



Logistika prometa

Miha Ambrož



Ljubljana, 2022

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta *za strojništvo*
Katedra za modeliranje
v tehniki in medicini



Logistika prometa

Miha Ambrož

Ljubljana, 2022

Naslov dela: Logistika prometa

ISBN: 978-961-6980-92-0

Avtor: Miha Ambrož

Izdala in založila: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana

Izdaja, leto: druga, dopolnjena izdaja, 2022

Recenzenta: doc. dr. Boris Jerman
prof. dr. Iztok Potrč

Ilustracije: Miha Ambrož (razen, kjer je drugače navedeno)

Jezikovni pregled: Sanda Zupan, prof.

Naklada: spletna izdaja

Maloprodajna cena: prosto dostopno na repozitoriju UL

<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=139079>

Katalogni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani COBISS.SI-ID 119485955 ISBN 978-961-6980-92-0 (PDF)
--

© Miha Ambrož in Fakulteta za strojništvo

To delo je avtorsko in vse pravice so pridržane v delih ali v celoti. Uporabnik si lahko natisne en (1) izvod dela za izključno lastno uporabo. Prepovedano je tiskanje in kopiranje, prevajanje, uporaba slik ter druga reprodukcija in arhiviranje z uporabo vsakršnih možnih analognih ali digitalnih tehnologij za katerekoli druge namene. Kopiranje oziroma reprodukcija tega dela v celoti ali po delih je dovoljeno v skladu z zakonom izključno s pisnim dovoljenjem nosilcev avtorskih in materialnih pravic.

Predgovor

Knjiga, ki jo pravkar berete, je v prvi vrsti namenjena študentom visokošolskega strokovnega študija na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. Njena vsebina v veliki meri sledi predavanjem pri predmetu Logistika prometa v tretjem letniku.

Obravnavana je tematika, ki bi jo moral poznati vsak inženir strojništva ob zaposlitvi na delovnem mestu, kjer se bo ukvarjal z nalogami s področja logistike prometa. Poudarek pri tem je na vsebinah, ki so neposredno povezane z inženirskimi izzivi, vendar so zaradi neizogibnih povezav med logistiko prometa in ostalimi področji v vsakem izmed poglavij predstavljene tudi te.

V knjigi predstavljene teme se navezujejo na znanja, ki jih študentje med študijem pridobijo pri ostalih predmetih, in jih dopolnjujejo. Nekatere vsebine, ki so podrobneje obdelane že pri predmetih Vozila, Transmisije vozil in drugih, so tako v knjigi predstavljene v skrženi obliki, ki naj služi kot opomnik pri študiju.

Zaradi omejitev pri obsegu knjige je posebej pomembno, da bralci v njej podano znanje dopolnijo tudi iz drugih virov. V seznamu na koncu knjige so navedeni nekateri viri, ki vsebujejo temeljna znanja z obravnavanih področij, vendar je za uspešno delo na tako dinamičnem področju, kot je logistika prometa, odločilno predvsem sprotno spremljanje novosti v znanstvenih in strokovnih publikacijah ter sledenje veljavnim predpisom.

Kljub temu, da je knjiga v prvi vrsti namenjena študentom kot učbenik, pa bo po končanem študiju služila tudi kot referenca pri delu na področju logistike prometa in z njo povezanih dejavnosti. V ta namen so v njej v obliki tabel, grafov in prikazov zbrani nekateri uporabnejši faktografski in statistični podatki ter izvlečki iz predpisov.

Prva izdaja te knjige iz leta 2018 je v štirih letih od izdaje pokazala svojo uporabnost. Kljub temu so nekateri podatki v njej v tem času zastareli, pri nekaterih vsebinah pa se je izkazalo, da zahtevajo dopolnitev ali spremenjen način obravnave. Druga, dopolnjena izdaja te pomanjkljivosti odpravlja.

Zaradi hitrega razvoja področja logistike prometa, stalnega nastajanja novih znanj in spreminjanja predpisov, bo tudi elektronska oblika te knjige deležna rednih popravkov in dopolnitev.

Ljubljana, avgust 2022

Miha Ambrož

Kazalo

1.	Uvod	1
1.1.	<i>Pomen in zgodovina logistike</i>	1
1.2.	<i>Umestitev logistike prometa</i>	2
1.1.	<i>Osnovni pojmi in količine v logistiki prometa</i>	4
1.2.	<i>Modalna porazdelitev</i>	6
1.3.	<i>Oblike organiziranosti v logistiki prometa</i>	7
1.3.1.	Oblikovanje tovora	7
1.3.2.	Transportne verige	8
2.	Načrtovanje elementov logističnih sistemov.....	10
2.1.	<i>Vozlišča v logističnih omrežjih</i>	10
2.2.	<i>Analiza uporabne vrednosti</i>	11
2.3.	<i>Določanje optimalne lokacije po zveznem postopku</i>	12
2.4.	<i>Osnove uporabe teorije grafov pri načrtovanju logističnih sistemov</i> ...	13
2.4.1.	Definicije	13
2.4.2.	Določanje najkrajših poti med vozlišči grafa	15
2.4.3.	Središče grafa	16
2.4.4.	Določanje optimalnega obhoda vozlišč – problem trgovskega potnika ...	17
2.4.5.	Določanje optimalnega obhoda povezav – problem cestnega preglednika	18
3.	Cestni promet.....	22
3.1.	<i>Cestna infrastruktura</i>	22
3.2.	<i>Vozlišča v cestnem prometu</i>	24
3.3.	<i>Prometna sredstva za opravljanje cestnega prometa</i>	24
3.3.1.	Kategorizacija vozil	25
3.3.2.	Konstrukcijske izvedbe nadgradenj vozil	25
3.3.3.	Dovoljene mase in dimenzije cestnih vozil	27
3.4.	<i>Varovanje tovora na cestnih vozilih</i>	33
3.4.1.	Ukrepi za preprečevanje premikanja tovora na vozilu	34
3.4.2.	Porazdelitev tovora na cestnih vozilih	37
3.5.	<i>Konstrukcijske posebnosti gospodarskih vozil</i>	40
3.5.1.	Šasije gospodarskih vozil	41
3.5.2.	Kabine	43
3.5.3.	Pogonski sistemi	46
3.5.4.	Sistemi obešenja koles in vzmetenja	51
3.5.5.	Sistemi krmiljenja	55
3.5.6.	Kolesa in pnevmatike	57
3.6.	<i>Skupine gospodarskih vozil – priklopniki in polpriklopniki</i>	58
3.6.1.	Vrste in konstrukcijske značilnosti priklopnih vozil	58
3.6.2.	Naprave za spenjanje vozil v skupini	60
3.6.3.	Posebnosti pri krmiljenju priklopnikov in polpriklopnikov	63
3.7.	<i>Varnostni sistemi na gospodarskih vozilih</i>	65
3.7.1.	Sistemi trajnega zaviranja	65
3.7.2.	Elektronska pomagala	67
3.7.3.	Sistemi pasivne varnosti	69
3.8.	<i>Tehtanje cestnih vozil</i>	70

3.8.1.	Namen in pravna podlaga	70
3.8.2.	Tehtalne postaje	72
3.8.3.	Prenosne tehtnice	72
3.8.4.	Sistemi za tehtanje med vožnjo (WiM)	73
3.8.5.	Sistemi za tehtanje na vozilih	75
3.9.	<i>Tranzitni prevozi</i>	75
3.10.	<i>Nadzorovanje in upravljanje cestnega prometa</i>	76
3.10.1.	Tahografi.....	76
3.10.2.	Sistemi za nadzor flote.....	80
3.11.	<i>Okoljski vplivi cestnega prometa</i>	88
3.11.1.	Vpliv vozil na okolje	88
3.11.2.	Prevoz nevarnih snovi	91
4.	<i>Železniški promet</i>	96
4.1.	<i>Pomen železniškega prometa</i>	96
4.2.	<i>Železniška infrastruktura</i>	97
4.2.1.	Prečni prerez železniške proge	97
4.2.1.	Elementi zgornjega ustroja proge	99
4.2.2.	Elementi železniške infrastrukture	102
4.3.	<i>Tirna vozila</i>	102
4.3.1.	Konstrukcijske izvedbe vlečnih vozil in pogonskih vozov	103
4.3.2.	Konstrukcijske izvedbe vagonov	106
4.3.3.	Kolesa tirnih vozil	110
4.3.4.	Posebnosti dinamike tirnih vozil	113
4.3.5.	Naprave za spenjanje tirnih vozil	120
5.	<i>Vodni promet</i>	122
5.1.	<i>Pomorski promet</i>	122
5.1.1.	Pomen in splošne lastnosti pomorskega prometa	122
5.1.2.	Plovila za pomorski promet	122
5.1.3.	Posebnosti dinamike plovil za zagotavljanje varnosti tovora.....	123
5.1.4.	Označevanje ladijske tonaže	124
5.1.5.	Upravljanje in administrativni vidiki pomorskega prometa	125
5.2.	<i>Notranji vodni promet</i>	128
5.2.1.	Pomen in splošne lastnosti notranjega vodnega prometa	128
5.2.2.	Plovila za notranji vodni promet	128
6.	<i>Zračni promet</i>	132
6.1.	<i>Pomen in splošne lastnosti zračnega prometa</i>	132
6.2.	<i>Administrativna in pravna ureditev zračnega prometa</i>	132
6.2.1.	Organizaciji ICAO in IATA	132
6.2.2.	Svoboščine zračnega prometa.....	134
6.3.	<i>Posebnosti opreme za zračni promet</i>	135
6.3.1.	ULD enote – palete in kontejnerji	136
6.3.2.	Oprema za talno podporo	138
6.4.	<i>Kontrola zračnega prometa</i>	139
7.	<i>Pomožna transportna sredstva</i>	141
7.1.	<i>Palete</i>	141
7.2.	<i>Kontejnerji</i>	144
7.2.1.	Konstrukcijske izvedbe	145
7.2.2.	Naprave za vpenjanje in združevanje	148

7.2.3.	Označevanje kontejnerjev	152
7.3.	<i>Kotalni in samonakladalni kontejnerji</i>	153
7.4.	<i>Zamenljive nadgradnje</i>	155
8.	Informacijski sistemi v logistiki prometa	157
8.1.	<i>Sistemi za sledenje tovora</i>	157
8.1.1.	Pomen sledenja tovora	157
8.1.2.	Tehnologija črtnih kod	157
8.1.3.	Tehnologija radiofrekvenčne identifikacije	159
8.1.4.	Tehnologije za določanje lokacije	161
8.1.5.	Integrirani sistemi za sledenje tovora	165
8.2.	<i>Geoinformacijski sistemi</i>	165

Kazalo slik

Slika 1: Osnovne funkcije in postopki v logistiki	1
Slika 2: Delitev področij logistike (povzeto po [6])	2
Slika 3: Delitev prometnih sredstev (povzeto po [6])	3
Slika 4: Umestitev logistike prometa v celotno področje logistike (povzeto po [6])	3
Slika 5: Modalna porazdelitev v Sloveniji 1971-2020	6
Slika 6: Postopek oblikovanja tovora (povzeto po [6])	8
Slika 7: Enočlenska transportna veriga (povzeto po [6])	9
Slika 8: Veččlenska transportna veriga s prekinjenim prometom (povzeto po [6])	9
Slika 9: Veččlenska transportna veriga s kombiniranim prometom (povzeto po [6])	9
Slika 10: Graf stroškovne funkcije za tri lokacije	12
Slika 11: Primer grafa s petimi vozlišči in devetimi povezavami med njimi	13
Slika 12: Izveden Dijkstrov algoritem iz vozlišča Z	16
Slika 13: Neusmerjeni popolni grafi s tremi, štirimi in petimi vozlišči	17
Slika 14: "Problem sedmih mostov Königsberga" – levo kot zemljevid, desno kot multigraf	19
Slika 15: Črtovje kot graf z dvema lihima vozliščema	20
Slika 16: Graf z dodanimi povezavami za rešitev problema cestnega preglednika	21
Slika 17: Razdelitev cest v Republiki Sloveniji	23
Slika 18: Zemljevid cestnega in železniškega omrežja v Sloveniji	23
Slika 19: Označevalna tablica na državnih cestah	24
Slika 20: Vozila kategorije M ₂ – od leve proti desni: nadgradnja CA, nadgradnja CG, nadgradnja CB	26
Slika 21: Vozilo na električni pogon s tokovnim odjemnikom kategorije M ₂ z nadgradnjo CG– nizkopodni trolejbus (Bergen, Norveška)	26
Slika 22: Lahki tovorni vozili z nadgradnjama BA in BB (sliki: © Daimler AG)	26
Slika 23: Levo sedlasti vlačilec – nadgradnja BC (slika: © MAN Truck & Bus AG), desno cestni vlačilec – nadgradnja BD	27
Slika 24: Vozila kategorije O: zgoraj polpriklopnik – DA, spodaj levo priklopnik z vrtljivim ojesom – DB, spodaj desno priklopnik s centralno osjo – DC (slike: © Schwarzmüller Group)	27
Slika 25: Sile na tovor na vozilu	33
Slika 26: Privezovanje tovora z zateznim trakom - napenjalo na obeh straneh	35
Slika 27: Privezovanje tovora z zateznim trakom – napenjalo samo na eni strani	35
Slika 28: Primer etikete s podatki o zateznem traku	37
Slika 29: Lega skupnega težišča vozila s tovorom	37
Slika 30: Princip nadomestnega tovora	38
Slika 31: Porazdelitveni diagram za dvoosno vozilo	39
Slika 32: Pravilna in napačna namestitev tovora glede na porazdelitveni diagram	40
Slika 33: Območje polne obremenljivosti vozila v porazdelitvenem diagramu	40
Slika 34: Sistemi na gospodarskem vozilu	41
Slika 35: Lestveni okvir z nameščenim pogonskim sklopom in premama (slika: © DAF Trucks N. V.)	42
Slika 36: Okvir z ukrivljenimi nosilci za terensko tovorno vozilo (slika: © Daimler AG)	42
Slika 37: Cevni okvir avtobusa	43
Slika 38: Kombinacija pomožnega okvirja s kabino v samonosni izvedbi za nadgradnjo avtodoma (slika: © Daimler AG)	43

Slika 39: Konstrukcijske izvedbe kabin in namestitvev motorja	44
Slika 40: Prekucljiva kabina za dostop do motorja (slika: © Volvo Trucks)	45
Slika 41: Primeri kabin (slika: © Scania CV AB).....	45
Slika 42: Shematski prikaz vpetja kabine in sedeža	46
Slika 43: Elementi transmisije gospodarskega vozila.....	47
Slika 44: Primer izvedbe transmisije gospodarskega vozila (slika: © Volvo Trucks)	48
Slika 45: Najpogostejši načini pogona tovornih gospodarskih vozil.....	49
Slika 46: Robsonovo gonilo.....	49
Slika 47: Najpogostejši načini pogona avtobusov.....	50
Slika 48: Vzmetenje zadnje pogonske preme z listnatimi vzmetmi	52
Slika 49: Vzmetenje preme z vijačnimi vzmetmi	52
Slika 50: Vzmetna karakteristika vzmeti z dvema paketoma.....	53
Slika 51: Pnevmatško vzmetenje poltoge preme	53
Slika 52: Pnevmatški meh za zračno vzmetenje (a - kotalni, b - tlačni).....	54
Slika 53: Zračno vzmetenje pogonske preme (slika: © Volvo Trucks)	54
Slika 54: Aktivno pnevmatsko vzmetenje	55
Slika 55: Dvižna prema s pnevmatskim vzmetenjem (a - spuščena, b - dvignjena)	55
Slika 56: Izpolnjevanje Ackermannovega pogoja pri dvoosnem vozilu.....	56
Slika 57: Geometrija krmiljenja triosnega vozila	56
Slika 58: Pasivno krmiljena negnana prema (slika: © BPW Bergische Achsen KG)	57
Slika 59: Skupine letnih pnevmatik glede na namen (slika: © Continental Reifen Deutschland GmbH)	58
Slika 60: Zimske pnevmatike glede na namen (slika: © Continental Reifen Deutschland GmbH)	58
Slika 61: Delitev priklopnih vozil po obliki konstrukcije	59
Slika 62: Priklopnik z vrtljivim ojesom z dvoosnim podpornim vozičkom.....	59
Slika 63: Vlečna sklopka in vlečno uho (sliki: © JOST Werke AG)	60
Slika 64: Vlečna glava za vlečno kroglo (sliki: © JOST Werke AG).....	60
Slika 65: Levo: spenjalna naprava s kavljem, desno: krogelna sklopka za težje priklopnike s centralno osjo (sliki: © JOST Werke AG)	61
Slika 66: Vlečno sedlo in kraljevi čep s podporno ploščo (sliki: © JOST Werke AG)	61
Slika 67: Vležajenje vlečnega sedla – levo z drsnim čepom, desno z elastičnim elementom (sliki: © JOST Werke AG)	61
Slika 68: Geometrija priklopnika s centralno osjo	62
Slika 69: Izvleček iz kataloga za vlečne sklopke (slika: © JOST Werke AG).....	63
Slika 70: Krmiljenje priklopnika z vrtljivim ojesom (levo) in priklopnika s centralno osjo (desno).....	64
Slika 71: Krmiljenje enoosnega in triosnega polpriklopnika.....	64
Slika 72: Mehansko prisilno krmiljenje dvoosnega priklopnika s centralno osjo	65
Slika 73: Skupni učinek motorne zavore in retarderja (povzeto po [15])	67
Slika 74: Delovanje sistema samodejnega zaviranja v sili (slika: © MAN Truck & Bus AG)	68
Slika 75: Delovanje sistema za opozarjanje na zapuščanje voznega pasu (slika: © DAF Truck N.V.).....	69
Slika 76: Strukturni elementi kabine tovornega vozila (slika: © Scania CV AB)	69
Slika 77: Bočna zaščita na tovornem vozilu (slika: © MAN Truck & Bus AG).....	70
Slika 78: Poškodbe vozišča zaradi pretežkih vozil (levo razpoka, desno vdolbina)	71
Slika 79: Shematični prikaz tehtalne postaje.....	72
Slika 80: Tehtanje osne obremenitve vozila na prenosni tehtnici	73

Slika 81: Shematični prikaz naprave za tehtanje med vožnjo na mostu.....	74
Slika 82: Namestitev zaznaval na spodnji strani nosilca mostu (slika: © Cestel/SiWIM)	74
Slika 83: Spremljanje vozil na merilnem mestu (slika: © Cestel/SiWIM)	75
Slika 84: Shematični prikaz namestitve digitalnega tahografa v vozilo	78
Slika 85: Primer tahografskega vložka za analogni tahograf.....	78
Slika 86: Shematični prikaz namestitve analognega tahografa v vozilo	79
Slika 87: Napisna ploščica s podatki o tahografu (levo) in nalepka s kalibracijsko konstanto (desno).....	79
Slika 88: Povezava elektronskih sistemov vozila z glavnim vodilom	81
Slika 89: Primer strukture CAN sporočila po protokolu SAE J1939 (skupina EEC1 - krmilna enota motorja)	82
Slika 90: Dopustne količine izpustov po "euro" predpisih	89
Slika 91: Krivulje specifične količine izpustov glavnih onesnaževal za cestna gospodarska vozila (povzeto po [28])	90
Slika 92: Primera ADR table in GHS oznake	92
Slika 93: Predpisane oznake na vozilu po ADR (a - vozilo z enim vsebnikom, b - vozilo z dvema vsebnikoma).....	93
Slika 94: Karakteristične mere železniške tirnice 60 E 1 po EN 13647-1:2003	98
Slika 95: Prečni prerez dvotirne železniške proge	99
Slika 96: Shematični prikaz enojne kretnice	100
Slika 97: Shematični prikaz tirnega križišča	100
Slika 98: Prenosnica (levo) in okretnica (desno)	101
Slika 99: Tirni zaključek na 750 mm ozkotirni progi (Göhren, Rügen, Nemčija)	101
Slika 100: Raztirniki v zaprti legi (ŽP Šiška, Ljubljana, Slovenija)	101
Slika 101: Predor (a), pokriti vkop (b), galerija (c).....	102
Slika 102: Shema električne lokomotive na izmenični tok	104
Slika 103: Večsistemska električna lokomotiva Siemens ES64U4	104
Slika 104: Shema diesel-električne lokomotive	105
Slika 105: Shema lahke lokomotive z mehanskim pogonom.....	105
Slika 106: Klasična diesel-električna lokomotiva Brissonneau et Lotz/Đuro Đaković BB	105
Slika 107: Ploščni vagon podserije Sggnss z naloženima dvema 40' kontejnerjema	106
Slika 108: Zgibni ploščni vagon podserije Sggrss s tremi podpornimi vozički in naloženima dvema 20' ter enim 40' kontejnerjem	106
Slika 109: Dvoosni zaprti tovorni vagon podserije Gbs-z (kot del vagonске enote podserije Hrrs-z)	107
Slika 110: Štiriosni odprti škatlasti vagon podserije Eas-z	107
Slika 111: Štiriosni odprti vagon za prevoz razsutega tovora z gravitacijskim praznjenjem (podserija Fals-z)	107
Slika 112: Štiriosni zaprti vagon za prevoz razsutega tovora z gravitacijskim praznjenjem (podserija Tadds-z).....	108
Slika 113: Vagon s cisterno za prevoz kapljev in (podserija Zas-z), prirejen in označen za prevoz vnetljivih snovi.....	108
Slika 114: Vagon z vsebnikom za prevoz snovi v prahu (podserija Uacs-z)	108
Slika 115: Ploščni vagon podserije Sggrs z dvojnim kontejnerjem za prevoz rude.....	110
Slika 116: Kolesna dvojica tirnega vozila	110
Slika 117: Sprememba premerov nakotaljevanja koles zaradi prečnega pomika kolesne dvojice glede na tir.....	111

Slika 118: Sinusni tek kolesne dvojice	111
Slika 119: Posamično vgrajena kolesna dvojica na starejšem tovornem vagonu	112
Slika 120: Glavni deli podpornega vozička z dvostopenjskim vzmetenjem	112
Slika 121: Podporni voziček tovornega vagona.....	113
Slika 122: Primerjava med "klasično" (a) in "Jakobs" (b) izvedbo podpornih vozičkov	113
Slika 123: Tirna vzpenjača z vravnim pogonom in vzponom nad 50% (Aberystwyth, Wales).....	114
Slika 124: Mehanski model vlaka v treh koordinatnih smereh	115
Slika 125: Model vlaka iz i vozil z j osmi.....	115
Slika 126: Višina vozila v vlaku v odvisnosti od njegove lege na progi.....	116
Slika 127: Podporni voziček pri vožnji v ovinek (desno izvedba z elastičnim vpetjem ležajev kolesnih dvojic)	118
Slika 128: Zračni upor vlaka.....	119
Slika 129: Tovorna vagona speta z vijačno spenjačo	120
Slika 130: Dieselmotorna potniška garnitura s spenjalno napravo tipa Scharfenberg (Süd-Thüringen-Bahn, Nemčija)	121
Slika 131: Gibanje plovila na vodni gladini.....	123
Slika 132: Konstrukcijske izvedbe trupov plovil.....	124
Slika 133: Deleži kategorij plovil v celotni svetovni trgovski floti	126
Slika 134: Gibanje vrednosti indeksov pomorskih prevozov 2008-2022.....	127
Slika 135: Primer signalizacije za rečno plovbo po CEVNI (Ljubljana, Ljubljana).....	128
Slika 136: Konstrukcijske oblike rečnih plovil.....	129
Slika 137: Rečna ladja za prevoz razsutega tovora (Ren, Düsseldorf, Nemčija)	130
Slika 138: Potisni čoln z baržo za prevoz razsutega tovora (Laba, Dresden, Nemčija)	130
Slika 139: Potisni čoln z baržo s kosovnim tovorom (Neva, Sankt Peterburg, Rusija)	130
Slika 140: Kanalski čoln (Birmingham, Velika Britanija)	131
Slika 141: Presek trupa tovornega (a) in potniškega (b) letala.....	136
Slika 142: Nekatere oblike in dimenzije pogosto uporabljenih ULD enot in oznake njihovih tipov	138
Slika 143: Potiskanje letala s parkirne pozicije (EDDM, München, Nemčija).....	139
Slika 144: Oprema za talno podporo in ULD enote (EFHK, Vantaa, Finska).....	139
Slika 145: "Euro" paleta 800 × 1200 mm po ISO 6780.....	142
Slika 146: Sklad "euro" palet (spodaj 800 × 1200 mm, zgoraj 800 × 600 mm)	142
Slika 147: Palete z dodatnimi elementi za varovanje tovora.....	143
Slika 148: Zlaganje tovorkov na paleto (a - v stebre, b - povezano)	143
Slika 149: Uporaba palet.....	144
Slika 150: Primerjava dimenzij kontejnerjev po ISO 668	145
Slika 151: Kontejner s posodo za kapljevine ("tanktainer")	147
Slika 152: Ploski kontejner z zložljivima stranicama.....	147
Slika 153: Kontejner z napravo za zagotavljanje stalne temperature ("reefer")	148
Slika 154: Pritrdilno mesto na zgornjem levem vogalu kontejnerja	149
Slika 155: Pritrdilno mesto na spodnjem desnem vogalu kontejnerja	149
Slika 156: Naprava Twistlock (a - za vgradnjo na podlago, b - za povezovanje sklada)	150
Slika 157: Vzdolžno povezovanje dveh kontejnerjev z vijakom s čeljustmi	151
Slika 158: Del območja kontejnerskega terminala (Tórshavn, Ferski otoki)	151
Slika 159: Identifikacijska oznaka kontejnerja	153
Slika 160: Postopek nalaganja kotalnega kontejnerja na vozilo	154

