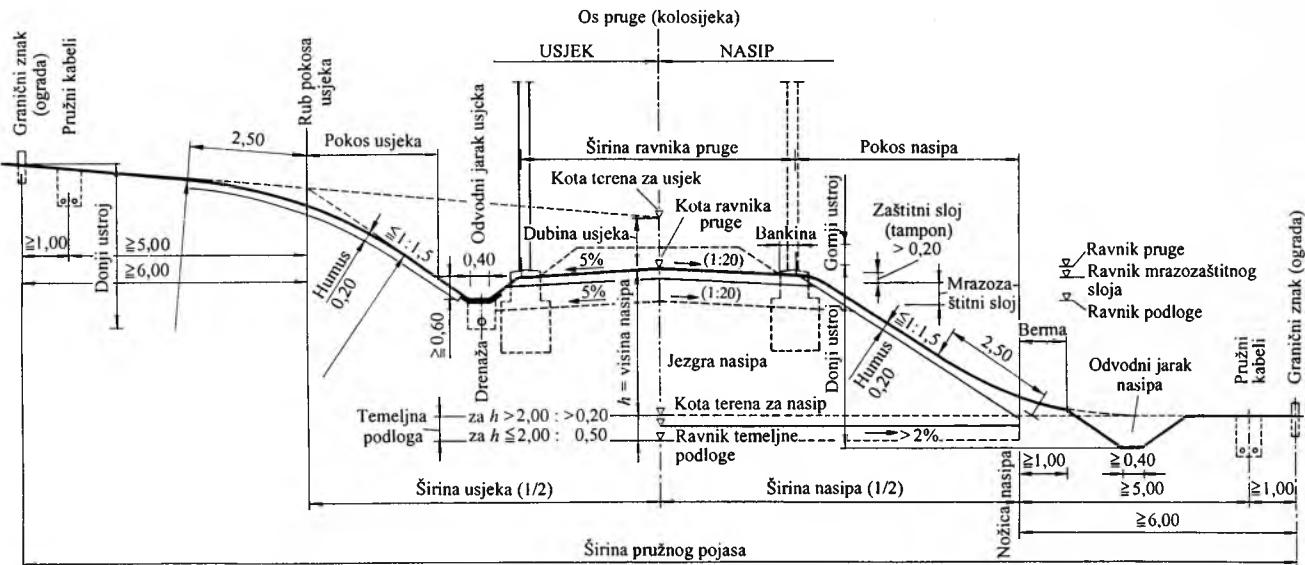
Za neke su dijelove pruge propisana ograničenja mjerodavnog nagiba. U skretničkoj liri, na ulaznoj i izlaznoj strani kolodvora, mjerodavni nagib ne smije biti veći od 10%. Na kolodvoru, gdje se vagoni zadržavaju bez lokomotive i gdje postoji mogućnost pokretanja vagona djelovanjem vjetra, uzdužni je nagib ograničen na 1% u pravcu, a uz dodatak lučnog otpora, ako je kolosijek u luku, do ograničenja od 2,5%.

Nagib se smanjuje i u tunelima duljim od 300 m radi postizanja jednolične brzine na pruzi. U tunelu, naime, postoji dodatni otpor kretanju vlaka zbog otpora zraka, koji je u tunelu veći nego na otvorenoj pruzi, te zbog toga što vlaka u tunelu smanjuje trenje između kotača i tračnica. Vrijednost je tog dodatnog otpora i do 20% otpora na otvorenoj pruzi.

D. Desselbrunner

PRUŽNE GRAĐEVINE

Pružne građevine jesu građevno ustrojstvo pruge (sl. 8), koje čine geotehničke građevine u tlu i stijeni (nasipi, usjeci, zasjeci i



Sl. 8. Znakoviti poprečni presjek željezničke pruge

tuneli) i njima pripadajuće *konstruktivne* (potporni zidovi, potporne i sidrene konstrukcije) i *zaštitne građevine* (odvodne, hidrotehničke građevine, obložni zidovi, obloge pokosa, biljni pokričač, bistrobrani, zvukobrani, snjegobrani i galerije), zatim *kolo-dvorske niske građevine* (peroni, otvorene ukrcajno-iskrcajne rampe, pristupne ceste i površine) i ostale niske gradnje u pružnom pojusu, te *konstruktorske građevine* za premošćivanje (mostovi, propusti), okretaljke, vage i sl.

Pružni pojas jest željeznički zemljinski pojas uzduž pruge, obostrano omeđen graničnim znacima, gdje su smještene sve građevine i uređaji pruge i pripadajuće poslovne zgrade na pruzi.

Tlo je u graditeljskom značenju različito od stijena te kao razdrobljeno kamenje bez međusobne mineralne veze služi i kao prirodno gradivo.

Temeljna podloga. Temeljna je podloga najniži konstruktivni dio pruge u koji se još rasprostire opterećenje. Nalazi se ispod nasipa ili u usjeku i zasjeku, a treba osigurati dugotrajnu nosivost i stabilnost, pa se prije njezina konačnog izbora provode različita istraživanja kao što su *geomehanička* glede kakvoće tvoriva te-

jezgra nasipa (podloga) izgrađuje se od svih vrsta prirodnog gradiva, osim organskog mulja i gradiva s više od 10% organskih primjesa. Izbor vrste gradiva, kriteriji ugradbe i ustrojstvo jezgre nasipa ovise o važnosti pruge i kolosijeka te o troškovima dopreme, ugradbe i zbrijanja. Počev od temeljne podloge naviše, pojedini slojevi trebaju biti sve povoljniji za zbrijanje i manje osjetljivi na vodu. *Modul stišljivosti* (nakon drugog opterećenja kružnom pločom prema normi DIN 18134) trebao bi biti 60 MN/m^2 za krupozrnatno tlo, a 45 MN/m^2 za mješano ili sitnozrnatno tlo. *Stupanj zbijenosti* (omjer gustoće zbijenog gradiva u suhom stanju prema najvećoj gustoći gradiva u suhom stanju prema običnom Proctorovu pokusu) ne bi smio biti manji od 0,95.

Mrazozaštitni sloj nalazi se ispod zaštitnog sloja i štiti podlogu od štetnog djelovanja mraza. Najveća dubina smrzavanja u kontinentalnoj Hrvatskoj iznosi 70 cm, pa se prema podneblju, podlozi i važnosti pruge ispod ravnika pruge ugrađuje mrazootporno gradivo potrebne deblijine, modula stišljivosti i stupnja zbijenosti (tabl. 5). Ako je podloga otporna na mraz, mrazozaštitni se sloj ne ugrađuje.

Tablica 5

UVJETI ZBIJENOSTI I DEBLJINA ZAŠTITNIH SLOJEVA PRUGE

Vrsta pruge		Zaštitni sloj (tampon)		Mrazozaštitni sloj		Debljina zaštite od mraza zajedno sa zaštitnim slojem	
		modul stišljivosti MN/m^2	stupanj zbijenosti	modul stišljivosti MN/m^2	stupanj zbijenosti	kontinentalno područje m	primorsko područje m
Novogradnja	Glavni prolazni kolosijeci glavnih pruga	120	1,03	80	1,00	0,70	0,50
	Glavni prolazni kolosijeci ostalih pruga i gradskih željeznica	100	1,00	60	0,97	0,60	0,40
	Ostali kolosijeci	80	0,97	45	0,95	0,50	0,30
Održavanje	Postojeće pruge i kolosijeci	$v > 160$ km/h	80	0,97	45	0,50	0,30
		$v \leq 160$ km/h	57	0,95	20	0,30	0,20

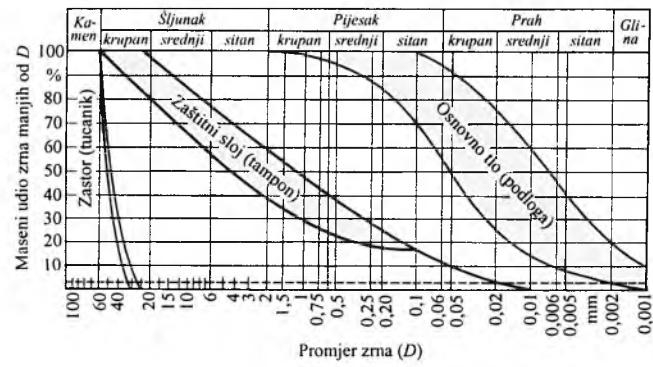
meljne podlove i njezina osposobljavanja (zbrijanje, zamjena tvoriva, odvodnja, ojačanje), *geoščika* glede sastava, podrijetla i postojanosti tvoriva, sklonosti klizanju, pojavi podzemne vode, nagiba slojeva i stabilnosti temeljne podlove, *hidroščika* glede utjecaja velikih i razornih voda rijeka i potoka, utjecaja jezerskih i morskih voda i podzemnih voda na temeljnu podlogu te *ekološka* glede utjecaja pruge na zaštićene vode (nepropusnost temeljne podlove).

Priprema i tehnička obradba temeljne podlove ovise o vrsti tvoriva, a ispod nasipa još i o nasipnoj visini i nagibu terena. Ispod nasipa izgrađenih na vodoravnom i blago nagnutom terenu do nagiba 1 : 5 (20%) u tlu pouzdane nosivosti, a koji su viši od 2 m, uklanja se raslinje i humusni sloj, a ako su visoki 2 m i manje, uklanja se raslinje i teren otkopava do dubine od 0,5 m. Na močvarnom i vodonosnom tlu primjenjuju se posebne mjere temeljenja (piloti, bušeni bunari, filterski sloj deblijine 0,5–1,0 m, stabilizacija tla i sl.). Na nagnutom terenu nagiba većeg od 1 : 5 temeljna se podloga ispod nasipa zasijeca terasasto.

U usjecima i zasjecima, gdje se ravnik temeljne podlove izjednačava s ravnikom podlove nasipa, tehnički kriteriji nosivosti tla isti su kao i u primjenom području nasipa, uvažavajući i ostale specifične mjere za usjeku i zasjeke u tlu (odvodnja, eventualno učvršćenje postojećeg tla i sl.). Na stjenovitoj temeljnoj podlozi usjeka i zasjeke s očiglednom pouzdanom nosivošću nisu ispod nasipa potrebne posebne mjere, osim uklanjanja raslinja i eventualnog terasastog zasijecanja, a ni posebno učvršćenje, osim zaštite na mraz neotpornih stijena zaštitnim slojem deblijine do 20 cm.

Nasip. Nasip je geotehnička konstruktivna građevina izgrađena od prirodnog gradiva nasipavanjem radi postizanja projektirane razinice pruge. Nasip može biti izgrađen i od armiranog tla i industrijskih otpadnih tvari (troska i sl.). Osnovni su konstruktivni dijelovi nasipa jezgra, mrazozaštitni sloj i zaštitni sloj (tampon). Granične su plohe nasipa ravnik temeljne podlove, ravnik pruge i pokosi (sl. 8).

Zaštitni sloj (tampon) završni je i najviši sloj na koji se polaže gornji ustroj. Sastoji se od mješavine prirodnog i drobljenog pijeska i šljunka, a ugrađuje se tako da se postigne povoljna raspodjela prometnog opterećenja, filterska stabilitet (nezablaćivanje), otpornost na mraz i prigušenje titraja. Najmanja je debljina zaštitnog sloja 20 cm. Mješavina se posebno sastavlja i isporučuje uz određene tehničke uvjete (sl. 9), a ugrađuje se zbrijanjem do propisanog modula stišljivosti i stupnja zbijenosti (tabl. 5).



Sl. 9. Granulometrijski dijagram mješavine za zaštitni sloj i podlogu

Pokosi nasipa izvode se u nagibu ovisnom o visini nasipa i vrsti gradiva nasipa i temeljne podlove (tabl. 6). Na pokosima nasipa viših od 12 m i pokosima strmijim od omjera 1 : 1,8 izgrađuju se *berme* širine najmanje 2,50 m radi lakšeg održavanja nasipa. Pokosi se obično zaštićuju humusom i travom, a mogu se obložiti kamenom ili betonom kad su nagibi strmiji od propisanih ili kad su nasipi ujedno i obalne utvrde od visokih voda.

Usjek. Usjek je geotehnička građevina izgrađena u tlu ili stijeni usijecanjem (iskopom) u terenska užvišenja radi postizanja projektirane razinice pruge. Na dnu usjeka nalazi se temeljna

podloga, na koju se postavljaju mrazozaštitni sloj i zaštitni sloj. Granične su plohe usjeka ravnik temeljne podloge i pokosi (sl. 8).

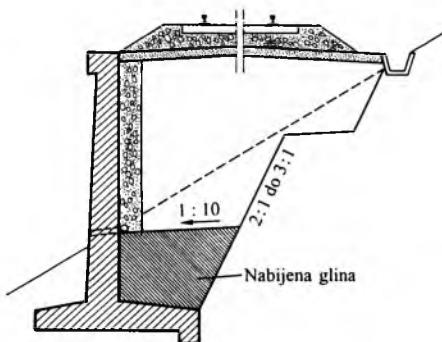
Pokosi usjeka izvode se u nagibu ovisnom o dubini usjeka, vrsti gradiva i hidrogeološkim prilikama. Nagibi pokosa usjeka u tlu propisuju se za određene dubine usjeka i vrste tla (tabl. 6) kada na pokosima nema vodnog tlaka i utjecaja prometnog opterećenja, kada ne postoje geološki uvjeti za klizanje i kada prirodno tlo ima najmanje srednju zbijenost. Nagibi i stabilnost stjenovitih pokosa određuju se već prema čvrstoći brda, padu geoloških slojeva, stanju brdskih voda i otpornosti na eroziju, mraz i trošenje. Na pokosima usjeka dubljih od 12 m i s nagibom strmijim od 1 : 1,8 izgrađuju se berme širine najmanje 2,50 m.

Tablica 6
PROPISANI NAGIBI POKOSA NASIPA I USJEGA

	Vrsta tla	Simboli skupine tla	Visina nasipa ili dubina usjeka m	Nagib pokosa
Krupnozrnato	šljunak i pijesak dobro i slabu granuliran	GW, GP	0...12	1 : 1,5
	šljunak jednolično granuliran	GU, SV, SP	0...12	1 : 1,7
	pjesak jednolično granuliran	SU	0...12	1 : 2,0
Miješano	šljunak prašinast i glinovit, pijesak prašinast i glinovit	GF _s , GM GF _c , GC SF _s , SM SF _c , SC	0...6 6...9	1 : 1,6 1 : 1,8
Sitnozrnato (samo u usjeku)	prah i glina male plastičnosti	ML, CL	9...12	1 : 2,0

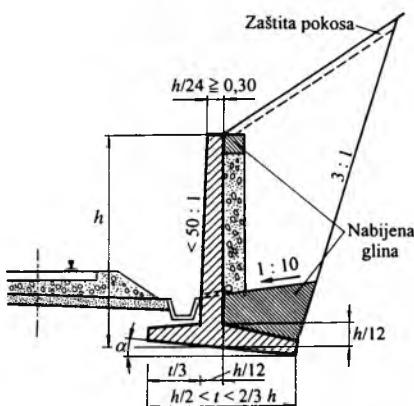
Zasjek. Zasjek je geotehnička građevina zasjećena u padinu, tako da je djelomično sastavljena od usjeka, a djelomično od nasipa ili potpuno od usjeka s jednom otvorenom stranom. Za zasjek vrijede iste odredbe kao i za usjek, odnosno nasip.

Tunel. Željeznički tunel gradi se da bi se svaladala prirodna zapreka i skratio put ili da bi se zaštitila priroda, izvori pitke vode te naselja (v. *Tunel*).



Sl. 10. Armiranobetoniski potporni zid u razini na nasipu

Potporni zid konstruktivna je građevina koja na željezničkim prugama preuzima opterećenje i podupire tlo. Gradi se od

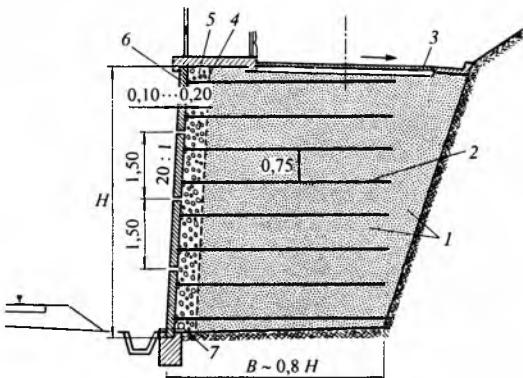


Sl. 11. Armiranobetoniski potporni zid u usjeku

kamena, betona, armiranog betona i sl., a postoji i tipski potporni zid za željezničke pruge. Zid može biti ispod razinice, u visini razinice (u nasipu, sl. 10) te iznad razinice (u usjeku ili zasjeku, sl. 11). Proračunava se s obzirom na opterećenje od tla i na prometno opterećenje.

Potporna konstrukcija nema oblik zida, ali ima istu ulogu podupiranja. U novije su doba u širokoj primjeni *sidrene konstrukcije* s pločama, gredama, stupovima ili roštiljima oslonjenim na pokose nasipa ili usjeka u tlu i stijeni. Različita štapna i kabelna geotehnička sidra s podzemnim sidrištima i s aktivnim (prednapetim) djelovanjem, u kombinaciji s vanjskom konstrukcijom (obično armiranobetonskom), čine sklop potporne sidrene konstrukcije.

Novija je vrsta potporne konstrukcije *armirano tlo*, kojemu se djelovanje temelji na trenju između gradiva i armature. Konstrukciju čine ispuna, armaturna mreža i obloga (sl. 12). Ispuna je dobro zbijeno, nevezano ili slabo vezano i na mraz otporno gradivo, armaturna je mreža obično od nehrđajućeg čelika, a obloga od različito oblikovanih armiranobetonskih ili čeličnih ploča i drugih elemenata. Armiranim se tlom štedi na obujmu konstrukcije i na prostoru.



Sl. 12. Potpora konstrukcija od armiranog tla. 1 - испуна, 2 - арматурна мрежа, 3 - локална приступна цеста, 4 - геотексил, 5 - филтерски слој, 6 - облога, 7 - одводњача

Odvodnja. Odvodnju omogućuju odvodni i zaštitni jarki te drenaža. Oni štite pružne građevine i građevine gornjeg ustroja od površinskih i podzemnih voda i osiguravaju njihovu stabilnost.

Odvodni pružni jarak nalazi se u području ravnika pruge i u području nožice nasipa. Izgrađuje se iskopom u tlu ili stijeni i može biti neoačan i ojačan kamenom, betonom ili gotovim, posebno oblikovanim armiranobetonskim elementima. Najmanja širina dna pružnog jarka iznosi 0,40 m (iznimno 0,35 m), a najmanja dubina 0,40 m. Neoačani jarak u tlu ima nagibe pokosa ne strmije od 1 : 1,5, uzdužni nagib od 0,3...3%. U stijeni otpornoj na mraz i atmosferilije nagibi pokosa mogu biti strmiji, a uzdužni nagib može biti veći od 3%. Kada je uzdužni nagib manji od 0,3% ili veći od 3% i kada je ispod jarka drenaža, jarak mora biti ojačan (obložen).

Zaštitni (prihvativni) jarak je odvodni jarak izvan nasipa i usjeka, koji prihvata površinske vode sa šireg slijevnog područja i štiti prugu od razornog djelovanja površinskih tokova. Uzdužni nagib jarka obloženog hraptavim lomljenim kamenom ili kaskadnim kanalicama može biti veći od 10%.

Drenaža. Drenažom se naziva podzemni odvodni uređaj za prihvatanje i odvod podzemnih voda radi isušivanja ili promjene hidrodinamičkog toka, a u svrhu stabilizacije tla. Izgrađuje se iskopom ili bušenjem podloge i ugradbom drenažne ispune. Više od drenaži i sanacije klizišta v. *Klizanje tla*, TE 7, str. 147; v. *Melioracija*, TE 8, str. 360.

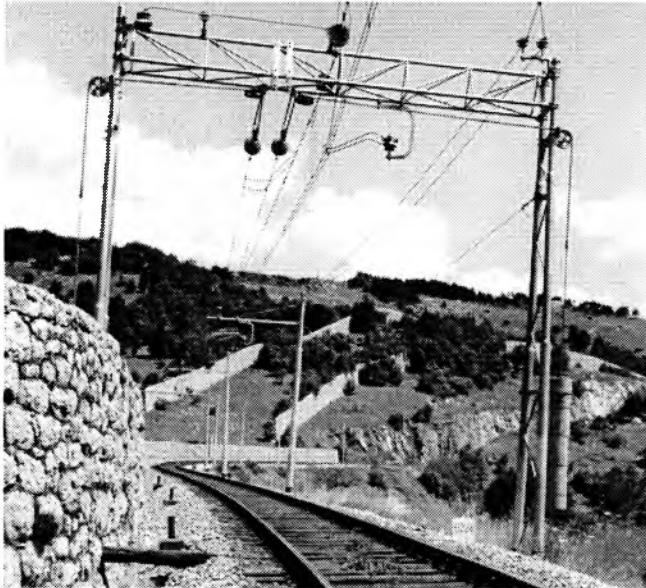
Hidrotehničke građevine. U željezničkom prometu hidrotehničke građevine štite prugu od razorne snage vodenog toka i valova, a čine ih obalne utvrde vodotoka, jezera i mora, regulatorne uzdužne i poprečne građevine (pera, traverze, pragovi) na rijekama, pregrade i obloge korita bujičnih potoka, te ledobrani mostova.

Obložni zid zaštitna je građevina u usjecima i zasjecima koja štiti strme stijenske pokose od trošenja, a gradi se od kamena, betona i armiranog betona. S obzirom na zaštitnu ulogu obložni je zid mnogo manji od potpornoga i za nj nije potreban geostatički proračun.

Obloga pokosa. Uobičajenom oblogom pokosa obično se smatra na pokosu ručno složeni kamen (roliranje) i betonske ploče. Izgrađuje se kao zaštita pokosa strmijih od prirodnih (do 1 : 1,25) i to poglavito nasipa i obalnih utvrda, ali katkada i usjeka. Pojavili su se i drugi načini umjetne zaštite kao što su štrcani beton, sidrenje i sidrene zaštitne konstrukcije, čelične mreže i mreže od plastike u kombinaciji s raslinjem, biotorkret (hidrosjetva), prekrivanje stjenovitih pokosa mrežama i sl., pa roliranje kamenom gubi važnost, osim za obalnu utvrdu.

Biljno-tehnika zaštita kosina. Osim građevnog gradiva za zaštitu kosina (pokosa, nasipa i usjeka, te padina) sve se više primjenjuje biljni pokrivač. To je tzv. biljno-tehnika zaštita od erozije, snijega i vjetra. Obično se provodi u kombinaciji sadnje i građevnih zahvata, pa se u to ubraja zatravljivanje, postavljanje busenja, živog i neživog pletera, izradba drvenih i masivnih pregrada, zidića i rovova, izradba terasa i retencijskih pojasa od pletera, pošumljivanje okoliša itd.