Slika 161: Vozilo za prevoz samonakladalnega kontejnerja	155
Slika 162: Postopek nalaganja zamenljive nadgradnje na vozilo	156
Slika 163: Princip delovanja sistema za radiofrekvenčno identifikacijo	159
Slika 164: Sklopljenje delov sistema za radiofrekvenčno identifikacijo	160
Slika 165: Princip določanja lege sprejemnika za globalno pozicioniranje	162
Slika 166: Industrijski sprejemnik signala za globalno pozicioniranje	163
Slika 167: Primer zapisa podatkov s sprejemnika za globalno pozicioniranje	163
Slika 168: Primer integriranega sistema za sledenje tovora	165
Slika 169: Primer sestave podatkov geoinformacijskega sistema	166
Slika 170: Spletna aplikacija za prikaz podatkov o prometnih nezgodah	167
Slika 171: Geoinformacijski sistem BUSO za upravljanje javnega potniškega prometa	168
Slika 172: Del zemljevida OpenStreetMap	169

Kazalo tabel

Tabela 1: Največje dovoljene skupne mase posameznih vozil	28
Tabela 2: Največje dovoljene skupne mase skupin vozil vlečnega vozila in priklopnika	29
Tabela 3: Največje dovoljene skupne mase skupin vozil vlečnega vozila in polpriklopnika	30
Tabela 4: Največje dovoljene osne obremenitve	31
Tabela 5: Največje dovoljene dimenzije vozil in skupin vozil	32
Tabela 6: Energijske gostote nekaterih goriv	47
Tabela 7: Simboli za dejavnost voznika na tahografu	77
Tabela 8: Skupine parametrov po SAE J1939, skupnih tovornim vozilom in avtobusom	83
Tabela 9: Skupine parametrov po SAE J1939 za tovorna vozila	85
Tabela 10: Skupine parametrov po SAE J1939 za avtobuse	86
Tabela 11: Seznam UN števil in ADR razredov za nekatere nevarne snovi	94
Tabela 12: Piktogrami za označevanje nevarnosti po GHS	95
Tabela 13: Razdalje med tirnicama železniških prog in njihova uporaba	98
Tabela 14: Električni sistemi na železnicah	103
Tabela 15: Serije potniških (osenčeno) in tovornih vagonov po UIC	109
Tabela 16: Vzdržni nakloni tirnih prog	114
Tabela 17: Faktorji mase vlakov in tirnih vozil (povzeto po [37])	116
Tabela 18: Razredi plovil	125
Tabela 19: ICAO in IATA kode nekaterih letališč	133
Tabela 20: Svoboščine zračnega prometa	135
Tabela 21: Vrste in oznake ULD enot	137
Tabela 22: Dimenzije in uporaba različnih standardnih palet	142
Tabela 23: Dimenzije standardnih kontejnerjev	146
Tabela 24: Oznake kontejnerjev po ISO 6346 – prvi in drugi znak	152
Tabela 25: Oznake kontejnerjev po ISO 6346 – tretji in četrti znak	153
Tabela 26: Pogosto uporabljane vrste enodimenzionalnih črtnih kod	158
Tabela 27: Pogosto uporabljane vrste dvodimenzionalnih črtnih kod	159
Tabela 28: Najpomembnejše skupine podatkov po NMEA 0183	164

Pregled uporabljenih oznak

oznaka	enota	opis
A	-	matrika sosednosti grafa
A_c	m^2	površina kontrolnega preseka
A_i	kN	osna obremenitev posamezne osi vozila pri izračunu faktorja ekvivalentnosti osne obremenitve
a	m/s^2	pospešek
a_{ij}	-	člen matrike sosednosti grafa
a_p	m/s^2	pospešek v prečni smeri
a_v	m/s^2	pospešek v vzdolžni smeri
B	-	incidenčna matrika grafa
BDP	€, ...	bruto domači proizvod
B_i	-	vrednost i -tega byta
b	m	kolotek, razdalja med tirnicama
b_{ij}	-	člen incidenčne matrike grafa
b_i	-	utež posamezne lokacije v stroškovni funkciji
c_{din}	-	koeficient stanja proge
$c_{lež}$	-	koeficient upora v ležajih
c_{predor}	-	koeficient povečanja zračnega upora v predoru
c_{usm}	-	koeficient povečanja sile voznega upora pri vožnji prek usmerjevalnih naprav
$d(v_i)$	-	stopnja vozlišča grafa
D	kN	teoretična referenčna vlečna sila za priklopnik z vrtljivim ojesom ali polpriklopnik
D_c	kN	teoretična referenčna vlečna sila za priklopnik s centralno osjo
E	-	množica povezav v grafu
E_{kin}	J	kinetična energija
$E_{kin,rot}$	J	rotacijski del kinetične energije
$E_{kin,trans}$	J	translatorni del kinetične energije
E_{MNZ}	kg	izpusti motorja z notranjim zgorevanjem
E_{iz}	kg	izpusti zaradi izhlapevanja goriva
E_{pot}	J	potencialna energija
E_{st}	kg	izpusti pri zagonu motorja z notranjim zgorevanjem
E_{tot}	kWh	celotna energija porabljena za transport
E_{vlaka}	J	energija, potrebna za vožnjo vlaka
E_{vr}	kg	izpusti ogretega motorja z notranjim zgorevanjem
e	-	koeficient emisivnosti onesnaževal
e_i	-	povezava v grafu (element množice E)
FE_v	-	
F_{dod}	N	potrebna dodatna navpična sila za varovanje tovora
F_{mot}	N	pogonska sila motorja
F_p	N	vztrajnostna sila v prečni smeri

oznaka	enota	opis
$F_{tn,1}$	N	navpična komponenta napenjalne sile v enem zateznem traku
F_{tnom}	N	nominalna sila v zateznem traku
F_{tr}	N	sila trenja
F_v	N	vztrajnostna sila v vzdolžni smeri
F_{vzm}	N	sila vzmeti
$F_{z,KD}$	N	navpična obremenitev kolesne dvojice tirnega vozila
f_K	-	faktor konstrukcije kolesa za izračun ekvivalentnosti osne obremenitve vozila
f_0	-	faktor konstrukcije preme za izračun ekvivalentnosti osne obremenitve vozila
f_k	-	koeficient kotalnega upora
G	N	sila teže
G_n	N	teža nadomestnega tovora
$G_{t,i}$	N	teža i -tega tovorka v sestavljenem tovoru
g	m/s ²	težnostni pospešek
g_i	-	utež ocene kriterija pri analizi uporabne vrednosti
j	h ⁻¹	pretok prometa
j_m	t/h	masni pretok blaga
j_v	m ³ /h	volumski pretok blaga
K_i	-	i -ti kriterij pri analizi uporabne vrednosti
k_D	Ns/m	koeficient dušenja
k_{kolesa}	-	kóničnost tekalne ploskve kolesa tirnega vozila
l_{WB}	m	medosna razdalja vozila ali podpornega vozička
M	-	množica alternativnih možnosti v analizi uporabne vrednosti
Mp	različne	multiplikator za izračun vrednosti parametra
M_n	Nm	moment sile teže nadomestnega tovora
M_t	Nm	moment sile teže skupine tovorkov
N_{osi}	-	število osi vozila pri izračunu faktorja ekvivalentnosti osne obremenitve
m	-	število povezav v grafu
m_a	t	prevožena masa, ki določa obseg prometa
m_i	kg	masa i -tega vozila v vlaku
m_T	kg	masa tovora
m_v	kg	masa vlaka
n	-	število vozlišč v grafu
n_t	-	potrebno število zateznih trakov za varovanje tovora
n_π	-	število možnih poti, ki obišejo vsa vozlišča grafa
p_i	-	ocena kriterija pri analizi uporabne vrednosti
Of	različne	premiki ničlišča za izračun vrednosti parametra
o_i	-	alternativna možnost pri analizi uporabne vrednosti
Q_m	t/leto	masna pretočnost prometa
Q_v	m ³ /leto	volumska pretočnost prometa

oznaka	enota	opis
R_k	N	sila kotalnega upora
$R_{k,ovinek}$	N	sila kotalnega upora tirnega vozila v ovinku
$R_{k,usm}$	N	povečanje sile kotalnega upora pri vožnji prek usmerjevalnih naprav
R_{predor}	N	sila zračnega upora pri vožnji skozi predor
R_t	N	sila uporov v transmisiji
R_z	N	sila zračnega upora
r_i	m	razdalja od sprejemnika do i -tega satelita
r_{kolesa}	m	polmer kolesa
r_{ovinka}	m	polmer ovinka
s_a	km	prevožena razdalja
s_{ij}	-	element matrike vrednosti grafa
T	s	čas izvajanja algoritma
Tr	tkm	zmogljivost prometa
t_r	s	čas na sprejemniku
t_s	s	čas na satelitu
u	-	vrednost uporabnostne funkcije
V	-	množica vozlišč v grafu
V	kN	teoretična amplituda dinamične navpične obremenitve
VP_1	različne	vrednost parametra, zapisanega na enem bytu
VP_2	različne	vrednost parametra, zapisanega na dveh bytih
VP_4	različne	vrednost parametra, zapisanega na štirih bytih
V_a	m ³	prostornina, ki določa obseg prometa
v	m/s	hitrost vozila
v_i	-	vozlišče v grafu (element množice V)
W	-	matrika vrednosti grafa
w_i	različne	vrednost povezave v grafu (element množice W)
x_n	m	vzdolžna koordinata težišča nadomestnega tovora
x_i, y_i, z_i	m	koordinate i -tega satelita
x_r, y_r, z_r	m	koordinate satelitskega sprejemnika
x_{sk}	m	vzdolžna koordinata sprednje stene tovarnega prostora
$x_{t,i}$	m	vzdolžna koordinata težišča i -tega tovorka
x_{tp}	m	vzdolžna koordinata težišča praznega vozila
$Z(x, y)$	-	stroškovna funkcija
z_{vzm}	mm	poves vzmetenja
α	°	kot med zateznim trakom in tovarnim prostorom
α_m	°, ‰	vzdolžni naklon tirne proge
α_p	-	koeficient vpliva medosne razdalje po Protopapadakisu
δ	-	faktor mase
γ_p	-	koeficient vpliva koloteka po Protopapadakisu
λ	m	valovna dolžina krivulje sinusnega teka

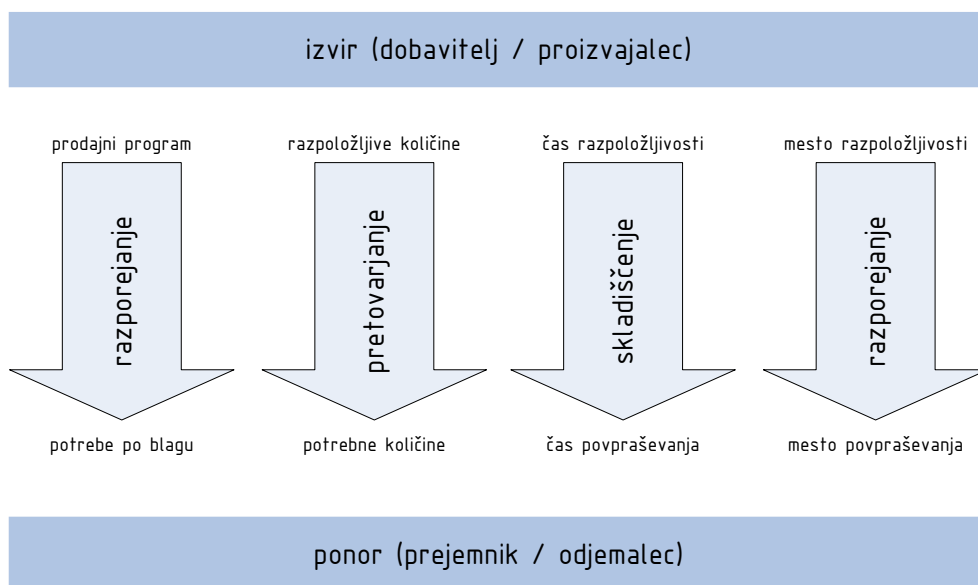
oznaka	enota	opis
ζ_i	tkm/€	intenzivnost prometa
ζ_e	tkm/kWh	učinkovitost prometa
η_i	-	stroškovna elastičnost prometa
η_e	-	energijska elastičnost prometa
μ	-	koefficient trenja
φ	°	zasuk plovila okoli vzdolžne osi (naklon)
χ	°	zasuk plovila okoli prečne osi (priklon)
ψ	°	zasuk plovila okoli navpične osi (odklon)

1. Uvod

1.1. Pomen in zgodovina logistike

Logistika je znanstvena veda o planiranju, krmiljenju in nadzoru pretoka materiala, oseb, energije in informacij. V splošnem obsega vse naloge celovitega planiranja, koordinacije, izvedbe in kontrole njihovega pretoka od izvirov, kjer nastanejo, do ponorov, kjer se porabijo.

Osnovni namen logistike je izravnava številčnih, prostorskih ali časovnih neskladij pri porazdeljevanju materiala, oseb, energije in informacij po človeški skupnosti. Ta namen dosežemo z zagotavljanjem njihove razpoložljivosti v ustrezni sestavi na zahtevnem mestu po ustrezni ceni. Pri tem mnogokrat govorimo o "6 P logistike" – **p**ravo blago **p**rave kakovosti v **p**ravih količinah **p**ravočasno na **p**ravem mestu po **p**ravi ceni. Za doseganje tega osnovnega namena v logistiki izvajamo ustrezne postopke (slika 1) in uporabljamo ustrezna sredstva, opremo in infrastrukturo.



Slika 1: Osnovne funkcije in postopki v logistiki

Začetki logistike segajo v antiko, kjer so bili prikazani postopki najprej uporabljeni pri vojaški oskrbi. Sam izraz "logistika" izhaja iz francoskega "*loger*", kar pomeni "namestiti", tudi "skladiščiti". Od tod izhaja izraz "*logistique*", ki je prvotno predstavljal dejavnost, ki se ukvarja s premeščanjem in skladiščenjem.

Tudi v novejši zgodovini se je logistika najprej pojavila na področju vojaške oskrbe (znana je izjava pruskega kralja Friderika II. Vélikega iz leta 1747, da brez oskrbe nobena vojska ni hrabra [1]). Tako je bilo tudi v obeh dosedanjih svetovnih vojnah: v prvi, kjer je šlo za statično bojevanje in načrtovanje potreb

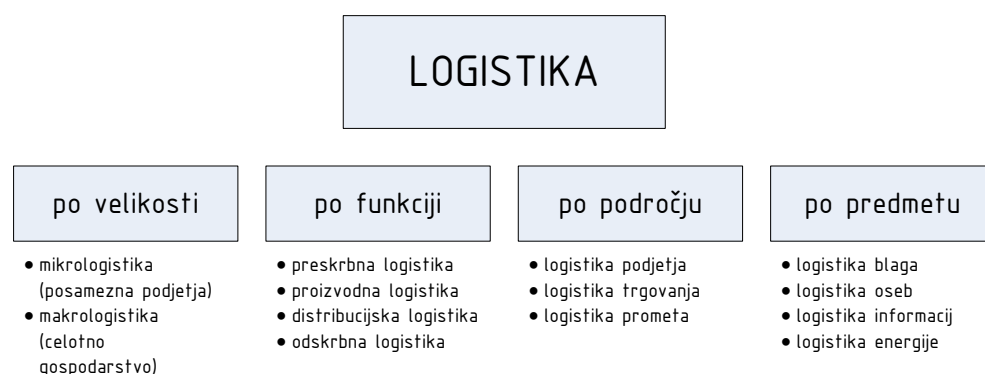
po strelivu, ter v drugi, kjer je šlo za oskrbo premikajočih se enot. Postopki vojaške oskrbe so se razvijali tudi kasneje. Primera za to sta vietnamska vojna (1955-1975), kjer je šlo za oskrbo enot na bojišču daleč od doma (takrat se je začela uveljavljati ideja o kontejnerizaciji), in "ameriške" vojne poznega 20. stoletja, kjer je bil cilj (ki pa mnogokrat ni bil dosežen) precizno ciljno upravljanje vojaške oskrbe.

Uporabne ideje in postopki s področja vojaške oskrbe so se ves čas širili tudi na civilno področje. V 90. letih 20. stoletja je logistika doživela razcvet in je med najhitreje rastočimi panogami še danes.

Podrobneje in širše zgodovino, naloge, razmejitve in posamezna področja logistike obravnavajo viri [2-5].

1.2. Umestitev logistike prometa

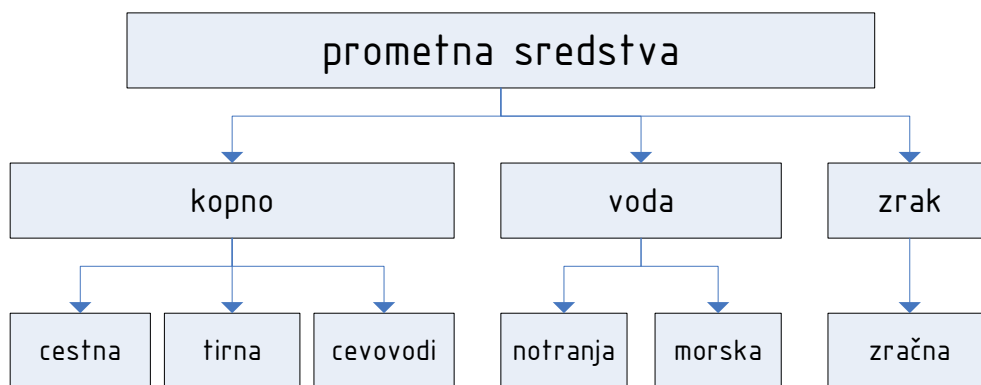
Področja logistike lahko delimo glede na različne vidike (slika 2). Delimo jih lahko po (geografski) velikosti območja, na katerem se izvajajo, na mikrologistične (na primer logistika posameznega podjetja) in makrologistične sisteme (na primer logistika celotnega gospodarstva države, regije ali sveta). Nadalje lahko področja logistike delimo po funkciji, ki v njih potekajo (preskrba, proizvodnja, distribucija, odstranjevanje), po področju oziroma panogi, kjer potekajo (podjetje, trgovanje, promet), ali po predmetu, na katerem izvajamo operacije (blago, osebe, informacije, energija).



Slika 2: Delitev področij logistike (povzeto po [6])

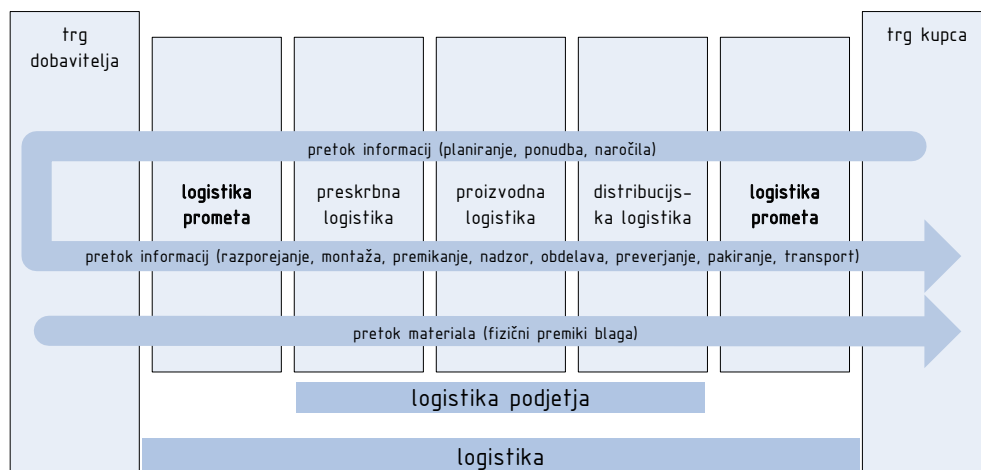
Promet po svoji definiciji predstavlja premagovanje prostorskih razdalj (z blagom, osebami, informacijami ali energijo) z uporabo tehnične in organizacijske opreme. V skladu s to definicijo lahko postopke, ki se ukvarjajo s planiranjem in upravljanjem procesov spreminjanja nahajališča materiala, oseb, informacij ali energije z uporabo zunanje infrastrukture, imenujemo logistika prometa. Kot dejavnost logistika prometa opravlja izgradnjo transportnih verig,

transportnih in servisnih mrež, distribucijskih struktur, optimiranje in obratovanje logističnih podjetij ter načrtuje, razvija in izvaja transport. Pri tem uporablja prometno infrastrukturo, ki je v splošnem sestavljena iz cest, tirnih, vodnih in zračnih poti, cevovodov ter pripadajočih naprav, obratov in zgradb. Na prometni infrastrukturi obratujejo prometna sredstva, ki glede na vrsto infrastrukture določajo način ("mód") prometa. Tako v grobem promet delimo na kopenski, vodni in zračni, posamezna prometna sredstva pa lahko razdelimo kot prikazuje slika 3.



Slika 3: Delitev prometnih sredstev (povzeto po [6])

Logistika prometa v celotnem področju logistike predstavlja povezavo med logistiko podjetja in zunanjimi sistemi (slika 4).



Slika 4: Umestitev logistike prometa v celotno področje logistike (povzeto po [6])

1.1. Osnovni pojmi in količine v logistiki prometa

V transportnih vedah pogosto uporabljamo količine, ki so izpeljane iz splošno znanih fizikalnih količin in so namenjene popisovanju in predstavitvi tokov blaga in z njimi povezanih parametrov transporta. V nadaljevanju so predstavljene najvažnejše takšne količine skupaj z enačbami, ki jih definirajo, in s primeri uporabe.

Prevožena razdalja s_a lahko predstavlja kumulativno vsoto prevoženih razdalj vozil določene vrste vozil na določenem območju. Tedaj je izražena v km. Lahko pa predstavlja tudi vsoto prevoženih razdalj za posamezno vozilo. Tedaj je izražena v km/vozilo. V obeh primerih je lahko implicitno podana za časovno enoto (dan, mesec, četrletje, leto...).

Obseg prometa predstavlja maso m_a , prostornino V_a , ali drugače določeno količino (na primer število kosov pri kosovnem transportu ali število potnikov v javnem potniškem prometu), ki je prepeljana z vozili določene vrste na določenem območju. Tudi obseg prometa je lahko implicitno podan za časovno enoto.

Pretok prometa j predstavlja število vozil n , ki v določenem časovnem obdobju t prevozijo določeno mesto opazovanja na transportnem omrežju:

$$j = \frac{dn}{dt}. \quad (1)$$

To mesto lahko predstavlja posamezno točko ali daljši odsek. Posebna primera podajanja pretoka prometa sta količini *PDP* (povprečni dnevni promet, kjer je časovno obdobje t en dan) in *PLDP* (povprečni letni dnevni promet, ki je izračunano povprečje vrednosti *PDP* za celo leto). Izmerjeni in modelirani pretoki prometa so osnova za projektiranje transportne infrastrukture.

Masni pretok blaga j_m in **volumski pretok blaga** j_v predstavljata obseg blaga, ki je v določenem časovnem obdobju t prepeljan skozi določeno mesto opazovanja na transportnem omrežju (točka, odsek):

$$j_m = \frac{dm_a}{dt}, \quad (2)$$

$$j_v = \frac{dV_a}{dt}. \quad (3)$$

Pretok blaga je v neposredni zvezi s hitrostjo vozil v v opazovani točki s presekom A :

$$V_a = A_c \cdot \int v \cdot dt, \quad (4)$$

$$j_v = A_c \cdot v. \quad (5)$$

Masnemu pretoku blaga je v javnem potniškem prometu analogna količina pretok potnikov, ki je izražen v njihovem številu na časovno enoto.

Pretočnost prometa Q_m in Q_v predstavlja povprečno vrednost pretoka blaga na daljšo časovno enoto (dan, mesec, četrletje, leto...):

$$Q_m = \frac{\Delta m_a}{\Delta t}, \quad (6)$$

$$Q_v = \frac{\Delta V_a}{\Delta t}. \quad (7)$$

Zmogljivost prometa oziroma **transportna zmogljivost** Tr predstavlja zmnožek obsega prometa in prevožene razdalje in je premosorazmerna z neto energijo, porabljeno za transport:

$$Tr = m_a \cdot s_a \quad (8)$$

Enota za transportno zmogljivost je v tovornem prometu ponavadi tkm (tonski kilometer), v javnem potniškem prometu pa potniški kilometer.

Če zmogljivost prometa normiramo z "zaslužkom", ki ga prinese promet, dobimo **intenzivnost prometa** ζ . Pri tem "zaslužek" lahko predstavlja neposreden prihodek, ustvarjen s prometom, lahko pa bruto domači proizvod (BDP) celotnega gospodarstva:

$$\zeta_i = \frac{Tr}{BDP}. \quad (9)$$

Če zmogljivost prometa normiramo s celotno energijo E_{tot} , ki jo porabimo za njegovo opravljanje, dobimo **učinkovitost prometa** ξ :

$$\zeta_e = \frac{Tr}{E_{tot}}. \quad (10)$$

Če opazujemo spreminjanje intenzivnosti in učinkovitosti prometa v daljšem časovnem obdobju (na primer v enem letu), lahko izračunamo **stroškovno** η_i in **energijsko elastičnost prometa** η_e :

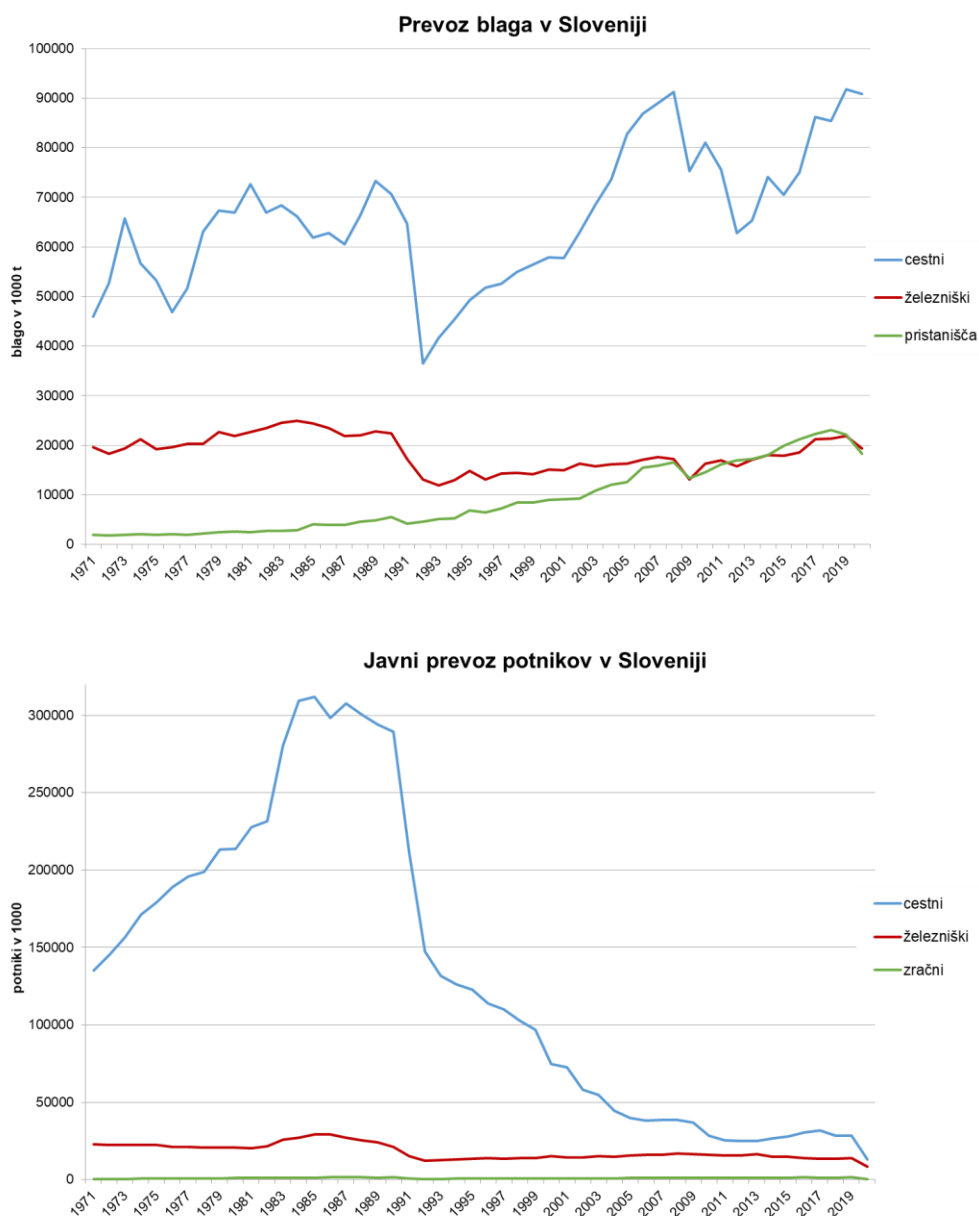
$$\eta_i = \frac{\Delta Tr / Tr}{\Delta BDP / BDP}, \quad (11)$$

$$\eta_e = \frac{\Delta Tr / Tr}{\Delta E_{tot} / E_{tot}}. \quad (12)$$

Pri zagotavljanju trajnostnega transporta stremimo k nizki stroškovni in visoki energijski elastičnosti prometa, torej k manjšanju intenzivnosti prometa in večanju njegove učinkovitosti.

1.2. Modalna porazdelitev

Modalna porazdelitev (angleško *modal split*) predstavlja porazdelitev količin (obsega transporta, pretokov, transportne zmogljivosti in drugih) po prometnih sredstvih glede na njihovo vrsto.



Slika 5: Modalna porazdelitev v Sloveniji 1971-2020

Pri tem odraža konkurenčna razmerja med posameznimi vrstami prometnih sredstev ter njihove prednosti in slabosti. V večini industrijsko razvitih družb je v modalni porazdelitvi opazen velik delež cestnega prometa na račun ostalih načinov.

V postindustrijskih družbah se trend povečevanja deleža cestnega prometa upočasnjuje, predvsem na račun trajnostnih oblik transporta (železniški in rečni promet). Slika 5 prikazuje modalno porazdelitev prevoza blaga in javnega prevoza potnikov v Sloveniji med letoma 1971 in 2020 [9].

1.3. Oblike organiziranosti v logistiki prometa

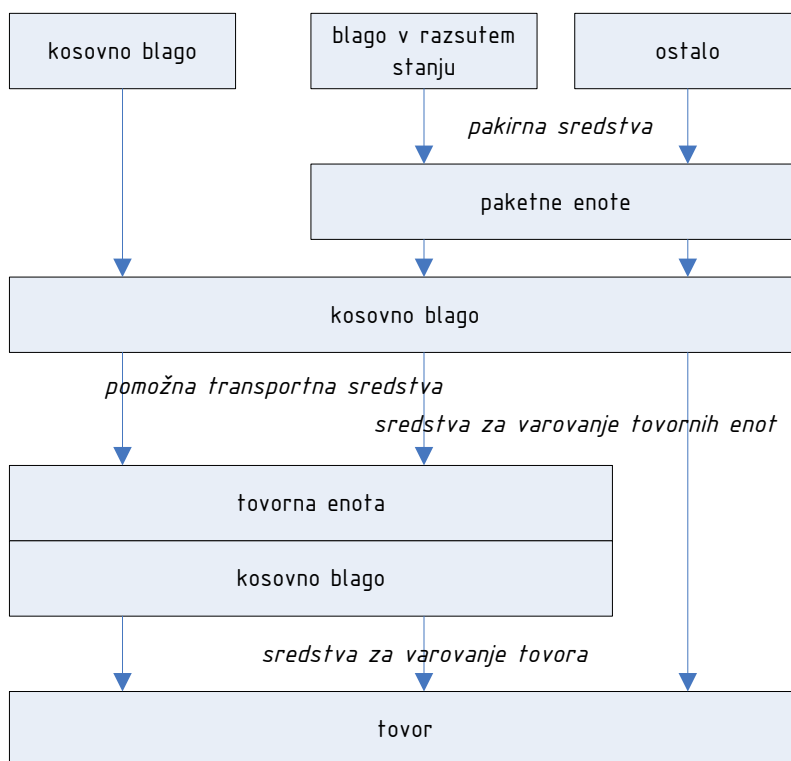
Deležniki, ki opravljajo naloge s področja logistike prometa, so špediterji in prevozniki. Naloga prvih je organizacija transporta in z njo povezanih aktivnosti, naloga drugih je opravljanje samih prevozov. Organizacijsko sta pogosto obe dejavnosti povezani in združeni znotraj istega podjetja za špedicijo in transport. Poleg tega takšna podjetja lahko opravljajo tudi skladiščenje, pretovor, razporejanje in označevanje blaga ter ostale s tem povezane storitve (na primer svetovanje, prodajo, posredovanje, organizacijo).

Prevozne storitve v splošnem obsegajo različne vrste prevozov. Tovorni prevozi so tisti, pri katerih naročnik prevoza zakupi celotno prevozno sredstvo ali njegov del za točno določeno nalogo. Zbirni prevozi so tisti, kjer se blago različnih ponudnikov zbere na istem prevoznem sredstvu (ponavadi zbiranje opravi lastnik prevoznega sredstva) in se lahko transportira na isto mesto ali na različna mesta. Kurirski, ekspresni in paketni prevozi (poznani tudi pod imenom "storitve KEP") so časovno optimirani prevozi majhnih količin visokovrednega ali hitro pokvarljivega blaga.

Osnovna enota pri transportu blaga je tovorek oziroma tovarna enota, ki predstavlja blago zbrano na enem (neločljivem) nosilcu tovora. Več tovorkov je lahko združenih v pošiljko, ki predstavlja skupek blaga namenjenega za transport od istega pošiljatelja do istega prejemnika. Več pošiljk, ki se transportirajo na istem prometnem sredstvu, predstavlja tovor.

1.3.1. Oblikovanje tovara

Za učinkovit transport blaga je glede na uporabljeno vrsto prevoza in vrsto blaga, ki ga prevažamo, tovarne enote treba primerno oblikovati. Pri tem si pomagamo s pomožnimi transportnimi in pakirnimi sredstvi ter sredstvi za varovanje tovornih enot. S tem pripravimo tovorke oziroma tovor v obliki, primerni za transport. Slika 6 shematično prikazuje postopek oblikovanja tovara glede na vrsto blaga. Pomožna transportna sredstva in varovanje tovara so podrobneje predstavljeni v poglavju 7.

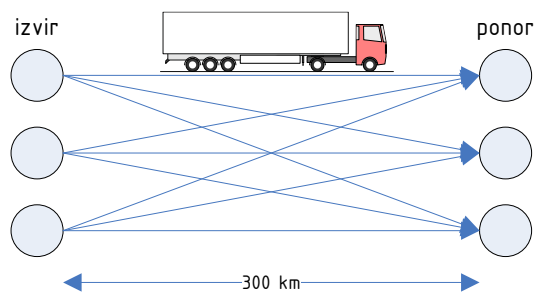


Slika 6: Postopek oblikovanja tovora (povzeto po [6])

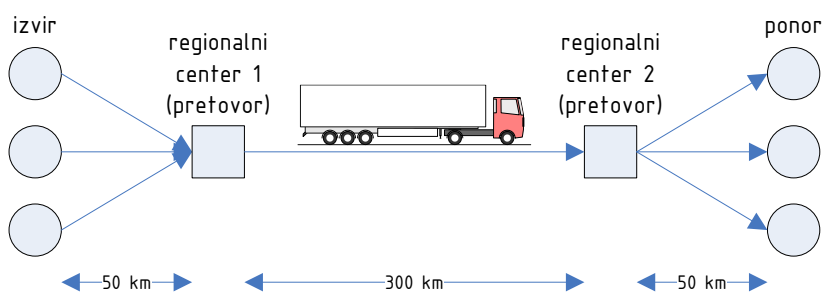
1.3.2. Transportne verige

Vse oblike storitev logistike prometa potekajo v transportnih verigah. Transportne verige predstavljajo sosledja tehnično in organizacijsko povezanih postopkov, s katerimi izvedemo premik blaga ali oseb (v širšem pomenu definicije pa tudi informacij ali energije) od njihovega izvira do ponora. Vedno se obravnavajo kot celovit sistem in so vedno povezane s sosednjimi sistemi (proizvodnja, uporaba blaga). Da lahko zagotovimo tehnično povezanost sistemov, mora biti zagotovljena skladnost oziroma kompatibilnost uporabljenih sredstev, organizacijsko povezanost pa dosežemo z ustrezno koordinacijo informacijskih in krmilnih ter pravnih in gospodarskih sistemov.

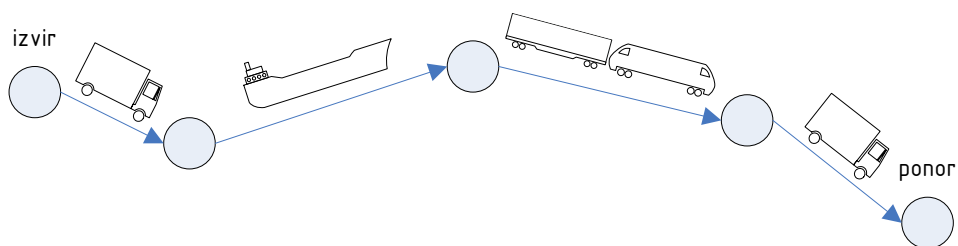
Po svoji naravi so transportne verige lahko enočlenske (slika 7), ki vedno vsebujejo samo neposredni promet brez pretovarjanja, ali veččlenske, ki lahko vsebujejo prekinjen promet s pretovarjanjem (slika 8) ali kombiniran promet več voženj (ponavadi različnih) prometnih sredstev (slika 9).



Slika 7: Enočlenska transportna veriga (povzeto po [6])



Slika 8: Veččlenska transportna veriga s prekinjenim prometom (povzeto po [6])



Slika 9: Veččlenska transportna veriga s kombiniranim prometom (povzeto po [6])

2. Načrtovanje elementov logističnih sistemov

2.1. Vozlišča v logističnih omrežjih

S stališča logistike prometa vozlišča v logističnih omrežjih predstavljajo vmesnike med operacijami izvajanja transporta. Na njih potekajo dejavnosti razporejanja, pretovarjanja ali skladiščenja. Na njih se mnogokrat izvede tudi zamenjava načina transporta oziroma menjava transportnega sredstva. Od lege vozlišč in njihove umeščenosti v prometno omrežje je neposredno odvisna učinkovitost aktivnosti logistike prometa. Planiranje in načrtovanje vozlišč v logističnih sistemih je zato mnogokrat s temi aktivnostmi tesno povezano.

Planiranje vozlišč v logističnih omrežjih obsega predvsem naslednje tri vidike: planiranje lokacij, planiranje zazidave in strukturno planiranje. Zadnja dva se ukvarjata predvsem z načrtovanjem zmogljivosti znotraj vozlišč (razvrstitev zgradb, planiranje poteka notranjih transportnih poti, razporeditev proizvodnih zmogljivosti po tovarnah itd.), zato ponavadi nista del planiranja v logistiki prometa. Toliko bolj pomemben pa je vidik planiranja lokacij, ki je osnova za planiranje aktivnosti logistike prometa. Najpomembnejši rezultati procesa planiranja lokacij so potrebno število vozlišč ter njihova optimalna zemljepisna lega, poleg tega pa na podlagi teh rezultatov lahko določimo tudi pravila za razporejanje blaga po posameznih lokacijah, dodeljevanje strank posameznim lokacijam ter dodeljevanje transportnih kapacitet (na primer voznega parka) posameznim lokacijam.

Pri planiranju lokacij je kot omejitvene parametre optimizacijskih metod treba upoštevati še pravne okvire (na primer gradbeno zakonodajo, davčne obremenitve in pravno varnost), infrastrukturne vidike (razpoložljivost, ustrezna zemljišča, opremljenost, dosegljivost strank), prometno lego (povezave z obstoječim prometnim omrežjem, oddaljenost od izvirov in ponorov blaga), morebitna "podedovana" bremena (posebej pri prevzemanju obstoječih lokacij) ter parametre investicije (odločitev "zgraditi, kupiti ali najeti?"). Pri tem so vplivni faktorji in cilji pri planiranju lokacij konkurenca (s ciljem optimalne dosegljivosti prodajnega in dobavnega trga), človeški viri (ustrezna kvalifikacija in količina delovne sile okoli izbrane lokacije) ter morebitni konflikti pri uporabi virov (na primer odnosi s sosedi in okoljski vidiki).

Nadaljnji koraki, ki večinoma sledijo po planiranju lokacij pri načrtovanju logističnih sistemov, so planiranje in optimizacija poti, planiranje časov voženj in izbira ustreznih prometnih sredstev.

2.2. Analiza uporabne vrednosti

Zaradi zahtev po upoštevanju velikega števila omejitvenih parametrov, ki jih je mnogokrat težko kvantitativno opredeliti in so med seboj večinoma tudi težko primerljivi, uporaba klasičnih optimizacijskih metod za načrtovanje in planiranje lokacij mnogokrat ni praktična.

Ena od alternativ tem metodam je analiza uporabne vrednosti, ki predstavlja kvantitativno metodo za določanje vrstnega reda alternativnih možnosti. Njen cilj je urediti alternativne možnosti v enodimenzionalno urejeno množico. Z analizo uporabne vrednosti tako predpišemo uporabnostno funkcijo u , s katero priredimo množici m alternativnih možnosti M podmnožico realnih števil:

$$u: M = \{m_1, m_2, \dots, m_m\} \rightarrow \mathbb{R}. \quad (13)$$

Pri tem množico alternativnih možnosti M zapišemo s kriteriji K_i :

$$M = K_1 \times K_2 \times \dots \times K_n; n \in \mathbb{N}, \quad (14)$$

ki so vsak posebej ovrednoteni s točkovanjem oziroma z oceno p :

$$p: K_1 \times K_2 \times \dots \times K_n \rightarrow \mathbb{N}^n. \quad (15)$$

Ocena p mora biti določena tako, da jo je za vsako alternativno možnost o_i iz množice M mogoče zapisati za vsakega od kriterijev:

$$\forall o_i \in M: p(K_j)_{j=1}^n. \quad (16)$$

Pogosto se kriteriji po vplivnosti oziroma po pomembnosti med sabo razlikujejo. Njihovo vplivnost oziroma pomembnost tedaj ovrednotimo z utežmi g , s katerimi pomnožimo ocene posameznih kriterijev. Zaradi lažjih primerjav rezultatov različnih analiz uporabne vrednosti med seboj je ugodno, če vrednosti uteži normiramo, tako da velja:

$$\sum_{j=1}^n g_j = 1. \quad (17)$$

Vrednost uporabnostne funkcije za posamezno alternativno možnost tedaj zapišemo kot vsoto zmnožkov uteži in ocen posameznih kriterijev:

$$u(K_1, K_2, \dots, K_n) = \sum_{j=1}^n g_j \cdot p_j(K_j). \quad (18)$$

Pogoj za uspešno analizo uporabne vrednosti je izdelava ustreznega kataloga kriterijev, ki mora biti takšen, da obsega vse za odločitev pomembne faktorje, ki med seboj niso odvisni. Za ocenjevanje po kriterijih mora biti izdelan tudi primeren način točkovanja, ki temelji na znanih in preverljivih podatkih. Na ta

način se je mogoče izogniti subjektivnim vplivom pri ocenjevanju ter zagotoviti, da se vrednosti uporabnostne funkcije za različne alternative med seboj značilno razlikujejo.

2.3. Določanje optimalne lokacije po zveznem postopku

Kadar je število vplivnih faktorjev pri planiranju lokacij majhno (na primer pri načrtovanju informacijskih ali energetskih omrežij, cevovodov ali novogradenj na topografsko nerazgibanih območjih) je možno optimalne lokacije določiti tudi z metodami zvezne optimizacije, kjer iščemo minimum stroškovne funkcije. Za iskanje optimalnih koordinat lokacije distribucijskega vozlišča v ravnini lahko zapišemo stroškovno funkcijo kot funkcijo oddaljenosti n ciljnih vozlišč s koordinatami (x_i, y_i) in količin blaga b_i , ki jih vanje transportiramo iz distribucijskega vozlišča:

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^n b_i \cdot \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}. \quad (19)$$

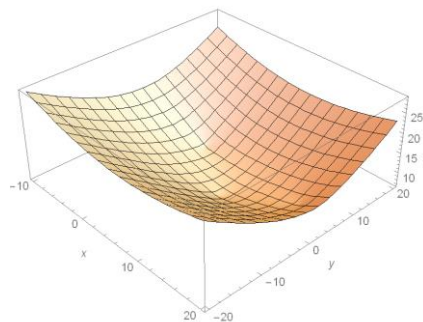
Optimalna lokacija je tista, v kateri bo vrednost stroškovne funkcije najmanjša (slika 10). Matematična formulacija tega pogoja je

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Z}{\partial y} \right) = (0, 0), \quad (20)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = \sum_{i=1}^n \frac{b_i \cdot (x - x_i)}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}} = 0, \quad (21)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial y} = \sum_{i=1}^n \frac{b_i \cdot (y - y_i)}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}} = 0. \quad (22)$$

Ker je sistem enačb (21) in (22) nelinearen, njegova analitična rešitev v splošnem ne obstaja in je zato možno poiskati le njen bolj ali manj natančen približek s pomočjo numeričnih metod.



Slika 10: Graf stroškovne funkcije za tri lokacije

2.4. Osnove uporabe teorije grafov pri načrtovanju logističnih sistemov

Logistični sistemi so zaradi svoje narave – mreže vozlišč povezanih z jasno definiranimi povezavami – mnogokrat primerni za obravnavo z metodami teorije grafov. V nadaljevanju so predstavljene najvažnejše definicije, postopki in algoritmi, ki se najpogosteje uporabljajo pri načrtovanju sistemov s področja logistike prometa.

2.4.1. Definicije

Graf predstavlja neprazno množico n vozlišč V , ki jih med sabo povezuje m povezav iz množice E (slika 11):

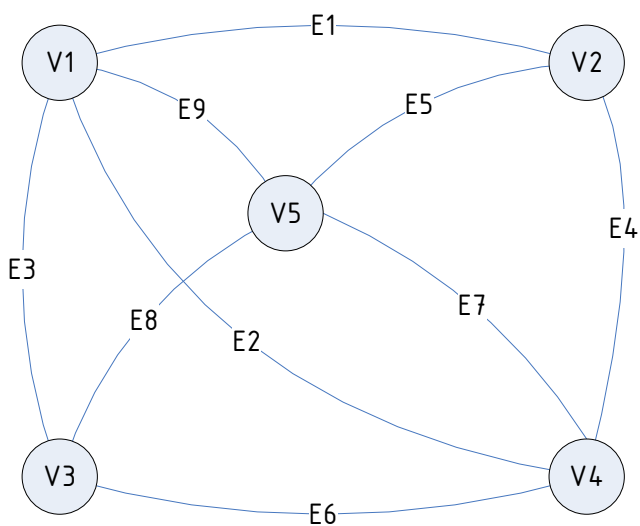
$$G = (V, E), \quad (23)$$

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}, E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}. \quad (24)$$

Pri tem sta v grafu vsakemu elementu iz množice povezav E prirejena natanko dva elementa iz množice vozlišč V :

$$E \mapsto V \times V, \quad (25)$$

kar pomeni, da v grafu ni večkratnih povezav ali zank do istega vozlišča. Grafu, za katerega definicija (25) ne velja v celoti (ima lahko večkratne povezave med vozlišči), rečemo **multigraf** in ga uporabimo pri reševanju nekaterih nalog, opisanih v nadaljevanju.



Slika 11: Primer grafa s petimi vozlišči in devetimi povezavami med njimi

Graf je lahko **neusmerjen**, kadar elementi iz E nimajo smerne odvisnosti ali **usmerjen**, kadar takšna smerna odvisnost obstaja (na primer enosmerne ceste v cestnem omrežju, cevovodi z določeno smerjo pretoka ali asimetrične komunikacijske povezave).

Matrika sosednosti (tudi sosednostna matrika) A grafa G je matrika razsežnosti $n \times n$, ki podaja odvisnost med vozlišči na naslednji način:

$$A = (a_{ij}) \in \mathbb{R}^{n \times n}; a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{kadar } v_i, v_j \in E \\ 0 & \text{sicer.} \end{cases} \quad (26)$$

Členi matrike imajo torej vrednost 1, kadar med vozliščema v_i in v_j obstaja povezava in 0, kadar povezava ne obstaja. Vozlišči, med katerima v množici E obstaja povezava, imenujemo **sosednji vozlišči**. Vozlišči, med katerima v množici E ne obstaja povezava, imenujemo **nesosednji vozlišči**. V skladu z definicijama (25) in (26) vozlišče samo sebi ni sosednje.

Kadar velja, da so si v grafu G vsa vozlišča iz V z vsemi ostalimi sosednja, pravimo, da je G **popoln graf** (včasih ga imenujemo tudi poln graf). V tem primeru so v skladu z definicijo (26) vsi elementi matrike A enaki 1, razen tistih na diagonalni (kjer velja $i = j$), ki so enaki 0.

Incidenčna matrika B grafa G je matrika razsežnosti $n \times m$,¹ ki podaja pripadnost vozlišč grafa njegovim povezavam (incidenca med njimi) na naslednji način:

$$B = (b_{ij}) \in \mathbb{R}^{n \times m}; b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{kadar } v_i \in e_j \\ 0 & \text{sicer.} \end{cases} \quad (27)$$

Členi matrike imajo vrednost 1, kadar vozlišče, ki ga označuje indeks vrstice v matriki, pripada povezavi, ki jo označuje indeks stolpca v matriki. Posledica definicije (27) je, da vsaka vrstica matrike B vsebuje natanko dva člena z vrednostjo 1, ostali členi pa imajo vrednost 0 – vsaka povezava vsebuje natanko dve vozlišči.

Iz matrike sosednosti ali iz incidenčne matrike lahko ugotovimo **stopnjo vozlišč** $d(v_i)$. Ta predstavlja število povezav, ki jim pripada posamezno vozlišče grafa:

$$d(v_i) = \sum_{j=1}^n a_{ij} = \sum_{j=1}^m b_{ij}. \quad (28)$$

Glede na stopnjo vozlišča lahko v grafu obstajajo **soda vozlišča** (zanje velja $d(v_i) \bmod 2 = 0$) in **liha vozlišča** (zanje velja $d(v_i) \bmod 2 \neq 0$). Kot posledica definicije (25) velja, da je v popolnem grafu vedno sodo število lihih vozlišč.

¹ Včasih je incidenčna matrika zapisana tudi kot transponirana matrika z razsežnostjo $m \times n$. Obravnava tako zapisane matrike v algoritmih je analogna predstavljeni.

Za izvajanje analiz in optimizacijskih algoritmov lahko povezavam v grafu določimo **vrednosti**, ki lahko v različnih sistemih predstavljajo različne količine – na primer oddaljenost, ceno ali čas potovanja v prometnih omrežjih, porabo energije ali pasovne širine v energetskih ali komunikacijskih omrežjih.

Vrednosti povezavam iz množice E v grafu G dodelimo tako, da mu dodamo novo množico vrednosti povezav W :

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}. \quad (29)$$

Graf G lahko tedaj zapišemo kot

$$G = (V, E, W), \quad (30)$$

Povezavo med množicami vozlišč V , povezav E in njihovih vrednosti W predstavimo z **matriko vrednosti** (imenujemo jo tudi vrednostna matrika) S grafa G :

$$S = (s_{ij}) \in \mathbb{R}^{n \times n}; s_{ij} = a_{ij} \cdot w(v_i, v_j). \quad (31)$$

Razdaljam med nesosednjimi vozlišči v matriki S , za katere ne obstaja $w(v_i, v_j)$, za uporabo v različnih optimizacijskih algoritmi, ponavadi dodelimo vrednost ∞ oziroma ustrezen analog (na primer *NaN* ali *Infinity*) v uporabljenem programskem jeziku (primeri so prikazani v [7]).