Eurobrani su zaštitne građevine u obliku slobodnostojećih zidova izgrađenih na bočnom traku (bankini), a štite vlakove od prevrtanja pri jakim i olujnim vjetrovima. Grade se od kamena (sl. 13), betona i armiranog betona visine 2–3 m.



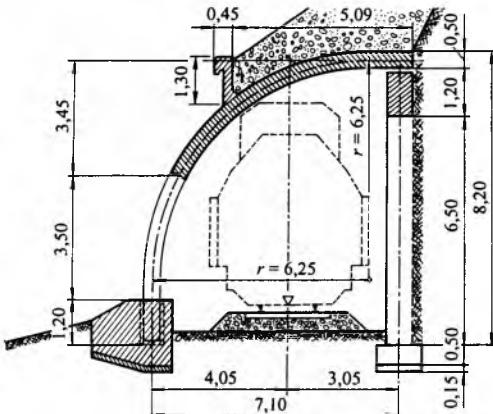
Sl. 13. Eurobrani i snjegobrani

Zvukobrani su novije zaštitne građevine, također u obliku slobodnostojećih, ali posebno oblikovanih zidova na bočnom traku (bankini), koji štite naseljena mjesta od buke.

Snjegobrani su zaštitne građevine izgrađene podalje od kolosijeka. Stalni su snjegobrani slobodnostojeći zidovi od kamena (sl. 13), betona, armiranog betona i sklopivih dijelova, visine 3–7 m, a postavljaju se na mjestima gdje se zimi stalno stvaraju snježni nanosi. Prijenosni su snjegobrani obično drvene rešetkaste konstrukcije, visine 1,5–2 m, postavljene na mjestima povremenih ili još neutvrđenih pojava snježnih nanosa, te na mjestima gdje je promet manje ugrožen. Snjegozaštitni šumski pojasi prirodni su snjegobrani, koji se podižu na mjestima gdje postoje terenski i klimatski uvjeti za rast drveća, te su najpouzdaniji, potpuni i trajni snjegobrani.

Zaštitne galerije građevine su nad kolosijekom koje se grade u zasjecima i usjecima radi zaštite pruge od odrona kamenja, lava i snježnih nanosa. U zasjecima, gdje se pruga štiti od odrona i lavina, galeriju čini lučna (sl. 14) ili ravna rasponska konstrukcija s nasipnim slojem za ublažavanje udaraca kamenja, te uporište na stupovima ili na stjeni. Vanjska strana galerije može biti otvorena, poluotvorena i zatvorena. U usjecima, gdje se pruga

Sl. 14. Zaštitna galerija u zasjeku



štiti od snježnih nanosa ili odrona kamenja, galerija ima lučnu rasponsku konstrukciju oslonjenu na pokose usjeka.

J. Mikulić

GORNJI USTROJ PRUGE

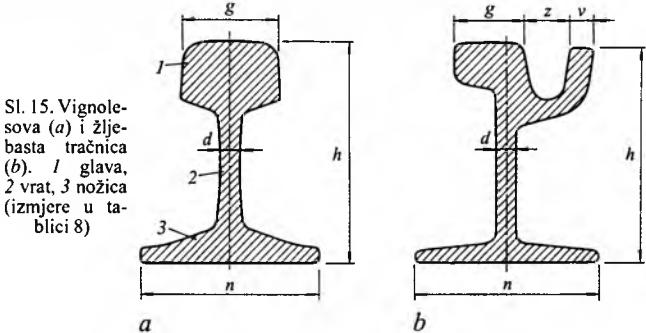
Gornji ustroj željezničke pruge čine konstrukcije i uređaji koji služe kao neposredna podloga za kretanje i prisilno vođenje vozila. To su kolosijeci, skretnice, križišta, dilatacijski uređaji, okretnaljke i prijenosnice. Njihovi su konstrukcijski dijelovi *tračnice*, *kolosiječni pribor*, *pragovi* i *kolosiječni zastor*. Na kolosijecima posebne namjene i na suvremenim kolosijecima za velike brzine u uporabi su i različiti betonski dijelovi na koje se posredno polažu tračnice.

Tračnica. Tračnica je osnovni konstrukcijski dio puta prisilno vođenih vozila. Ona preuzima sile nošenja i vođenja vozila i prenosi ih na podlogu. Proizvodi se od čelika razne kakvoće. Prema normi UIC 860-V čelik za tračnice može biti obične kakvoće i otporan na trošenje (tabl. 7), a upotrebljava se i čelik posebne kakvoće. Tračnice se proizvode valjanjem među glatkim, a zatim među profiliranim valjcima. Pri posljednjem prolasku kroz valjke tračnica dobiva oznaku s nazivom proizvođača, godinom proizvodnje, podrijetlom čelika, kakvoćom materijala i sl. U novije se doba ispituje proizvodnja tračnica koje se dobivaju kontinuiranim lijevom.

Tablica 7
SVOJSTVA I SASTAV NEKIH VRSTA ČELIKA ZA TRAČNICE

Čelik za tračnice	Vlačna čvrstoća N/mm ²	Produljenje nakon prekida %	Kemijski sastav %				
			C	Mn	Si	P	S
Čelik obične kakvoće (70)	690–830	≥14	0,40–0,60	0,80–1,20	≤0,35	≤0,05	≤0,05
Čelik otporan na trošenje (90A)	≥880	≥10	0,60–0,75	0,80–1,30	≤0,50	≤0,05	≤0,05
Čelik otporan na trošenje (90B)	≥880	≥10	0,50–0,70	1,30–1,70	≤0,50	≤0,05	≤0,05

Oblik tračnice ovisi o namjeni. Od svih je oblika najviše u uporabi *Vignolesov oblik tračnice* (sl. 15 a). U Hrvatskoj su 1960. bila ugrađena 24 različita tipa Vignolesovih tračnica. Danas je taj broj smanjen na približno osam tipova, a prevladavaju tipovi s



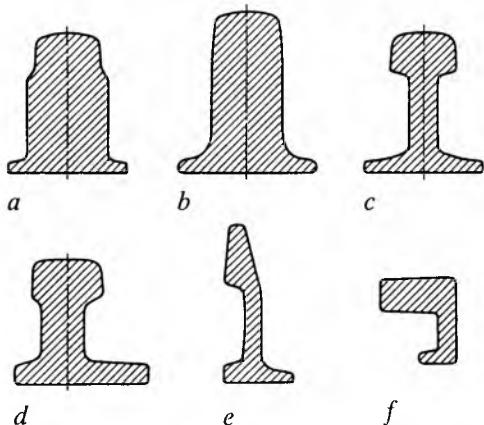
oznakom 49 i sve više UIC 60, a nešto su rjeđi tipovi 45 i 35 (tabl. 8). Za uskotračne kolosijekе pretežno se upotrebljava tip 22. Kada se po istoj prometnoj površini odvija i cestovni promet, najčešće se upotrebljava žljebastа tračnica, koja u glavi ima žljeb za prolaz ispušta vjenca kotača (sl. 15 b). U Hrvatskoj se najčešće upotrebljavaju oblici NP4 i Ri 60 (tabl. 8).

Tablica 8
ZNAČAJKE UOBIČAJENIH TIPOVA VIGNOLESOVIH I ŽLJEBASTIH TRAČNICA

Oznaka oblike	Izmjere* mm						Dužinska masa kg/m	Moment presjeka cm ⁴	Moment otpora cm ³
	g	n	h	d	z	v			
Vignolesove tračnice:									
22	46	90	100	10			22,12	375,5	73,6
35	58	110	125	12			35,73	936,0	146,9
45	67	125	142	14			45,25	1527,0	211,0
49	67	125	149	14			49,43	1819,0	240,2
UIC 60	72	150	172	16,5			60,34	3055,0	335,5
Žljebastе tračnice:									
NP4	56	180	180	12	31	16	57,9	3202	342,5
Ri 60	56	180	180	12	36	21	60,84	3334	355

*oznake kao na slici 15

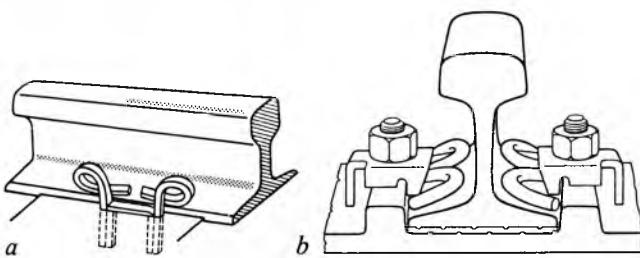
Osim navedenih osnovnih oblika, u uporabi su i posebni oblici tračnica (sl. 16), npr. puni (zvonasti) oblici za skretnička srca (a i b na sl. 16), oblik s ojačanim vratom (c) i asimetrični niski oblik (d) za skretničke prevodnice i dilatacijske uređaje, oblik za vodilice na dijelovima pruge gdje kotači gube vođenje (e,f) itd.



Sl. 16. Primjeri posebnih oblika tračnica

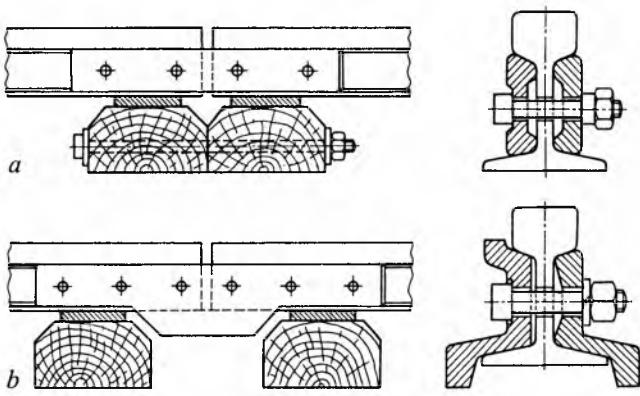
Kolosiječni pribor. Kolosiječni je pribor skup dijelova i opreme koji trebaju pričvrstiti tračnicu za podlogu, povezati kruto ili elastično pojedine dijelove gornjeg ustroja, povezati tračnicu s idućom tračnicom, sprječiti pomicanje tračnica u smjeru osi kolosijeka, povećati poprečni otpor kolosijeka, po potrebi ostvariti električnu izolaciju i ravnomjernije raspodijeliti opterećenje na podlogu.

Pribor za pričvršćivanje tračnice za podlogu (pričvrsni pribor) razlikuje se s obzirom na vrstu podloge (drvo, beton, čelik), način pričvršćivanja (neposredno i posredno) i način djelovanja (kruto, poluelastično i elastično). U prvim danima željeznice pričvrstili bi tračnicu pomoću raznih čavala, od kojih su neki i danas u uporabi. U novije doba umjesto krutih više se upotrebljavaju elastični čavli i elastične pritiskalice (sl. 17).



Sl. 17. Elastični čavao (a) i elastična pritiskalica (b) za pričvršćivanje tračnica

Povezivanje (sastav) tračnica ostvaruje se vezicama i vijcima. Razlikuje se oslonjen (poduprt) i neoslonjen (viseći) sastav (sl. 18).



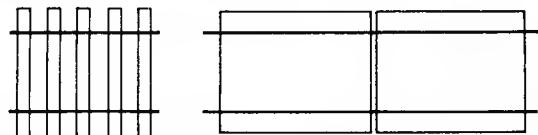
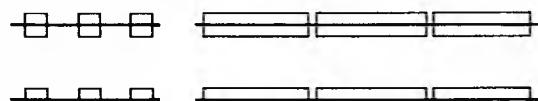
Sl. 18. Oslonjen (a) i neoslonjen sastav tračnica (b)

Širina nožice tračnice relativno je mala, pa se po potrebi između tračnica i podloge ugrađuju podložne ploče raznih oblika kako bi se smanjilo specifično opterećenje na podlogu.

Za sprečavanje pomicanja tračnica u smjeru osi kolosijeka služi dio kolosiječnog pribora koji se klinom, vijkom ili elastično pričvrsti na nožicu tračnice, a drugim se dijelom oslanja u prag ili u podložnu pločicu.

Za povećanje poprečnog otpora kolosiječne rešetke i sprečavanje poprečnog pomicanja upotrebljava se tzv. kapa, koja je jednim dijelom pričvršćena za prag, dok joj je drugi dio ispod praga utisnut u kolosiječni zastor.

Prag. Pragom se naziva dio gornjeg ustroja koji opterećenje s tračnice prenosi na kolosiječni zastor, odnosno na podlogu. Kako se u te svrhe upotrebljavaju različiti oblici pojedinačnih oslonaca, uzdužnih i poprečnih nosača i armiranobetonskih ploča (sl. 19), bilo bi ispravnije govoriti o podlozi za tračnice. Zbog mnogih dobroj svojstava (ekonomičnost, jednostavna izvedba, lagano održavanje, jednoličan prijenos opterećenja, lagana izmjena, brza odvodnja itd.), većina kolosijeka u svijetu ima poprečne nosače i oni se nazivaju pragovima.



Sl. 19. Podloge za tračnice

Prag može biti od drveta, betona i čelika ili sastavljen od različitih vrsta gradiva. Drveni prag ima mnoge prednosti (lagana obradba i održavanje, jednostavno pričvršćivanje tračnica, elastičnost), pa je njegova uporaba vrlo rasprostranjena. Drvo za prag mora biti otporno na gnjećenje, cijepanje, pucanje i truljenje. Kod nas se drveni pragovi izrađuju u prvom redu u bukovim i hrastovim, rjeđe od bora i cera. Izmjere praga ovise o rangu pruge, širini kolosijeka, vrsti gornjeg ustroja te o namjeni praga. Uobičajena je dužina drvenog praga 260 cm, širina 26 cm, a visina 16 cm. Posebnih su izmjera skretnički i mosni prag.

Vijek trajanja drvenog praga u mnogome ovisi o impregnaciji. Neka su sredstva za impregnaciju topljiva u vodi, ali su bolja sredstva netopljiva u vodi (kreozot). Impregnirani hrastovi pragovi imaju trajnost oko 20–25 godina, dok se bukovi pragovi mogu upotrebljavati i 30–35 godina.

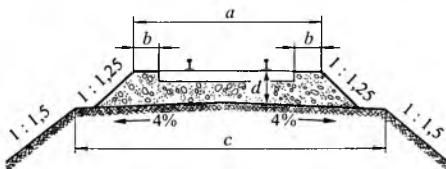
Početkom XX. st. u zemljama s razvijenom teškom industrijom mnogo su se primjenjivali čelični pragovi (u Njemačkoj oko 80% svih pragova). Čelični pragovi zahtijevaju vrsno zastorno

gradivo, poseban postupak održavanja, a u uporabi su bučni i kruti, pa se danas vrlo rijetko upotrebljavaju.

Betonski pragovi susreću se sve češće. Otporni su na atmosferilje, velike su čvrstoće, lako se oblikuju, nisu osjetljivi na vatrnu, a zbog svoje težine pogodni su za kolosijeke gdje su tračnice zavarene u dugi trak. Nedostaci su im što su osjetljivi na udarce, ugrađivati i održavati se mogu samo strojevima i zahtijevaju zaštorno gradivo kakvoće nego drveni pragovi.

Jednodijelni armiranobetonski pragovi bili su poznati još u XIX. st., ali su bili armirani običnom armaturom. Tek nakon što se otkrila mogućnost prednaprezanja armature, njihova se primjena povećala. U dvodijelnom betonskom pragu, koji se pretežno primjenjuje u Francuskoj, dva su betonska bloka međusobno povezana čeličnim profilom ili betonskom gredicom.

Kolosiječni zastor. Kao konstrukcijski dio gornjeg ustroja kolosiječni zastor treba elastično i što ravnomjerljivo prenijeti opterećenje vozila, koje prima preko tračnica i pragova, na ravnik pružnih građevina kolosijeka, spriječiti pomicanje kolosiječne rešetke i osigurati pravilan položaj kolosijeka po smjeru i visini, omogućiti brzo i lagano dotjerivanje kolosijeka u ispravan položaj te brzo odvesti vodu iz kolosijeka. Kolosiječni zastor preuzima oko 60% ukupne elastičnosti kolosiječne konstrukcije.



Sl. 20. Kolosiječni zastor s dvostranim nagibom (izmjere u tablici 9)

Oblik i izmjere kolosiječnog zastora (sl. 20) ovise uglavnom o kategoriji pruge, o širini i namjeni kolosijeka te o vrsti pragova (tabl. 9). Uobičajeni je nagib ravnika kolosiječnog zastora 1 : 20. Jednokolosiječne pruge mogu imati jednostrani ili dvostrani nagib.

Tablica 9
IZMJERE KOLOSJEČNOG ZASTORA

Vrsta pruge	Najmanje izmjere*			
	a	b	c	d
Kolosijek normalne širine:				
Magistralne pruge s drvenim pragovima	330	35	570	45
Magistralne pruge s betonskim pragovima	330	40	570	45
Pruge I. reda	320	35	540	40
Pruge II. reda	290	20	450	33
Sporedni kolosijeci svih pruga	270	20	450	30
Uski kolosijek širine 760 mm:				
Pruge I. reda	210	25	360	30
Pruge II. reda	190	20	320	25

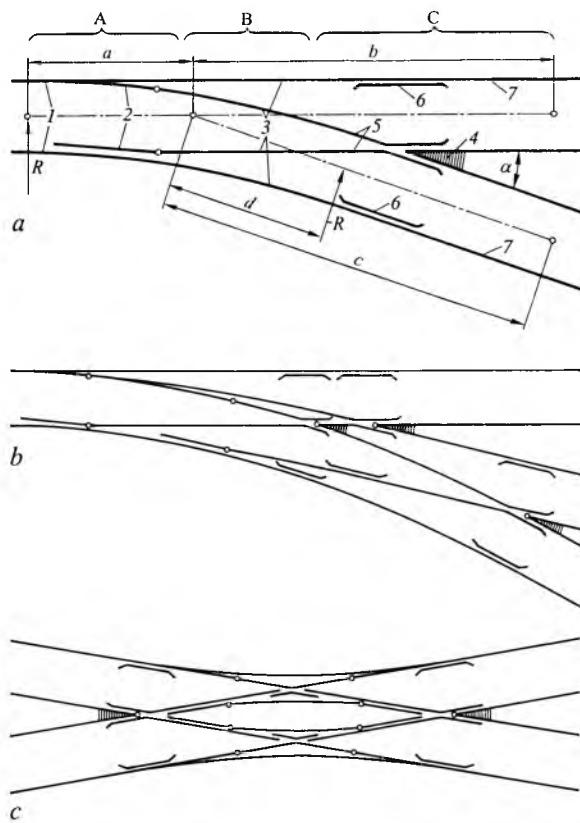
*oznake kao na slici 20

Za kolosiječni je zastor najbolja stijena eruptivnog podrijetla, no može se primijeniti i sedimentna i metamorfna stijena. Ona treba imati tlačnu čvrstoću $150 \cdots 400 \text{ N/mm}^2$, upijati vrlo malo vlage (do 0,7%), treba biti žilava, otporna na smrzavanje i utjecaj atmosferilja, na drobljenje i udarce.

Premda obliku zrna najbolje je kakvoće *tucanik* (tučenac), zatim šljunak, a u posebnim se uvjetima može upotrijebiti i pijesak. Najviše se primjenjuje *tucanik* krupnoće I (veličina zrna $35 \cdots 63 \text{ mm}$) i II ($25 \cdots 35,5 \text{ mm}$).

U kolosijeka s posebnim uporabnim uvjetima (velike brzine, pomanjkanje prostora u tunelima) kolosiječne su konstrukcije bez zastora (posebne konstrukcije kolosijeka), pa se za njih moraju primijeniti i posebni konstruktivni elementi za pričvršćenje tračnica na podlogu.

Skretnica. Skretnica je konstrukcija željezničkog gornjeg ustroja koja omogućuje prijelaz željezničkih vozila i cijelih vlakova s jednog kolosijeka na drugi, bez zaustavljanja. Ona može biti jednostruka, dvostruka i križna (sl. 21), a kombiniranim se skretnicom naziva skretnica na pruzi s različitom širinom kolosijeka.



Sl. 21. Osnovni tipovi skretnica. a jednostruka, b dvostruka, c križna skretnica

Skretnice se razlikuju i prema polumjeru odvajanja i kutu odvajanja skretničkog luka.

Dio skretnice za usmjerivanje vozila u željeni smjer zove se *prijevodnički uređaj* (A na sl. 21a), a sastoji se od *glavnih naležnih tračnica* (1) i od *prijevodnica* (2), koje su pokretne, izrađene od običnog ili posebnog oblika tračnica (sl. 20, oblik C i D) i položene na klizne jastučice.

Dio skretnice koji povezuje prijevodnički uređaj sa srištem zove se srednji dio skretnice (B), a tračnice u njemu *međutračnice* (3).

Srište skretnice dio je kolosijeka na kojem se sijeku smjerovi vožnje (C). Kako bi kotači vozila mogli nesmetano prelaziti preko srišta, na samom sjecištu prekida se kontinuitet tračnice, a konstrukcija koja to omogućuje naziva se *skretničko srce* (4), koje zajedno s *krilnim tračnicama* (5) čini cjelinu. Vođenje jednog kotača i pravilan prelazak drugog kotača istog osovinskog sklopa preko žlijeba pri vrhu skretnice, gdje su tračnice prekinute, omogućuje skretničku *tračničku vodilicu* (6), koja se veže na *voznu tračnicu* (7) ili se učvršćuje neposredno na pragove.

Dio prijevodničkog uređaja skretnice koji osigurava položaj prijevodnice u priljubljeni i odljubljeni položaj prema glavnim naležnim tračnicama zove se *skretnički zatvarač*. Skretnica se postavlja u željeni položaj mehaničkim, električnim ili hidrauličkim *postavnim spravama*. Postavljanjem skretnica upravlja se s jednog mjesto ili se svaka skretnica postavlja zasebno na svom mjestu (v. *Signalno-sigurnosna tehnika*, TE12, str. 67).

U žičanim željeznicama na usmjereni pogon ugrađuju se na postajama skretnice sa samo jednom prijevodnicom, preko koje se kabine ili spremnice za teret prema potrebi uključuju ili isključuju iz pogona.

Uređenje kolosijeka u pravcu i luku. Na ravnom dijelu pruge (pruga u pravcu) obje se tračnice u presjeku okomitom na os kolosijeka nalaze na istoj visini. Pritom su tračnice nagnute prema osi kolosijeka pod nagibom 1 : 40 (ranije 1 : 20). Za sigurnu i udobnu vožnju nužno je ujednačena širina kolosijeka. Dopuštena promjena širine kolosijeka po dužinskom metru ovisi o dopuštenoj brzini vozila. Tako je, npr., za brzinu od 100 km/h i više dopuštena promjena 1,0 mm, a za brzinu od 60 \cdots 79 km/h dopuštena promjena 2,0 mm po dužinskom metru.