2.4.2. Določanje najkrajših poti med vozlišči grafa

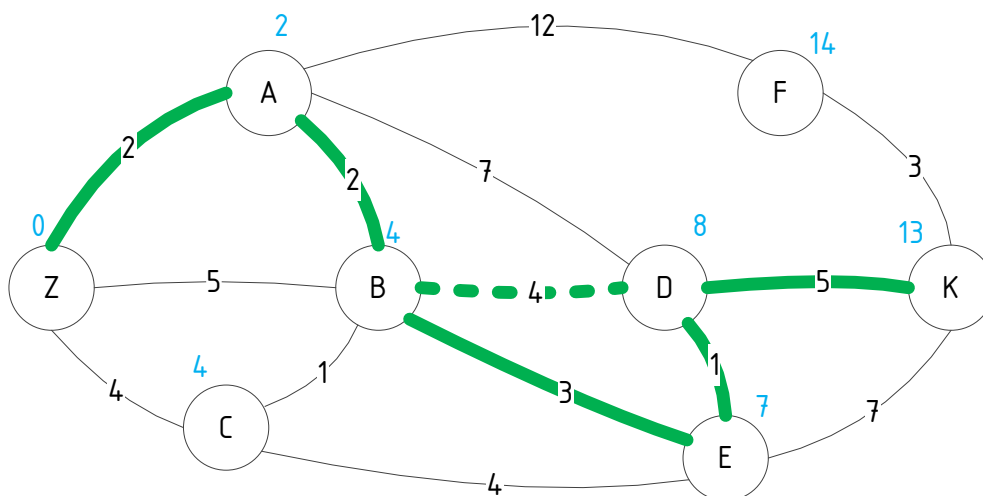
Ena od osnovnih nalog planiranja v logističnih sistemih je določanje najugodnejših poti med vozlišči. Pri tem lahko gre za iskanje najkrajše dejanske geografske razdalje, za optimiranje časa ali cene potovanja ali tudi za iskanje optimumov ostalih količin, ki se porabljajo ali nastajajo vzdolž poti po povezavah med vozlišči. Iz zgodovinskih razlogov se algoritmi za reševanje te naloge mnogokrat imenujejo "algoritmi za določanje najkrajših poti" (angleško "*shortest path algorithms*"). V bolj ali manj dodelani obliki se ti algoritmi uporabljajo na vseh področjih načrtovanja poti – na primer v napravah in storitvah za navigacijo med kraji na zemljevidu.

Eden od najenostavnejših in zato pogosto uporabljenih algoritmov za določanje najkrajših poti med vozlišči grafa je Dijkstrov² algoritem. Njegovi koraki so naslednji:

² Edsger Wybe Dijkstra (1930-2002), nizozemski matematik in računalnikar, med drugim znan po svojem prispevku k razvoju programskih jezikov, je objavil algoritem v članku v reviji *Numerische Mathematik* leta 1959.

1. Začni v izbranem začetnem vozlišču. Imenuj ga trenutno vozlišče in ga označi za obiskano. Priredi mu vrednost 0. Priredi vsem ostalim vozliščem vrednost ∞ in jih označi za neobiskana.
2. Za vsako vozlišče, sosednje trenutnemu, naredi naslednje: če je vsota vrednosti trenutnega in povezave do sosednjega vozlišča manjša od vrednosti sosednjega vozlišča, priredi sosednjemu vozlišču vrednost te vsote. Sicer pusti vrednost sosednjega vozlišča nespremenjeno.
3. Označi trenutno vozlišče za obiskano. Če je ostalo še kaj neobiskanih vozlišč, izberi izmed njih tistega z najmanjšo vrednostjo za novo trenutno vozlišče in ponovi korak 2. Če ni več neobiskanih vozlišč, končaj postopek.

Po končanem postopku vrednosti vozlišč predstavljajo njihove najkrajše razdalje od začetnega vozlišča (z modro zapisana števila nad vozlišči na sliki 12). Če poskrbimo, da med izvajanjem algoritma zapisujemo zaporedje ugotovljenih najkrajših povezav med vozlišči, na ta način dobimo tudi potek najkrajših poti med začetnim vozliščem in ostalimi vozlišči.



Slika 12: Izveden Dijkstrov algoritem iz vozlišča Z

2.4.3. Središče grafa

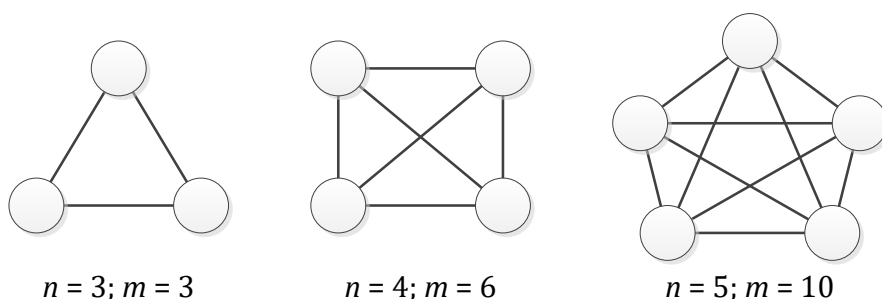
Za izbiro optimalne lokacije izmed danih vozlišč v prometnem omrežju lahko uporabimo ustrezno prilagojeni algoritem za določanje najkrajših poti. Če prometno omrežje predstavimo kot graf, lahko analogno postopku zvezne optimizacije določimo tisto njegovo vozlišče, ki ima najkrajšo vsoto vrednosti poti do ostalih vozlišč grafa. Tako vozlišče (v grafu jih je lahko tudi več) imenujemo **središče grafa** in predstavlja diskretni ekvivalent iskanja optimalne lokacije po zveznem postopku (kot je opisano v točki 2.3). Prednost takega določanja optimalne lokacije je, da kot rezultat dobimo dejansko vozlišče, ki je v resnici povezano s prometno infrastrukturo. Posamezne najkrajše poti med

vozlišči določimo na primer z Dijkstrovim algoritmom. Če ima graf večje število vozlišč, si pri določanju pomagamo z implementacijami algoritmov v obliki računalniških programov [7].

2.4.4. Določanje optimalnega obhoda vozlišč – problem trgovskega potnika

Pogosta naloga pri načrtovanju obhodov vozlišč obstoječih prometnih omrežij je reševanje tako imenovanega "problema trgovskega potnika" (angleško "*Travelling Salesman Problem*" ali TSP). "Trgovski potnik" mora obiskati vsako vozlišče prometnega omrežja točno enkrat in se po končanem obhodu vrniti v svoje izhodišče, pri tem pa mora biti vrednost (dolžina, čas, cena) njegove poti kar se da majhna.

Če je prometno omrežje, na katerem naj poteka obhod, podano kot graf $G = (V, E, W)$, je reševanje te naloge na prvi pogled zelo enostavno: v grafu poiščemo vse možne poti, pri katerih točno enkrat obhodimo vsa vozlišča, in nato izmed njih izberemo tisto z najmanjšo vsoto vrednosti povezav. Težava nastopi, ker utegne v grafih z večjim številom vozlišč (in povezav) preverjanje vrednosti vseh poti trajati zelo dolgo.



Slika 13: Neusmerjeni popolni grafi s tremi, štirimi in petimi vozlišči

Če za primer vzamemo neusmerjen popoln graf (slika 13), zanj velja, da je število možnih poti n_{π} med njegovimi vozlišči, ki obišejo vsakega izmed njih točno enkrat in se končajo v istem vozlišču, kjer so se začele:

$$n_{\pi} = \frac{1}{2} \cdot (n - 1)!. \quad (32)$$

Hiter izračun pokaže, da n_{π} zaradi narave funkcije $f(n) = n!$ dobi neobvladljivo velike vrednosti kmalu po tem, ko število vozlišč n naraste na dvomestno vrednost. Za $n = 20$ tako dobimo več kot $6 \cdot 10^{16}$ možnih poti. Primerjanje tolikšnega števila poti bi ob predpostavki, da imamo računalnik, ki zmore izračunati dolžine 10^9 poti na sekundo, še vedno trajalo slabi dve leti. Za 25 vozlišč se ta čas podaljša že na 9,8 milijona let.

Čas izvajanja algoritma lahko zapišemo na naslednji način:

$$T(n) \in O(f(n)), \quad (33)$$

pri čemer za problem trgovskega potnika velja

$$f(n) = \frac{1}{2} \cdot (n - 1)! \quad (34)$$

Zaradi narave te funkcije in njenega neobvladljivo hitrega naraščanja pri iskanju rešitve problema trgovskega potnika v praksi uporabljamo različne algoritme, ki vodijo do bolj ali manj točnih približnih rešitev problema. Eden izmed njih, ki je izvedljiv tudi brez uporabe računalnika, je algoritem najbližjih sosedov (angleško *nearest-neighbour algorithm*), ki se ravna po načelu "sledenje lokalnim optimumom pripelje do globalnega optima". Deluje tako, da pot obhoda od trenutnega vozlišča vedno nadaljujemo do najbližjega neobiskanega vozlišča. V sistemih, kjer so vozlišča enakomerno porazdeljena, množica vrednosti povezav pa vsebuje dejanske geografske razdalje med njimi (takšni so pogosto sistemi na prometnih omrežjih), se tako pridobljena rešitev mnogokrat približa optimalni rešitvi ali jo celo doseže. Ostali algoritmi (več o njih na primer v [10] in [11]), s katerimi lahko poiščemo približke optimalne rešitve problema trgovskega potnika (so pa večinoma primerni samo za računalniško izvajanje), so še algoritem drevesa minimalne razsežnosti (angleško *minimum spanning tree* – *MST*), OPT-n algoritmi in Christofidesov algoritem.

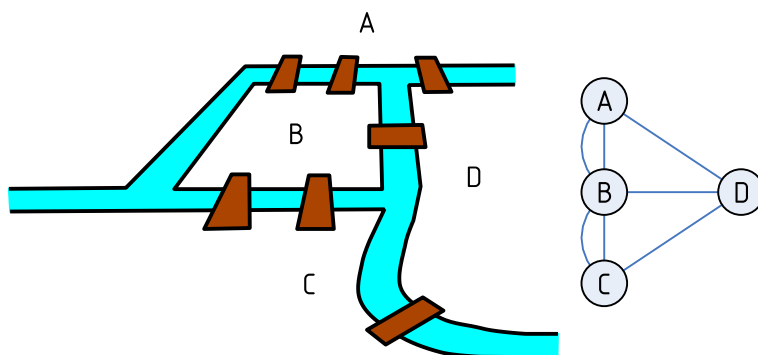
2.4.5. Določanje optimalnega obhoda povezav – problem cestnega preglednika

Cestni preglednik³ ima pri svojem delu nalogo vsaj enkrat prevoziti vse ceste omrežja na določenem območju in se nato vrniti v svoje izhodišče. Pri tem mora biti vrednost (dolžina, čas, cena) njegove poti kar se da majhna.

Iz definicij v točki 2.4.1 lahko ugotovimo, da takšen obhod v grafu ni vedno možen. Do te ugotovitve je po nekaterih navedbah prišel Leonhard Euler⁴, ko je poskušal rešiti "problem sedmih mostov Königsberga" (slika 14).

³ Problem cestnega preglednika se v literaturi ponavadi imenuje "Problem kitajskega poštarja" (angleško "*Chinese Postman Problem*") – po članku Kwan, Mei-Ko: *Graph Programming Using Odd and Even Points*, Chinese Math, 1962.

⁴ Leonhard Euler (1707-1783), švicarski matematik, med drugim znan po temeljnih delih s področja infinitezimalnega računa in teorije grafov. Leta 1736 je podal rešitev "*Problema sedmih mostov Königsberga*".



Slika 14: "Problem sedmih mostov Königsberga" –
levo kot zemljevid, desno kot multigraf

Od tod izhajajo naslednje definicije:

- Tista pot, na kateri prepotujemo vse povezave grafa točno enkrat, je **Eulerjeva pot**.
- Če se Eulerjeva pot začne in konča v istem vozlišču grafa, ji rečemo **Eulerjev obhod**.
- Če v grafu G obstaja Eulerjev obhod, je G **Eulerjev graf**.

Posledica navedenega je, da je graf Eulerjev takrat, ko ima sama soda vozlišča. Očitno je tudi, da je vrednost obhoda, ki je rešitev problema cestnega preglednika, vedno vsaj tolikšna, kot je vsota vrednosti vseh povezav grafa.

Za reševanje problema cestnega preglednika v grafu, v katerem obstaja Eulerjeva pot, lahko uporabimo Fleuryjev⁵ algoritem, ki deluje na naslednji način:

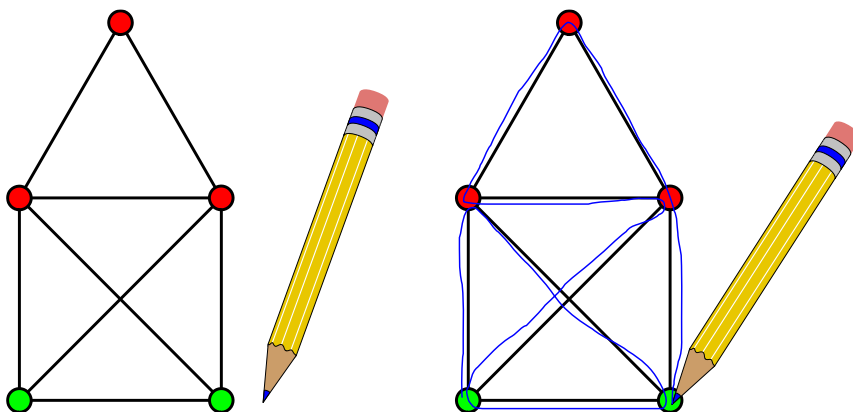
1. če je graf Eulerjev, začnemo v poljubnem vozlišču, sicer v enem od lihih vozlišč,
2. iz trenutnega vozlišča nadaljujemo po kateri koli povezavi, katere odstranitev ne razdeli grafa na dva dela,
3. izbrano povezavo odstranimo iz grafa,
4. če je ostalo še kaj povezav, nadaljujemo z 2, sicer končamo.

Vrstni red odstranjenih povezav po končanem algoritmu predstavlja obhod, ki je rešitev problema cestnega preglednika.

Rešitev Fleuryjevega algoritma ustreza definiciji problema cestnega preglednika samo, kadar je graf, na katerem ga izvedemo, Eulerjev. Iz opisa je sicer očitno, da

⁵ Algoritem je avtor Henry Fleury objavil leta 1883 v članku z naslovom "*Deux problèmes de géométrie de situation*" v glasilu *Journal de mathématiques élémentaires* pod imenom "M. Fleury, chef d'institution".

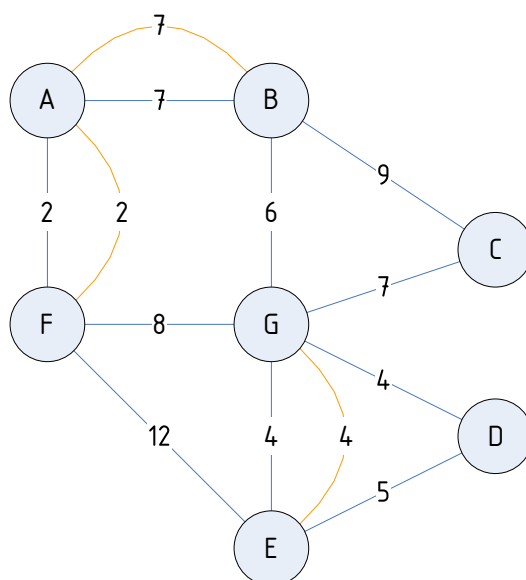
je Fleuryjev algoritem mogoče izvesti tudi na grafu, ki ima največ dve lihi vozlišči, vendar v tem primeru ni izpolnjena zahteva, da se mora cestni preglednik po končanem obhodu vrniti v izhodiščno vozlišče. Fleuryjev algoritem na takem grafu lahko ponazorimo s primerom črtovja (slika 15), ki ga je mogoče narisati z eno potezo (vsako povezavo med vozlišči prevleči samo enkrat) le, če začnemo risati v enem od zeleno označenih lihih vozlišč.



Slika 15: Črtovje kot graf z dvema lihima vozliščema

Pri grafih, ki vsebujejo Eulerjevo pot, ne pa tudi Eulerjevega obhoda, moramo torej za rešitev problema cestnega preglednika v obhod dodati pot od vozlišča, kjer smo končali Fleuryjev algoritem, do začetnega vozlišča. V primeru, da je takih poti več, moramo izmed njih izbrati tisto, ki ima najmanjšo vsoto vrednosti povezav, iz katerih je sestavljena. Povezave te poti bomo za rešitev problema cestnega preglednika morali zavestno prepotovati dvakrat.

Pri grafih, ki ne vsebujejo Eulerjeve poti (in zato tudi Eulerjevega obhoda ne), Fleuryjevega algoritma v skladu z definicijo ni mogoče izvesti. Kljub temu je mogoče takšen graf dopolniti v multigraf s povezavami, ki jih bomo morali prepotovati dvakrat, in nato na tako dopolnjenem grafu izvesti Fleuryjev algoritem. Pri tem moramo v graf dodati tiste potrebne povezave, katerih vsota vrednosti bo kar najmanj podaljšala vrednost poti obhoda. Katere so te povezave, ugotovimo tako, da poiščemo vse možne pare povezav med lihimi vozlišči. Z dodajanjem parov povezav izmed teh bomo po dve in dve lihi vozlišči v grafu "spremenili" v soda. Graf bo tedaj postal multigraf, ki pa bo ustrezal definiciji Eulerjevega grafa. Če je možnih parov povezav več, moramo izmed njih izbrati tistega, ki ima najmanjšo vsoto vrednosti povezav, ki jih vsebuje. Na tako dopolnjenem multigrafu lahko končno izvedemo Fleuryjev algoritem, katerega rešitev v tem primeru vsebuje optimalni obhod z vključenimi povezavami, ki jih bomo zavestno prepotovali dvakrat. (Slika 16 prikazuje primer takega grafa, ki je podrobneje pojasnjen v [7]).



$A \rightarrow F \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow G \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow G \rightarrow B \rightarrow A$

Slika 16: Graf z dodanimi povezavami in eno od možnih rešitev problema cestnega preglednika

3. Cestni promet

Cestni promet vključuje vse prevoze, ki se opravljajo s cestnimi vozili na cestni infrastrukturi. Z vidika logistike prometa cestni promet ločimo na promet znotraj podjetij (prevoz za lastne potrebe) ter na komercialni promet na javnih cestah, ki ga sestavljata blagovni promet in javni potniški promet. Navedene oblike dopolnjuje še osebni promet, ki poteka po javnih cestah z osebnimi vozili in večinoma ni predmet obravnave v logistiki prometa.

Glede na razdaljo, na kateri se opravlja, cestni promet delimo na lokalni promet (ponavadi v polmeru do 75 km od izhodišča) ter daljinski promet (ponavadi nad 75 km od izhodišča).

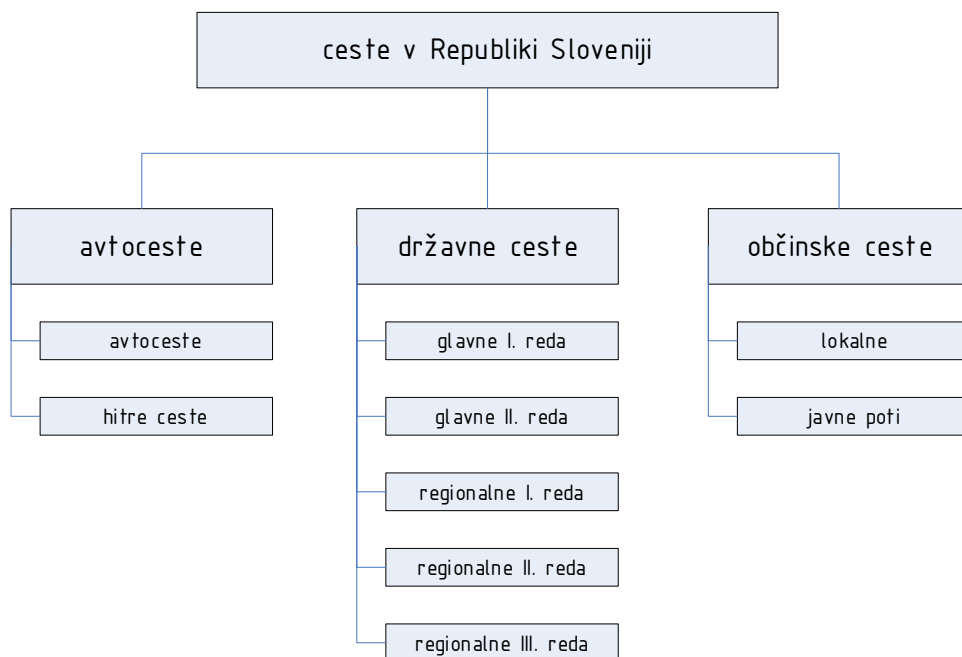
V primerjavi z ostalimi vrstami prometa je za cestni promet odločilna uporaba javnega cestnega omrežja in z njo povezane posledice: mogoča je samostojna organizacija voženj, zaradi visoke gostote cestnega omrežja je dosegljivost strank za izvajalce cestnega prometa večinoma dobra in mnogokrat edina omogoča neposredni dostop do vseh lokacij. Zaradi navedenega so možni prihranki pri pretovarjanju in uporabi tipiziranih prevoznih sredstev. Po drugi strani ima uporaba javnega cestnega omrežja tudi svoje omejitve, ki so zakonske in fizične (na primer omejena zmogljivost zaradi neplaniranih ovir, omejene mase in dimenzije vozil ter omejene možnosti tvorjenja skupin vozil).

Bistvene prednosti cestnega prometa pred ostalimi vrstami prometa so tako možnost regionalnega prometa, visoka razpoložljivost storitev, velika pogostost prometnih povezav, dobra pokritost z infrastrukturo, gospodarno poslovanje tudi pri manjših enotah tovora, tehnična prilagodljivost, možnost organiziranja lokalnega in regionalnega prometa po ugodni ceni ter kratki transportni časi (zaradi narave samega cestnega omrežja in tudi zaradi velike konkurence med izvajalci storitev).

V primerjavi z ostalimi vrstami prometa ima cestni promet tudi značilne slabosti, med katerimi izstopajo nepredvidljivi dogodki (prometne nezgode, zastoji) in visoka obremenitev okolja – predvsem z izpusti škodljivih snovi in hrupom.

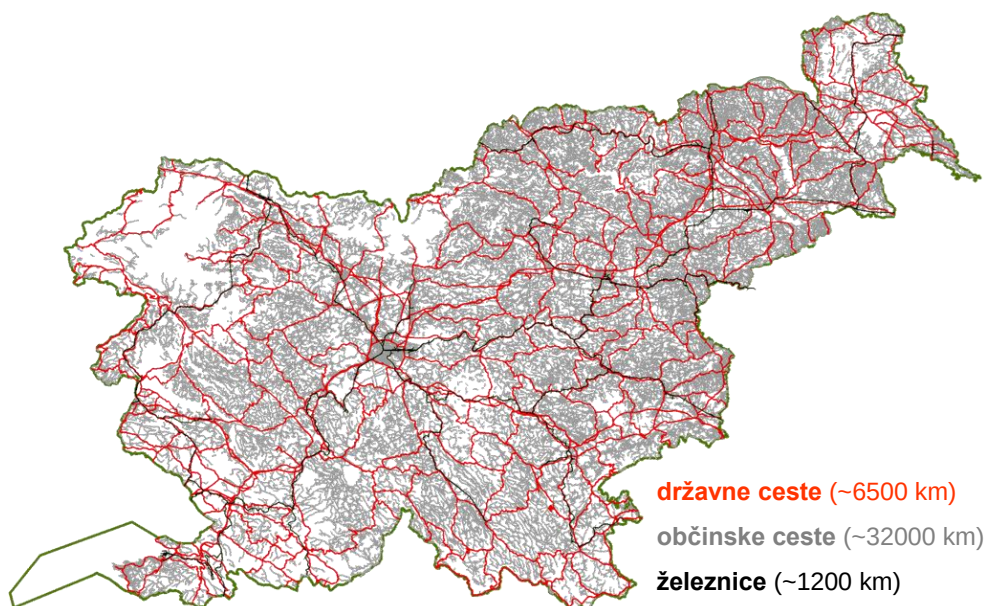
3.1. Cestna infrastruktura

V Republiki Sloveniji se javne ceste delijo na avtoceste (v upravljanju Družbe za avtoceste Republike Slovenije – DARS), državne ceste (v upravljanju Direkcije Republike Slovenije za infrastrukturo – DRSI) ter občinske ceste (v upravljanju posameznih občin). Slika 17 prikazuje še nadaljnjo delitev posameznih vrst cest na kategorije.



Slika 17: Razdelitev cest v Republiki Sloveniji

Skupna dolžina osi državnih cest obsega približno 6.500 km (od tega nekaj nad 600 km avtocest), skupna dolžina občinskih cest pa okoli 32.000 km. Za primerjavo: skupna dolžina osi železniških prog v Sloveniji je nekaj nad 1.200 km (slika 18).



Slika 18: Zemljevid cestnega in železniškega omrežja v Sloveniji

Državne ceste imajo enoten sistem označevanja lokacij (tako imenovana "stacionaža"), ki cestam dodeljuje unikatne oznake in jih deli na odseke, od katerih ima tudi vsak svojo unikatno oznako. Lokacije stacionaž na državnih cestah so označene s tablicami praviloma na vsakih 500 m (slika 19).



Slika 19: Označevalna tablica na državnih cestah

3.2. Vozlišča v cestnem prometu

Vozlišča v cestnem prometu predstavljajo vmesnike med proizvodnjo, skladišči in različnimi vrstami prometa. Na njih lahko poteka pretovarjanje, zbiranje in razporejanje blaga. Pogosto so vozlišča v cestnem prometu deli transportnih verig v večstopenjskih sistemih. Njihove naloge obsegajo povezovanje blagovnih tokov pri zbiranju in razdeljevanju blaga, pri čemer je mogoče z ustreznim upravljanjem frekvence in pogostosti dostave zagotoviti ekonomijo obsega v samem transportu in pri uporabi naprav za razporejanje. Vozlišča niso nujno tudi skladišča – pogosto jih lahko opredelimo kot pretovorne točke (angleško *transmitter terminals*), odpremne centre ali blagovne centre. Odpremni centri vsebujejo razkladalno področje, naprave in prostor za depaletiziranje in sortiranje ter nakladalno področje. V odpremnih centrih se izvaja sprejem blaga, pakirne storitve (paletiziranje, priprava na varovanje tovara), skladiščenje (ki je mnogokrat kratkotrajno), razdeljevanje, odprema ter razpošiljanje blaga. V blagovnih centrih se izvaja povezava storitev v intermodalnem prometu (pretovor prej pripravljenih tovornih enot na različne vrste prometnih sredstev).