ŽELJEZNICA

Da bi se na dijelu pruge u luku olakšala vožnja i smanjio otpor i bočno ojedanje tračnica i vijenca kotača, u luku se kolosijek proširuje. *Proširenje kolosijeka u luku* ovisi o polumjeru luka (tabl. 10) i o najvećem razmaku kruto vezanih osovina vozila, a postiže se odmicanjem unutrašnje tračnice. Kolosijek bez proširenja prelazi kontinuirano ili stupnjevito na kolosijek s proširenjem na dijelu kolosijeka koji se naziva *prijelazna rampa proširenja*. Najveća dopuštena širina kolosijeka normalne širine jest 1465 mm.

Tablica 10

PROŠIRENJE KOLOSIJEKA NORMALNE ŠIRINE U LUKOVIMA

Polumjer luka m	Proširenje kolosijeka* mm
> 250	0
250...200	5
200...150	10
150...120	15
< 120	20

*prema propisima HŽ

Na vozilo koje se kreće u luku djeluju sila teže i bočna sila koja ovisi o brzini vožnje i polumjeru luka. Zbroj komponenata ubrzanja sile teže i bočnog ubrzanja u ravnini okomitoj na os kolosijeka a paralelno s podom sanduka vagona jest tzv. *neponišteno bočno ubrzanje*. Vrijednost neponištenog bočnog ubrzanja i njegovo nepovoljno djelovanje smanjuju se tako da se tračnice u luku, u presjeku okomitom na os kolosijeka, ne postavljaju na istu visinu, nego se vanjska tračnica postavlja na veću visinu od unutrašnje. Visinska razlika između gornjih rubova vanjske i unutrašnje tračnice naziva se *nadvišenje kolosijeka*.

Theoretsko nadvišenje kolosijeka normalne širine, tj. ono pri kojem je neponišteno bočno ubrzanje jednako nuli, iznosi

$$h_t = 11,8 \frac{v^2}{R}, \quad (2)$$

gdje je v brzina vozila izražena u km/h, R polumjer luka u metrima, a rezultat je brojčana vrijednost nadvišenja izražena u milimetrima. Ono se primjenjuje na kolosijecima gdje svi vlakovi voze jednakim brzinama. Na kolosijecima s mješovitim prometom, gdje vlakovi voze različitim brzinama, uobičajeno nadvišenje kolosijeka prema propisima Hrvatskih željeznica iznosi

$$h_0 = 8 \frac{v^2}{R}. \quad (3)$$

Najmanje dopušteno nadvišenje kolosijeka na Hrvatskim željeznicama računa se prema izrazu

$$h_{\min} = 11,8 \frac{v^2}{R} - 100, \quad (4)$$

koji se dobije iz uvjeta da neponišteno bočno ubrzanje iznosi $0,65 \text{ m/s}^2$. Najveće dopušteno nadvišenje za kolosijek normalne širine određuje se iz uvjeta stabilnosti vozila zaustavljenog na kolosijeku, što na našoj željezničkoj mreži iznosi 150 mm. Za kolosijek s mješovitim prometom, osobito za kolosijek s velikim brzinama, nadvišenje se kolosijeka računa prema posebnim izrazima.

Dio kolosijeka na kojem kolosijek bez nadvišenja prelazi u kolosijek s nadvišenjem zove se *prijelazna rampa nadvišenja*. Nagib rampe nadvišenja ovisi o uporabnim uvjetima kolosijeka i o konstrukciji vozila. Radi sigurnosti od iskliznula vozila ograničuje se vrijednost nagiba prijelazne rampe nadvišenja (međusobni nagib vozne površine jedne tračnice prema drugoj tračnici u istom presjeku) na najviše 1 : 400.

Najveća dopuštena brzina po kolosijeku u horizontalnom luku ovisi o polumjeru luka i o nadvišenju kolosijeka. Zbog toga se za brzine vlakova do 160 km/h polumjer horizontalnog luka s nadvišenjem projektira prema formuli

$$R_h = \frac{v^2}{21,16}, \quad (5)$$

gdje je brzina izražena u km/h, a rezultat je brojčana vrijednost polumjera izražena u metrima. Polumjer luka bez nadvišenja računa se prema formuli

$$R_h = \frac{v^2}{8,47}. \quad (6)$$

Preporučuje se da na otvorenim prugama javnog prometa polumjer horizontalnog luka ne bude manji od 300 m.

Na kolosijecima koji služe za vožnju vlakova različitih brzina, ali većih od 160 km/h, nadvišenje kolosijeka, najmanji polumjer luka i dopušteno neponišteno ubrzanje ovise o strukturi prometa, tj. o omjeru broja brzih i sporih vlakova, njihovim brzinama i po-pratnom opterećenju kolosijeka.

Kada se kolosijek u pravcu priključuje neposredno na kolosijek u luku, pojavljuje se na mjestu priključenja bočno ubrzanje u punom iznosu, što smanjuje udobnost i sigurnost prometa. Zbog toga je već 1870. Nördlig predložio uporabu *prijelaznog luka*, koji je dio kolosijeka između kolosijeka u pravcu i u kružnom luku, tlocrtno položen u obliku pogodne ravninske krivulje. Krivulje koje se primjenjuju za prijelazne lukove moraju biti neprekidne, a zakrivljenost im se mora povećavati pravocrtno s prijeđenim putem. Danas je u te svrhe pretežno u uporabi kubna parabola:

$$y = \frac{x^3}{6RL}, \quad (7)$$

a ako je ispunjen uvjet da je

$$L \geq \sqrt[4]{0,64 R^3}, \quad (8)$$

tada se rabi popravljena kubna Höferova parabola:

$$y = \frac{x^3}{6RL} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{l}{2R} \right)^2} \right]^3 \quad (9)$$

te klotoida. U navedenim je formulama L duljina prijelaznog luka, a l duljina njegove projekcije.

Na mjestima gdje je promjena nagiba ravinice veća od 2%, kolosijek se vertikalno zaobljuje u ravnini okomitoj na ravninu kolosijeka položenoj u osi kolosijeka. *Polumjer vertikalnog luka* (zaobljenja) ovisi o dozvoljenoj brzini vožnje na mjestu promjene nagiba i ne smije, osim u posebnim prigodama, biti manji od 2 000 m na kolosijeku normalne širine. On se za kolosijek normalne širine računa prema izrazu

$$R_v = v^2, \quad (10)$$

gdje je brzina izražena u km/h, a kao rezultat uzima se brojčana vrijednost polumjera izražena u metrima. Kako se u praksi pokazalo da tako veliki polumjeri pri velikim brzinama nisu potrebni, Austrijske željeznice već od 1955. računaju zaobljenje ravinice po Feyu:

$$R_v = 0,4 v^2. \quad (11)$$

Njemačke željeznice od 1958. primjenjuju formulu

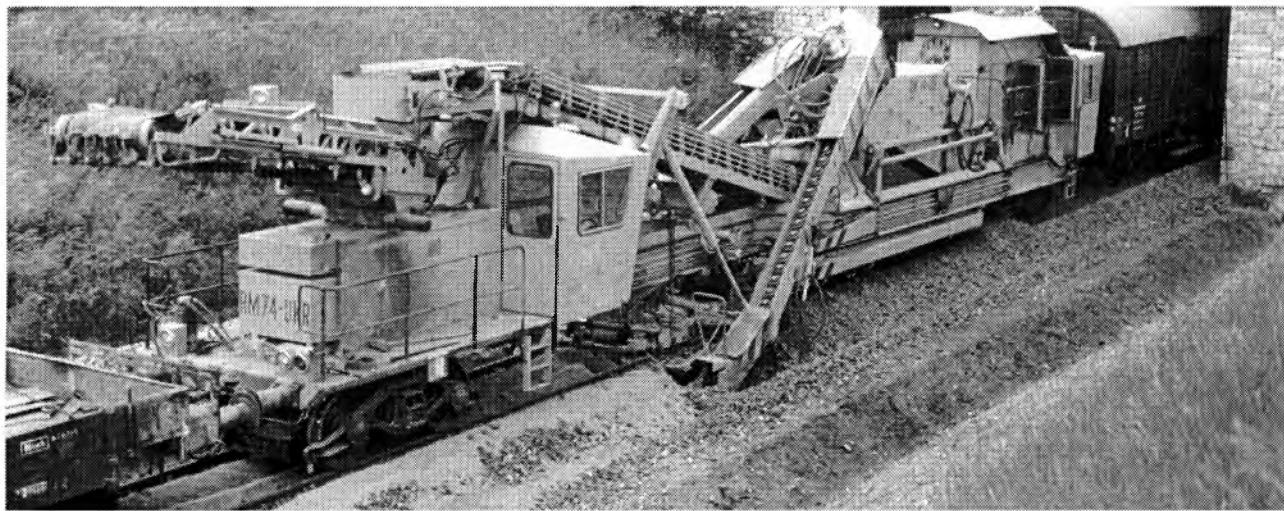
$$R_v = 20 v + 550 \quad (12)$$

ili Birmanov izraz:

$$R_v = 25 v + 1000, \quad (13)$$

što je sukladno novijim mjerjenjima i istraživanjima, te je sve više u uporabi i u ostalim željezničkim upravama.

Održavanje gornjeg ustroja kolosijeka. Kolosijek uporabom mijenja svoja svojstva i potrebno ga je održavati. Provjerom se utvrđuje stanje kolosijeka u cjelini, stanje pojedinih konstruktivnih dijelova gornjeg ustroja i geometrija kolosijeka, provjerava se ravinica, smjer, visinski odnos tračnica u pravcu, nadvišenje kolosijeka u lukovima, širina i stabilnost kolosijeka. Provjera mjerjenjem pojedinih vrijednosti može biti ručna ili pomoći mjerilima vozila, koja u vožnji bilježe pokazatelje o stanju kolosijeka.



Sl. 22. Rešetalica (sijačica) za čišćenje i izmjenu kolosiječnog zastora

Za održavanje kolosijeka u uporabi su mnogi strojevi. Zastorno se gradivo čisti i izmjenjuje *rešetalicom* (sl. 22), a za popravak kolosijeka po visini podbijanjem služi *podbijača*. Osim toga, većom se podbijačom može dotjerivati kolosijek po smjeru i stabilizirati zastorno gradivo. Za oblikovanje zastornog gradiva služe strojevi nazvani *plugovi*.

Pri održavanju gornjeg ustroja razlikuju se redoviti radovi na otklanjanju nedostataka, sezonski radovi kao priprema za ljetne i zimske uvjete, te remonti, koji uključuju promjenu svih konstrukcijskih dijelova. Za sve se konstrukcijske dijelove gornjeg ustroja nastoji postići jednak vijek uporabe. Kada gradivo gornjeg ustroja na nekom kolosijeku više ne zadovoljava uporabne zahtjeve, ugrađuje se u kolosijek gdje su uporabni uvjeti blaži (sporedne pruge, sporedni i ostali kolosijeci). Takav se način gospodarenja gradivom gornjeg ustroja kolosijeka naziva cikličkom zamjenom. Njome se u znatnoj mjeri produljuje uporabivost dijelova gornjeg ustroja.

B. Pollak

ŽELJEZNIČKA VOZILA

Željeznička se vozila definiraju, projektiraju, konstruiraju i proizvode prema određenim dogovorima, pravilima i normama, budući da se u načelu ne kreću u slobodnom prostoru, već kolosijekom (prugom, trasom) u strogo normiranom okruženju s obzirom na postojeću infrastrukturu i okoliš. Istodobno je željeznica transportni sustav učinkovita protoka putnika i roba sa sve većim značenjem u povezivanju zemalja i područja bez obzira na državne i pravne granice, pa željeznička vozila moraju biti usklađena s međunarodnim konvencijama, propisima i normama, za što je nadležna Međunarodna željeznička unija u Parizu, koje je punopravni član i Republika Hrvatska. Tako nastaju norme koje vrijede za sva željeznička vozila, a koje se stalno usklađuju i nadopunjaju na međunarodnoj razini.

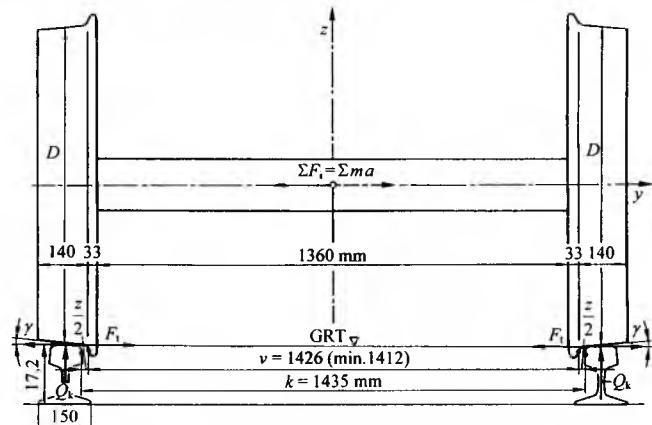
Područje brzina kretanja željezničkih vozila do 160 km/h, i to kompozicija s lokomotivskom vućom i motornih vlakova, smatra se konvencionalnim s obzirom na njihovu konstrukciju, prometne i vozne karakteristike (posebno na učinkovitost kočnica) te prateće sigurnosne prometne mјere (posebno na razmake signala), dok se područje brzina od 160–350 km/h smatra *područjem velikih brzina*, koje zahtijeva posebna tehnička rješenja za vozila, prateću infrastrukturu, kolosijek te signalno-sigurnosni i informacijski sustav.

Mehanika vođenja vozila kolosijekom

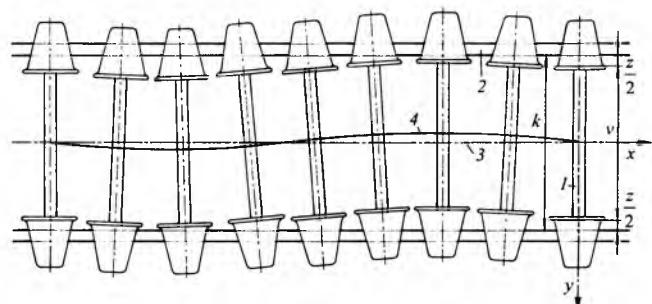
Prisilno vođenje. Osnovna je karakteristika željezničkih vozila prisilno kretanje po tračnicama. Pritom je bitno da se sprječi iskliznuće te da vozila opterećuju kolosijek sa što manjim silama, jer se prevelikim opterećenjem oštećuje i uništava kolosijek.

Sile na kolosijek od vozila u pokretu i mogućnost njegova iskliznuća posljedice su mehaničkog dodira kotača osovinskog

sklopa i tračnica (sl. 23). Osovinski sklop, dva čvrsto naprešana kotača koničnih kotrljajućih ploha na osovinici, kotrljaju se po tračnicama s prikazom u ravni yz. U stanju teoretske dinamičke ravnoteže sila središte osovinskog sklopa slijedilo bi bez vijuganja os (simetrali) kolosijeka. U stvarnosti, pri kotrljanju osovinskog sklopa javljaju se inercijske sile, koje nastoje pomaknuti osovinski sklop u smjeru poprečne osi y, no kojima se opiru sile trenja zbog bočnog klizanja po dodirnim ploham kotača i tračnica. Tako dugo dok se inercijske sile mogu uravnotežiti silama trenja, osovinski će sklop, što znači i cijelo vozilo, vijugati malim amplitudama s obzirom na os kolosijeka u smjeru osi y, a konične kotrljajuće plohe kotača (konus 1 : 40 do 1 : 20) služit će kao automatska centrirajuća komponenta za zakretanje osovinskog sklopa i njegovo vraćanje u smjer osi kolosijeka (sl. 24).

Sl. 23. Osovinski sklop na tračnicama. D promjer kotača, γ kut koničnosti kotrljajućih ploha kotača, GRT_y gornji rub tračnica (UIC 60)

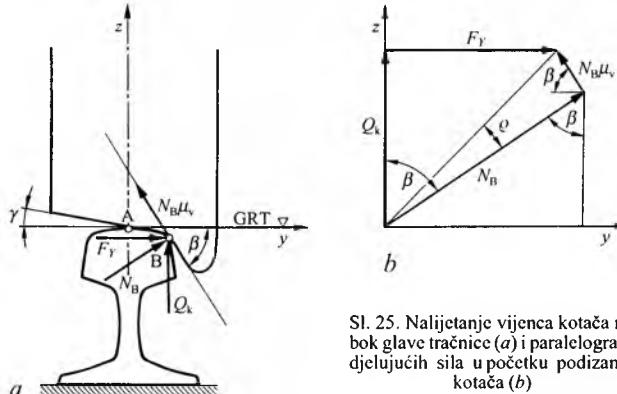
Za opisano kontrolirano vijuganje osovinskog sklopa (uravnoteženo s obzirom na djelujuće sile) na raspolažanju je u poprečnom smjeru y prostor između vijenca kotača i boka glave



Sl. 24. Vijugavo kotrljanje osovinskog sklopa po tračnicama u ravni xy. 1 osovinski sklop, 2 tračnice, 3 oskolosijeka, 4 krivulja putovanja središta osovinskog sklopa

tračnice, koji se naziva kanal za vijuganje vozila prugom ili *zazor* z (sl. 23). On je jednak razlici širine kolosijeka k i razmaka vijenaca kotača osovinskog sklopa ($z=k-v$). S novougrađenim osovinskim sklopom zazor je ~ 10 mm, a s istrošenim i većim od 20 mm. Prema tome, osovinski se sklop pri uravnoteženom vijuganju u zazoru bočno pomiče amplitudama od 3–5 mm i u načelu vijenac kotača ne dodiruje bok glave tračnice. Uvjeti vožnje bitno se mijenjaju kada inercijske sile (masene sile cijelog vozila reducirane na osovinski sklop) prerastu sile trenja prečnog klizanja kotača po tračnicama, što može nastati u vožnji kroz zavoj, pri bočnim udarima vjetra, neravnopravnosti kolosijeka, neuravnoteženosti vozila itd. U tom trenutku amplitude vijuganja osovinskog sklopa u poprečnom smjeru postaju veće od zazora, pa vijenac kotača nalijeće na bok tračnice, osovinski se sklop i cijelo vozilo zakreću i vraćaju u smjer osi kolosijeka. Prema tome, vijenac kotača željezničkih vozila sigurnosna je mjeru od izljetanja osovinskog sklopa i cijelog vozila s tračnicama pri prevelikim silama u poprečnom smjeru.

Sam dodir ili čak udarac vijenca kotača o bok glave tračnice još ne znači i stanje pred iskliznućem, već u prvom redu nemirnu i neudobnu vožnju za putnike, prekomerno trošenje kotača i tračnica te oštećenje kolosijeka. Stvarno stanje koje prethodi iskliznuću (sl. 25 a) definira se kao penjanje vijenca kotača po boku glave tračnice, a nastaje u trenutku kada se zbog bočnih sila kotrljajuća ploha kotača potpuno rastereti, npr. vanjski kotač u zavodu (točka A), a cijelo se opterećenje od kotača prenosi na tračnicu na dodirnom mjestu vijenca s bokom tračnice (točka B).



Paralelogram sile (sl. 25 b) upućuje na ravnotežu sile u smjeru osi z i y, pa je tada opterećenje od kotača

$$Q_k = N_B \cos \beta + N_B \mu_v \sin \beta, \quad (14)$$

a sila vođenja vanjskog kotača prvog osovinskog sklopa

$$F_Y = N_B \sin \beta - N_B \mu_v \cos \beta, \quad (15)$$

gdje je N_B normalna komponenta opterećenja u točki B, $\mu_v (= \tan \rho)$ koeficijent trenja između vijenca kotača i boka glave

tračnice, a β kut nagiba vijenca kotača. U trenutku ravnoteže bit će

$$\frac{F_Y}{Q_k} = \frac{\tan \beta - \tan \rho}{1 + \tan \beta \cdot \tan \rho} = \tan(\beta - \rho), \quad (16)$$

gdje je ρ kut trenja. Uz uobičajene iznose veličina ($\beta=70^\circ$, $\tan \rho=\mu_v \approx 0,36$) brojčani je izraz za (16)

$$\frac{F_Y}{Q_k} = 1,2, \quad (17)$$

što je granična vrijednost omjera mehaničkih sila pred iskliznućem. Za sigurnu vožnju vozila po tračnicama taj omjer treba biti manji od 1,2 ili najviše jednak toj vrijednosti.

Iznosi sila kojima vozilo opterećuje kolosijek mjeru su kvalitete vožnje. Najveća bočna sila vozila na kolosijek, koja se dopušta s obzirom na moguća oštećenja tračnica i pričvrstnog pribora te pomake pragova, iznosi prema M. A. Prud'hommu

$$F_p = 0,85 \left(10 + \frac{Q_0}{3} \right), \quad (18)$$

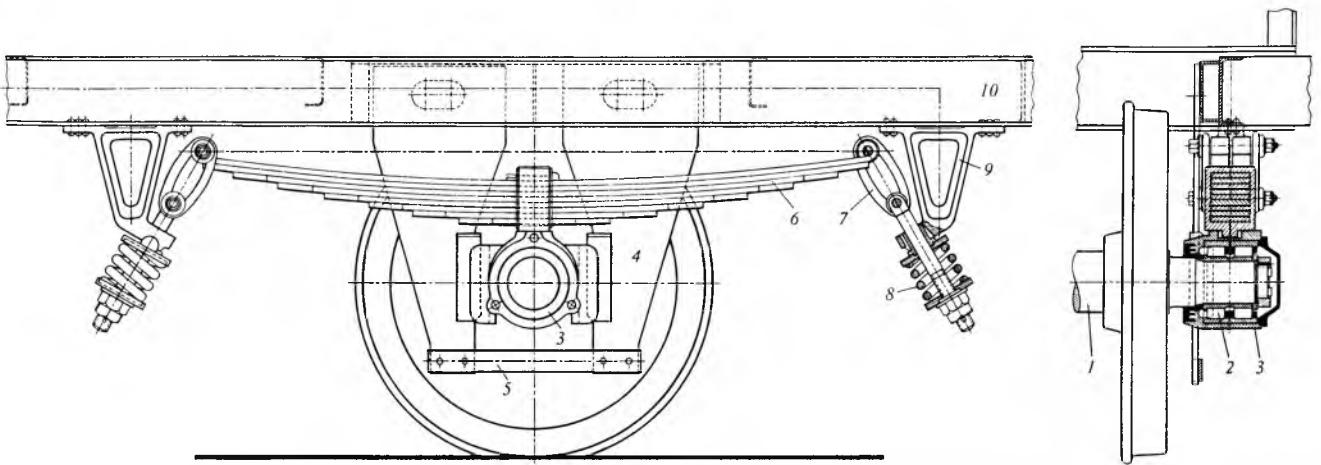
gdje je Q_0 osovinsko opterećenje (u kN).

Tablica 11
UGODNOST VOŽNJE I PROMETNA UPOTREBLJIVOST VOZILA

Ocjena vozila	Faktor mirnoće hoda (Wz-broj)	Vibracije vozila
Vrlo dobro	1,0	slabo osjetljive
Dobro	2,0	dobro osjetljive
	2,5	jače osjetljive, podnošljive
Zadovoljavajuće	3,0	jako osjetljive, još podnošljive, nemirno vozilo
	3,25	jako nemirno vozilo
	3,5	vrlo nemirno vozilo, neugodne vibracije, nepodnošljive kad su dugotrajne
Prometno sposobno	4,0	osobito neugodne, štetne kad su dugotrajne
Prometno nesposobno	4,5	
Prometno opasno	5,0	

Posebno je važno svojstvo željezničkih vozila razina udobnosti vožnje za putnike i prateće osoblje, te prometna upotrebljivost vozila s obzirom na njegove oscilacije. Te karakteristike proizlaze iz konstrukcije vozila i dinamičkih svojstava vozila i kolosijeka te njihova međusobnog djelovanja. Pokazatelj je razine ugodnosti vožnje i prometne upotrebljivosti vozila faktor mirnoće vožnje, poznat kao Wz-broj (od njem. Wertziffer, prema E. Sperlingu), kojega se vrijednosti dobivaju proračunom i mjerljem osculatornih indikatora (amplitude i frekvencije) vozila na kolosijeku (tabl. 11).

N. Dujmović



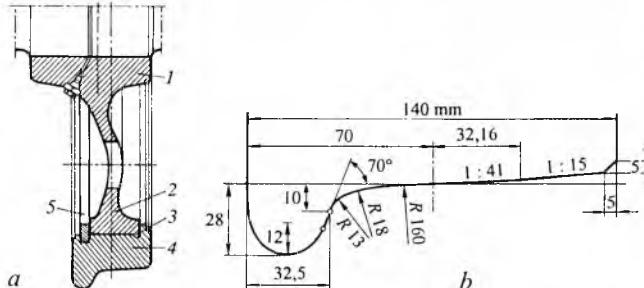
Sl. 26. Vozno postolje dvoosovinskog vagona. 1 osovina, 2 kotrljajući ležaj, 3 kućište ležaja, 4 vodilica kućišta ležaja, 5 spojnica, 6 lisnata opruga, 7 karika, 8 zavojna opruga, 9 potpornjak, 10 donji okvir vagona

Glavni dijelovi željezničkih vozila

Željezničko se vozilo sastoji od četiri glavna dijela: od sanduka, voznog postolja, kočnice i vučno-odbojnog uređaja.

Sanduk. Oblik veličina sanduka ovisi namjerno vozila. Sanduk može služiti za smještaj motornog pogona (vučna vozila), za prihvat putnika i robe (vučna vozila – putnički i teretni vagoni) ili za smještaj opreme posebne namjene, npr. oprema željezničkih građevinskih vozila za gradnju i održavanje pruge.

Vozno postolje. Glavni je element voznog postolja (sl. 26) *osovinski sklop*. Vagonski osovinski sklop sastoji se od osovine i dvaju kotača, a u vagonima s pločastim kočnicama (disk-kočnicama) sadrži i jednu ili više kočnih ploča. Lokomotivski ili po-



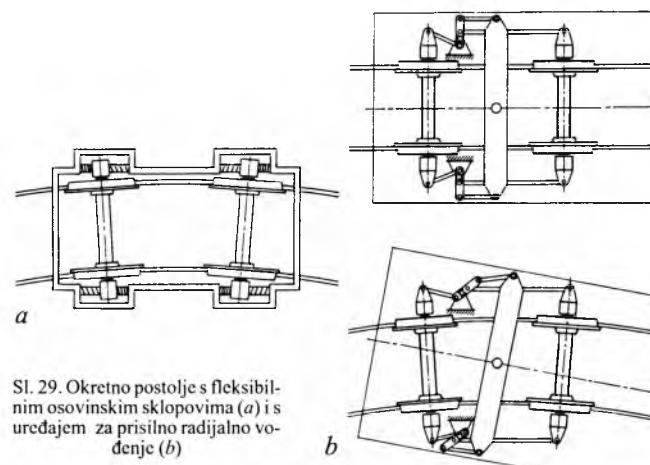
Sl. 27. Presjek dvodijelnog kotača (a) i profil vozne plohe (b). 1 glavčina, 2 ploča, 3 naplatak, 4 obruč, 5 sigurnosni prsten

gonski osovinski sklop motornog vlaka sadrži i pogonski zupčanik ili cijeli reduktor, a može imati i kočne ploče. Kotač može biti jednodijelan ili višedijelan (sl. 27a). Višedijelni se kotač sastoji od tijela (glavčine, ploče i naplata) i obruča. Obruč se navlači na tijelo kotača u vrućem stanju da bi se nakon hlađenja stvorio čvrsti spoj, a dodatno se osigurava prstenom koji sprečava njegovo odvajanje od tijela kotača. Prednost je višedijelnog kotača što se kad se istroši mijenja samo obruč, a ne cijeli kotač. Neki vagoni za prigradski i gradski promet imaju između naplatka i obruča gumeni umetak koji smanjuje buku.

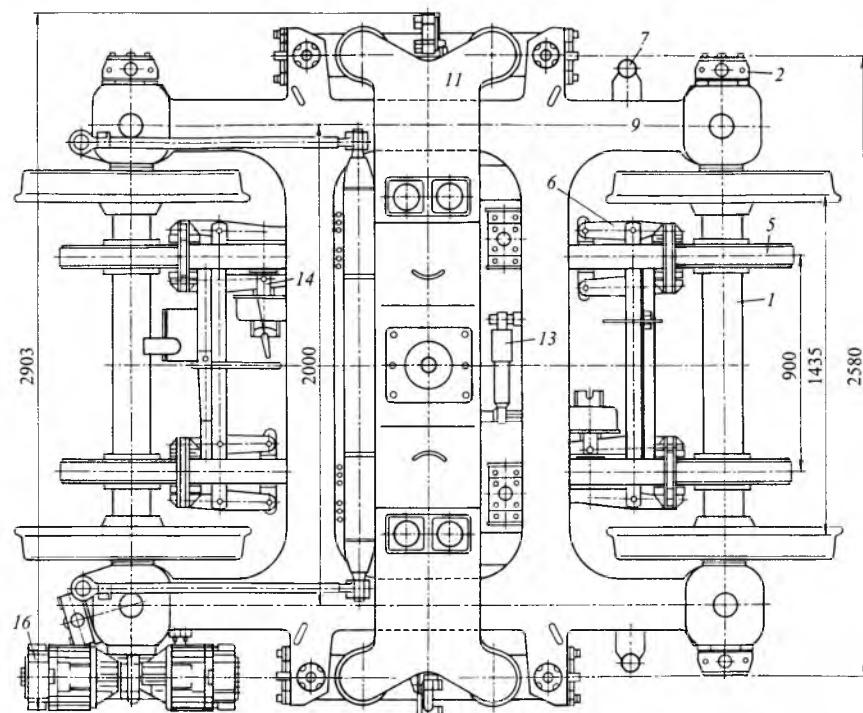
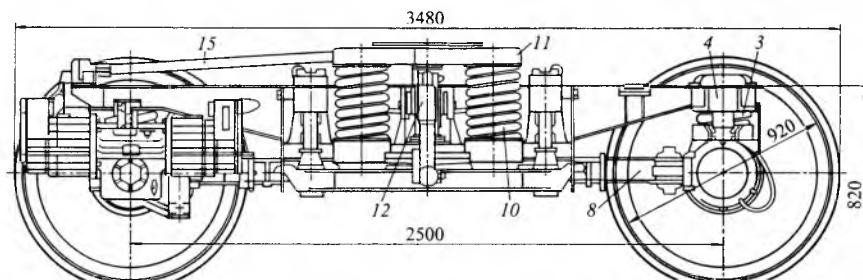
Promjer kotača ovisi o vrsti i namjeni vozila i obično iznosi 300–1300 mm. Profil kotača, tj. njegova vozna ploha koja je u dodiru s tračnicom, jedinstven je za sva vozila željezničkih uprava članica Međunarodne željezničke unije (sl. 27b). Kada se na osovinski sklop ugrade ležaji s kućištem ležaja, dobiva se vagonski, odnosno lokomotivski slog. Na motornim vlakovima i nekim lokomotivama kojima nisu sve osovine pogonske, razlikuju se pogonski i slobodni osovinski skloovi.

Na željezničkom vozilu s dvije ili tri osovine vozno se postolje sastoji od dva ili tri osovinska sklopa i ovjesa, a na vozilu sa četiri ili više osovina od najmanje dva okretna postolja. *Okretno postolje* sastavni je dio svih većih suvremenih željezničkih vozila. Sastoje se od okvira, osovinskih sklopova, opruga i prigušnih elemenata (sl. 28). Ono omogućuje lakši prolazak vozila zavojem jer smanjuje trenje između kotača i tračnice i njihovo trošenje. Osim toga, na nekim se tipovima okretnih postolja osovine u zavodu postavljaju gotovo radikalno, i to fleksibilnim spojem osovinskih sklopova s okvirom postolja ili pomoću uređaja za prisilno radikalno vođenje pojedinih osovinskih sklopova (sl. 29). Vozila s okretnim postoljima stabilnija su na pruzi, a vožnja im je mirnija i tiša.

Sl. 29. Okretno postolje s fleksibilnim osovinskim sklopovima (a) i uređajem za prisilno radikalno vođenje (b)



Ugradnjom okretnih postolja može se povećati broj osovina na vozilu, čime se povećava i nosivost vozila. Na putničkom vagonu okretna postolja uglavnom imaju dvije, rijetko tri osovine, na teretnom vagonu dvije, tri i više osovina, a na lokomotivama najviše tri osovine. Tako, npr., na vagonu koji prevozi teške terete okretno postolje ima i do osam osovina, a na vagonu s niskim podom i malim promjerom kotača četiri do pet osovina. Okretno postolje za teretne vagonе ima obično samo jedan stupanj ovjesa,



Sl. 28. Okretno postolje putničkog vagona njemačke tvrtke Minden Deutz (tip MD 522) s ugrađenim tandemskim alternatorom i bez magnetne tračničke kočnice. 1 osovinski sklop, 2 kućište ležaja, 3 primarni ovjes, 4 amortizer primarnog ovjesa, 5 kočna ploča, 6 kočno poluže, 7 graničnik bočnih pomicanja okretnog postolja, 8 vodilica kućišta ležaja, 9 okvir, 10 sekundarni ovjes, 11 koljevka, 12 vertikalni amortizer sekundarnog ovjesa, 13 amortizer za prigušenje horizontalnih vibracija, 14 priključak na ručnu kočnicu, 15 torzijski mehanizam za smanjivanje ljudljjanja i krivudanja, 16 tandemski alternator

a za putničke vagone, lokomotive i motorne vlakove dva, pa i tri stupnja.

Za teretne se vagone okretna postolja grade za brzine do 100 i do 120 km/h, gdje je razlika samo u učinku kočnice, a u najnovije doba i za brzine do 160 km/h. Za putničke vagone, lokomotive i motorne vlakove nema ograničenja brzine, ali se okretna postolja ipak grade za neke određene brzine, npr. za 120, 160 ili 200 km/h, a danas i za motorne vlakove velikih brzina ($> 300 \text{ km/h}$).

Neka okretna postolja imaju i hidraulični ili pneumatski uređaj za naginjanje sanduka vozila u zavoju. Time se omogućuje ugodna vožnja i pri bržem prolasku kroz zavoj.

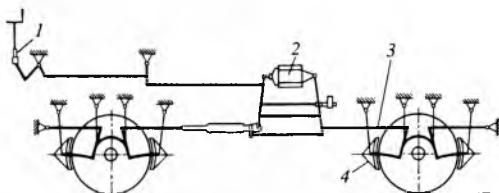
Kočnica. Kočnica je najvažniji sigurnosni element željezničkog vozila, jer omogućuje usporavanje i zaustavljanje po točno određenom režimu. Svako željezničko vozilo ima ručnu i zračnu kočnicu, a može imati i druge vrste kočnica.

Ručna kočnica najstarija je kočnica. Prvotna joj je zadaća bila ručno kočenje vagona u vožnji, a danas služi samo za sprečavanje samopokretanja s mesta vozila koje stoji izvan kompozicije vlaka. U većini se putničkih vagona, u lokomotivama i motornim vlakovima ručna kočnica aktivira iznutra, a samo u nekim putničkim i svim teretnim wagonima aktivira se izvana, kada vagon stoji.

Zračna kočnica kao aktivni radni medij upotrebljava komprimirani zrak. Kočenje i otpuštanje kočnica događa se približno istodobno na svim vozilima kompozicije. Kočenjem se upravlja iz lokomotive ili upravljačkog mesta u motornom vlaku pomoću kočnika. Kompresor dobavlja stlačeni zrak nazivnog tlaka 10 bar u glavni spremnik. Iz njega zrak odlazi neposredno u napojni vod i posredno, preko kočnika, u glavni vod. Glavni i napojni vodovi proteže se ispod donjeg okvira vozila i spojeni su tako da čine jedinstveni i nepropusni cjevovod uzduž cijelog vlaka. Glavni je vod pod nazivnim tlakom od 5 bar i služi samo za upravljanje i posluživanje kočnice. Napojni je vod nazivnog tlaka 10 bar i služi za napajanje pomoćnih uređaja stlačenim zrakom, npr. za otvaranje i zatvaranje vrata, posluživanje sanitarnog čvora, za iskrcaj rasutih i praškastih tereta itd.

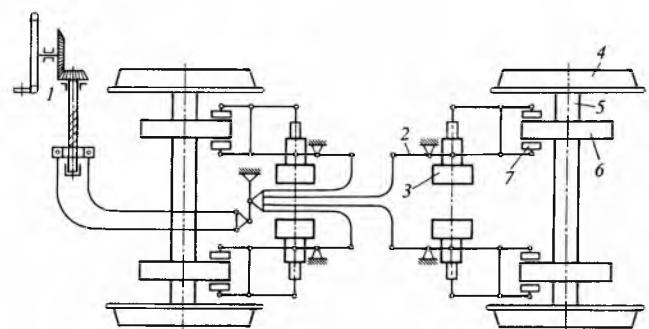
Na svakom željezničkom vozilu na glavni su vod spojeni pomoćni spremnici i rasporednici, a na njih kočni cilindri. U vrijeme vožnje bez kočenja u glavnem vodu i pomoćnim spremnicima vlada isti povećani tlak, a u kočnim cilindrima nema povećanog tlaka. Kočenje se ostvaruje tako da strojovođa pomoću ruke na kočniku ispušta zrak iz glavnog voda u atmosferu. Pad tlaka u glavnem vodu registriraju rasporednici te iz pomoćnih spremnika propuštaju stlačeni zrak u kočne cilindre. Njihovi klipovi djeluju pomoću kočnog polužja na izvršne dijelove kočnog sustava, koji ostvaruju kočenje u neposrednom dodiru s kotačima ili kočnim pločama.

Izvršni dio može biti papučna kočnica i pločasta kočnica. **Papučna kočnica** pritišće svojim kočnim umetcima od lijevanog željeza ili kompozitnih materijala na obod kotača i trenjem stvara kočnu silu (sl. 30). Upotrebljava se na vozilima namijenjenima teretnom i putničkom prometu. **Pločasta kočnica** koči svojim oblogama, kojima pritišće na ploče učvršćene na osovini kotača (sl. 31) ili postavljene uz ploču kotača. Uobičajena je izvedba s dva diska po osovinu, a može ih biti i četiri. Pločasta kočnica najviše se upotrebljava na wagonima, lokomotivama i motornim vlakovima predviđenim za veće brzine.



Sl. 30. Kočenje papučnom kočnicom. / ručna kočnica, 2 cilindar zračne kočnice, 3 kočno polužje, 4 obloga papučne kočnice

Kočnice se otpuštaju (otkočuju) tako da se pomoću kočnika opet poveća tlak u glavnem vodu dovođenjem stlačenog zraka iz glavnog spremnika. Rasporednici tada omogućuju punjenje pomoćnih spremnika stlačenim zrakom, a istodobno se iz kočnih cilindara stlačeni zrak ispušta u atmosferu. Ako se vlak raskine pa popucaju spojnica glavnog voda, naglo padne tlak u glavnem vodu i nastupa automatsko kočenje vlaka.



Sl. 31. Kočenje pločastom kočnicom. / ručna kočnica, 2 kočno polužje, 3 cilindar zračne kočnice, 4 kotač, 5 osovina, 6 kočna ploča, 7 obloga pločaste kočnice

Generatorska kočnica električne lokomotive ili motornog vlaka (otpornička ili rekuperativna kočnica) svoj kočni učinak također prenosi na osovinski sklop i koči trenjem između kotača i tračnice (v. *Elektromotorni pogon*, TE 4, str. 423).

Elektromagnetska kočnica obvezna je danas na svim željezničkim vozilima za veće brzine ($> 160 \text{ km/h}$). Ona svoj kočni učinak ne ostvaruje preko osovinskog sklopa, odnosno kotača, već izravno, trenjem od pritiskanja kočne obloge na tračnicu silom stvorenom magnetskim poljem elektromagneta na koji je obloga učvršćena.

Kočnica na vrtložne struje primjenjuje se u vlakovima velikih brzina, a kočni učin ostvaruje privlačnom silom između elektromagneta i tračnice, s kojom se elektromagnet ne dodiruje.

Generatorska i elektromagnetska kočnica te kočnica na vrtložne struje djeluju samo u području većih brzina i to su djelotvornije što je brzina veća. Međutim, vozilo se potpuno zaustavlja samo zračnom kočnicom.

Cilj je svakog kočenja smanjiti zaustavni put. Pri kočenju trenjem između kotača i tračnice poželjno je da zaustavna sila, koja tijekom kočenja stalno mijenja svoju vrijednost, bude što veća, jer će tada zaustavni put biti kraći. Međutim, osnovni je uvjet djelotvornog kočenja da se kotač ne blokira i ne počne klizati po tračnici, jer je tada zaustavni put dulji zato što je trenje klizanja manje od trenja kotrljanja (v. *Električna vuča*, TE 3, str. 692). Da bi se spriječilo blokiranje kotača i klizanje, zaustavna sila ne smije biti veća od umnoška osovinskog opterećenja i koeficijenta trenja između kotača i tračnice:

$$F \leq Q \cdot \mu_0. \quad (19)$$

Omjer zaustavne sile na jednoj osovinu (proizvedene kočnom oblogom) i osovinskog opterećenja naziva se **kočenost**:

$$K = \frac{F}{Q} \cdot 100\%, \quad (20)$$

a ovisi o vrsti kočnice, materijalu obloge i režimu kočenja. Za teretne vagone (režim kočenja G i P) s papučnom kočnicom i oblogom od lijevanog željeza je $K = 60 \dots 100\%$, a za režim kočenja R u području velikih brzina $K = 160 \dots 200\%$. Za putničke vagone s pločastom kočnicom i oblogom od kompozitnih materijala $K = 28 \dots 38\%$. Kočenost daje uvid u iznos sile potrebne da se ostvari kočenje.

Jakost kočnice ili **kočni učinak** izražava se **kočnom masom** (naziva se i **kočnom težinom**). Ona se izračunava empirijskim formulama, provjerava eksperimentalno za svaku vrstu i tip vozila na temelju zaustavnog puta pri različitim brzinama, a može se shvatiti kao sila koja zaustavlja vozilo. Osnova za proračun kočne mase jest **postotak kočne mase** određen međunarodnim propisima za pojedine vrste vozila i režime kočenja. Izražava se kao omjer kočne mase i mase vozila:

$$\lambda = \frac{B}{M} \cdot 100\%. \quad (21)$$

Za režim kočenja G postotak kočne mase treba biti $65 \dots 120\%$, za režim P $105 \dots 120\%$, a za režim R $150 \dots 170\%$. Međunarodni propisi, dakle, ne određuju zaustavni put za određenu brzinu, već brzinu zaustavljanja. Neke željezničke uprave kao parametar za

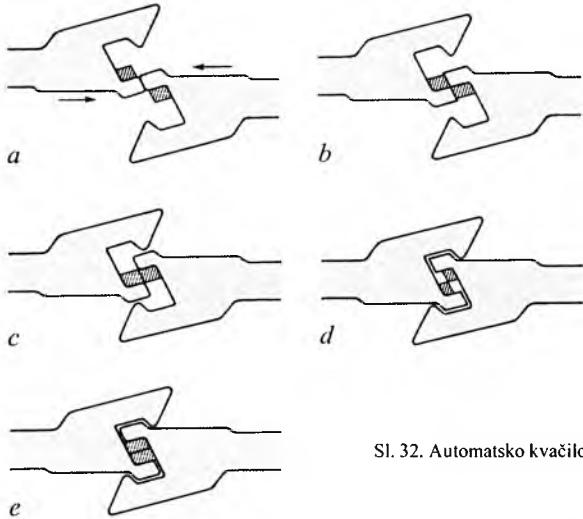
određivanje jakosti kočnice vozila u tuzemnom prometu ipak uvjetuju zaustavni put za određenu brzinu i takva je kočnica obično uvijek jača od međunarodno propisane kočnice.

Na svako se željezničko vozilo kao parametar jakosti kočnice ispisuju vrijednosti mase vozila i kočne mase. Pri sastavljanju vlaka te se vrijednosti zbrajaju i na temelju njih utvrđuje se postotak kočne mase vlaka, koji strojovodni služi kao pokazatelj mogućnosti zaustavljanja vlaka na razmaku signala, uzimajući u obzir i nagib pruge. O tim parametrima ovisi izbor vrste kočnice, tlak u kočnim cilindrima, prijenosni omjer kočnog polužja i dr.

Vučno-odbojni uređaj. Od vučno-odbojnog uređaja mogu se na jednom željezničkom vozilu nalaziti dva vučna uređaja i četiri odbojnika ili samo dva automatska kvačila.

Vučni uređaj služi za spajanje vozila i za vuču. Smješten je na čelne grede, a sastoji se od vučne kuke, vijčanog kvačila (vretenaste spojnice), teglenice i opruga. Položaj i glavne izmjere vučnog uređaja su normirani: kuka treba imati prekidnu čvrstoču 1000 kN, a vijčano kvačilo 800 kN, hod opruge treba biti 55 mm, a njezina krajnja sila zbijanja 1000 kN. U primjeni je više vrsta opruga, najviše gumenih i čeličnih (pužastih i prstenastih), a u novije doba i elastomernih, s mogućnošću primanja statičke energije tlaćenja od ~ 16 kJ, a dinamičke od ~ 25 kJ, te s mogućnošću poništenja energije od 44–61%.