Za izvajanje cestnega prometa se tako uporabljajo različne naprave in skladiščne zmogljivosti, pri čemer so naprave za krmiljenje prometa večinoma ločene od samih vozlišč.

3.3. Prometna sredstva za opravljanje cestnega prometa

Komercialni cestni promet se v največji meri (razen določenega dela javnega potniškega prometa) izvaja z gospodarskimi vozili. Ta se delijo na gospodarska vozila za prevoz blaga (tovorna vozila) in gospodarska vozila za prevoz potnikov (avtobusi). Predstavniki obeh kategorij so na voljo v različnih velikostih,

izvedbah in kombinacijah, ki so prilagojene različnim vrstam tovora ter specifičnostim glede na zahtevane razdalje.

3.3.1. Kategorizacija vozil

Veljavna zakonodaja v Sloveniji (Zakon o motornih vozilih [12], ter priloge Pravilnika o ugotavljanju skladnosti vozil [13], usklajene z evropsko zakonodajo [14]), deli vozila v naslednje kategorije in podkategorije:

Kategorija M (motorna vozila z vsaj štirimi kolesi, namenjena za prevoz potnikov):

- M1 (z največ 8 sedeži poleg sedeža voznika),
- M2 (več kot 8 sedežev poleg sedeža voznika in največja masa do 5 t),
- M3 (več kot 8 sedežev poleg sedeža voznika in največja masa nad 5 t).

Kategorija N (motorna vozila z vsaj štirimi kolesi, namenjena za prevoz blaga):

- N1 (z največjo maso do vključno 3,5 t),
- N2 (z največjo maso nad 3,5 t do vključno 12 t),
- N3 (z največjo maso nad 12 t).

Kategorija O (priklonna vozila vključno s polpriklonniki):

- O1 (z največjo maso do vključno 0,75 t),
- O2 (z največjo maso nad 0,75 t do vključno 3,5 t),
- O3 (z največjo maso nad 3,5 t do vključno 10 t),
- O4 (z največjo maso večjo od 10 t).

3.3.2. Konstrukcijske izvedbe nadgradenj vozil

Glede na vrsto nadgradnje za gospodarska vozila kategorij M, N in O Pravilnik določa naslednje oznake:

Za vozila kategorije M₂ in M₃ (avtobusi):

- CA - enonivojski (slika 20),
- CB - dvonivojski (slika 20),
- CC - zgibni enonivojski,
- CD - zgibni dvonivojski,
- CE - nizkopodni enonivojski,
- CF - nizkopodni dvonivojski,
- CG - zgibni nizkopodni enonivojski (sliki 20 in 21),
- CH - zgibni nizkopodni dvonivojski.

Za vozila kategorije N (tovorna):

- BA - tovorno vozilo s kesonom (slika 22),
- BB - furgon (slika 22),
- BC - sedlasti vlačilec (slika 23),

- BD - cestni vlačilec (slika 23).

Za vozila kategorije O (priklopniki):

- DA - polpriklopnik (slika 24),
- DB - priklopnik z vrtljivim ojesom (slika 24),
- DC - priklopnik s centralno osjo (slika 24).



Slika 20: Vozila kategorije M_2 – od leve proti desni: nadgradnja CA, nadgradnja CG, nadgradnja CB



Slika 21: Vozilo na električni pogon s tokovnim odjemnikom kategorije M_2 z nadgradnjo CG– nizkopodni trolejbus (Bergen, Norveška)



Slika 22: Lahki tovorni vozili z nadgradnjama BA in BB (sliki: © Daimler AG)



*Slika 23: Levo sedlasti vlačilec – nadgradnja BC (slika: © MAN Truck & Bus AG),
desno cestni vlačilec – nadgradnja BD*



*Slika 24: Vozila kategorije O: zgoraj polpriklopnik – DA, spodaj levo priklopnik z
vrtljivim ojesom – DB, spodaj desno priklopnik s centralno osjo – DC
(slike: © Schwarzmüller Group)*

3.3.3. Dovoljene mase in dimenzije cestnih vozil

Zaradi narave cestnega prometa, ki poteka po javnih cestah, morajo vozila za cestni promet po masah, osnih obremenitvah in geometriji ustrezati predpisom. S tem je zagotovljena prometna varnost in ohranjanje stanja infrastrukture. Po drugi strani je, posebej v tovornem prometu, zakonska regulacija pogosto glavna omejitev pri prevozu določenih vrst tovorov.

Tabele 1 do 5 podajajo najvažnejše omejitve pri masah in dimenzijah različnih vrst in skupin cestnih vozil, kot jih predpisuje Pravilnik o ugotavljanju skladnosti vozil [13] v svoji Prilogi I. V nekaterih državah Evrope in drugih kontinentov lokalni predpisi za skupne mase, osne obremenitve ali dimenzije dovoljujejo tudi večje vrednosti.

Vozila, ki presegajo navedene omejitve, lahko po javnih cestah v okviru tehničnih zmožnosti obratujejo kot vnaprej pripravljeni in najavljeni izredni prevozi.

Tabela 1: Največje dovoljene skupne mase posameznih vozil

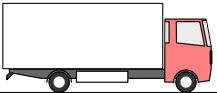
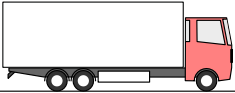
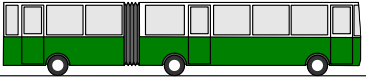
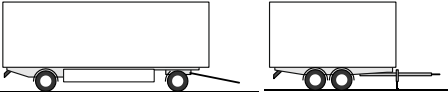
vrsta vozila	največja dovoljena skupna masa
dvoosno motorno vozilo 	18 t
triosno motorno vozilo 	25 t (26 t, če ima pogonska prema zračno vzmetenje in dvojne pnevmatike in je posamezna osna obremenitev < 9.5 t)
štiriosno motorno vozilo z dvema krmiljenima osema 	31 t (32 t, če ima pogonska prema zračno vzmetenje in dvojne pnevmatike in je posamezna osna obremenitev < 9.5 t)
triosni zgibni avtobus 	28 t
dvoosni priklopnik 	18 t
triosni priklopnik 	24 t

Tabela 2: Največje dovoljene skupne mase skupin vozil vlečnega vozila in priklopnika

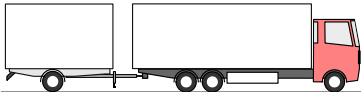
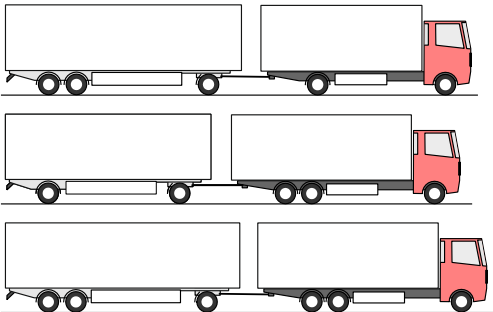
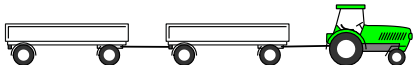
vrsta vozila	največja dovoljena skupna masa
skupina dvoosnega vlečnega vozila in dvoosnega priklopnika 	36 t
skupina vlečnega vozila in priklopnika s skupno štirimi osmi 	35 t (36 t, če ima pogonska prema zračno vzmetenje in dvojne pnevmatike in je posamezna osna obremenitev < 9.5 t)
skupina vlečnega vozila in priklopnika s skupno petimi ali šestimi osmi 	40 t
skupina kmetijskih vozil z dvema priklopnikoma 	40 t

Tabela 3: Največje dovoljene skupne mase skupin vozil vlečnega vozila in polpriklopnika

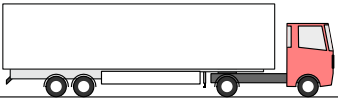
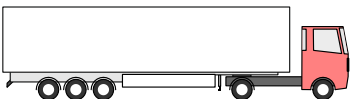
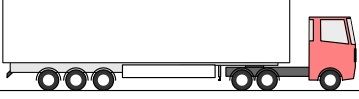
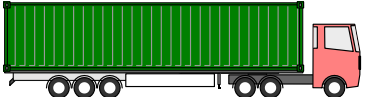
vrsta vozila	največja dovoljena skupna masa
skupina dvoosnega vlečnega vozila in dvoosnega polpriklopnika 	36 t
skupina vlečnega vozila in polpriklopnika s skupno petimi ali šestimi osmi   	40 t
triosni vlačilec z dvo- ali triosnim polpriklopnikom, ki prevažata kontejner ali zamenljivo nadgradnjo 	44 t

Tabela 4: Največje dovoljene osne obremenitve

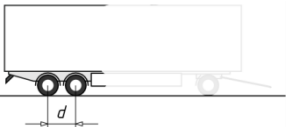
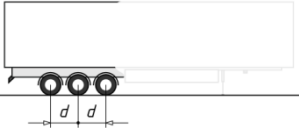
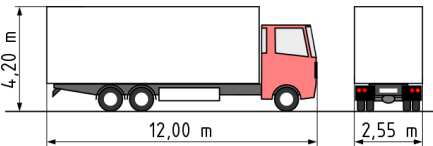
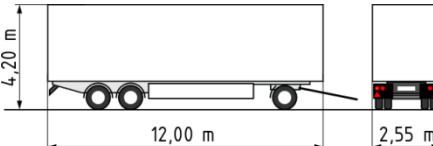
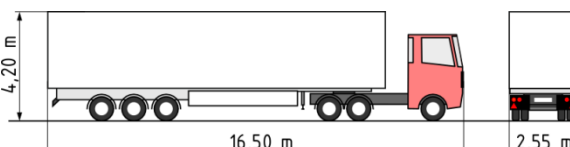
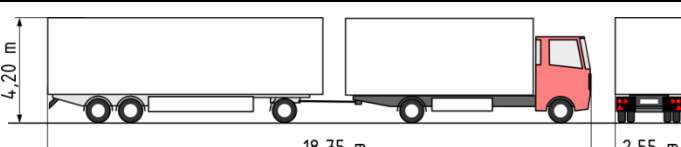
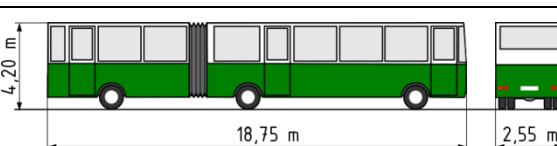
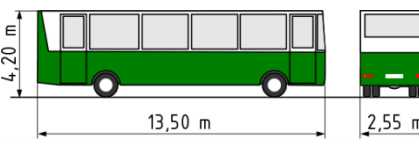
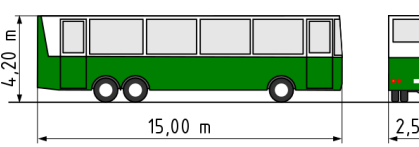
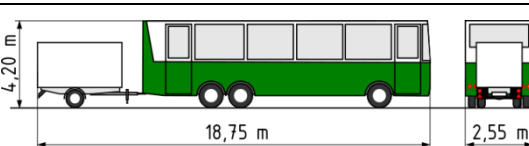
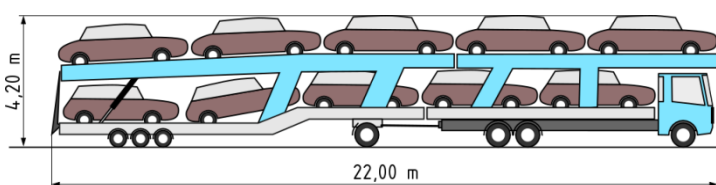
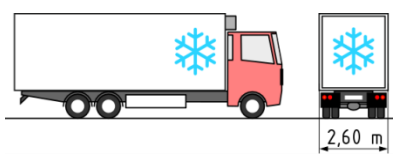
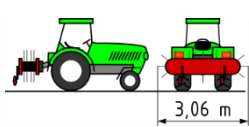
vrsta vozila	največja dovoljena osna obremenitev
enojna nepogonska prema 	10 t
enojna pogonska prema 	11,5 t
tandemska prema motornega vozila 	11,5 t za $d < 1$ m 16 t za $1 \text{ m} < d < 1,3$ m 18 t za $1,3 \text{ m} < d < 1,8$ m 19 t za $1,3 \text{ m} < d < 1,8$ m in zračno vzmetenje
tandemska prema priklopnika ali polpriklopnika 	11 t za $d < 1$ m 16 t za $1 \text{ m} < d < 1,3$ m 18 t za $1,3 \text{ m} < d < 1,8$ m 20 t za $d > 1,8$ m
trojna prema priklopnika ali polpriklopnika 	21 t za $d < 1,3$ m 24 t za $1,3 \text{ m} < d < 1,4$ m

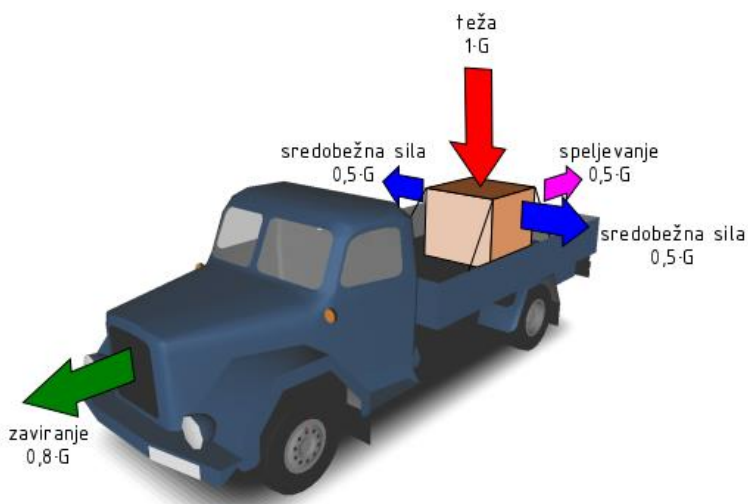
Tabela 5: Največje dovoljene dimenzije vozil in skupin vozil

vrsta vozila/skupine	največje dovoljene dimenzije
motorno vozilo razen avtobusa	
priklopnik	
sedlasti vlačilec s polpriklopnikom	
motorno tovarno vozilo s priklopnikom	
zgibni avtobus	
dvoosni avtobus	
tri- in večosni avtobus	
avtobus s priklopnikom	

skupina vozil za prevoz osebnih avtomobilov (samo na AC, HC in GC)	
vozila s toplotno izoliranimi nadgradnjami z debelino stene nad 45 mm	
traktorji na gospodarski vožnji (dvojne/široke pnevmatike ali priključki)	

3.4. Varovanje tovora na cestnih vozilih

Med transportom tovora na vozilu na tovor zaradi vozne dinamike delujejo sile, ki so odvisne od njegove teže (slika 25). Posledica delovanja teh sil je lahko relativni premik tovora glede na vozilo. Če želimo premik tovora med vožnjo preprečiti, moramo sile, ki se pojavijo zaradi vozne dinamike, uravnotežiti s silami varovanja tovora. Te sile lahko ustvarimo s trenjem med tovorom in vozilom, s privezovanjem tovora na vozilo ali s kombinacijo obojega.



Slika 25: Sile na tovor na vozilu

3.4.1. Ukrepi za preprečevanje premikanja tovora na vozilu

Pri transportu tovora na cestnem vozilu zaradi vozne dinamike pogosto nastopajo pospeški, ki so po svoji smeri in velikosti bolj neugodni kot pri drugih oblikah prometa. Vztrajnostne sile zaradi vzdolžnih pospeškov pri zaviranju in pospeševanju so definirane kot:

$$F_v = m_T \cdot a_v, \quad (35)$$

pri čemer je pričakovani vzdolžni pospešek pri zaviranju a_v do 0,8 g v smeri vožnje vozila, pri speljevanju pa do 0,5 g v nasprotni smeri (slika 25).

Sila na tovor v prečni smeri, ki nastopi zaradi radialnega pospeška pri vožnji v ovinek, je sredobežna sila, ki znaša

$$F_p = m_T \cdot a_p = m_T \cdot \frac{v^2}{r_{\text{ovinka}}}, \quad (36)$$

kjer je pričakovani prečni pospešek a_p pri običajni cestni vožnji do 0,5 g.

Če želimo preprečiti relativne premike tovora glede na vozilo in s tem poškodbe na tovoru in na vozilu, moramo vztrajnostne sile zaradi pričakovanih pospeškov kompenzirati z dodatnimi silami za varovanje tovora. Najučinkovitejša sila, ki jo imamo za to na voljo, je sila trenja med podlago (tovornim prostorom vozila) in tovorom. Sila trenja F_{tr} je neposredno odvisna od teže tovora G ter koeficienta trenja med podlago in tovorom μ :

$$F_{tr} = \mu \cdot G. \quad (37)$$

Zdrs tovora preprečimo, če je sila trenja vsaj tolikšna, kot je vztrajnostna sila v posamezni smeri:

$$F_{tr} > F_v, \quad (38)$$

$$F_{tr} > F_p. \quad (39)$$

Pogoja, da tovor ne zdrsne, lahko po združitvi enačb (35) do (39) zapišemo z naslednjima neenačbama:

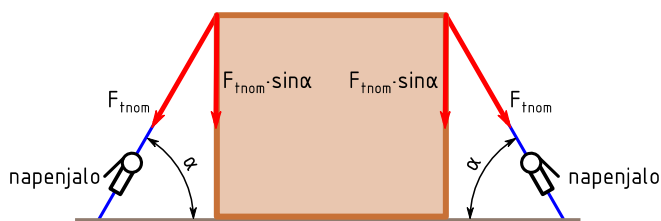
$$a_v < g \cdot \mu, \quad (40)$$

$$\frac{v^2}{r_{\text{ovinka}}} < g \cdot \mu. \quad (41)$$

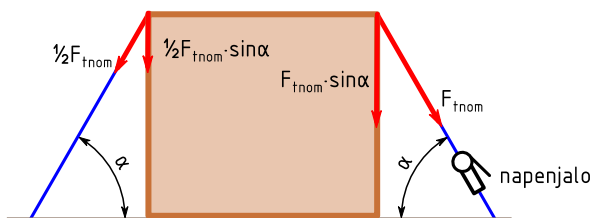
Iz neenačb (40) in (41) je očitno, da relativni premiki tovora glede na vozilo niso odvisni od mase tovora. Izjava "Tovor je vendar tako težak, da ne bo nikamor

zdrsnil," je torej povsem napačna, saj zdrs tovara ni odvisen od njegove mase ampak od tornih razmer med tovorom in nakladalno ploskvijo.

Silo trenja lahko povečamo na dva načina: s povečanjem tornega koeficienta ali s povečanjem navpične sile. Prvi način je izvedljiv z uporabo tornih podlog (na primer gumijastih plošč) med tovorom in tovornim prostorom, drugega pa lahko izvedemo s privezovanjem tovara z zateznimi trakovi. Z njimi privežemo tovor na tovorni prostor vozila tako, da z napenjalom v traku ustvarimo prednapetje, ki ima za posledico komponento privezovalne sile v navpični smeri. Silo v traku najbolje izkoristimo, kadar je ta napet čim bolj pravokotno na ploskev stika tovara in tovornega prostora (slika 26). Kadar je daljši trak napet okoli tovara in je napenjalo samo na eni strani (slika 27), moramo upoštevati, da se sila zaradi trenja med trakom in tovorom vzdolž traku zmanjšuje (ponavadi računamo s 50% zmanjšanjem sile v kraku brez napenjala).



Slika 26: Privezovanje tovara z zateznim trakom - napenjalo na obeh straneh



Slika 27: Privezovanje tovara z zateznim trakom - napenjalo samo na eni strani

Iz neenačb (40) in (41) sledi, da moramo v primeru, ko je koeficient trenja med podlago manjši od razmerja med pričakovanim vzdolžnim pospeškom a in težnostnim pospeškom g , z zateznimi trakovi zagotoviti dodatno navpično silo F_{dod} , ki znaša

$$F_{\text{dod}} > m_T \cdot \frac{(a - \mu \cdot g)}{\mu}. \quad (42)$$

Navpična komponenta sile $F_{\text{tn},1}$, ki jo zagotovimo z enim zateznim trakom, napetim s silo F_{tnom} , nameščenim pod kotom α glede na stično ploskev tovara in vozila, znaša za trak z napenjaloma na obeh straneh

$$F_{\text{tn},1} = 2 \cdot F_{\text{tnom}} \cdot \sin \alpha \quad (43)$$

in za trak z napenjalom na eni strani

$$F_{tn,1} = \frac{3}{2} \cdot F_{tnom} \cdot \sin \alpha. \quad (44)$$

Potrebno število trakov n_t ki jih potrebujemo za zagotovitev zadostne navpične sile za varovanje tovora pred zdrsom na vozilu, je tedaj

$$n_t > \frac{F_{dod}}{F_{tn,1}} \quad (45)$$

Ob uporabi trakov z napenjaloma na obeh straneh je njihovo potrebno število za zavarovanje tovora mase m_T

$$n_{t,2} > \frac{m_T \cdot (a - \mu \cdot g)}{2 \cdot \mu \cdot F_{tnom} \cdot \sin \alpha}, \quad (46)$$

ob uporabi trakov z napenjalom samo na eni strani pa

$$n_{t,1} > \frac{2 \cdot m_T \cdot (a - \mu \cdot g)}{3 \cdot \mu \cdot F_{tnom} \cdot \sin \alpha}. \quad (47)$$

Dejansko število trakov zaokrožimo na prvo od n_t večje celo število. Pri uporabi trakov z enim napenjalom le-te razvrstimo tako, da so napenjala enakomerno razporejena na obeh straneh tovora. S tem preprečimo neenakomerno obremenitev tovora in zmanjšamo možnost njegove prevrnitve ali poškodbe. Pri takšnem načinu privezovanja je smiselno na ostrih robovih ali grobih površinah tovora uporabiti vstavke za zmanjšanje trenja.

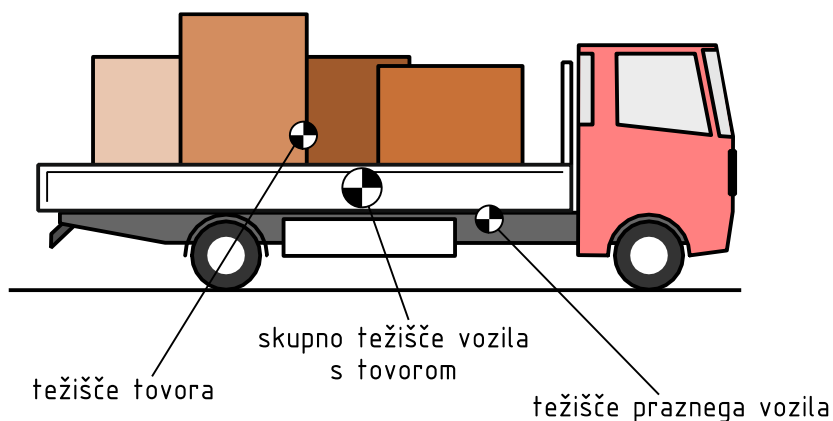
Nosilnosti (angleško *Lashing Capacity – LC*) zateznih trakov so normirane in znašajo od 250 do 10.000 daN (1 daN = 10 N). Napenjala zateznih trakov morajo biti izdelana tako, da ustrezno nominalno silo v nateznem traku (angleško *Standard Tension Force – STF*) zagotovimo s silo na ročici napenjala (angleško *Standard Hand Force – SHF*), ki ne presega 500 N. Podatki o zateznih trakovih so podani na etiketah, ki so neločljivo pritrjene nanje (slika 28). Zatezni trakovi morajo biti redno preverjani, tisti z ugotovljenimi poškodbami ali nečitljivimi etiketami pa zamenjani. Njihovo popravljanje je prepovedano. Dobra praksa pri varovanju tovora narekuje sočasno uporabo primerne števila zateznih trakov v kombinaciji z opremo za povečanje trenja med tovorom in tovrnim prostorom ter za zagotavljanje prenosa vztrajnostnih sil z obliko z uporabo pripomočkov za pritrjevanje in zastavljanje tovorkov.



Slika 28: Primer etikete s podatki o zateznem traku

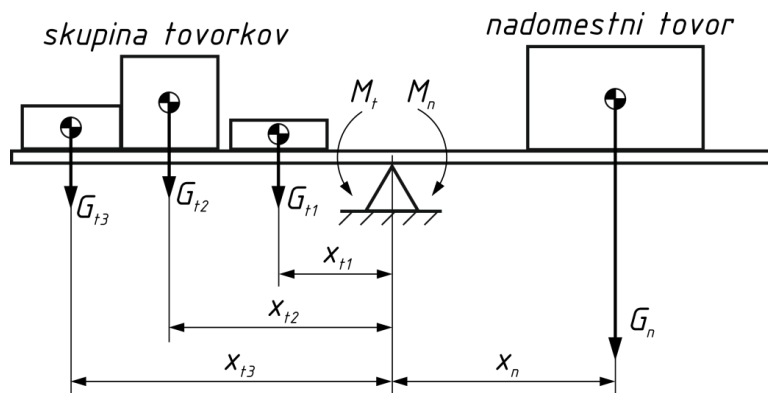
3.4.2. Porazdelitev tovora na cestnih vozilih

Zaradi konstrukcijskih zahtev vozila in predpisanih zakonskih omejitev osnih obremenitev je poleg varovanja tovora proti zdrsni na vozilu zelo pomembna tudi njegova pravilna porazdelitev na tovornem prostoru. Položaj tovora na vozilu namreč neposredno vpliva na lego skupnega težišča vozila s tovorom (slika 29).



Slika 29: Lega skupnega težišča vozila s tovorom

V primeru, da je tovor sestavljen iz več tovorkov, moramo za skupino tovorkov najprej določiti težo in lego težišča nadomestnega (oziroma ekvivalentnega) tovora. Nadomestni tovor je tisti, katerega teža bi imela na vozilo enak učinek, kot ga ima teža skupine nanj naloženih tovorkov (slika 30).