Odbojnici su uređaji za ublažavanje i prigušivanje međusobnih udaraca vozila pri spajanju i vožnji. Postavljaju se u parovima na čelnim gredama, po četiri na svakom vozilu. Položaj, glavne izmjere i karakteristike odbojnika također su normirani. Duljina je odbojnika putničkih vagona 650 mm, teretnih vagona i lokomotiva 620 mm, razmak 1750 mm, a hod 110 mm. Opruge za ublažavanje udaraca mogu biti gumene, čelične (pužaste i prstenaste), hidraulično-pneumatske i elastomerne. Za putničke su vagoni uobičajeni odbojnici s oprugama za energije od 27–30 kJ, a odbojnici za teretne vagonе svrstani su u tri kategorije: A (do 30 kJ), B (30–50 kJ) i C (50–80 kJ). Teretni vagoni koji prevoze opasan teret, npr. zapaljive tekućine i plinove, eksplozivni materijal i dr., imaju specijalne odbojnice neposredno uz vučni uređaj, po jedan na svakom čelu. Na lokomotivama se upotrebljavaju jednaki odbojnici kao i na teretnim vagonima, a na motornim se vlakovima uglavnom upotrebljavaju automatska kvačila.



Sl. 32. Automatsko kvačilo

Automatsko kvačilo kombinacija je vučnog uređaja i odbojnika. Sastoji se od glave za automatsko kvačenje, opruge za privatne sile udaraca i opruge za elastičnu vuču vagona, a na glavi se nalaze i spojnice za komprimirani zrak i električne vodove. Prilikom sastavljanja vozila glave se dodirom i pritiskom vozila same zakvače tako da se bez intervencije manevrista ne mogu rastaviti (sl. 32). Rastavljanje se obavlja bez uloženja u prostor između odbojnika, samo potezanjem ručice na boku vozila, što se ne može učiniti ako u glavi djeluje vučna sila. Automatsko kvačilo može primiti silu udarca do 2500 kN, a također elastično prenijeti vučnu silu od 2500 kN.

V. Božić

Pogonska vozila

Željeznička pogonska vozila imaju pogonski agregat za vlastito kretanje i za vuču vagona i ostalih tračničkih vozila bez pogona. Pogonska su vozila lokomotive i motorni vlakovi. Lokomotive služe za vuču vagona i nemaju prostor za putnike ili teret, dok su motorni vlakovi željezničke kompozicije s vlastitim pogonom namijenjene u prvom redu prijevozu putnika i lakog tereta.

Snaga pogonskih vozila. Osnovne su norme i značajke za gradnju željezničkih vozila, kao npr. poprečni profil vozila i osovinsko opterećenje, već opisane, dok je za projektiranje pogonskih vozila osnovna veličina *potrebna snaga*. Pogonska vozila moraju ugrađenom snagom moći ostvariti takvu *vučnu silu* između kotača pogonskih osovina vozila i tračnica da se na određenoj željezničkoj pruzi može ostvariti zahtijevana kinematika tih vozila prema prometnom zadatku i namjeni. Svaki se realno pretpostavljeni teret (putnici i roba) može smjestiti određeni broj željezničkih vozila, uz spomenuta ograničenja s obzirom na izmjere (profil) vozila i osovinsko opterećenje. Pri kretanju tog tereta, odnosno kompozicije željezničkih vozila, pojavljuju se otpori zbog različitih fizikalnih pojava, koji se moraju svladati vučnom silom, odnosno pogonskom snagom.

Ukupni otpor na horizontalnoj ravnoj pruzi opisuje se izrazom

$$R = a + bv + cv^2, \quad (22)$$

gdje su konstante a , b i c određene računski i eksperimentalno, a v je trenutaka brzina vozila. Članom a obuhvaćeni su otpori kontroliranja i trenja u ležajevima, članom bv dinamičke sile vođenja kotača po tračnicama, a članom cv^2 aerodinamički otpor sredine u kojoj se vlak kreće. Otpori zbog uspona pruge, prolaza kroz zavoje te zbog ubrzanja vozila moraju se dodati ukupnom otporu. Najveći otpor R_0 pri nazivnoj brzini v_0 , mora biti svedan vučnom silom F_0 pogonskog agregata, pa vrijedi da je $F_0 \geq R_0$. Iz toga slijedi da *računska snaga* potrebna za svedavanje otpora R_0 pri nazivnoj brzini v_0 iznosi

$$P_0 = F_0 v_0. \quad (23)$$

Budući da je sila F_0 računska vučna sila na obodu kotača, odnosno na vučnom uređaju (kuk) pogonskih vozila (čvrstoča i naprezanja su normirani), *ukupna snaga* P pogonskog agregata mora biti veća od računske snage P_0 za iznos mehaničkih i električnih gubitaka između pogonskih osovina i pogonskog agregata.

Kada se odredi računska, odnosno ukupna potrebna snaga, slijede bitne provjere s obzirom na pogonsko vozilo. Pritom je potrebno utvrditi može li se u praksi konstruirati vozilo takve snage s obzirom na njegove ograničene izmjere i ograničenu masu po osovinskom sklopu, te koliko je pogonskih osovina potrebno uz određeno osovinsko opterećenje da bi se ta snaga prenijela trenjem između kotača i tračnica. Snaga koja se po pogonskoj osovinu može prenijeti trenjem iznosi

$$P_t = Q_0 v \mu_0, \quad (24)$$

gdje je Q_0 osovinsko opterećenje, v brzina vozila, a μ_0 koeficijent trenja između kotača i tračnica. Vrijednosti prenosive snage bitno ovise o fizikalnom trenju, odnosno prianjanju na mjestu dodira kotača s tračnicom. Koeficijent trenja između kotača i tračnica funkcija je brzine i njegova je vrijednost utvrđena mnogim ispitivanjima u različitim atmosferskim uvjetima (tabl. 12).

Tablica 12

OVISNOST KOEFICIJENTA TRENIJA I SNAGE PRENOŠIVE TRENJEM O BRZINI VOZILA I OSOVINSKOM OPTEREĆENJU Q_0

Brzina km/h	Koeficijent trenja	Snaga po pogonskoj osovinu prenosiva trenjem (kW)		
		$Q_0 = 170$ kN	$Q_0 = 200$ kN	$Q_0 = 225$ kN
50	0,18	425	500	563
100	0,17	803	945	1063
150	0,15	1063	1251	1407
200	0,13	1226	1443	1623
250	0,11	1298	1527	–
300	0,09	1275	–	–

Potreban broj pogonskih osovina lokomotive ili motornog vlaka bitno utječe na konstruktivnu koncepciju pogonskih vozila, a utvrđuje se prema izrazu

$$N_{po} = \frac{P_0}{P_t}. \quad (25)$$

Na temelju opisanih normi za pogonska vozila (profil, izmjere i masa vozila, osovinsko opterećenje, granična vučna sila s obzirom na vučni uređaj) te poznate potrebne snage, moguće je projektirati i konstruirati pogonsko željezničko vozilo.

Pogonski agregati. Za pogonska željeznička vozila pogonski agregati mogu biti parni stroj, plinska turbina, Dieslov motor s električnim ili hidrauličnim prijenosnikom i elektromotor s napajanjem iz visokonaponskog strujnog voda istosmjernom ili jednofaznom izmjeničnom strujom (v. *Lokomotive*, TE 7, str. 537). Parni stroj i plinska turbina zbog male se energetske korisnosti i glomazne izvedbe više ne primjenjuju. Dieslov motor s hidrauličnim ili električnim prijenosnikom ugrađuje se u lokomotive i u suvremene izvedbe motornih vlakova za nedelektrificirane pruge s brzinama vožnje do 200 km/h, dok elektromotorni pogon dobiva danas najširi primjenu, posebno u području velikih brzina.

Elektromotorni pogon željezničkih pogonskih vozila (v. *Električna vuča i elektromotorna vozila*, TE 3, str. 689) ostvaruje se kolektorskim (istosmjernim, monofaznim i mješovitim) te trofaznim sinkronim i asinkronim elektromotorima (v. *Električni strojevi*, TE 4, str. 153). Posebno su važni trofazni asinkroni elektromotori jer imaju manji obujam i masu s obzirom na kolektorske elektromotore iste nazivne snage, nemaju četkice i komutatore te se lakše održavaju, a moguća je i precizna i kontinuirana regulacija zakretnog momenta i snage naponom i frekvencijom. Široka primjena trofaznih asinkronih elektromotora posljedica je mogućnosti stvaranja trofazne struje unutar pogonskog vozila, pri čemu se ono može napajati strujom različitih karakteristika, i to istosmjernom strujom napona 1,5 ili 3 kV, jednofaznom izmjeničnom strujom od 25 kV i 50 Hz ili od 15 kV i 16 $\frac{2}{3}$ Hz, te strujom iz generatora dizelskog agregata.

U Europi je vrsta napajanja uvjetovana povijesnim razvojem električne vuče u pojedinim zemljama, pri čemu neke zemlje imaju i više sustava za napajanje (tabl. 13). Kako bi se izbjeglo zaustavljanje na granicama, odnosno na mjestima sučeljavanja raznovrsnih strujnih naponskih sustava radi zamjene pogonskih vozila, primjenjuju se energetski pretvarači i usmjerivači, posebno u svezi s trofaznim asinkronim vučnim elektromotorom. To su višesustavna pogonska željeznička vozila s elektromotornim pogonom, koja se mogu napajati na različitim kontaktnim vodovima (v. *Električna vuča i elektromotorna vozila*, TE 3, str. 702; v. *Elektrifikacija željezničkih linija*, TE 4, str. 283) i za koje ne postoji ograničenja njihova kretanja zbog raznovrsnih strujnih sustava.

Tablica 13

SUSTAVI ZA NAPAJANJE POGONSKIH VOZILA U NEKIM EUROPSKIM ZEMJAMA

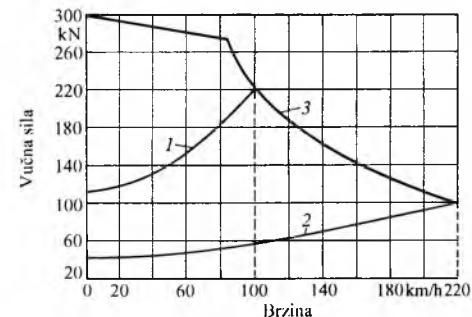
Napajanje	Država
Izmjenična struja (25 kV, 50 Hz)	Hrvatska, Madžarska, Rumunjska, Bugarska, Rusija, Česka, Slovačka, Portugal, Finska, Francuska, Velika Britanija
Izmjenična struja (15 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz)	Njemačka, Austrija, Švicarska, Švedska, Norveška
Istosmjerna struja (3 kV)	Hrvatska, Slovenija, Italija, Belgija, Španjolska, Poljska, Rusija
Istosmjerna struja (1,5 kV)	Nizozemska, Francuska, Španjolska, Velika Britanija

Suvremene lokomotive kao pogonska vozila sa četiri ili šest osovina mogu pri pokretanju razviti vučnu silu od 300–400 kN. Raspoloživa je ugradena snaga dizelskih lokomotiva do 4 000 kW, a električnih lokomotiva do 7 000 kW (sl. 33). Pritom su njihove nazivne mase 80–120 t. Te se lokomotive konstruiraju i proizvode kao univerzalna pogonska vozila za vuču teških teretnih vlakova mase do 2 000 t, te za vuču brzih putničkih kompozicija s brzinama do 220 km/h (sl. 34). U području velikih brzina (>200 km/h) kompozicije željezničkih vozila sastavljene od vagona i lokomotiva pružaju mnogo veće otpore kretanja te su, u



Sl. 33. Univerzalna lokomotiva 12X (AEG, proizvodnja 1994) za tešku teretu vuču i brze putničke vlakove (trajna snaga 6 400 kW, vučna sila pokretanja 300 kN, masa 84 t, duljina 19 500 mm, 4 pogonske osovine, brzina 220 km/h, napajanje strujom od 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz).

usporedbi s posebno konstruiranim i aerodinamički optimiranim izvedbama elektromotornih vlakova, energetski nepovoljnije.

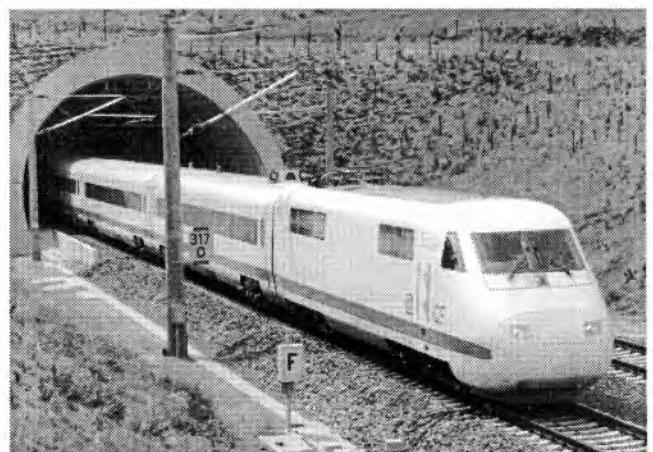


Sl. 34. Vučna karakteristika (ovisnost vučne sile o brzini) lokomotive 12X.
1 krivulja otpora za teške teretne vlakove, 2 krivulja otpora za putničke vlakove, 3 krivulja trajne snage

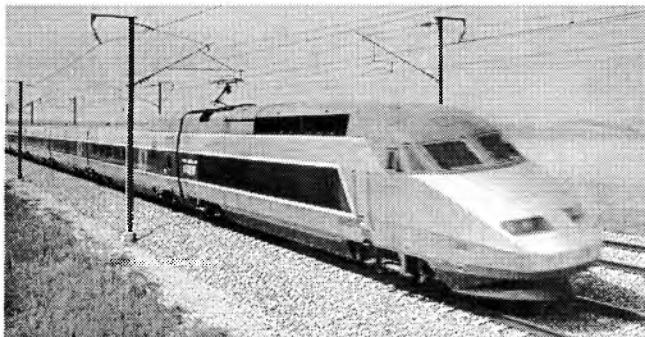
Motorni vlak. Pod motornim se vlakom razumije željezničko vozilo ili kompozicija željezničkih vozila s vlastitim pogonom za putnički promet i prijevoz lakog tereta. Motorni vlak može sadržavati motorno vozilo s upravljačnicom na čelu i na kraju kompozicije ili samo na jednom od tih mesta (tzv. *motorna glava*), motorno vozilo bez upravljačnice u sklopu kompozicije (tzv. *booster-vozilo* za dodatnu snagu), motorno vozilo s prostorom za putnike i s upravljačnicom ili bez nje, putnički vagon bez pogona (ili djeломice s komponentama pogona) i s upravljačnicom ili bez nje.

Prema prometnoj namjeni razlikuju se gradski, prigradski, regionalni i međugradski motorni vlakovi. Svaka se od tih skupina odlikuje specifičnostima u konstrukciji, koncepciji vuče, unutrašnjoj opremljenosti i stupnju komfora putnika. Karakteristika je gradskih, prigradskih i regionalnih motornih vlakova veliko ubrzanje ($0,7 \text{ m/s}^2$), koje im omogućuje da i na kraćim razmacima postaju postignutu brzinu od $100\cdots120 \text{ km/h}$.

Motorni vlak za velike brzine kontinuiran je, konstruktivno homogen i aerodinamički optimiran niz motornih i putničkih vozila (sl. 35). Najveću je brzinu na tračnicama (515,3 km/h) ostvarila



Sl. 35. Elektromotorni vlak ICE Njemačkih željezničkih linija (DB) u prometu s najvećom prometnom brzinom od 250 km/h.

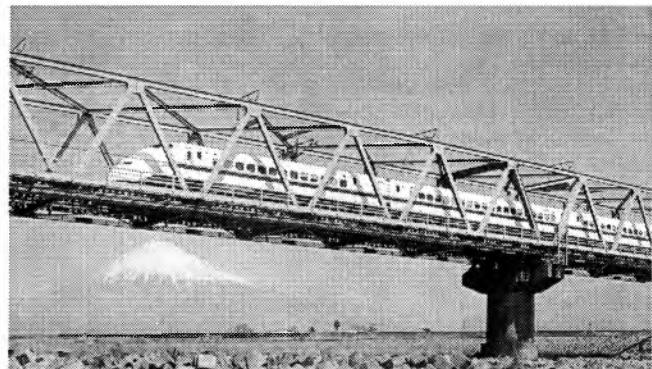


Sl. 36. Elektromotorni vlak TGV-Atlantique Francuskih željeznica (SNCF), u prometu s najvećom prometnom brzinom od 300 km/h

18. svibnja 1990. posebna kompozicija serijskog elektromotorognog vlaka TGV-Atlantique Francuskih željeznica (oznaka TGV 117) s dve motorne glave i s tri putnička vagona s mjernim instrumentima (sl. 36), i to na dijelu nove pruge Pariz–Bordeaux, između mjesta Dangeau i Courtalain.

Prvi elektromotorni vlakovi za velike brzine uvedeni su za putnički promet u Japanu 1964. godine. Bilo je to na željezničkoj magistrali Shinkansen, i to na njezinu prvom dijelu, između gradova Tokio i Osaka, pod nazivom Tokaido, u duljini od 515 km. U međuvremenu se brzina vlaka povećala s 210 km/h na više od 260 km/h, čime se putovanje na toj relaciji bitno skratilo. Ukupna se duljina magistrale Shinkansen povećala danas na više od 2000 km uzduž cijelog Japana, a prve se serije elektromotornih vlakova zamjenjuju suvremenijim izvedbama kao što je vlak Nozomi (sl. 37). U Japanu je u projektu i vlak STAR 21 za XXI. stoljeće, a njegov je prototip već postigao brzinu od 425 km/h.

U Francuskoj vozi vlak TGV-Atlantique s najvećom brzinom od 300 km/h. Pariz je središte mreže brzih pruga, koje se na sjeveru protežu do Lillea i Eurotunela prema Velikoj Britaniji, na



Sl. 37. Elektromotorni vlak Nozomi Japanskih željeznica (JR), serija 300, na magistrali Shinkansen, Tokaido, u prometu s najvećom prometnom brzinom od 270 km/h

Švedski vlak X2000 vozi brzinom od 220 km/h na pruzi između Stockholma i Göteborga u duljini od 456 km. Vagoni tog vlaka imaju uređaj za naginjanje sanduka, pa je u zavodu moguća vožnja većom brzinom uz nesmanjenu udobnost za putnike.

U Italiji velike brzine postiže vlak ETR-450 na pruzi između Rima i Firence, koji također ima uređaje za naginjanje sanduka.

U Sjevernoj Americi nisu do sada bile građene posebne pruge za velike brzine. U sklopu sustava Amtrack, u kojem se za sada na pruzi Washington – New York vozi brzinom do 200 km/h, predviđa se osuvremenjivanje pruge na sadašnjem tzv. sjeveroistočnom koridoru i povezivanje s Bostonom, gdje bi brzina trebala biti 225 km/h.

Pregled glavnih karakteristika suvremenih elektromotornih vlakova prikazanih na slikama 35, 36 i 37 uz karakteristike kolosijeka dan je u tablici 14. Upravo elektromotorni vlakovi navedenih karakteristika postaju okosnicom suvremenog, brzog i komfornog prometa u mreži vlakova IC (Intercity) i EU (Eurocity).

Tablica 14

GLAVNE KARAKTERISTIKE SUVREMENIH ELEKTROMOTORNIH VLAKOVA I PRIPADNIH KOLOSIJEKA

Parametri vlakova i pripadnih kolosijeka	Željeznička uprava		
	njemačka (DB)	francuska (SNCF)	japanska (JR)
Oznaka vlaka	ICE	TGV-A	serija 300
Konfiguracija*	M + 12 P + M	M + 10 P + M	16 MP
Putna brzina, najveća (km/h)	250	300	270
Snaga (kW)	9 600	8 800	12 000
Masa (t)	735	490	720
Duljina (m)	357	238	395
Broj sjedala	654	485	1323
Željeznička prometnica	Mannheim–Stuttgart Hannover–Würzburg	Pariz–Bordeaux	Tokaido (Tokyo–Osaka)
Vrsta prometa	putničko-teretni	putnički	putnički
Širina kolosijeka (mm)	1435	1435	1435
Razmak kolosijeka (m)	4,70	4,20	4,20
Širina ravnika (m)	13,50…13,70	13,60	11,60…12,20
Gradivo kolosiječnog zastora	tucanik	tucanik	betonske ploče
Duljinska masa tračnice (kg/m)	60	60	60
Gradivo pragova	beton	beton	beton
Duljina pragova (m)	2,60	2,30	2,40
Osovinsko opterećenje (kN)	187 (220)	166	110
Horizontalni polujmer, najmanji (m)	7 000	6 000	2 500
Vertikalni polujmer, najmanji (m)	25 000	16 000	10 000
Uzdužni nagib, najveći (%)	12,5	25	20
Napon i frekvencija napajanja	~15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz	~25 kV/50 Hz; = 1,5 kV	25 kV/60 Hz

*M motorno vozilo, P putničko vozilo, MP motorno-putničko vozilo

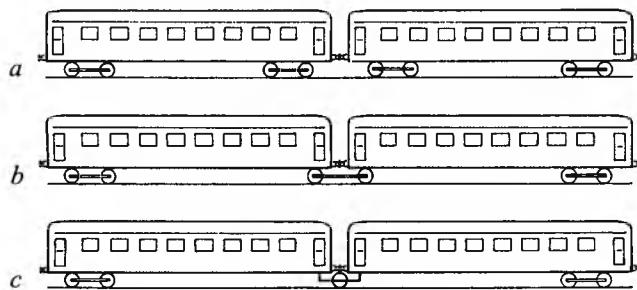
zapadu do Le Mansa, a na jugu do Lyona. Vlak TGV vozi i u Švicarsku, godine 1992. uključen je u promet između Madrida i Seville, a uskoro će voziti i između Scula i Pusana u Koreji.

U Njemačkoj je u prometu vlak Intercity Express (ICE), koji na prugama Hannover–Würzburg i Mannheim–Stuttgart vozi brzinom od 250 km/h. Radi sigurnosti na tim prugama nema križanja sa cestama u istoj razini.

Na suvremenim razvojnim kartama mreže europskih željeznica predviđene su na teritoriju Republike Hrvatske dvokolosiječne elektrificirane pruge za velike brzine (do 250 km/h) na relacijama Rijeka – Zagreb – Budimpešta, Split – Zagreb – Graz i Zagreb – Ljubljana – Trst.

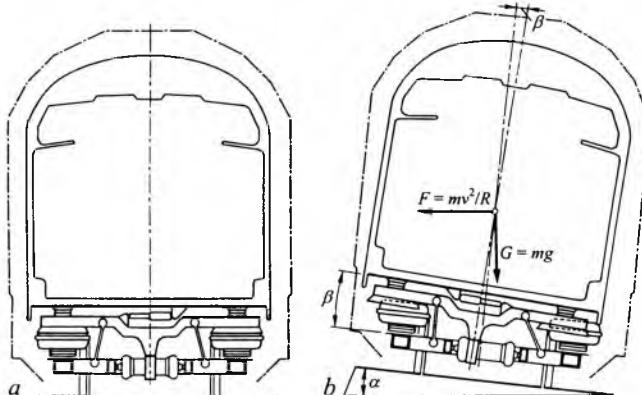
Elektromotorni vlakovi velikih brzina (za međugradski promet) imaju ubrzanje 0,3 m/s², a usporenje pri kočenju 0,8…1 m/s²

(u nuždi do $1,5 \text{ m/s}^2$). Usprkos velikom usporenu pri kočenju, u slučaju opasnosti zaustavni put elektromotornog vlaka TGV-Atlantique, koji je u prometu s redovitom brzinom od 300 km/h, iznosi 3 300 m.



Sl. 38. Oslanjanje i povezivanje vagonских sanduka elektromotornih vlakova.
a oslanjanje na vlastita okretna postolja, b izvedba Jacobs, c izvedba Talgo

Konstruktivna se rješenja pojedinih izvedbi motornih vlakova za velike brzine međusobno dosta razlikuju. Tako su, npr., električna oprema i komponente pogona koncentrirani u motornim glavama ili su raspodijeljeni uzduž cijele kompozicije. Sanduci pojedinih vozila (sl. 38) obično se oslanjaju na dva vlastita okretna postolja (ICE i Shinkansen) ili se sanduci susjednih kola oslanjaju na zajedničko okretno postolje (izvedba Jacobs, vlak TGV) ili samo na jednu osovинu, tj. osovinski sklop (izvedba Talgo, vlak Talgo Španjolskih željeznica). Osim toga, vozila nekih motornih vlakova imaju mehanizam za naginjanje sanduka u zavoju radi kompenzacije djelovanja inercijske sile i mogućnosti vožnje većom brzinom (sl. 39). Tako se, npr., može izračunati da dopuštena brzina vlaka koji se naginje u zavoju polumjera 1000 m iznosi 195 km/h. Ako je stvarno geodetsko nadvišenje vanjske tračnice 150 mm, tada je tzv. neponišteno bočno ubrzanje koje putnici mogu bez nelagode izdržati $0,85 \text{ m/s}^2$ (prema normama UIC). Međutim, uz jednake uvjete, ali bez naginjanja sanduka, najveća je dopuštena brzina samo 154 km/h.



Sl. 39. Vozilo s uređajem za naginjanje sanduka. a položaj na ravnoj pruzi, b položaj u zavoju, α kut geodetskog nadvišenja, β kut naginjanja sanduka

Podzemna željezница jest kompozicija željezničkih vozila posebno prilagođenih profilom, oblikom i konstruktivnim komponentama visokofrekventnom i brzom gradskom i prigradskom prijevozu putnika koji se većinom odvija pod zemljom. Uobičajeni je pogon elektromotorima istosmjerne struje napona $600\cdots800 \text{ V}$, a kontaktni vod za napajanje strujom jest tzv. treća tračnica uz kolosijek, da bi tunel bio manjeg profila od profila klasičnoga željezničkog tunela i tako se smanjili troškovi gradnje.

Posebne željeznice ističu se karakterističnom vezom između vozila i kolosijeka. Među različitim se izvedbama ističe viseća željezница u Wuppertalu (Njemačka), kojoj su kotači i osovinski skloovi integrirani u konzoli iznad sanduka vozila i voze po pruzi postavljenoj na čelične grede, koje su na visini od 5 m iznad tla oslonjene na stupove i ne križaju se s ostalim prometnim sustavima (sl. 40). Posebno je zanimljiva jednotračna željezница, kojoj su kotači vozila smješteni u vertikalnoj i u horizontalnoj



Sl. 40. Viseća željezница u Wuppertalu

ravnini i obuhvaćaju posebno profiliranu gredu na stupovima. Poznata je jednotračna željezница u japanskom gradu Sapporo.

N. Dujmović

Vagoni

Vagoni su željeznička tračnička vozila bez vlastitog pogona, namijenjena prijevozu putnika (putnički vagoni) i robe (teretni vagoni). Među glavne se dijelove željezničkog vagona ubrajaju već opisani vučno-odbojni uredaj, vozno postolje i kočnice te vagonski sanduk.

Vagonski sanduk. U vagoni se sanduk smještaju putnici i roba i u njemu se nalazi sva potrebna oprema. Vagonski sanduk ima dva osnovna elementa: donji (glavni) okvir, koji nosi vučno-odbojni uredaj, vozno postolje, kočnicu i dio opreme, te nadgrade s prostorom za putnike, teret i ostalu opremu. Metalni vagonski sanduk bez ugrađene opreme naziva se sirovi vagonski sanduk.

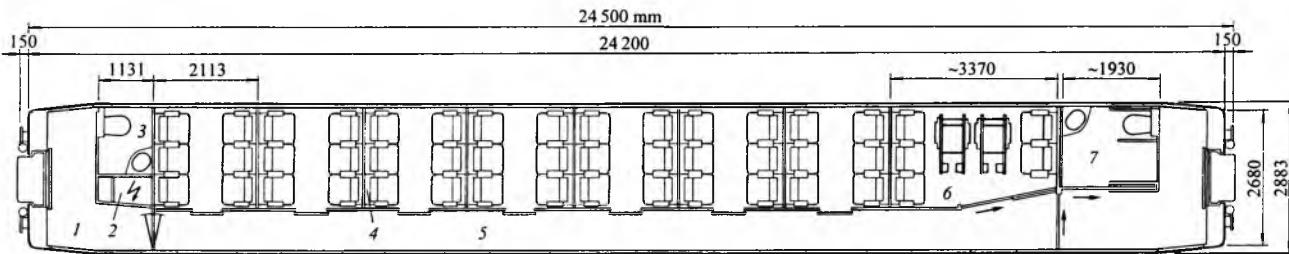
Donji okvir europskih vagona (vagoni s odbojnicima i vučnim uredajem) ima jake bočne i uzdužne nosače, a vagoni s automatskim kvačilom (američki i ruski vagoni) imaju jak središnji kutasti nosač, pa se na njega prenose međusobni udarci vagona.

Uobičajeni je materijal za gradnju vagonskog sanduka konstrukcijski čelik, niskolegiran da bi se usporila korozija, ali i laki metali, najčešće aluminijске slitine, te kombinacije tih materijala, osobito za teretne vagone. Sanduk se gradi tako da se na okviru prvo oblikuje kostur, koji se zatim prekrije limenom oplatom, ili se kostur stranica i krova izradi zajedno s oplatom, svaki kao poseban modul, a zatim se spoje s donjim okvirom. Neki se putnički vagoni grade i s oplatom od nehrđajućeg čelika. Vagoni se sanduk tako dimenzionirani da izdrži sva vertikalna opterećenja od tereta i silu sudara do 2000 kN .

Ostali dijelovi vagona. Vrata za ulazak putnika izrađuju se kao krilna, prijeklopna ili posmična s izbacivanjem, a otvaraju se ručno, pneumatski ili električno, s automatikom za zatvaranje i blokiranje. Prozori su najčešće poluspuštajući ili otklopni, s jednostrukim ili dvostrukim staklima. U klimatiziranim vagonima prozori se ne otvaraju, a dvostruka stakla sprečavaju zamagljivanje. Namještaj (sjedala, police, ležaji, postelje, ormarići i dr.) te unutrašnje obloge stijena, stropova i podova imaju definiranu funkciju, pa je oblikovateljima unutrašnjosti vagona ostvljeno razmjerno mnogo slobode.

Gotovo svi putnički i neki teretni vagoni raspolažu energijom potrebnom za obavljanje određenih radnji u vagonu, te pripadnom opremom. Najčešće je to električna struja iz generatora istosmjerne ili izmjenične struje, ili iz statičkog izvora (statički pretvarač i akumulator), koji se napaja iz glavnog voda električnog grijanja lokomotive, a služi za rasvjetu, grijanje, upravljanje, prijenos informacija i otkrivanje kvarova. Osim struje, energiju daju i ukapljeni ugljikovodični plinovi (propan-butan) za kuhanje i hlađenje, stlačeni zrak iz napojnog voda za pogon pomoćnih uređaja, te loživo ulje za grijanje.

Vagoni se griju toplovodnim i toplozračnim jednokanalnim i dvokanalnim agregatima, u kojima se zrak grijе električnim grijalicama ili uljnim gorionicima, a hlađe se pomoću spremnika leda te rashladnim i klimatizacijskim uređajima. Provjetravanje

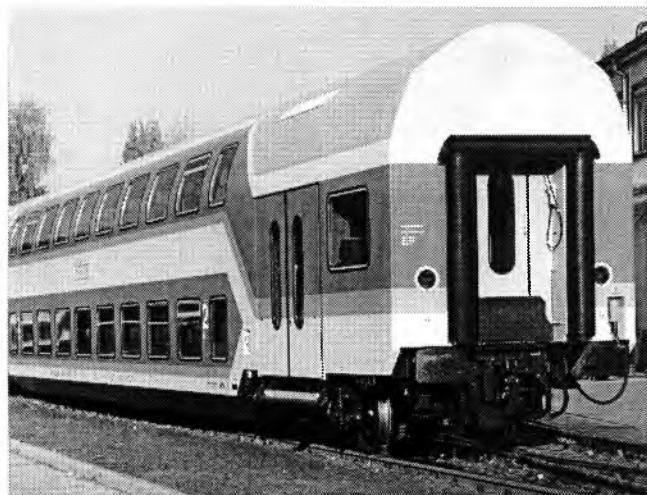


Sl. 41. Tlocrt vagona 1. razreda sa sjedalima i s odjeljkom za invalide. 1 ulazni prostor, 2 električni ormarić, 3 putnički zahod, 4 putnički odjeljak, 5 hodnik, 6 odjeljak za invalide, 7 zahod za invalide

se u vagonima bez otvaranja prozora ostvaruje sustavom kanala toplozračnog grijanja. Vodovodna instalacija za potrebe zahoda i umivaonice nalazi se pod atmosferskim tlakom, a za potrebe kuhinje i bifea pod tlakom koji stvara hidrofor ili stlačeni zrak iz napojnog voda. U novije se doba umivaonici i zahodske školjke ispiru pomoću vakuumskog uređaja.

Putnički vagoni. Putničkim se vagonima smatraju vagoni koji se uvrštavaju u putničke vlakove, a namijenjeni su prijevozu putnika i njihovu posluživanju. Osnovne su karakteristike putničkih vagona: osovinsko opterećenje do 160 kN, sposobnost vožnje velikim brzinama (do 200 km/h i više), kočnica režima P (putnički režim) i R (brzi režim), mogućnost prelaska iz vagona u vagon tijekom vožnje te velika mirnoća vožnje.

U putničke se vagone ubrajaju: vagon sa sjedalima (putnički vagon u užem smislu), vagon s ležajevima, spavaći vagon, vagon za posluživanje hrane i pića, poštanski, službeni i salonski vagon, vagon za prijevoz invalida u kolicima, vagon za prijevoz automobila, te različite kombinacije pojedinih vrsta vagona.



Sl. 42. Dvokatni vagon sa sjedalima

Vagon sa sjedalima. Prvi vagon sa sjedalima bio je dug nešto više od 4 m i imao je samo 12 sjedala. Veliki napredak u razvoju vagona sa sjedalima učinio je američki izumitelj G. M. Pullman sagradivši oko 1850. udoban četveroosovinski vagon, koji je i danas pojam vrsnog putničkog vagona.

S obzirom na komfor vagoni sa sjedalima proizvode se uglavnom u klasi A (1. razred) i klasi B (2. razred). Međutim, zadnjih se godina uvede i posebne klase vagona za međunarodni promet

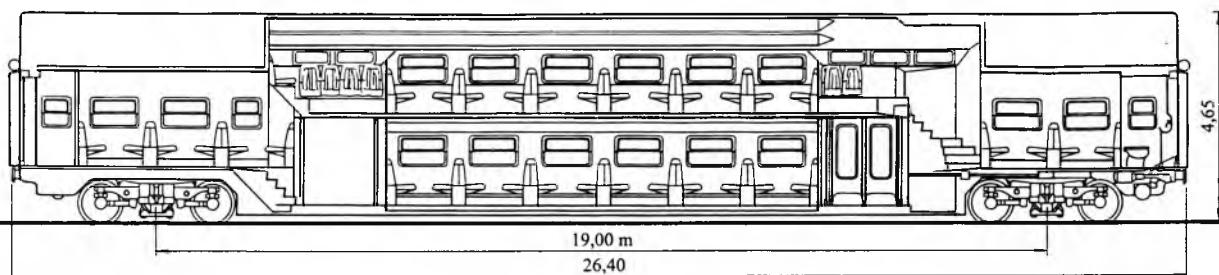
(vlakovi *Intercity* i *Eurocity*), u kojima je komfor dodatno povećan. Klase vagona razlikuju se po broju putnika u odjeljku, veličini odjeljka, razmaku između sjedala, kakvoći presvlaka, zvučnoj i toplinskoj izolaciji, dizajnu te mogućnosti obavljanja putnika. U prvoj polovici XX. st. postojala je i III. klasa, a bila je uvedena i IV. klasa (vagoni bez sjedala, samo za stajanje).

Današnji je vagon sa sjedalima dvoosovinski (za tuzemni promet) ili četveroosovinski (za tuzemni i inozemni promet). Može biti bez odjeljaka ili s odjeljcima za šest ili osam putnika i hodnikom sa strane (sl. 41) ili u sredini. Većina je vagona sa sjedalima jednotkatna, no zadnjih se nekoliko desetljeća sve više grade dvokatni vagoni (sl. 42), koji pokazuju mnoge prednosti: zbog manje mase po sjedećem mjestu smanjuju se troškovi vuče, pri istoj je duljini povećan broj sjedećih mjesta (sl. 43), te smanjena ukupna masa vlaka i troškovi održavanja. Vagon sa sjedalima dug je i do 27,5 m, visok 4,05–4,65 m, a u dvokatnoj izvedbi može ukupno primiti do 370 putnika (sjedećih i stoećih). Najčešće ima dva ulazna prostora s vratima na obje strane vagona, zahode, katkada i umivaonicu, te ormari s elektroopremom i pričuvnim dijelovima.

Vagon s ležajevima. Odjelci tih vagona uređeni su tako da danju putnici sjede u naizgled običnim sjedalima, koja se noću mogu presložiti u ležajeve. U svakom se odjeljku nalazi 4–6 sjedala, odnosno na jednoj strani 2 ili 3 ležaja, jedan iznad drugoga. U vagonu je obično 10 odjeljaka, mala kuhinja za pripremu jutarnjih i večernjih napitaka, te zahod i prostor za umivanje na svakom kraju vagona.

Spavaći vagon. Vagon s posteljama predviđen je samo za noćna putovanja. Podijeljen je na odjeljke u kojima se nalaze dvije ili tri postelje. Najčešće je izvedba s tri prijeklopne postelje, tako da odjeljak može biti jednoposteljni, dvoposteljni ili troposteljni. Vagon obično ima 9–12 odjeljaka, ali ima i vagona sa 17 odjeljaka i skromnijim komforom. U najnovije se doba izrađuju visokokomformni vagoni za spavanje (odjelci s vlastitim zahodom i tušem) te s malom kuhinjom i priručnim spremištem pića. U tim je vagonima posebno važna dobra zvučna izolacija i prigušenje vibracija, a masa im je veća od mase ostalih vagona.

Vagon za posluživanje hrane i pića. Ta se vrsta vagona (vagon-restoran, vagon s bifeom i vagon s barom) uvrštava samo u dnevne vlakove. U jednom dijelu vagona-restorana (vagon-blagovaonica) nalazi se kuhinja, a u drugome restoran. Mogu se pripremati topli obroci od svježe hrane ili se u vagon dostavlja polupripremljena ili potpuno pripremljena hrana, koja se u kuhinji dovršava ili samo podgrijava. Zbog toga vagon ima velike spremnike hrane, od kojih su jedni hlađeni, a drugi grijani. Restoranski je dio obično vrlo luksuzan, osobito u vlakovima *Intercity* i *Eurocity*, ali može biti i skromniji, npr. u turističkim vlakovima sa samoposluživanjem. Poseban je problem vagona-restorana op-



Sl. 43. Uzdužni presjek dvokatnog vagona

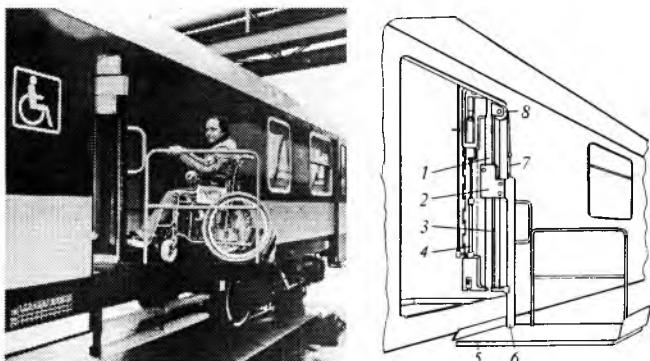
skrba dovoljnom količinom energije, posebno električne, zbog velike potrošnje za hladnjake i peći. Zbog toga ima vagona-restorana s vlastitim pantografom za opskrbu električnom energijom izravno iz kontaktnе mreže.

U vagonu-restoranu poslužuju se topla hrana i pića. U vagonu s bifeom poslužuju se pića i suha hrana, a u vagonu s barom samo pića, iako se u njima katkada mogu nalaziti i slastičarnice i pizzerije. Bife, odnosno bar, obično zauzima samo jednu polovicu vagona, a u drugoj se nalaze odjeljci za putnike.

Poštanski vagon. Za prijevoz poštanskih pošiljaka i njihovo razvrstavanje tijekom vožnje služi poštanski vagon. Obično se sastoji od ureda za poštanske poslove i skladišta. U poštanskom vagonu za dulja ili noćna putovanja uz ured se nalazi i prostor za boravak i odmor (kuhinja, kupaonica sa zahodom, postelje). Postoje i posebni poštanski vlakovi koji se sastoje od nekoliko tipova poštanskih vagona: s velikim uredom, gdje se razvrstava pošta tijekom vožnje, s malim uredom i velikim skladištem, u kojem se prevozi već razvrstana pošta, a tijekom vožnje se samo razmjenuju, te bez ureda (vagon-skladište), gdje se prevozi samo pošta koja putuje do krajnje stanice. Poštanski je vagon građen tako da kroza nj putnici ne mogu prolaziti, pa se zato postavlja do lokomotive ili na kraju vlaka.

Službeni vagon. Često se službeni vagon naziva i prtljažnim vagonom, a služi za prijevoz službenih osoba, službene pošte, hitne robe te prtljage koju putnici zbog njezine veličine i težine ne mogu ili ne smiju unositi sa sobom u vagon. Službeni vagon ima mali ured veličine jednog putničkog odjeljka, a ostali je dio vagona skladište s nekoliko odjeljaka i s napravama za učvršćenje većih predmeta. Zbog sve manje potrebe za prijevozom takve prtljage zadnjih se dvadesetak godina sve manje grade posebni službeni vagoni, te takav prostor zauzima samo polovicu putničkog vagona sa sjedalima. Neki službeni vagoni imaju odjeljke za prijevoz životinja. Službeni vagon ima hodnik za putnike kroz cijeli vagon, obično odijeljen od skladišta žičanom pregradom.

Vagoni posebne namjene. Službene osobe visokog položaja i njihova pratnja putuju u *salonskom vagonu*. U njemu se nalaze odjeljci za boravak i rad (saloni), kupaonice, kuhinja i odjeljci za spavanje. U tu se vrstu vagona ubrajaju i vagoni s jednim velikim odjeljkom ili s nekoliko manjih odjeljaka koji služe kao dvorane za sastanke (uz salonski vagon), za zabave (u turističkim vakovima), predavanja, kinopredstave, vjerske obrede i sl.



Sl. 44. Uredaj za podizanje invalidskih kolica. 1 četverokutni stup, 2 klizač, 3 vodilica, 4 radni cilindar, 5 podizna platforma, 6 cijevni nosač, 7 potczno uče, 8 kolotur

U novije su doba u prometu vagoni koji su djelomično prilagođeni prijevozu invalida u invalidskim kolicima. Njihov je hodnik proširen radi prolaska invalidskih kolica, a također je pri-

kladno preuređen jedan ili više odjeljaka i zahod (sl. 41). Neki vagoni imaju ugrađeno dizalo za podizanje invalidskih kolica s perona u vagon (sl. 44). Već ima i vagona u cijelosti prilagođenih samo potrebama invalida.

Vagon za prijevoz automobila. U sastavu putničkog vlaka, osobito u noćnom prometu, često se nalazi i jedan ili više vagona za prijevoz automobila. Iako se u tom vagonu ne prevoze ni putnici ni vozno osoblje, već samo putnički automobili i manji kamioneti, vagon ima, s obzirom na mogućnost brze vožnje, kočenje, osovinsko opterećenje i mirnoču vožnje, sve karakteristike putničkog vagona. Obično je to otvoreni vagon s dvije platforme (jedna iznad druge), ali može biti i zatvoren. U starijim tipovima vagona gornja platforma ima vlastitu pomičnu rampu na ručni pogon za ukrcaj automobila. U novijim su tipovima obje platforme nepokretne, a automobili se ukrcavaju pomoću pomične platforme postavljene uz kolosijek (čelnji ukrcaj). Vagon ima posebnu hrapavu stazu i naprave za učvršćenje automobila. Na otvorenom vagonu nema električnih uredaja. Vagonom se ne može prolaziti, pa se on u kompoziciji uvijek nalazi uz lokomotivu ili na kraju vlaka.

Teretni vagoni. Teretnim se vagonima smatraju vagoni koji se uvrštavaju u teretne vlakove, te u posebne vlakove. Osnovne su karakteristike teretnih vagona: osovinsko opterećenje u međunarodnom prometu do 200 kN ili 225 kN, pa i veće, sposobnost vožnje, već prema građi vozognog postolja, brzinom od 90 km/h, 100 km/h ili 120 km/h, kočnica za režime G i P, nema mogućnosti prijelaza iz vagona u vagon tijekom vožnje, mirnoča vožnje manja je nego u putničkim vagonima. To su najbrojnija željeznička vozila, a zbog intenzivnog međunarodnog prometa i najunificiranija među svim prometnim sredstvima.

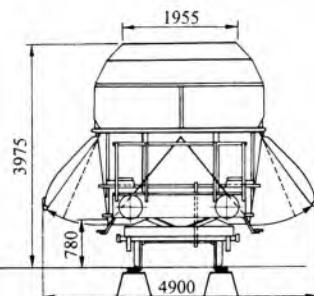
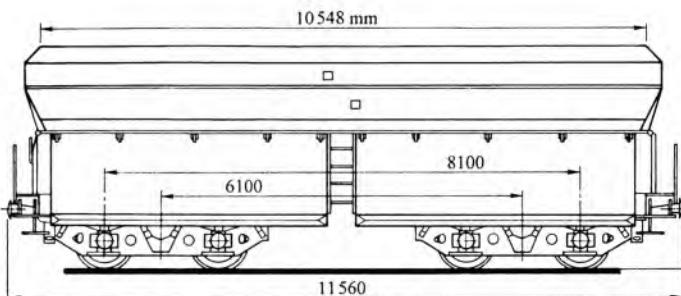
U teretne se vagoni ubrajaju obični i posebni otvoreni i zatvoreni vagoni, vagon-hladnjaka, obični i posebni plitki vagoni s okretnim postoljem ili bez njega, vagon s pokretnim krovom, posebni vagoni i vagon-cisterna.