Slika 30: Princip nadomestnega tovora

Teža nadomestnega tovora G_n za skupino k tovorkov znaša

$$G_n = \sum_{i=1}^k G_{t,i}, \quad (48)$$

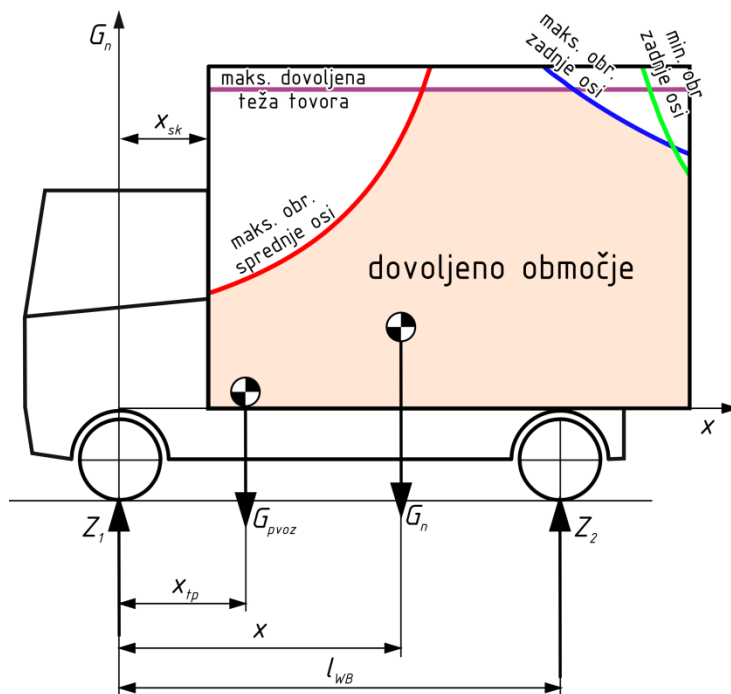
vzdolžna koordinata njegovega težišča x_n pa je

$$x_n = \frac{\sum_{i=1}^k G_{t,i} \cdot x_{t,i}}{\sum_{i=1}^k G_{t,i}}. \quad (49)$$

V prečni smeri mora težišče tovora ležati na vzdolžni osi vozila, da se izognemo morebitnim nestabilnostim zaradi enostransko delujočih prečnih sil. Tovor mora biti po možnosti postavljen tako, da je njegovo težišče čim nižje, s čimer zmanjšamo prekucni moment centrifugalne sile in s tem povečamo stabilnost naloženega vozila v ovinku. V vzdolžni smeri mora biti skupno težišče vozila s tovorom v taki legi, da zadostimo naslednjim zahtevam:

- dovoljene osne obremenitve (konstrukcijske in zakonske) na sprednji in zadnji osi ne smejo biti presežene,
- na sprednji osi mora ostati določena minimalna obremenitev, ki omogoča varno krmiljenje in zaviranje vozila,
- na pogonski osi mora ostati zakonsko predpisana sila (delež celotne teže vozila),
- največja dovoljena teža tovora (in s tem največja dovoljena masa) vozila ne sme biti presežena.

Funkcijsko odvisnost dovoljene teže nadomestnega tovora G_n od lege težišča nadomestnega tovora x določimo iz ravnotežja momentov okoli točk stika osi s podlago za vsako od zahtev posebej (slika 31).



Slika 31: Porazdelitveni diagram za dvoosno vozilo

Za sprednjo os velja:

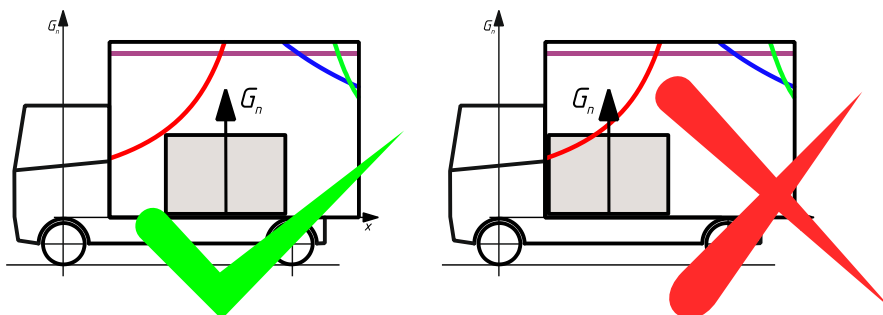
$$G_{n,max1}(x) = \frac{Z_{max1} \cdot l_{WB} - G_{pvoz} \cdot (l_{WB} - x_{tp})}{l_{WB} - x}, \quad (50)$$

$$G_{n,min1}(x) = \frac{Z_{min1} \cdot l_{WB} - G_{pvoz} \cdot (l_{WB} - x_{tp})}{l_{WB} - x}, \quad (51)$$

za zadnjo os pa velja:

$$G_{n,max2}(x) = \frac{Z_{max2} \cdot l_{WB} - G_{pvoz} \cdot x_{tp}}{x}. \quad (52)$$

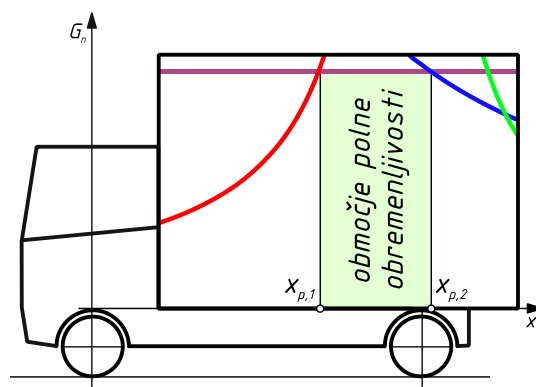
Zaradi neodvisne spremenljivke x v imenovalcu ulomka imajo vse tri funkcije obliko hiperbole. Njihove krivulje omejujejo dovoljeno območje porazdelitvenega diagrama, znotraj katerega mora na koordinati x ležati teža nadomestnega tovora, da so izpolnjene zapisane zahteve (slika 32).



Slika 32: Pravilna in napačna namestitev tovora glede na porazdelitveni diagram

Krivulja minimalne obremenitve sprednje osi, ki jo definira funkcija (51), je relevantna samo pri vozilih, kjer tovor lahko povzroči razbremenjevanje sprednje osi, torej tistih, ki imajo dolg zadnji previs in dovoljujejo namestitev težišča nadomestnega tovora za zadnjo os.

Dve izmed točk, kjer se krivulje obremenitev osi sekajo s premico največje dovoljene teže tovora, določata $x_{p,1}$ in $x_{p,2}$ mej območja polne obremenljivosti vozila (slika 33). Za univerzalnost vozila je pomembno, da je to območje čim daljše. Pri slabo konstruiranih vozilih s premajhnimi nosilnostmi osi utegne presek krivulj največje nosilnosti sprednje in zadnje osi ležati tik nad premico največje dovoljene teže tovora. Vozila s takšnim porazdelitvenim diagramom praktično ni mogoče obremeniti do polne nosilnosti.



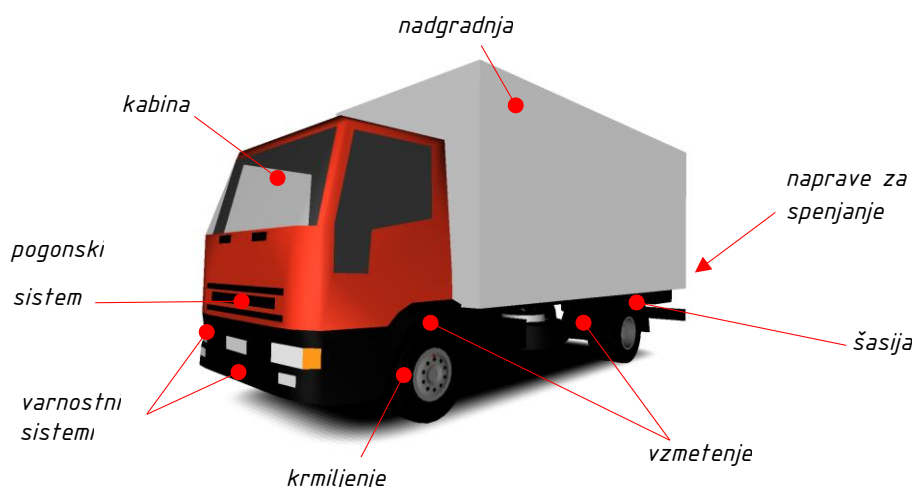
Slika 33: Območje polne obremenljivosti vozila v porazdelitvenem diagramu

3.5. Konstrukcijske posebnosti gospodarskih vozil

V primerjavi z osebnimi vozili imajo gospodarska vozila določene konstrukcijske značilnosti, ki so prilagojene njihovim nalogam v cestnem prometu. Pri sodobnih gospodarskih vozilih je široko uporabljen način modulare zgradbe, kjer lahko s povezovanjem modulov z različnimi lastnostmi vozilo natanko prilagodimo obratovalnim zahtevam, hkrati pa na ta način stroškovno in časovno optimiramo njegovo izdelavo.

Tipično gospodarsko vozilo vsebuje sisteme, ki so navedeni na sliki 34. Ti sistemi in njihovi podsistemi so med seboj mehansko, pri sodobnih vozilih pa tudi električno in komunikacijsko, povezani. Za zamenljivost podskeleпов morajo biti te povezave tipizirane v okviru enega izdelovalca ali tudi med več izdelovalci. Poleg tega morajo izpolnjevati tudi zahteve mednarodnih standardov o varnosti in okoljski sprejemljivosti.

Cestna gospodarska vozila, sistemi na njih ter praktični napotki za njihovo varno uporabo so podrobneje predstavljeni v viru [15].



Slika 34: Sistemi na gospodarskem vozilu

3.5.1. Šasije gospodarskih vozil

Za razliko od osebnih avtomobilov, katerih osnovni strukturni element je v zadnjem času skoraj izključno samonosna karoserija, modularna zgradba gospodarskih (predvsem tovornih) vozil še vedno narekuje uporabo šasije (okvirja) kot glavnega strukturnega elementa.

Šasija gospodarskega vozila mora izpolnjevati vrsto medsebojno izključujočih se zahtev. Te vključujejo čim manjšo maso, čim večjo vzvojno in upogibno togost, čim bolj univerzalne možnosti pritrditve ostalih sistemov vozila (pogon, kabina, nadgradnja, pomožni sistemi) ter možnosti izvedbe prilagoditev željam uporabnika.

Tipične vrste šasij gospodarskih vozil vključujejo:

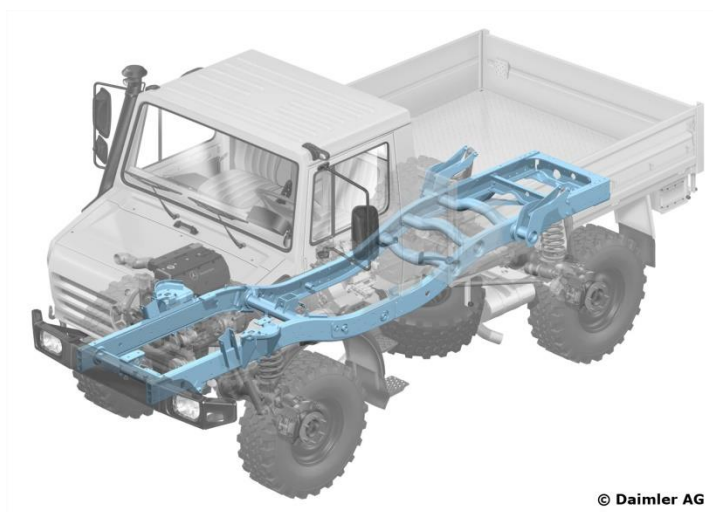
- lestvene okvirje (slika 35), sestavljene iz pretežno ravnih vzdolžnih nosilcev, povezanih s prečnimi nosilci – v uporabi so predvsem pri težjih tovornih vozilih,
- okvirje z ukrivljenimi nosilci (slika 36), ki so v uporabi pri vozilih, kjer je treba zagotoviti pritrditev prem ali nadgrajen na določenih višinah (na

primer terenska vozila s povečano razdaljo od tal ali nizkopodna tovorna vozila z zmanjšano razdaljo od tal),

- cevne prostorske (angl. "Space Frame") okvirje (slika 37), ki so v uporabi predvsem pri avtobusih in v primerjavi s klasičnimi šasijami omogočajo manjšo maso in ugodnejšo namestitev potniškega prostora (na primer pri nizkopodnih avtobusih),
- kombinacije pomožnih okvirjev s samonosnimi karoserijami (slika 38), kjer je pomožni okvir povezan v celoto s kabino vozila, ki je grajena kot samonosna karoserija – takšna izvedba je pogosta pri lažjih dostavnih vozilih.

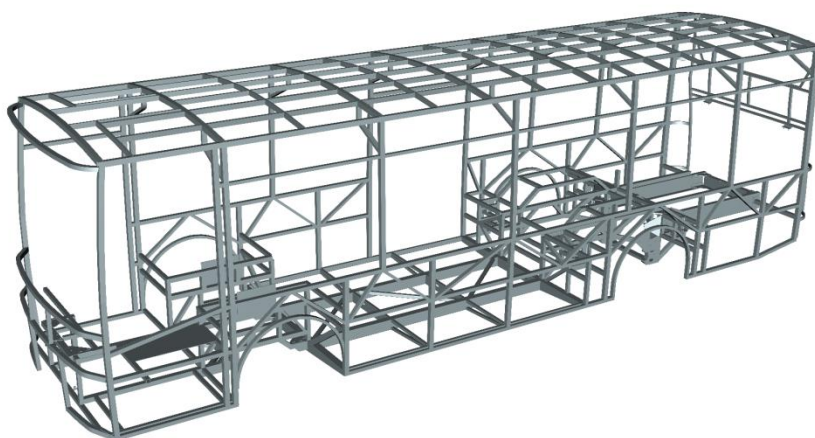


*Slika 35: Lestveni okvir z nameščenim pogonskim sklopom in premama
(slika: © DAF Trucks N. V.)*



© Daimler AG

*Slika 36: Okvir z ukrivljenimi nosilci za terensko tovorno vozilo
(slika: © Daimler AG)*



Slika 37: Cevni okvir avtobusa



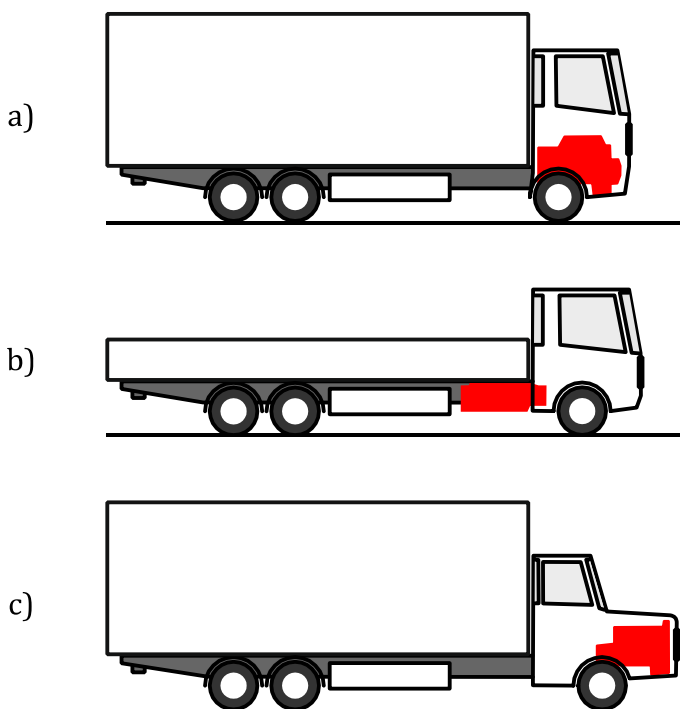
Slika 38: Kombinacija pomožnega okvirja s kabino v samonosni izvedbi za nadgradnjo avtodoma (slika: © Daimler AG)

3.5.2. Kabine

Kabine gospodarskih vozil – posebej tovornjakov za daljinski promet – predstavljajo delovni prostor voznikov, v katerem le-ti preživijo skoraj ves svoj delovni čas s počitkom vred. Sodobno zasnovana kabina gospodarskega vozila mora zato zagotavljati zaščito voznika pred hrupom, vremenskimi vplivi ter vibracijami, ki jih ustvarjata samo vozilo ter vožnja po neravnem terenu. Poleg tega mora nuditi tudi ustrezen pregled nad prometno situacijo ter omogočati ustrezno upravljanje naprav na vozilu. Z razvojem pomožnih sistemov na vozilih na eni in z uvajanjem spoznanj s področja ergonomije in pasivne varnosti na drugi strani kabine sodobnih vozil postajajo vedno bolj prilagojene voznikom. S

tem so pomemben element za zagotavljanje zadovoljstva voznikov z delovnimi pogoji ter s tem povečevanja njihove učinkovitosti.

Po svoji namestitvi se kabine ločijo na tri osnovne izvedbe. Izvedba vozila z motorjem nad sprednjo premo in kabino nad motorjem (slika 39 a) je v sodobnih vozilih najpogostejša. Njena prednost je kompaktnost v vzdolžni smeri, kar je pomembno za izpolnjevanje zakonskih zahtev o največjih dolžinah vozil, po drugi strani pa je zaradi namestitve nad motorjem takšna kabina višja in zahteva kompleksnejše tehnične rešitve za dostop do motorja (prekuceljiva kabina, slika 40) in njegovo toplotno ter vibracijsko izolacijo od notranjosti kabine.



Slika 39: Konstrukcijske izvedbe kabin in namestitev motorja

Na vozilih, pri katerih se zahteva nizka višina kabine (na primer vozila za transport avtomobilov), je motor nameščen znotraj šasije (podpodni motor), kabina pa je nameščena neposredno nad sprednjo os (slika 39 b). Zaradi omejitev podpodnih motorjev (izpostavljenost vplivom okolja, slaba zvočna izolacija) se takšna konstrukcija kabine pri sodobnih vozilih večinoma uporablja v kombinaciji z motorjem tik za kabino.

Vozila s "klasično" izvedbo kabine, kjer je motor nameščen pred sprednjo osjo, kabina pa za njim (slika 39 c), omogočajo sicer najustreznejšo rešitev ločitve motorja od notranjosti kabine, vendar pa gre to na račun podaljšanja dolžine kabine. Zaradi zahtev po izkoriščenosti dolžine vozila je vozil s kabino za motorjem v Evropi v uporabi zelo malo. V drugih delih sveta, predvsem v

Ameriki in Avstraliji, je zaradi drugačnih zakonskih omejitev (omejene dimenzije tovornega prostora, ne pa tudi celotnega vozila ali skupine vozil) delež takšnih vozil večji.



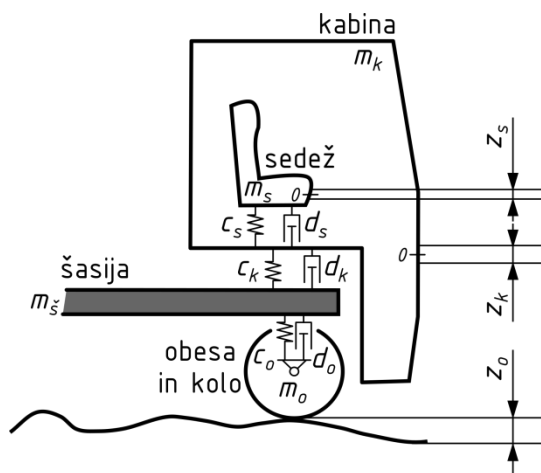
Slika 40: Preključljiva kabina za dostop do motorja (slika: © Volvo Trucks)

Primere različnih izvedb kabin za cestna tovorna vozila ter namestitvev elementov v njih prikazuje slika 41.

	Kratka izvedba	Dnevna izvedba	Spalna izvedba			
			Nizka	Normalna	Visoka	"Topline"
P						
G						
R						

Slika 41: Primeri kabin (slika: © Scania CV AB)

Kabine sodobnih gospodarskih vozil so z njihovimi šasijami pogosto povezane prek elementov, ki zagotavljajo ustrezno dušenje vibracij, katerih vir sta sólo vozilo in teren, po katerem vozi. Poleg tega so tudi voznikovi sedeži s kabino povezani prek sistema vzmeti in dušilk (slika 42). Na ta način je zagotovljena zaščita voznika in potnikov pred škodljivimi vplivi dolgotrajne izpostavljenosti mehanskim vibracijam.



Slika 42: Shematski prikaz vpetja kabine in sedeža

3.5.3. Pogonski sistemi

Kljub trendom pospešenega uvajanja hibridnih in električnih pogonov v lažja cestna vozila je velika večina težjih cestnih gospodarskih vozil še vedno gnana samo z motorji z notranjim zgorevanjem, ki za svoje delovanje porabljajo goriva. Ta lahko prihajajo iz fosilnih virov (naftni derivati, zemeljski plin) ali iz obnovljivih virov (tekoča biogoriva, bioplin). Razlog za njihovo uporabo je njihova visoka energijska gostota in povečanje učinkovitosti vozil zaradi manjšega deleža, ki ga ima gorivo pri porabi prostora in skupni masi vozila. Tabela 6 prikazuje volumnske in masne gostote energije nekaterih pogosto uporabljenih goriv.

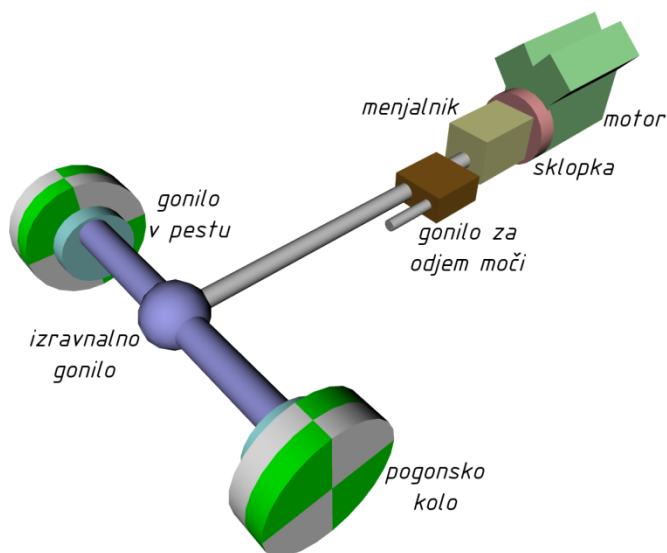
Bistvena slabost motorjev z notranjim zgorevanjem je zaradi njihovega načina delovanja obremenjevanje okolja s hrupom in škodljivimi izpusti. Prav tako pri pogonu z motorjem z notranjem zgorevanjem ni enostavno izvedljiva možnost povratnega toka energije pri zaviranju.

Zaradi uporabe motorjev z notranjim zgorevanjem večina gospodarskih vozil za prenos moči na pogonska kolesa uporablja konvencionalne transmisije, ki tipično vključujejo hidrodinamične sklopke, zobniške menjalnike in izravnalna gonila. Transmisije vozil za posebne namene lahko vključujejo še razdelilna gonila (vozila s pogonom na več osi), redukcijska gonila in gonila v pestih koles (terenska vozila) ter gonila za odjem moči za pogon dodatnih naprav (angleško *power take-off* – PTO). Slika 43 prikazuje shemo in elemente transmisije

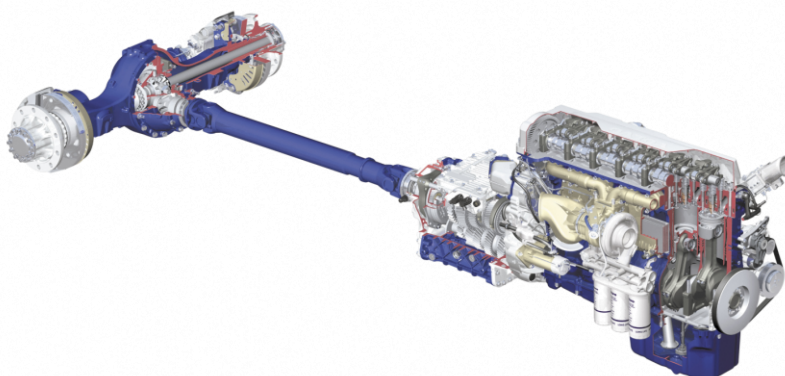
gospodarskega vozila s pogonom na eni nekrmiljeni osi, slika 44 pa primer izvedbe takšne transmisije.