Otvoreni vagon, obični (oznaka E, prema Međunarodnoj željezničkoj uniji), namijenjen je prijevozu različitog općeg tereta koji ne mora biti zaštićen od atmosferskih utjecaja. Vagon nema krov, obično ima ravan pod i pokretnе niske ili visoke bočne i čelne stranice, a može imati i otvore u podu. To može biti dvoosovinski vagon duljine veće od 7,7 m i nosivosti 25...30 t, četveroosovinski vagon duljine veće od 12 m i nosivosti 50...60 t, te vagon sa šest i više osovinu nosivosti 60...75 t. Roba se ukrcava i iskrcava odozgo, kroz bočna vrata ili na mjestu čelne prijeklopne stranice.

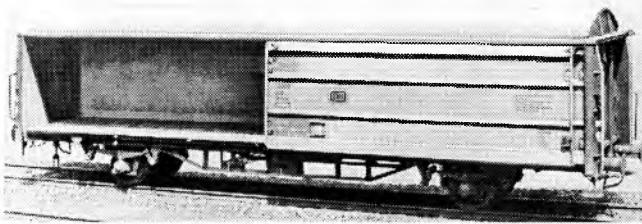
Otvoreni vagon, posebni (oznaka F), ima, s obzirom na broj osovinu i nosivost, iste karakteristike kao i obični otvoreni vagon, ali ima visoke stranice i neravan pod s otvorima. Teret se iskrcava odjednom ili dozirano, slobodnim padom, kroz pod i sa strane, pa se vagon naziva i samoistresač (sl. 45). To može biti i zglobovni vagon sastavljen od dvaju i više dijelova ukupne duljine 22...27 m. Glavna je namjena tog vagona prijevoz sirkog tereta (ruda, ugljen, koks, šljunak i sl.) koji ne mora biti zaštićen od atmosferilija.

Zatvoreni vagon, obični (oznaka G), namijenjen je prijevozu općeg tereta koji mora biti zaštićen od atmosferskih utjecaja. Neki su vagoni posebno prilagođeni prijevozu žitarica, žive stoke, voća, povrća i dr. To može biti dvoosovinski vagon korisne duljine 9...12 m i nosivosti 25...30 t, četveroosovinski vagon korisne duljine 15...18 m i nosivosti 50...60 t, te šesteroosovinski i s još više osovinama, korisne duljine više od 18 m i nosivosti 60...75 t. Svaki vagon ima barem osam ventilacijskih otvora.

Zatvoreni vagon, posebni (oznaka H), ima, s obzirom na korisnu duljinu i nosivost, iste karakteristike kao i obični zatvoreni vagon, ali može imati i pomične bočne stranice, što omogu-



Sl. 45. Otvoreni samoistresač (F)



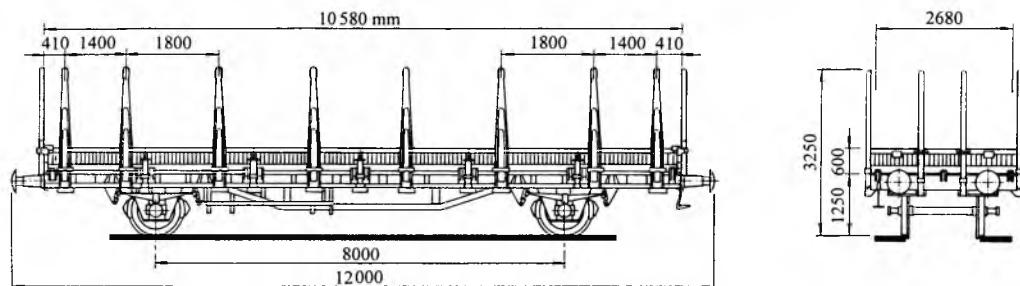
Sl. 46. Zatvoren vagon s pomicnim stranicama (H)

ćuje ukrcaj robe na paletama pomoću viličara (sl. 46), celna vrata za ukrcaj cestovnih vozila te dvije ili čak tri platforme. Takav vagon može biti i zglobne konstrukcije, sastavljen od dvaju ili više dijelova ukupne duljine 22–27 m.

Vagon-hladnjača (oznaka I) toplinski je izoliran vagon koji nisku temperaturu može zadržati i do 5 dana pomoću spremnika običnog ili suhog leda s obujmom od najmanje $3,5 \text{ m}^3$, zatim pomoću električnih i plinskih hladnjaka, te rashladnih uređaja smještenih u susjednim (tzv. tehničkim) vagonima. Namijenjen je prijevozu pokvarljive robe (svježeg mesa, ribe, voća, povrća i dr.) te stoga neki vagoni imaju bazene za ribu, kuke za vješanje mesa ili banana i sl. *Vagon-hladnjača* je dvoosovinski, površine 15–22 m^2 i nosivosti 12–25 t ili četveroosovinski, površine 39 m^2 i nosivosti 30–40 t. Može biti i zglobni, sastavljen od dvaju ili više dijelova ukupne duljine 22–27 m. Vagon ima podnu rešetku i ventilator za miješanje zraka. Sastavljaju se i posebni vlakovi samo od vagona-hladnjača jednakih rashladnih karakteristika. U takvim se vlakovima nalaze i tehnički vagoni, u kojima su, osim rashladnih uređaja i radionica za održavanje hladnjaka, i prostorije za pratioce vlaka (kuhinja, salon, spavaonica).

Plitki vagon, dvoosovinski (oznaka K), obično ima prijeklopne niske stranice i kratke stupce (sl. 47), ali može imati i duge stupce, ležišta za učvršćivanje kontejnera i specijalne odbojnice. Namijenjen je prijevozu lakših komadnih pošiljaka i manjih kontejnera.

Sl. 47. Dvoosovinski plitki vagon (K)



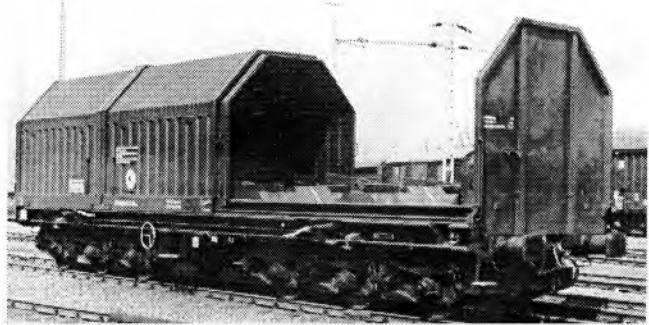
Niskopodni plitki vagon (oznaka L) ima kotače malog promjera i srušeni pod. Namijenjen je prijevozu posebnog tereta, a može imati zakretne okvire za prijevoz dugih tereta, ležišta za učvršćenje kontejnera, cestovnih vozila i velikih koluta limova, čvrste celne stranice, pokretnе pokrivače krova i specijalne odbojnice. Duljina mu je veća od 12 m, a nosivost 25–30 t. Dvodijelni, zglobni plitki niskopodni vagon dug je do 27 m, ima dvije platforme, služi samo za prijevoz automobila i može se uvrstiti u putničke vlakove s brzinama do 120 km/h. Na niz takvih vagona (tzv. putujuća cesta, sl. 48) cestovna se vozila ukrcavaju na jednom kraju, mogu prelaziti s vagona na vagon, a iskrcavaju se na drugom kraju.



Sl. 48. Niskopodni plitki vagon (L)

Kombinirani otvoreni i plitki vagon (oznaka O) može se lako preinaciti da služi u iste svrhe kao vagon E ili kao vagon K. Obično se gradi kao dvoosovinski ili troosovinski, s niskim stranicama i stupcima, duljine veće od 12 m i nosivosti 25–40 t.

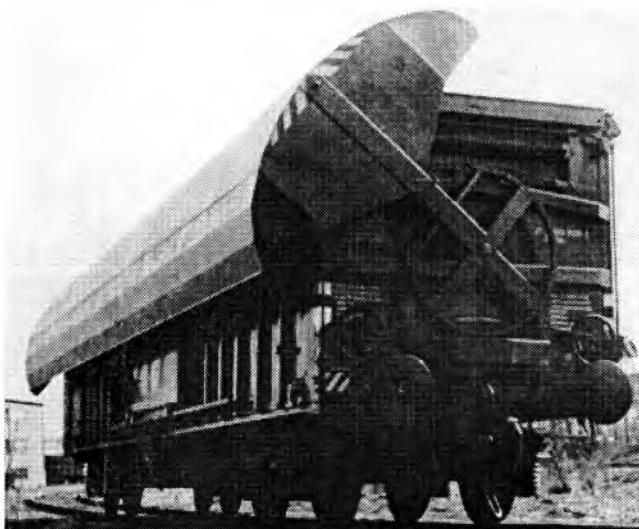
Plitki vagon s okretnim postoljima, obični (oznaka R), obično ima niske stranice i kratke stupce, duljina mu je 18–22 m, a nosivost 50–60 t. To je četveroosovinski vagon za prijevoz većih i težih tereta kao što su veći kontejneri, koluti limova, sanduci većih izmjera i težine i dr. Neki vagoni imaju čvrsta čela, pokretnе pokrivače krova i specijalne odbojnice.



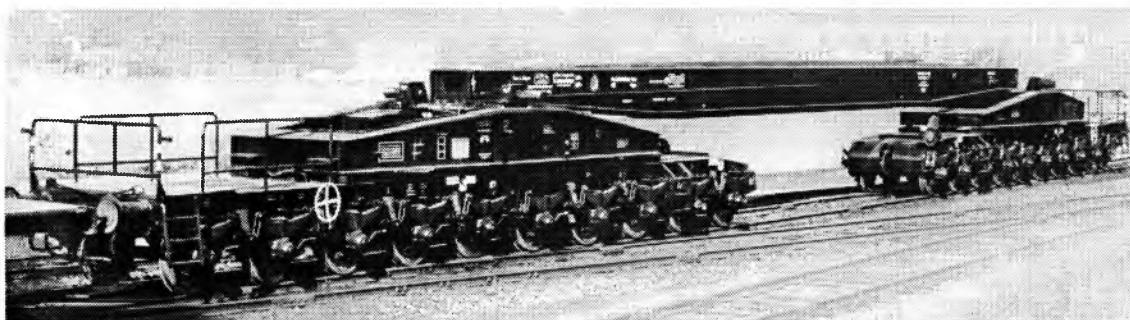
Sl. 49. Plitki vagon s pokretnim krovom i stranicama (S)

Plitki vagon s okretnim postoljima, posebni (oznaka S), služi uglavnom za prijevoz teških komadnih tereta, pa se obično gradi kao četveroosovinski, duljine veće od 18 m i nosivosti 50–60 t, šesterootosovinski, dulji od 22 m i nosivosti 60–75 t, te kao zglobni, dvodijelni i višedijelni, duljine 22–27 m, pa i veće. Okretna postolja mogu biti s dvije ili tri osovine. Vagon može imati i zakretne okvire za prijevoz dugog tereta, više platformi za prijevoz automobila, uređaje za učvršćenje kamiona, teških vozila, građevinskih strojeva, kontejnera, koluta limova i dr., pokretnе stranice i pokretni pokrivač krova te specijalne odbojnice (sl. 49).

Vagon s pokretnim krovom (oznaka T) služi za prijevoz tereta koji je potrebno zaštiti od atmosferilija, a treba ga utovariti odozgo, pomoću dizalice, pa stoga ima pokretni krov (sl. 50). Nosivost mu je 25–75 t, duljina 9–27 m, može imati dvije,



Sl. 50. Samoistresac s pokretnim krovom (T)



Sl. 51. Posebni vagon za prijevoz vrlo teških tereta (U)

četiri, šest i više osovina, čelna vrata, uređaje za samoiskrcaj i za učvršćenje tereta, te specijalne odbojnice. Gradi se i kao dvodjelni i višedjelni zglobni vagon.

Posebni vagon (oznaka U) svaki je vagon koji služi nekoj posebnoj namjeni, a nije razvrtan u neku drugu skupinu vagona, npr. vagon za prijevoz vrlo velikog i teškog tereta (sl. 51), vagon sa spremnicima za praškasti i zrnasti teret (cement i kemikalije) itd. Takav vagon može biti s dvije, ali i s mnogo većim brojem osovina, bez okretnih postolja i s više njih, duljine i veće od 27 m, nosivosti i veće od 75 t, bez zglobova i s više njih, s uređajima za iskrcaj pod tlakom ili za samoiskrcaj, s posebnim nosačima i zglobovima za prijevoz vrlo teških i velikih tereta i sl. U tu se vrstu vagona ubrajuju i vagoni različitih radnih vlakova, npr. vlakova za održavanje pruge, za hitne intervencije, za uništavanje raslinja, a također i vagon-radionica, energetski vagon, vagon za ispitivanje vučnih vozila i tehnički vagon.

Vagon-cisterna (oznaka Z) namijenjen je prijevozu tekućina i plinova, a i tvari koje već pri malo povišenoj temperaturi postaju tekuće (mazut, asfalt, parafini). Materijal spremnika (cisterne) ovisi o vrsti tekućine ili plina. Najčešće su to čelici otporni na kemikalije, ali i neki polimerni materijali. Vagon-cisterna može imati dvije i više osovina, specijalne odbojnice, uređaj za grijanje spremnika i za iskrcaj pod tlakom, a spremnik može biti toplinski izoliran i pod povišenim tlakom. Nosivost je vagona-cisterne 25...75 t, a duljina je zglobnog vagona do 27 m.

Opisi vagona odnose se na europske vagone građene uglavnom u skladu s objavama Međunarodne željezničke unije. Međutim, u svijetu ima i drugih vagona građenih za različite profile, s drugačijom nosivošću i izmjerama te s mnoštvom drugačijih detalja.

V. Božić

ELEKTROENERGETIKA NA ŽELJEZNICI

Elektroenergetska postrojenja na željeznicu čine stabilna postrojenja elektrovuće (v. *Elektrifikacija željeznica*, TE 4, str. 283), dalekovodi srednjeg napona od 10 ili 20 kV, transformatorske stanice od 10(20)/0,4 kV, niskonaponski priključci i niskonaponska mreža i razvodi, vanjska rasvjeta kolodvora i stajališta te agregati. To su najstarija željeznička elektroenergetska postrojenja i uređaji, pa su im tehnička rješenja, zbog tehničke i tehnološke razine i potreba u vrijeme gradnje, vrlo raznolika.

Transformatorske stanice starije od 20 godina imaju malen stupanj unifikacije te zastarjela tehnička rješenja i opremu. U novijim postrojenjima primjenjuju se tipska rješenja i mjeri se potrošnja električne energije na višem naponu, što je povoljnije za željeznicu kao potrošača.

Priklučci željezničkih potrošača na niskonaponsku mrežu (380/220 V) distributera električne energije građeni su gdje je god to bilo moguće, a danas se grade samo za manje potrošače.

Niskonaponska mreža po kolodvorima, izvedena podzemnim i zračnim kabelima i vodičima, služi za napajanje električnom energijom svih željezničkih potrošača koji su u funkciji željezničkog prijevoza kao što su vanjska rasvjeta kolodvorskih platua, signalno-sigurnosni i telekomunikacijski uređaji i sve instalacije i potrošači u pogonskim objektima kolodvora. U posljednje se doba upotrebljavaju uređaji za predgrijavanje i klimatizaciju putničkih vagona i uređaji za električno grijanje skretница, a priključeni su na kontaktnu mrežu napona 25 kV, 50 Hz ili istosmjernog napona 3 kV.

Z. Presečki

TELEKOMUNIKACIJSKI ŽELJEZNIČKI UREĐAJI

Da bi se postigle komunikacije između djelatnika, odnosno osiguralo funkcioniranje prometnog sustava te udovoljilo zahtjevima za sigurnost prometa, željeznica ima izgrađenu vlastitu funkcionalnu poslovnu telekomunikacijsku mrežu. Ona se prema funkcijama i ulozi u organizaciji i provedbi prometnog procesa i upravljanja tim procesom može podijeliti na *komutirane mreže*, *pružne telefonske mreže*, *radiomreže* i *mreže u kolodvorima*.

Za osiguranje spojnih vodova uzduž magistralnih pruga počinju se normirani podzemni kabeli s bakrenim vodičima, a unatrag nekoliko godina kabeli s optičkim vlaknima. Uz nemagistralne pruge ugrađuju se telekomunikacijske zračne linije sa samonosivim zračnim kabelima ili zračnim vodovima. Uzduž pruge s elektrovućem optički se kabeli postavljaju na stupove kontaktne mreže.

Komutirane mreže čine željeznička automatska telefonska (ŽAT) mreža za razmjenu govornih informacija, željeznička automatska telegrafska (ŽATg) mreža za prijenos i zapisivanje grafičkih znakova, željeznička mreža za prijenos podataka (ŽEPAK) u obliku pogodnom za obradbu elektroničkim računalima i mreža za prijenos telematičkih podataka. Na području Hrvatskih željeznica sva su čvorišta i veće postaje opremljeni željezničkim telefonskim centralama, a ima ukupno ~8 600 priključaka.

Pružne telefonske (PT) mreže namijenjene su određenoj zatvorenoj operativnoj skupini korisnika za prijenos normiranih poruka. Kapaciteti i vrste telefonskih veza u pružnoj telefonskoj mreži uvjetovani su organizacijom upravljanja prometom, vrstom veće i rangom pruge.

Pri decentraliziranoj organizaciji upravljanja prometom na nemagistralnim prugama potrebne su poslovna telefonska veza i zvonovno-signalna veza. *Poslovna telefonska veza* (PV) služi za priopćenja koja se odnose na upravljanje vožnjom vlakova između prometnika vlakova u željezničkim postajama u dijelu pruge koji se naziva rasporedni odsjek. Zbog karaktera priopćenja, o kojima ovisi sigurnost prometa, telefonsko komuniciranje snima se magnetofonima (registrofonima) na oba kraja veze. *Zvonovno-signalna veza* (ZVS) služi za davanje signalnih znakova za natjecanje vlaka. Priključci na tu vezu izvedeni su u svim službenim mjestima između postaja (odjavnice, stajališta) i na određenim udaljenostima (~1500 m) uzduž otvorene pruge.

Na magistralnim i ostalim prugama, kada je organizacija upravljanja centralizirana i ako postoji elektrovuća, uz već navedene veze uspostavljaju se *dispečerske veze* za dispečera upravljanja prometom i dispečera daljinskog upravljanja postrojenjima jake struje te veze služe održavanju pružnih postrojenja.

Za *dispečera upravljanja prometom* uspostavlja se zasebna veza s prometnicama u kolodvorima upravljanog dijela pruge (dispečerski odsjek). Priključci na tu vezu izvedeni su, osim u prometnim uredima kolodvora, i u telefonskim ormarićima uz signale. Zasebna veza za prometnog dispečera uspostavlja se i sa strojvodama u vučnim vozilima dispečerskog područja radiodispečerskim (RD) sustavom (v. *Telekomunikacije, radiokomunikacije*, TE12, str. 600, 601). Zasebna je veza i veza za govorno komuniciranje prilikom izvanrednog događaja. Osim toga, preko te se veze daje i signal opasnosti, nakon kojega se u prometu postupa po posebnim pravilima.

Zasebna veza za zatvorenu skupinu korisnika uspostavlja se i za *dispečera daljinskog upravljanja postrojenjima jake struje*. U toj su mreži priključci izvedeni u svim objektima na kojima po-

stoje uređaji daljinskog ili mjesnog upravljanja, te u telefonskim objektima u međukolodvorskem razmaku.

Dispečerskim telefonskim vezama razmjenjuju se govorne informacije koje mogu imati izravnog utjecaja na sigurnost prometa, odnosno na stanje sustava pri uspostavljanju kontaktne mreže, pa te veze moraju korisnicima osigurati posebne usluge, od kojih su najvažnije identifikacija lokalnog korisnika bez obzira na smjer uspostavljanja veze, mogućnost uspostavljanja veze samo između dispečera i korisnika pojedinačno te hitni poziv, koji se posebno signalizira i kada postoji uspostavljena veza.

Veze za službe održavanja željeznice razlikuju se po funkcionalnim karakteristikama i po kapacitetima. U osnovi se uspostavlja komunikacija između kolodvora i djelatnikâ u području kolodvora i u međukolodvorskem razmaku.

Radiomrežu čine ultravisokofrekventne (UHF) radiomreže u većini kolodvora i vrlovisokofrekventna (VHF) radiomreža za osoblje održavanja. Telefoni u vlakovima visokog ranga (*Euro-city*, *Intercity* i neki poslovni vlakovi) rade preko poštanske radiomreže.

Mreže u kolodvorima čine lokalne telefonske veze i aparati, interfonske veze, službeni razglas, ultravisokofrekventne lokalne mreže, terminali računalnih sustava, satni uređaji, razglasni uređaji i uređaji s vizualnim pokazivanjem polaska i dolaska vlakova. Kapaciteti i vrste tih veza određeni su prema tehnološkim zadatcima u kolodvoru. U velikim putničkim i ranžirnim kolodvorima uspostavljaju se lokalne telefonske veze između pojedinih djelatničkih mesta, a interfonske veze (IF) s interfonskim govornim mjestima raspoređenim na prostoru kolodvora, i to obično u skretničkom području, na granicama manevarskog područja i dr.

Službeni razglas (obično se upotrebljava u kombinaciji s interfonskim vezama) omogućuje djelotvorno prenošenje obavijesti vezanih za lokalni rad u kolodvoru.

Ultravisokofrekventne lokalne mreže služe pojedinim skupinama korisnika koje obavljaju specifične zadatke (manevarski sastavi, pregledaci kola, popisivači vlakova, veza unutrašnjih s vanjskim prometnicama itd.).

Za obavješćivanje putnika o prometu vlakova služe razglasni uređaji, a u većim kolodvorima uređaji s vizualnim pokazivanjem polaska i dolaska vlakova za određeno vremensko razdoblje (30-60 minuta na središnjim pločama i s aktualnim stanjem na peronskim pločama).

Na pojedinim djelatničkim mjestima u kolodvorima (prometnici) i u središnima upravljanja koncentrirano je mnogo priključaka na različite vrste veza. One se priključuju na poseban korisnički aparat, univerzalni telefonski aparat kapaciteta do 120 priključaka.