Tabela 6: Energijske gostote nekaterih goriv

Gorivo	Volumska gostota energije [MJ/l]	Masna gostota energije [MJ/kg]
Plinsko olje (diesel)	37	45
Bencin RON 95	34	47
Utekočinjen naftni plin (LPG)	26	46
Metan/bioplín	23	55
Utekočinjen zemeljski plin (LNG)	22	53
Vodik hranjen pod visokim tlakom (700 bar)	9	142
LiFe baterija	1,8	4,3
Li-ion baterija	do 1	2,6
Svinčev akumulator	do 0,2	0,56



Slika 43: Elementi transmisije gospodarskega vozila

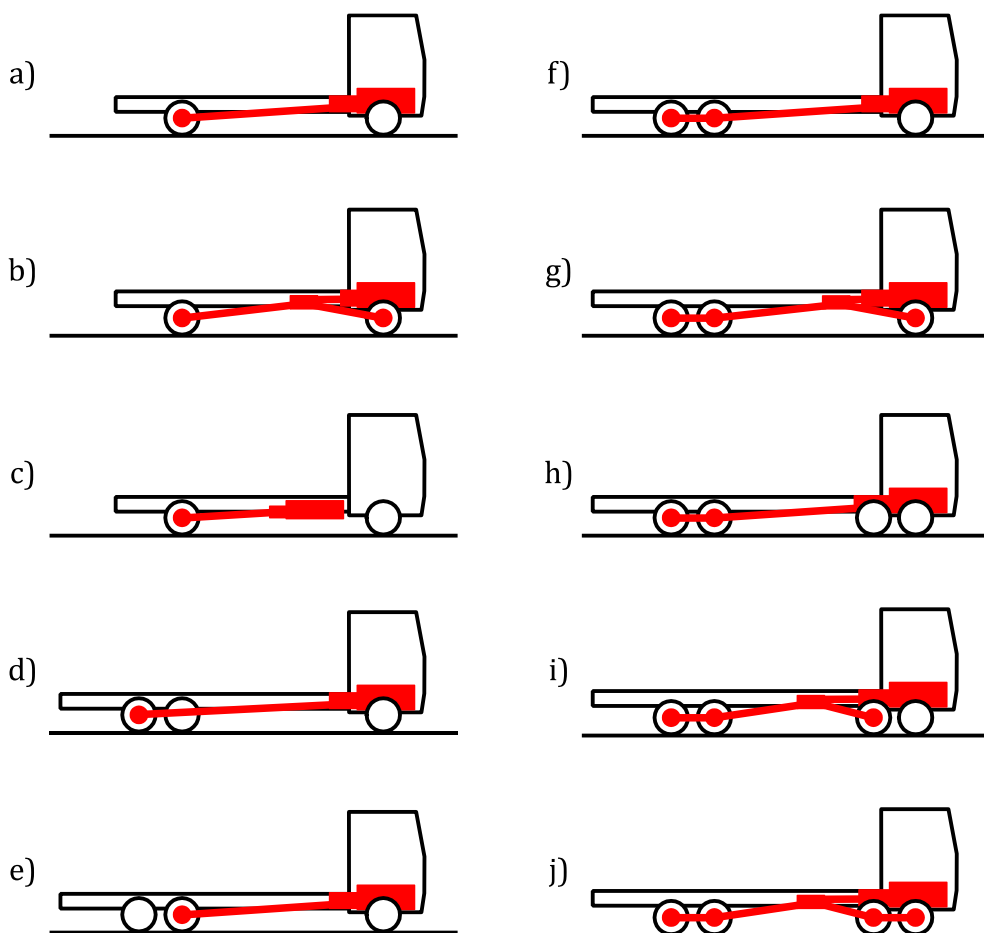


*Slika 44: Primer izvedbe transmisije gospodarskega vozila
(slika: © Volvo Trucks)*

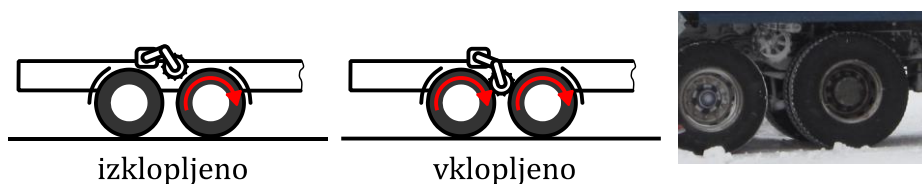
Konstruktivna izvedba motorja in elementov transmisije pogojuje njihovo namestitvev na vozilo v odvisnosti od zahtev po načinu pogona. Gospodarska vozila za daljinski promet, ki obratujejo izključno na cestah, imajo za doseganje čimvečjih izkoristkov transmisije pogon večinoma izveden na eni ali največ dveh nekrmljenih premah. Vozila, ki obratujejo tudi ali pretežno izven cest (gradbiščni tovornjaki, avtodvigala, terenska vozila), imajo lahko pogon izveden na več premah, od katerih so nekatere lahko tudi krmiljene. Slika 45 prikazuje najpogostejše načine pogona tovornih gospodarskih vozil glede na namestitvev motorja in elementov transmisije:

- a) dvoosno vozilo z motorjem spredaj (nad ali pred sprednjo osjo) in pogonom na zadnji osi, v uporabi za cestna vozila,
- b) dvoosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na obeh oseh, v uporabi za gradbena vozila,
- c) dvoosno vozilo s podpodnim motorjem (za sprednjo osjo) in pogonom na zadnji osi, za uporabo pri vozilih z omejeno višino,
- d) triosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na zadnji osi ("vodilna" srednja prema je negnana),
- e) triosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na srednji osi ("sledilna" zadnja prema je negnana),
- f) triosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na zadnjih dveh oseh, za uporabo pri gradbiščnih vozilih,
- g) triosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na vseh treh oseh, za klasična terenska vozila,
- h) štiriosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na zadnji dve osi, za uporabo pri samovoznih delovnih strojih,
- i) štiriosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na zadnjih treh oseh, za uporabo pri težkih gradbenih strojih (na primer mešalcih za beton),
- j) štiriosno vozilo z motorjem spredaj in pogonom na vseh oseh, za uporabo pri najtežjih gradbenih strojih (na primer avtodvigalih).

Pri triosnih vozilih s pogonom na eni premi (izvedbi d in e) lahko prenos pogona z gnane na negnano premo zagotovimo z Robsonovim gonilom (slika 46), ki moč prenaša z ene na drugo premo prek trenja med pnevmatikami in vmesnim prostovrtečim kolesom. Takšen način pogona je cenovno ugodna alternativa klasičnemu štirikolesnemu pogonu, ki je primerna za naknadno vgradnjo in za krajše razdalje oziroma za pomoč pri speljevanju v pogojih slabšega vprijetja.



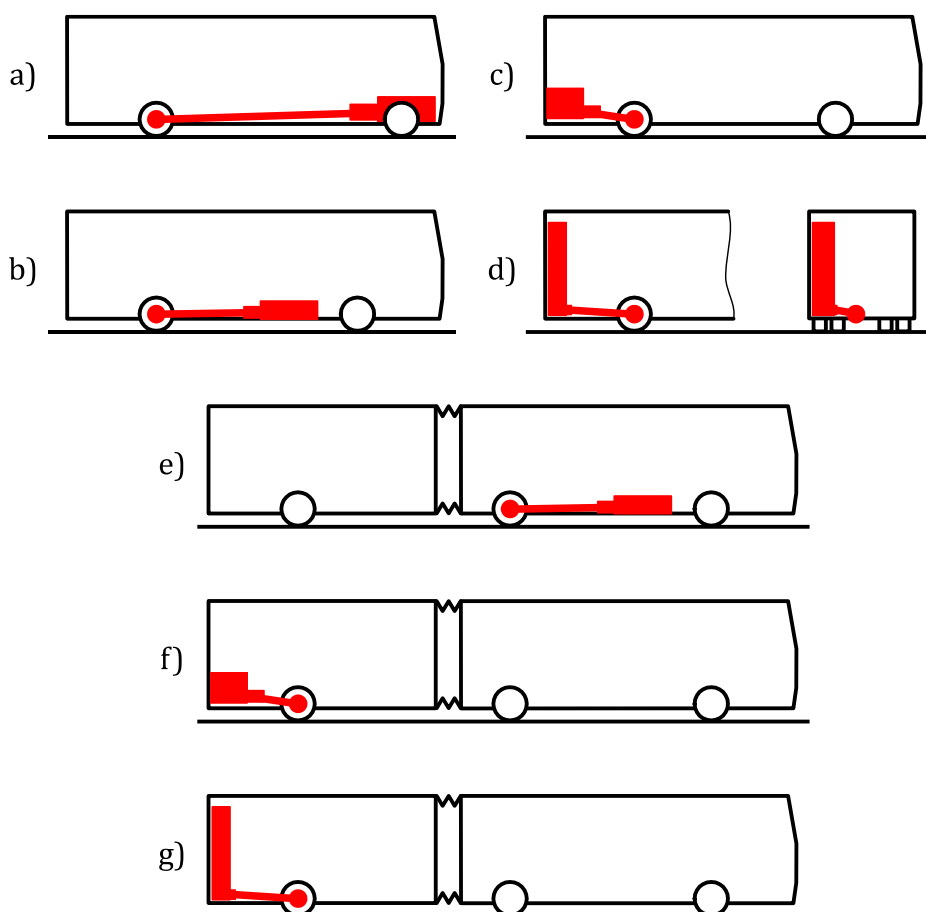
Slika 45: Najpogostejši načini pogona tovornih gospodarskih vozil



Slika 46: Robsonovo gonilo

Pri avtobusih morajo biti elementi pogona nameščeni tako, da ni okrnjeno udobje potnikov (zaradi hrupa, odvoda toplote in prostora za gibanje) in da je prostor v vozilu optimalno izkoriščen. Najpogostejše načine namestitve elementov pogona pri avtobusih prikazuje slika 47:

- klasična namestitev z motorjem spredaj in pogonom na zadnji osi, pri modernih vozilih v uporabi za visokopodne potovalne avtobuse,
- podpodni sredinsko nameščeni motor in pogon na zadnji osi, v uporabi za visokopodne avtobuse,
- vzdolžno nameščen motor za zadnjo osjo in pogon na zadnji osi, v uporabi pri vseh vrstah avtobusov,
- pokončno nameščen motorni sklop zadaj ob strani, zaradi dobre izkoriščenosti prostora v uporabi predvsem pri nizkopodnih mestnih avtobusih.



Slika 47: Najpogostejši načini pogona avtobusov

Navedene namestitve se uporabljajo tudi v zgibnih avtobusih (e, f in g). Izvedbi f in g s pogonskim sklopom v zadnjem delu zgibnega vozila morata smerno stabilnost pri vožnji v ovinek zagotavljati z dodatnimi sistemi za blokiranje zgiba.

Poleg pogonov izključno z motorji z notranjim zgorevanjem se v avtobusih (predvsem tistih za mestni promet) vedno bolj uveljavljajo tudi hibridni pogoni. Najpogostejši so diesel-električni, kjer sta agregata lahko povezana zaporedno ali vzporedno. V mestnem prometu je na ta način možno zagotoviti določen obseg voženj brez emisij onesnaževal in z zmanjšanim hrupom, hkrati pa takšni pogoni omogočajo regeneracijo energije pri zaviranju in s tem zmanjšanje porabe goriva.

3.5.4. *Sistemi obešenja koles in vzmetenja*

Obešenje koles vozila mora biti izdelano tako, da preprečuje neželene pomike koles in zagotavlja pravilno kinematiko krmiljenih koles pri njihovem pomiku v navpični smeri. Vzmetenje vozila mora zagotavljati zadosten statični in dinamični upogib, prenašati statične in dinamične sile, ki nastopijo zaradi teže vozila in dinamike vožnje ter ustrezno dušiti nihanja delov vozila. Ob vsem tem mora biti obešenje in vzmetenje konstruirano tako, da vsebuje čim manj obrabi podvrženih gibljivih delov in da so nevzmetene mase čim manjše.

Zagotavljanje izpolnjevanja navedenih zahtev je pri gospodarskih vozilih še poseben izziv, saj so razponi parametrov pri istem vozilu lahko zelo široki. Osnova obremenitev polno naloženega vozila lahko na primer doseže dva- ali večkratno vrednost obremenitve praznega vozila, pri čemer mora obešenje in vzmetenje v obeh skrajnih primerih še vedno zadovoljivo opravljati svojo nalogo.

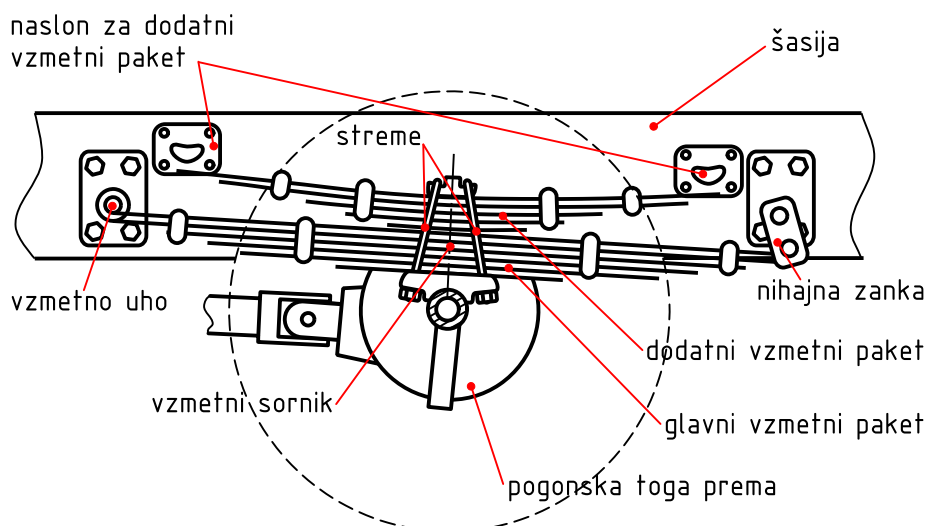
Obešenje koles gospodarskih vozil je večinoma izvedeno kot odvisno; prevladujejo različne izvedbe gnanih in negnanih togih prem. Izjeme so nekatera vozila za posebne namene z neodvisnim obešenjem koles in vozila nekaterih izdelovalcev, ki tradicionalno uporabljajo šasije s centralno cevjo in neodvisnim obešenjem pogonskih koles. Za vzdolžno in prečno vodenje prem se pretežno uporabljajo vzdolžna vodila, pri zahtevnejših terenskih vozilih, kjer se zahtevajo večji pomiki koles pa tudi večzglobni (angleško *multilink*) sistemi.

Na sodobnih gospodarskih vozilih se večinoma uporabljata dve konstrukcijski izvedbi vzmetenja:

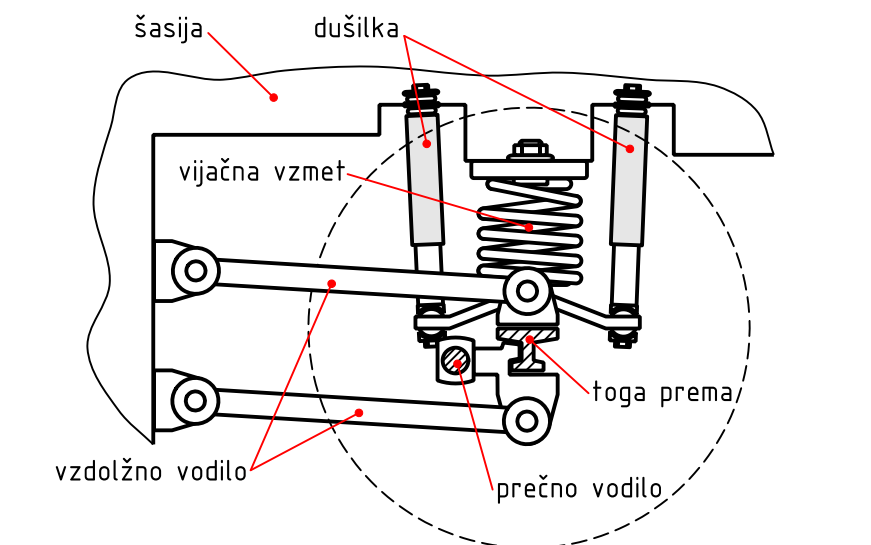
- klasično vzmetenje s kovinskimi elastičnimi elementi – listnate upogibne, vijačne torzijske ali palične torzijske vzmeti,
- pnevmatsko vzmetenje, kjer je elastični element stisljiv plin (ponavadi zrak).

Klasične izvedbe vzmetenja z listnatimi (slika 48) ali vijačnimi torzijskimi vzmetmi (slika 49) so v sodobnih gospodarskih vozilih le še v omejeni uporabi. Predvsem je tako zaradi njihove neprilagodljivosti na širša območja obremenitev, delno pa tudi zaradi večje mase nevzmetenih delov. Ker za svoje delovanje za razliko od sistemov pnevmatskega vzmetenja ne potrebujejo

dodatnih agregatov na vozilu in so zato robustnejši, so takšni sistemi še vedno vgrajeni v vozila, ki obratujejo v pogojih z omejenimi možnostmi vzdrževanja (na primer vojaška ali druga terenska vozila).

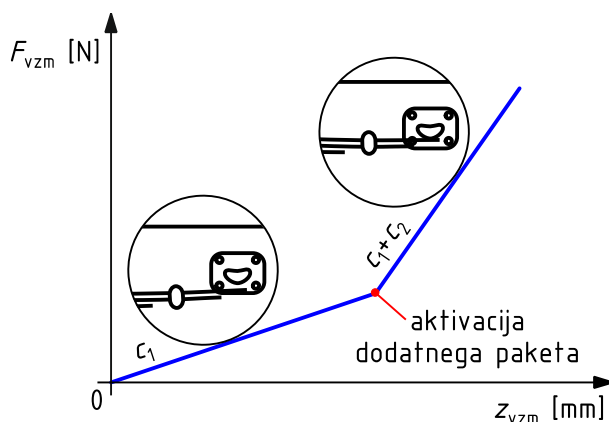


Slika 48: Vzmetenje zadnje pogonske preme z listnatimi vzmetmi



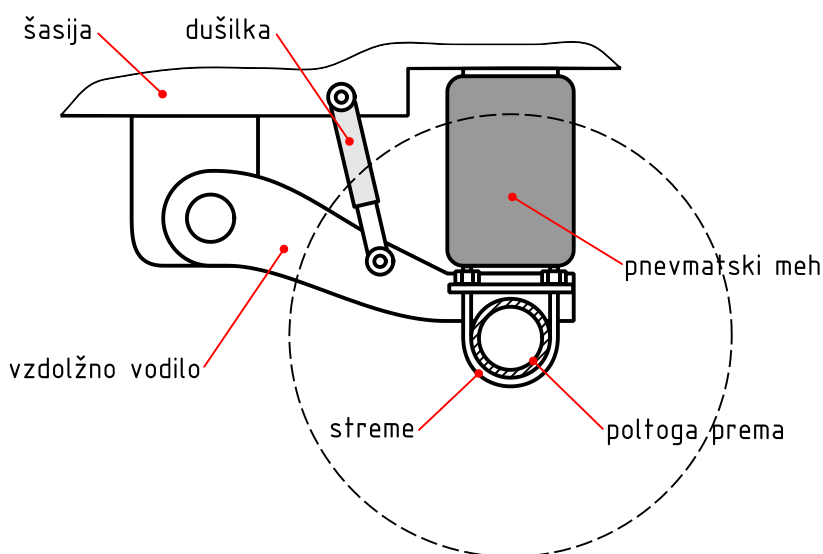
Slika 49: Vzmetenje preme z vijačnimi vzmetmi

Omejeno prilagajanje vzmetne karakteristike lahko pri klasičnih sistemih dosežemo s spreminjanjem lege vpetja vzmeti ali z uporabo več paketov vzmeti, ki se aktivirajo v odvisnosti od povesa (slika 50).

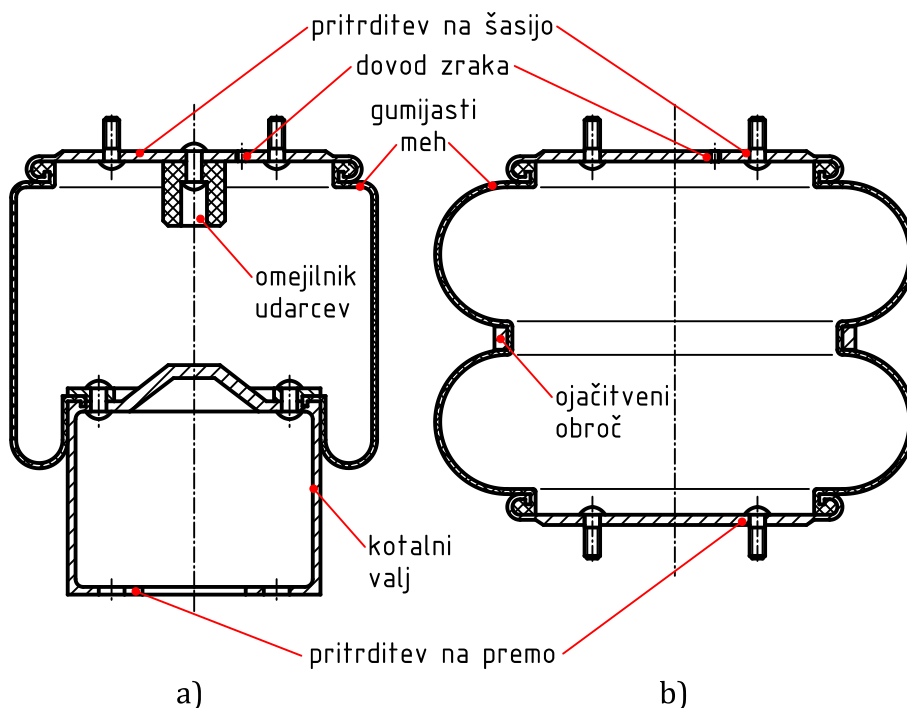


Slika 50: Vzmetna karakteristika vzmeti z dvema paketoma

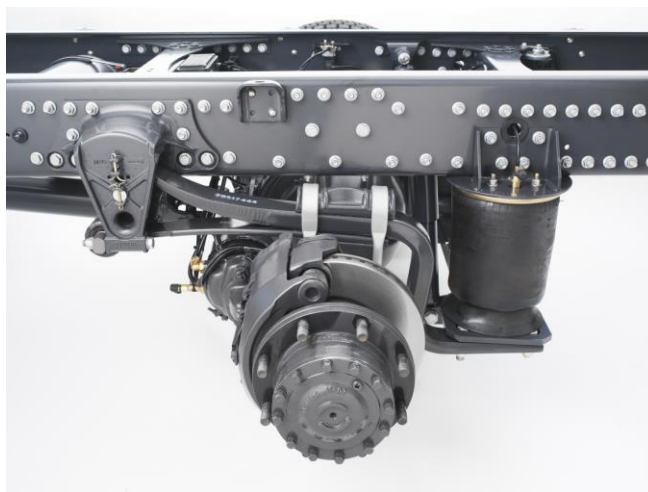
V sodobnih gospodarskih vozilih se vedno bolj uveljavljajo sistemi pnevmatskega (zračnega) vzmetenja, kakršnega shematično prikazuje slika 51. Njihova bistvena prednost pred klasičnimi sistemi vzmetenja je prilagodljivost vzmetne (in v omejenem obsegu tudi dušilne) karakteristike. Večinoma so kot elastični elementi vgrajeni pnevmatski mehovi (slika 52), v katerih lahko spreminjamo tlak plina in s tem njihovo vzmetno karakteristiko. S tem se poveča prilagodljivost vzmetenja širokemu območju obremenitev in amplitud pomika. S spreminjanjem tlaka v mehovah lahko pri gospodarskih vozilih spreminjamo tudi statični povos in s tem prilagajamo višino vozila, kar je uporabno pri nakladanju in razkladanju tovora ali zamenljivih nadgradenj, pri avtobusih pa pri vstopanju in izstopanju potnikov. Primer pnevmatsko vzmetene zadnje pogonske preme prikazuje slika 53.



Slika 51: Pnevmatško vzmetenje poltoge preme

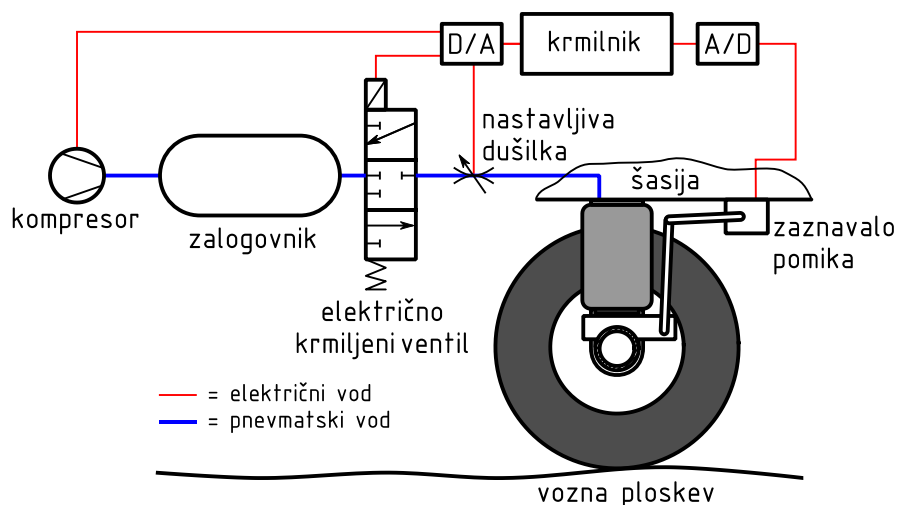


Slika 52: Pnevmatški meh za zračno vzmetenje (a - kotalni, b - tlačni)



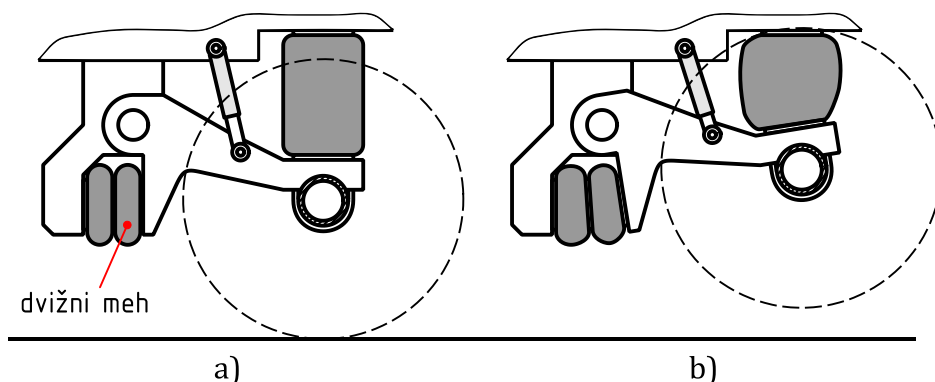
Slika 53: Zračno vzmetenje pogonske preme (slika: © Volvo Trucks)

Če pnevmatsko vzmetenje nadgradimo z dovolj hitrim krmiljenjem tlaka v mehovah in dušenja v izpustnih ventilih, lahko s takšnim sistemom dosežemo aktivno vzmetenje (slika 54), ki se sproti prilagaja stanju vozne ploskve ter zagotavlja mirno vožnjo z minimalnimi navpičnimi pomiki šasije in nadgradnje vozila.