V. Sinčić

INFORMATIKA NA ŽELJEZNICI

Upravljanje željezničkim prometom bitno se promjenilo uvođenjem upravljačkih sustava s primjenom elektroničkih računala i mreža za prijenos podataka. Ti sustavi neprekidno prate, zapisuju, analiziraju, izvještavaju, pomažu u donošenju odluka ili sami odlučuju, daju podatke za naredbe ili sami automatski daju naredbe i prate njihovo izvršenje u prometnim i poslovnim procesima (stanje i kretanje vlakova, lokomotiva i vagona, stanje pruga, stabilnih staničnih i pružnih postrojenja, materijala i zaliha, poslovanja, osoblja i dr.), pružajući istodobno optimalna tehnološka i poslovna rješenja.

Elektronički sustav za praćenje i upravljanje željezničkim prometom razvile su krajem 60-ih godina željeznice Southern Pacific u SAD, preuzele su ga i dogradile engleske željeznice, a krajem 70-ih godina i njemačke željeznice. Njemački upravljačko-informatički sustav pod nazivom ITS (Integriertes Transportsteuer System) imao je jedno glavno računalo, 9 regionalnih računala, 4 000 jedinica za prikupljanje podataka, 2 000 jedinica za prijenos podataka itd. Najnoviji upravljačko-informatički sustavi na europskim željeznicama višestruko po kapacitetu i funkcionalnim rješenjima premašuju takav sustav.

Informatika na Hrvatskim željeznicama. Dosadašnja realizacija i razvoj informatike na Hrvatskim željeznicama ogleda se u nekoliko osnovnih, paralelnih i međusobno usklađenih po-

dručja. To su tehničko-tehnološki informacijski sustav, poslovni informacijski sustav i prijenos podataka.

Tehničko-tehnološki informacijski sustav. Za tehničko-tehnološki informacijski sustav na raspolažanju je veliko računalo UNISYS 1100/73, s mogućnošću proširenja i podrškom za mreže s komutacijom paketa (CCITT X.25), što je kompatibilno s mrežama ŽEPAK i CROPAK (Hrvatski sustav s paketnom komutacijom), mreža od 185 udaljenih radnih stanica raspoređenih po čvorovima i većim stanicama. Programsku podršku računala čine operacijski sustav OS-1100 (EXEC 41.R5), komunikacijska podrška za mrežu radnih stanica TELCON, programska podrška za razvoj aplikacije MAPPER i dr.

Upravljačko-informatički sustav teretnih kola realiziran je 1988. godine, a funkcija mu je upravljanje teretnim vagonima.

Za izdavanje putničkih karata na području Hrvatskih željeznica ugrađena su za sada ukupno 62 terminala. Prijenos podataka o prodanim kartama i prihodu moguć je jedino pomoću vanjske magnetne memorije. U okviru projekta vlakova *Eurocity* ugrađen je u Zagrebu terminal EPA (Elektronische Platzbuchung Anlage), koji je povezan s europskim centrom za rezervaciju mesta u vlakovima *Eurocity* u Frankfurtu na Majni.

Nadogradnja sadašnjeg upravljačko-informatičkog sustava teretnih kola bit će njegova realizacija za vučna vozila i ranžirne kolodvore, informatizacija planiranja, organizacije i praćenja izvršenja prijevoza (vozni red), informatizacija procesa održavanja sredstava, nadogradnja prodaje usluga u putničkom prometu (prodaja karata i rezervacija mjesta), nadogradnja prodaje usluga u robnom prometu, djelomična rezervacija preko informacijskih sredstava, informatizacija u marketingu, realizacija projekta DOCIMEL i povezivanje u mrežu HERMES.

Poslovni informacijski sustav. Za poslovni informacijski sustav na raspolažanju je veliko računalo IBM 3090/120J, s mogućnošću proširenja i podrškom za mreže s komutacijom paketa (CCITT X.25), što je kompatibilno s mrežama ŽEPAK i CROPAK, mreža od 120 udaljenih radnih stanica, koje stoje na raspolažanju korisnicima na određenoj lokaciji, a povezane su mrežom s drugim dostupnim izvorima. Radne stanice čine monitor s tipkovnicom i pišaće te kontrolna jedinica. Programsku podršku tog računala čine operacijski sustav MVS/ESA, podrška za izgradnju relacijske baze podataka DB2, komunikacijska podrška za mrežu radnih stanica VTAM i CICS, djelotvorna podrška za razvoj aplikacija (Application System), Office Vision, Displaywrite i dr.

Prva faza poslovno-informatičkog sustava realizirana je 1991. godine. Funkcija je sustava praćenje i upravljanje zaliham, nabavom i potrošnjom materijalnih sredstava te upravljanje troškovima i finansijskim sredstvima, dakle robno-materijalno i finansijsko poslovanje. Taj će sustav osiguravati podršku poslovnim funkcijama upravljanja i rukovođenja, upravljanju budžetom, realizaciji plana, finansijskom poslovanju, razvoju i investicijama, kadrovskoj funkciji, projektiranju, uredsko-administrativnom poslovanju, statistici, povezivanju s informacijskim sustavima stranih željezničkih uprava, povezivanju s osnovnim subjektima državnog i gospodarskog sustava Hrvatske, stvaranju jedinstvene relacijske baze podataka i dr.

Prijenos podataka. U okviru projekta upravljačko-informatičkog sustava teretnih kola izgrađena je i puštena u rad suvremena mreža ŽEPAK za prijenos podataka s paketnom komutacijom, koja se, osim transmisijske osnove, sastoji od 8 koncentratora po velikim čvorovima željezničke mreže Hrvatskih željeznica i čvora s nadzorno-mjernim centrom u Zagrebu.

Spojni vodovi od radnih stanica do koncentratora po čvorima u većini se službenih mesta realiziraju po postojećim lokalnim kabelnim mrežama, odnosno instalacijskim vodičima i modemima na jednom i na drugom kraju voda. Minimalna je brzina prijenosa 4 800 bit/s. Brzina prijenosa između komunikacijskog procesora i čvora ŽEPAK iznosi 19 200 bit/s, a između mreže Token Ring i centra, umjesto sadašnje brzine od 9 600 bit/s, planira se brzina od 84 000 bit/s.

Koncentratori mreže nalaze se na lokacijama Zagreb, Vinkovci, Osijek, Koprivnica, Varaždin, Rijeka, Knin i Split, a na lokacijama Zagreb, Vinkovci, Rijeka i Split povezani su sa čvorima javne HPT mreže za prijenos podataka CROPAK.

D. Kikić

SIGNALNO-SIGURNOSNA TEHNIKA

Signalno-sigurnosni uređaji sprečavaju ljudske pogreške u upravljanju vlakom i onemogućuju da se vlak pusti na zauzeti kolosijek, da prođe pokraj zatvorenog signala ili da na mjestu s ograničenom brzinom vozi brže nego što je dopušteno. Automatski se kontrolira i ispravnost svih postrojenja i uređaja te otkrivaju moguće smetnje na pruzi, vozilu i slobodnom profilu pruge.

Postaje pruga opremljene su mehaničkim i svjetlosnim ulaznim signalima, predsignalima i izlaznim signalima. Postajni signalno-sigurnosni uređaji dopuštaju da vlak uđe u postaju samo ako su ispunjeni svi sigurnosni zahtjevi. Vlak može kroz stanicu proći ili iz nje izaći samo ako je pruga do iduće postaje slobodna ili ako se na propisanom broju prostornih odsjeka pruge ne nalazi drugi vlak. Za brzine veće od 100 km/h pruga mora biti opremljena autostop uređajima i signalno-sigurnosnim uređajima koji osiguravaju da se između dviju postaja može nalaziti samo jedan vlak, ili uređajima automatskog pružnog bloka, ako je pruga između dviju postaja podijeljena na odsjekte, pa tada između dvaju vlakova moraju uvidjek biti slobodna dva odsjeka.

Pri velikim brzinama vlaka strojovoda ne može upravljati vlakom prema svjetlosnim signalima postavljenim pokraj pruge. Zato su pruge za brzine vlakova veće od 160 km/h opremljene uređajem za automatsko vođenje i kontrolu brzine vlaka. Taj uređaj prenosi signale s pruge i druge informacije u kabinu lokomotive i, već prema udaljenosti od prijašnjeg vlaka, automatski ubrzava, usporava ili zaustavlja vlak. Automatski sustav obično ima posebno električno računalo u kabini strojovode, a za prijenos informacija između pruge i vozila služe provodnici postavljeni između tračnica ili posebne antene (balize).

Suvremene su pruge opremljene središnjim daljinskim upravljanjem prometa. Sa središnjeg se mjeseta upravlja kretanjem svih vlakova na cijeloj dionici, odnosno određuju se putovi vožnje u svim postajama, postavljaju se križanja, pretjecanja i sl. Električno računalo pomaže dispečeru, koji sa središnjeg mjeseta upravlja kretanjem vlakova, a poseban radijski sustav povezuje dispečersko središte sa strojvodama svih vlakova na dionici pruge i s prometnicima (otpremnicima vlakova) na svim postajama na pruzi.

Više i detaljnije o signalno-sigurnosnoj tehnici na željeznici v. *Signalno-sigurnosna tehnika*, TE12, str. 64.

Uredništvo

TEHNOLOGIJA ŽELJEZNIČKOG PROMETA

Tehnologija prometa skup je djelatnosti i postupaka u vezi s prometom putnika i robe. Glavni elementi željeznice kao složenog poslovnog sustava prodaje usluga prijevoza putnika i robe željezničkim prugama jesu putnici i roba, materijalni činitelji (sredstva) i kadrovi (djelatnici). Putnici i roba predmet su rada, materijalni su činitelji tehnička sredstva na kojima i pomoću kojih se odvija prijevoz, a kadrovski su činitelji djelatnici koji organiziraju, izvršavaju i nadziru prijevozni proces. Tehnologija prometa i svih djelatnosti na željeznici, a pogotovo onih o kojima ovise sigurnost prometa, definirano su definirane zakonima, pravilnicima i uputama.

Plan prijevoza putnika i robe. Na temelju istraživanja transportnog tržišta i kvantificiranja putničkih tokova izrađuje se plan prijevoza putnika. Plan sadrži broj putnika koje će se prevesti, prosječnu duljinu prijevoznog puta, broj putničkih kilometara koji će se ostvariti i ostale bitne elemente. Po strukturi plan se odnosi na različite vrste prometa (prigradski, međugradski, daljinski i međunarodni). Po vrstama usluga (prvi i drugi razred) i rangovima vlakova određena je razina i kvaliteta prijevoza putnika.

Plan prijevoza tereta sadrži masu tereta koja će se prevesti, prosječni prijevozni put i broj kilometara po toni tereta koji će se pritom ostvariti. U klasičnom načinu prijevoza sav se teret svrstava u dvije skupine: u komadne i vagonske pošiljke. Komadna pošiljka uključuje jedan ili više komada kojima masa nije tolika da bi samo za njihov prijevoz bio potreban jedan ili više vagona. Vagonska pošiljka traži, međutim, uporabu jednog cijelog vagona ili više njih.

Prema brzini teretnog prijevoza razlikuje se redoviti, oročeni, dogovoreni i ekspresni prijevoz. Brzim vlakovima izravno se prevoze žive životinje i lakopokvarljiva roba, a organizira se i brzi prijevoz noću između većih gradova uz zadržavanje u nekoliko većih utovarno-istovarnih postaja (tzv. *noćni skok*). Treba također razlikovati maršrutni prijevoz, prijevoz posebnih pošiljaka, prijevoz u wagonima korisnika prijevoza i prijevoz u wagonima posebne konstrukcije i namjene.

Grafikon prometa vlakova. Prijevozni proces, tj. promet vlakova, prikazuje se grafikonom prometa, u koji se učrtavaju svi redoviti i izvanredni, a po potrebi i posebni vlakovi. Na grafikonu se može vidjeti pozicija svih vlakova u bilo kojem trenutku, njihovo vrijeme prolaska kroz službena mjesta, vrijeme zadržavanja, medusobna udaljenost službenih mjesta, najveća brzina vlaka na pojedinim dionicama, najmanji polumjer zavoja, nagib postaje, mjerodavni nagib pruge u usponu i padu, upotreba zaprege ili potiskivalice na strmim dionicama, te nadmorska visina i visinski profil trase.

Vremenska podjela na grafikonu ima odsječke od po deset minuta, a prostorna podjela označuje službena mjesta (kolodvori i postaje) na pruzi i razmjerna je njihovoj međusobnoj udaljenosti i duljini pruge.

Grafikoni se razlikuju prema brzini i važnosti (rangu) vlakova te prema broju kolosijeka na pruzi, jer je na jednokolosiječnim prugama križanje, pretjecanje i mimoilaženje vlakova u službenim mjestima, a na dvokolosiječnim se prugama promet vlakova odvija po smjerovima i bez križanja, dok je pretjecanje i mimoilaženje u službenim mjestima.

U putničke se vlakove ubrajuju:

a) u međunarodnom prometu vlakovi *Eurocity* (EC) i *Intercity* (IC), kao vlakovi visokog komfora namijenjeni brzom i komfornom prijevozu putnika između velikih europskih gradova, te *ekspresni vlakovi* i *brzi vlakovi* za prijevoz putnika,

b) u unutrašnjem prometu *poslovni vlakovi*, kojima vozni red i komfor moraju biti u funkciji konkurenčkih orientiranih prijevoza poslovnih i drugih putnika između većih središta, *brzi vlakovi* i *ubrzani vlakovi* namijenjeni prijevozu putnika na dugim i duljim relacijama, *lokalni vlakovi* namijenjeni prijevozu putnika u gradove i iz gradova ili industrijskih i drugih središta te *prigradski vlakovi* za prijevoz putnika u širem području velikih gradova.

Suvremena konceptacija željezničkog prijevoza. Nužnost poboljšanja kvalitete prijevoznih usluga u teretnom željezničkom prometu uvjetovala je njegovo osuvremenjivanje. U prometu s prevladavajućom ulogom suvremene prijevozne tehnologije nema prekida prijevoznog procesa u dodirnim točkama. Integralnost prijevoza postiže se umetanjem tehničkih sredstava i uređaja između prijevoznog sredstva i tereta, što smanjuje vrijeme potrebno za obavljanje pojedinih faza prijevoznog procesa (utovar, istovar, pretovar), pogotovo ako se on organizira sredstvima dviju ili više prometnih grana.

Integralni prijevoz primjenjuje nove metode i načine prijevoza robe u jedinstvenim, okrugnjanim, tipiziranim i normiranim prijevoznim cjelinama. Dobro poznati oblici takvog prijevoza jesu prijevoz robe u velikim paketima, na paletama i u kontejnerima. Željeznica organizira masovni prijevoz kontejnera uvođenjem posebnih *kontejnerskih vlakova*, kojima se povezuju kontejnerski terminali prema principu maršrute, uz zadržavanja u ranjirnim kolodvorima. U Evropi danas prometuju kontejnerski vlakovi na tridesetak najfrekventnijih relacija, povezujući sve glavne i veće gradove s najvećim lukama i pristaništima.

Osim navedenih razvijaju se i organiziraju i novi oblici integralnog prijevoza, među kojima se ističu uprtni i bimodalni prijevoz.

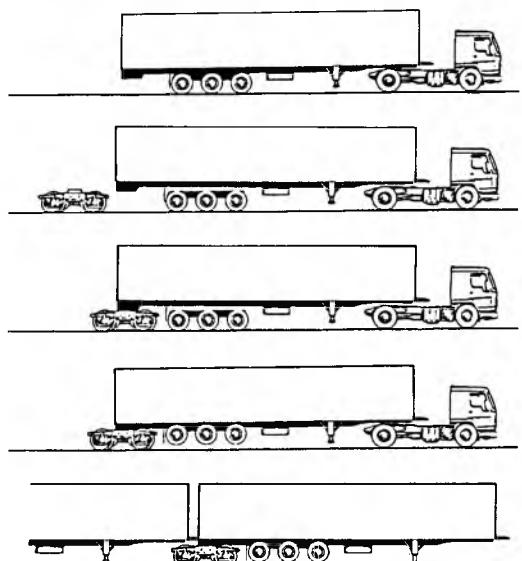
Uprtni prijevoz poznat je pod nazivom hucke pack (prema njem. hucke pack tragen, nositi na ledima). To je prijevoz cestovnih vozila zajedno s njihovim teretom na željezničkim wagonima, što je slično prijevozu tereta na tzv. ro-ro brodovima. Prilikom se može prevoziti kompletno cestovno vozilo, dio vozila (obično prikolica ili poluprikolica) ili, što je najpovoljnije, samo kamionski sanduk kao kontejner na željezničkom vagonu.

Bimodalni prijevoz razvio se i uspješno se primjenjuje u SAD, a u Europi se tek počeo razvijati. To je prijevoz vozilom koje je kombinacija kamionske prikolice i sanduka željezničkog vagona (prijevozni princip kamiona na pruzi, odnosno vagona na cesti).



Sl. 52. Vozilo bimodalnog prijevoza

Takvo univerzalno vozilo ima značajke i cestovnog i željezničkog vozila (sl. 52). Na cesti je to vozilo koje se prevozi na svojim kotačima, a na tračnicama dobiva željezničko okretno postolje i uvršta se u kompoziciju s drugim vagonima (sl. 53). Može se



sastaviti i kompozicija samo od takvih vozila, koja prometuje brzinom i do 120 km/h.

B. Bogović

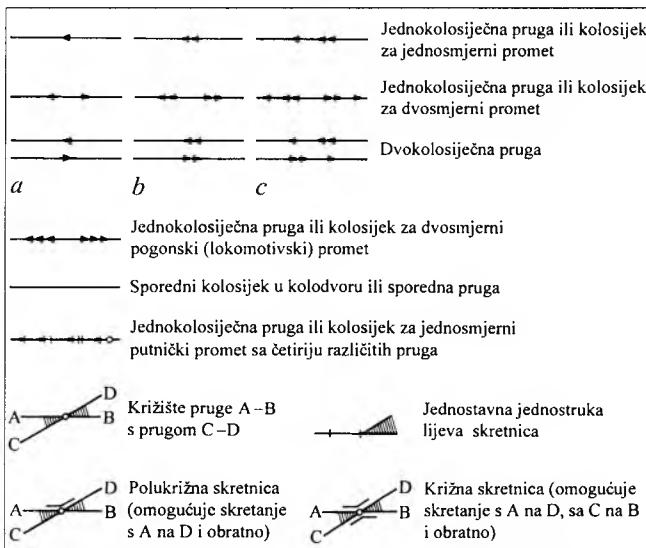
LIT.: J. Gorničić-Brdočki, Razvitak željeznica u Hrvatskoj do 1918. godine. JAZU, Zagreb 1952. – Henschel-Lokomotiv-Taschenbuch. Henschel Werke GmbH, Kassel 1960. – P. Weil, Les Chemins de Fer. Librairie Larousse, Pariz 1964. – K. Sach's, Elektrische Triebfahrzeuge. Springer-Verlag, Wien-New York 1973. – J. Fiedler, Grundlagen der Bahntechnik. Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf 1973. – J. Serdar, Lokomotive. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1977. – S. Müller, Elektrische und Dieselelektrische Triebfahrzeuge. Birkhäuser Verlag, Stuttgart 1979. – G. Schlegel, W. Bochmann, Dieseltriebfahrzeuge. VEB Verlag, Berlin 1982. – Međunarodna željeznička unija: Objava UIC 703 R. Pariz 1988. – Bremsen für Schieneneinheiten-Handbuch-Bremselechnische Begriffe und Werte. Knorr-Bremse AG, München 1990. – J. Zavadá, Željeznička vozila i vuča vlakova. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1991. – A. Stipetić, Rječnik željezničkog nazivlja. Institut prometa i veza Zagreb, Zagreb 1994. – D. Marušić, Projektiranje i građenje željezničkih pruga. Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split 1994.

B. Bogović V. Božić D. Desselbrunner
N. Dujmović D. Kikić J. Mikulić
B. Pollak Z. Presečki V. Sinčić

ŽELJEZNIČKI KOLODVR, građevinski objekt na željezničkoj pruzi gdje se obavljaju željezničke prometne i pogonske radnje. Prometne su radnje one u kojima nastaje dodir između željeznicice kao prometnog sustava (ponudioca prometne usluge) i prometnog interesenta (korisnika usluge), dakle otprema i prihvati putnika i tereta, dok se pogonskim radnjama smatraju sve one radnje koje željezница, bez prisutnosti prometnog interesenta, poduzima da bi obavila prometnu uslugu.

Prema objektima prijevoza željeznicom (putnici i teret) kolodvori mogu biti putnički, teretni i mješoviti. Putnički i teretni kolodvori imaju svoje pridružene pogonske kolodvore. U putničkom prometu to je poslovni kolodvor, a u teretnom prometu ranžirni kolodvor.

Početkom kolodvora smatra se ulazni signal (ili skretница, ako ne postoji signal) u smjeru povećanja broja kilometara, a duljina je kolodvora razmak između ulaznih signala (ili ulaznih skretnica) na početku i na kraju kolodvora. Na kolodvorskим nacrtima i shemama upotrebljavaju se mnoge dogovorene oznake i simboli za jedinstveno grafičko predstavljanje pojedinih željezničkih pruga, kolosijeka i drugih dijelova kolodvorskog postrojenja. Tako se, npr., kod nas i u većini europskih zemalja pojedina pruga, a posebno kolosijek u kolodvoru, crta jednom crtom koja predstavlja kolosiječnu os na gornjem rubu praga, pa se u skladu s tim crtaju i skretnice (sl. 1). Međutim, u nekim se zemljama pruga predstavlja dvjema crtama, dakle slikom tračnica ili kolosiječnih trakova.



Sl. 1. Željeznički simboli pruga, kolosijeka i skretnica. a putnički, b teretni, c mješoviti promet

Osim kolodvora, postoje u željezničkoj terminologiji i drugi slični nazivi: postaja, stajalište, utovarište, stovarište, mimoilaznica, pretjecajnica.

Postaja je redovito manji kolodvor, ali sa svim sadržajima za pružanje prometnih usluga i obavljanje pogonskih radnji kao i veći kolodvor.

Stajalište je mjesto na jednokolosiječnoj ili dvokolosiječnoj pruzi gdje se zaustavljaju putnički vlakovi da bi putnici mogli ići iz vlaka ili u njega ući. Opremljeni su peronima s nadstrešnicama, a često i manjom prijamnom zgradom. Stajalište na jednokolosiječnoj pruzi ima redovito peron samo na jednoj strani. Na dvokolosiječnoj pruzi grade se dva tipa stajališta, jedan s obostranim nasuprotnim peronima, a drugi s pomaknutim peronima, s pristupom u razini ili izvan razine kolosijeka. Ponekad se na dvokolosiječnoj pruzi grade otočni peroni s pristupom u drugoj razini. Na prugama za veće brzine grade se pothodnici ili nathodnici za pristup peronima u drugoj razini (sl. 2).

Utovarište ili *stovarište* najmanji je oblik kolodvora za teretni promet s najmanje jednim dodatnim kolosijekom povezanim jednostrano ili obostrano skretnicama (sl. 3).