Slika 54: Aktivno pnevmatsko vzmetenje

Posebnost pri obešenju koles gospodarskih (predvsem tovornih) vozil so **dvižne preme** (včasih imenovane tudi "dvižne osi"), pri katerih je obešenje koles konstruirano tako, da omogoča premi tolikšen navpični pomik, da se njena kolesa dvignejo od tal. Na ta način lahko ob zmanjšanju obremenitve (na primer pri vožnji praznega vozila) izboljšamo karakteristiko vzmetenja, omejimo obrabo pnevmatik in izboljšamo krmiljenje. Poleg tega vozilo z dvignjeno premo tudi manj obremenjuje vozno ploskev in je zato lahko v nekaterih primerih deležno ugodnosti pri plačilu cestnine ali ostalih dajatev. Mehanizem dvižne preme z zračnim vzmetenjem in pnevmatskim dvižnim mehom shematično prikazuje slika 55.

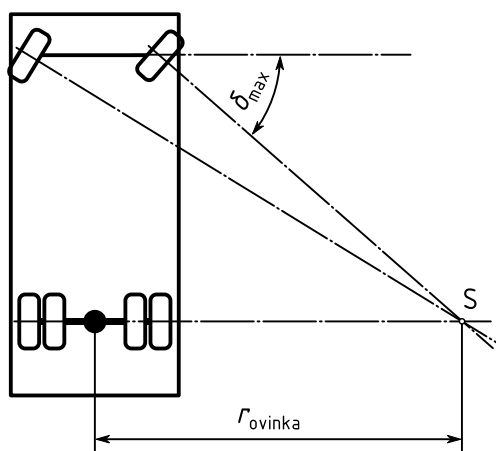


Slika 55: Dvižna prema s pnevmatskim vzmetenjem (a - spuščena, b - dvignjena)

3.5.5. Sistemi krmiljenja

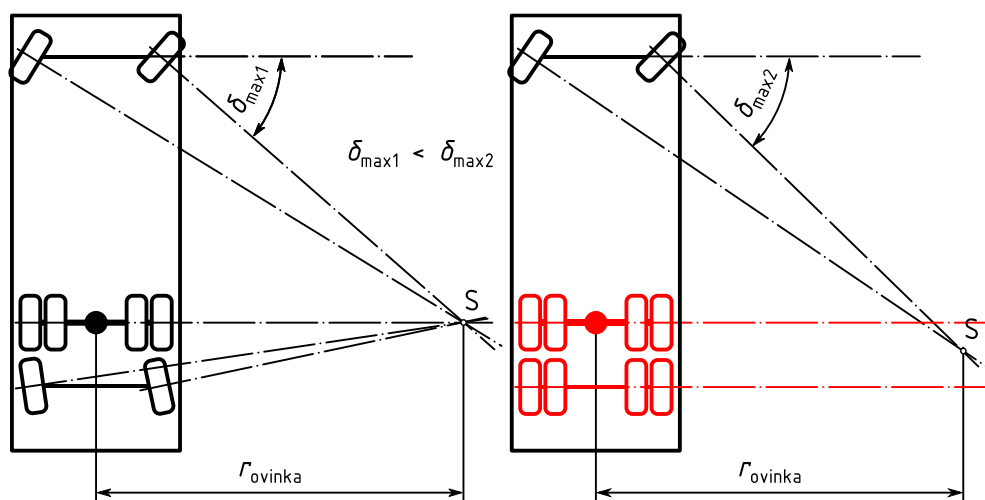
Naloga krmilnega sistema na vozilu je zagotavljanje pravilne lege koles na krmiljenih premah v vseh pogojih vožnje. Pri vozilih za cestno vožnjo to večinoma pomeni, da morajo izpolnjevati Ackermannov pogoj. Ta zahteva, da se za

kotaljenje brez prečnega drsenja teoretične osi vseh koles pri vožnji v ovinek sekajo v isti točki S , ki predstavlja središče ovinka (slika 56). Podrobneje so osnove krmilnih sistemov predstavljene v [8].



Slika 56: Izpolnjevanje Ackermannovega pogoja pri dvoosnem vozilu

Zaradi geometrijskih omejitev je izpolnjevanje Ackermannovega pogoja vedno možno doseči le pri dvoosnih vozilih. Pri večosnih vozilih je to možno le, če imajo največ eno nekrmiljeno premo. Pri vozilih z več nekrmiljenimi premami (na primer triosna vozila z nekrmiljenima zadnjima premama) tako pri vožnji v ovinek neizogibno prihaja do znatnega bočnega drsenja koles. Posledica tega je, da je za enak polmer ovinka potreben večji zasuk krmiljenih koles, kot če bi bila krmiljena še dodatna prema (slika 57), poveča pa se tudi obraba pnevmatik.



Slika 57: Geometrija krmiljenja triosnega vozila

Krmilne sisteme na gospodarskih vozilih večinoma sestavljajo krmilni mehanizmi in aktuatorji za njihovo premikanje. Krmilni mehanizmi so lahko klasične

izvedbe s popolnoma mehansko povezavo krmiljenih koles (trapezni krmilni mehanizem, kot je predstavljen v [8]), lahko pa so kolesa posamezno ali v parih krmiljena neodvisno z ločenimi aktuatorji. Poseben primer krmilnih pod-sistemov predstavljajo pasivno krmiljene preme (slika 58), kjer krmilni mehanizem nima lastnega aktuatorja, ampak se krmiljena kolesa vkrmilijo pod vplivom prečnih sil na pnevmatike v ovinku.



Slika 58: Pasivno krmiljena negnana prema (slika: © BPW Bergische Achsen KG)

Zaradi velikih mas in posledično velikih prečnih sil na kolesih imajo sodobna gospodarska vozila večinoma vgrajene krmilne sisteme z ojačevalniki. Ti so lahko hidravlični, pnevmatski ali električni, možne pa so tudi kombinacije (na primer elektrohidravlično ali elektropnevmatsko servokrmiljenje).

3.5.6. Kolesa in pnevmatike

Kolesa gospodarskih vozil so prilagojena njihovi uporabi, ki večinoma vključuje vožnje na dolgih razdaljah pri velikih navpičnih obremenitvah. Za njihova platišča in pnevmatike zato veljajo posebne zahteve, ki so mnogokrat strožje od zahtev za platišča in pnevmatike osebnih vozil.

Posebej pomembno je, da kolesa vozil za daljinski transport izpolnjujejo zahteve po čim manjšem kotalnem upor. Ta namreč predstavlja znaten delež sile, ki jo mora premagovati pogonski sistem vozila. Pnevmatike za gospodarska vozila so zato oblikovane različno, glede na to, na kakšne vrste preme so nameščene in glede na teren, po katerem vozilo večinoma vozi. Slika 59 prikazuje primer družine letnih cestnih pnevmatik različnih velikosti (v posamezni skupini od leve proti desni pnevmatika za negnana krmiljeno premo, pnevmatika za gnano premo in pnevmatika za negnana nekrmiljeno premo priklopnika).



*Slika 59: Skupine letnih pnevmatik glede na namen
(slika: © Continental Reifen Deutschland GmbH)*

Slika 60 prikazuje družino zimskih pnevmatik (levo pnevmatika za krmiljeno negnano premo, v sredini pnevmatika za gnano premo in desno pnevmatika za negnano nekrmiljeno premo priklopnika).



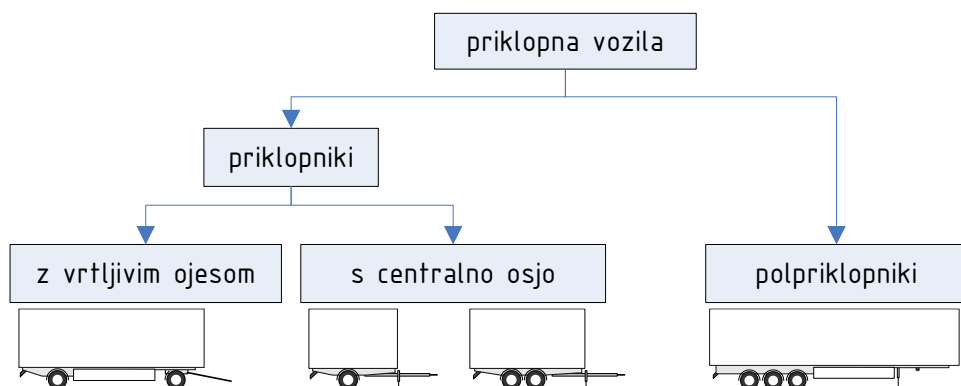
*Slika 60: Zimske pnevmatike glede na namen
(slika: © Continental Reifen Deutschland GmbH)*

3.6. Skupine gospodarskih vozil – priklopniki in polpriklopniki

Zaradi tehničnih in zakonskih omejitev pri merah in masah vozil ter s tem njihovih koristnih obremenljivosti za Transporte večjih količin tovara uporabljamo vozila, povezana v skupine. Skupino vozil sestavljata vsaj eno vlečno in eno ali več priklopnih vozil, ki so v cestnem prometu udeležena kot celota. Priklopno vozilo nima lastnega pogona in je z vlečnim ali drugim priklopnim vozilom povezano s spenjalno napravo.

3.6.1. Vrste in konstrukcijske značilnosti priklopnih vozil

Priklopna vozila se po obliki konstrukcije delijo, kot prikazuje slika 61. Vrste priklopnih vozil, njihove predpisane mere, mase in ostale zahteve so opredeljene v [16] in v tam navedenih dokumentih.



Slika 61: Delitev priklopnih vozil po obliki konstrukcije

Med **priklopnike** sodijo priklopna vozila za prevoz blaga, ki spenjalne naprave na vlečnem vozilu ne obremenjujejo z znatno navpično silo. Priklopniki **z vrtljivim** (tudi gibljivim) **ojesom** so dvo- ali večosna vozila, pri katerih je prva os ali skupina osi (slika 62) povezana neposredno z vlečnim drogom in vrtljiva glede na šasijo okoli navpične osi. Vlečni drog priklopnika z vrtljivim ojesom je vpet v spenjalno napravo na vlečnem vozilu in jo v navpični smeri obremenjuje kvečjemu s silo lastne teže.



Slika 62: Priklopnik z vrtljivim ojesom z dvoosnim podpornim vozičkom

Priklopniki s **centralno** (tudi središčno) **osjo** so priklopna vozila z eno ali več osmi, pri katerih so preme vzdolžno nameščene v bližini težišča vozila in so večinoma s šasijo povezane prek obešenja in vzmetenja brez možnosti krmiljenja. Vlečni drog priklopnika s centralno osjo spenjalno napravo vlečnega vozila v navpični smeri obremenjuje z večjo silo kot vlečni drog priklopnika z vrtljivim ojesom, vendar je sila še vedno mnogo manjša od celotne teže priklopnika. Od velikosti navpične sile na spenjalni napravi je bistveno odvisna stabilnost skupine vozil s priklopnikom s centralno osjo, zato je pri takšnih priklopnikih zelo pomembna pravilna razporeditev tovora in s tem vzdolžna lega njihovega težišča.

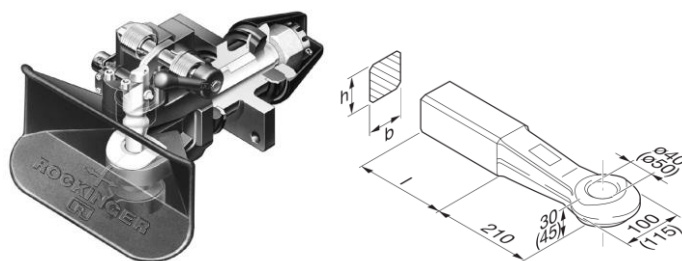
Polpriklopniki so priklopna vozila, pri katerih znaten del njihove teže obremenjuje vlečno vozilo v navpični smeri s tem, da se nanj opira.

Polpriklopnik je pri tem naslonjen na podporno ploščo, ki omogoča relativne zasuke priklopnika glede na vlečno vozilo okoli navpične in prečne osi. Vlečna sila polpriklopnika se na vlečno vozilo prenaša prek kraljevega čepa, ki je togo pritrjen na šasijo polpriklopnika.

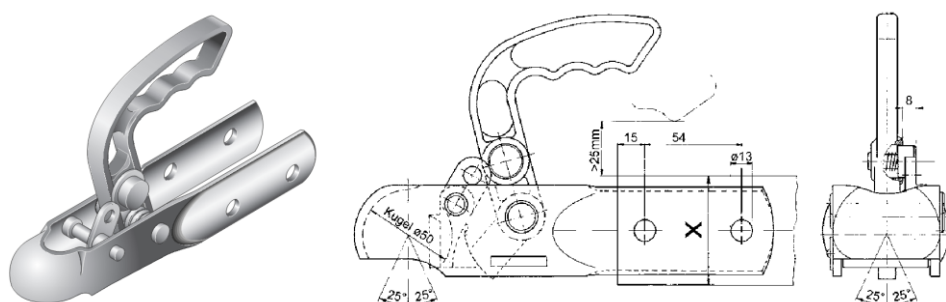
3.6.2. Naprave za spenjanje vozil v skupini

Spenjalna naprava za spenjanje priklopnega vozila z vlečnim vozilom mora zagotavljati prenašanje vseh sil, ki nastopijo pri obratovanju skupine vozil. Poleg tega mora zagotavljati razstavljivost zveze med vozili v skupini in preprečevati, da bi do razstavitve zveze prišlo med obratovanjem. Nekatere izvedbe spenjalnih naprav lahko združujejo tudi druge funkcije (na primer možnosti namestitve ostalih vrst opreme na vozilo, dušenje vibracij ali naletno zaviranje).

Za spenjanje **priklopnikov z vrtljivim ojesom** z vlečnim vozilom se najpogosteje uporabljajo spenjalne naprave, sestavljene iz **vlečne sklopke in vlečnega ušesa** (slika 63). **Lahki in srednje težki priklopniki s centralno osjo** (vozila skupine O1, in O2) so z vlečnim vozilom večinoma spojeni s spenjalno napravo, sestavljeno iz **vlečne krogle in vlečne glave** (slika 64). Težji priklopniki so lahko z vlečnim vozilom spojeni tudi z drugačnimi izvedbami spenjalnih naprav (primera prikazuje slika 65).



Slika 63: Vlečna sklopka in vlečno uho (sliki: © JOST Werke AG)



Slika 64: Vlečna glava za vlečno kroglo (sliki: © JOST Werke AG)



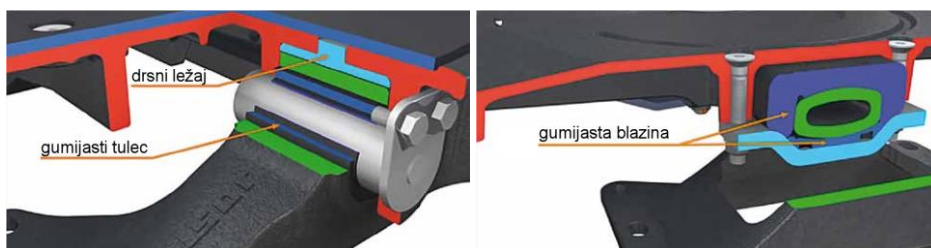
Slika 65: Levo: spenjalna naprava s kavljem, desno: krogelna sklopka za težje priklopnike s centralno osjo (sliki: © JOST Werke AG)

Spenjalna naprava za **polpriklopnike** je sestavljena iz **vlečnega sedla in kraljevega čepa** (slika 66). Vlečno sedlo je nameščeno na šasijsi vlečnega vozila in je sestavljeno iz podporne plošče ter mehanizma za vpenjanje kraljevega čepa. Kraljevi čep je skupaj z drsno ploskvijo nameščen na šasijo polpriklopnika. Standardni dimenziji premera kraljevih čepov sta 50,8 mm (2") in 88,9 mm (3,5").



Slika 66: Vlečno sedlo in kraljevi čep s podporno ploščo (sliki: © JOST Werke AG)

Speta spenjalna naprava za polpriklopnike mora poleg zasuka kraljevega čepa okoli njegove osi zagotavljati tudi nagib podporne plošče okoli prečne osi zaradi spremenljivega kota med vlečnim vozilom in polpriklopnikom pri vožnji po neravnem terenu. Ta zasuk dosežemo z nihajnim vležanjem podporne plošče v prečni smeri z drsnim čepom ali elastičnim elementom (slika 67).



Slika 67: Vležanje vlečnega sedla – levo z drsnim čepom, desno z elastičnim elementom (sliki: © JOST Werke AG)

Primerne elemente spenjalne naprave izberemo glede na naslednje karakteristične vrednosti skupine vozil [17]:

- T [t] ... največja tehnično dovoljena masa vlečnega vozila z vključeno navpično obremenitvijo spenjalne naprave,
- R [t] ... največja tehnično dovoljena masa priklopnika z navpično gibljivim ojesom oziroma polpriklopnika,
- C [t] ... vsota obremenitev na osi polno obremenjenega priklopnika s centralno osjo,
- U [t] ... navpična obremenitev vlečnega sedla,
- S [kg] ... statična oporna obremenitev priklopnika s centralno osjo (del skupne mase, ki v mirovanju navpično obremenjuje spenjalno napravo).

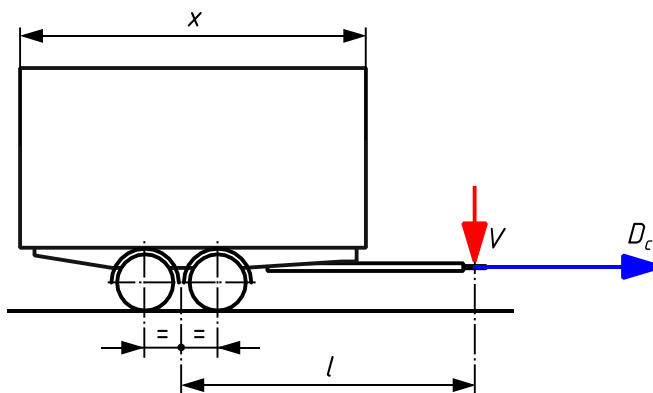
Dimenzije elementov spenjalne naprave določimo glede na teoretično referenčno vlečno silo D oziroma D_c , ki je definirana glede na vrsto priklopnega vozila.

Za priklopnik z vrtljivim ojesom, ki ne prenaša navpične sile, velja:

$$D = g \cdot \frac{T \cdot R}{T + R} \text{ [kN]}. \quad (53)$$

Za priklopnik s centralno osjo velja:

$$D_c = g \cdot \frac{T \cdot C}{T + C} \text{ [kN]}. \quad (54)$$



Slika 68: Geometrija priklopnika s centralno osjo

Pri priklopnikih s centralno osjo (z geometrijo kot na sliki 68) je zaradi njihove vgrajene nestabilnosti okoli prečne osi poleg teoretične referenčne vlečne sile treba preveriti še teoretično amplitudo dinamične navpične obremenitve V :

$$V = a \cdot \frac{x^2}{l^2} \cdot C, \quad (55)$$

kjer je a ekvivalent navpičnega pospeška glede na vgrajeno vrsto vzmetenja ($a = 1,8 \text{ m/s}^2$ za zračno vzmetenje, $a = 2,4 \text{ m/s}^2$ za ostale vrste vzmetenja). Za priklopnike z dolgim vlečnim drogom, ki imajo razmerje $x^2/l^2 < 1$, v enačbi (55) računamo z $x^2/l^2 = 1$.

Za polpriklopnik velja:

$$D = g \cdot \frac{0,6 \cdot T \cdot R}{T + R - U} [\text{kN}]. \quad (56)$$

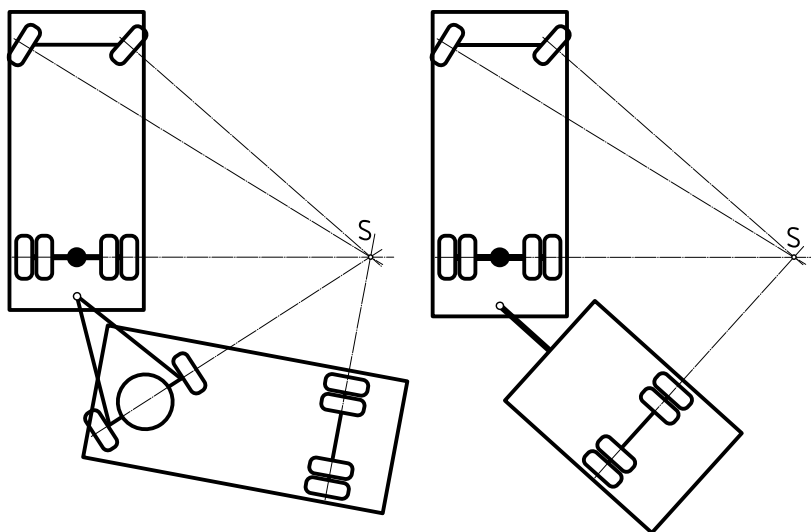
Na podlagi izračunanih vrednosti teoretične referenčne vlečne sile in teoretične amplitude dinamične navpične obremenitve iz kataloga izdelovalca izberemo elementa spenjalne naprave z ustreznima dopustnima vrednostma obeh količin. Slika 69 prikazuje izvleček iz kataloga za vlečne sklopke z navedenimi dopustnimi vrednostmi za različne tipe sklopk in različne primere uporabe.

							
		(mm)	D (kN)	Dc (kN)	S (kg)	V (kN)	(kg)
RO 413 A 36501	135	120 x 55	70	70,0	700	24,0	30,0
RO 413 B 36501	135	120 x 55	70	70,0	500	26,4	30,0
RO 413 A 46501	145	140 x 80	100	91,5	1000	36,0	33,0
RO 413 B 46501	145	140 x 80	100	91,5	1000	36,0	33,0
RO 413 A 51501	150	160 x 100	168	91,5	1000	36,0	35,0
RO 413 B 51501	150	160 x 100	168	91,5	1000	36,0	35,0

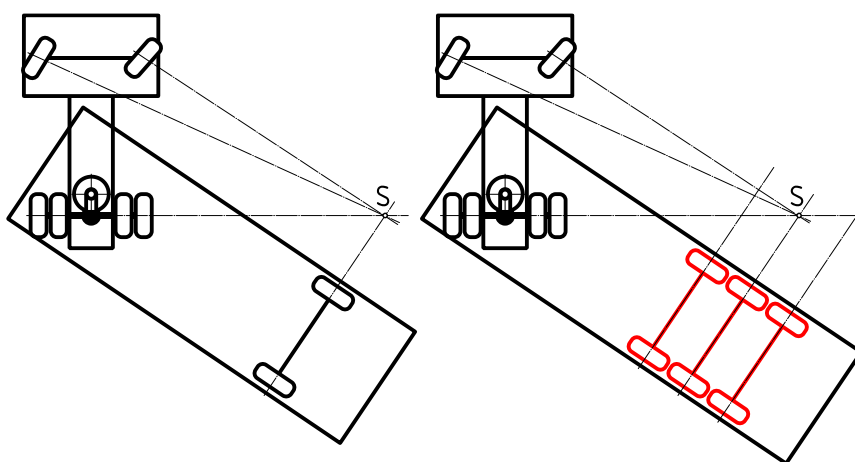
Slika 69: Izvleček iz kataloga za vlečne sklopke (slika: © JOST Werke AG)

3.6.3. Posebnosti pri krmiljenju priklopnikov in polpriklopnikov

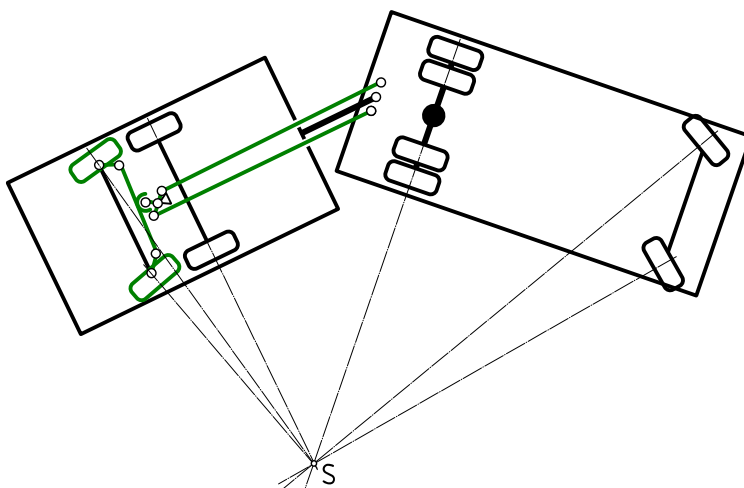
Za krmiljenje priklopnikov in polpriklopnikov veljajo enake ugotovitve kot so v poglavju 3.5.5 opisane za krmiljenje vozil brez priklopnikov. Za izpolnjevanje Ackermannovega pogoja lahko ima v skupini vozil vsako izmed njih največ eno nekrmiljeno premo (sliki 70 in 71). Za zmanjšanje dosegljivih polmerov ovinka ter obremenitev in obrabe koles pri ostrem zavijanju lahko uporabimo dvižne preme ali na vozila vgradimo krmiljene preme. Te so lahko krmiljene pasivno ali aktivno – mehansko ali hidravlično. Na sliki 72 je shematično prikazan način mehanskega prisilnega krmiljenja ene preme priklopnika s centralno osjo, izveden z vzvodovjem. Takšno prisilno krmiljenje je lahko tudi hidravlično z neposredno hidravlično povezavo med spenjalno napravo in krmilnim mehanizmom priklopnika ali z ločenim hidravličnim sistemom na priklopniku, ki je krmiljen z zaznavali na spenjalni napravi.



Slika 70: Krmiljenje priklopnika z vrtljivim ojesom (levo) in priklopnika s centralno osjo (desno)



Slika 71: Krmiljenje enoosnega in triosnega polpriklopnika



Slika 72: Mehansko prisilno krmiljenje dvoosnega priklopnika s centralno osjo

3.7. Varnostni sistemi na gospodarskih vozilih

V primerjavi z osebnimi vozili imajo gospodarska vozila večje mase in pogosto manj učinkovite zavore. Kadar so udeležena v nezgodah, so zato posledice le-teh lahko hude. Zaradi svoje mase in velikih prevoženih razdalj so gospodarska vozila tudi podvržena znatni obrabi, njihovi vozniki pa utrujenosti.

Za preprečevanje nezgod in omilitev njihovih posledic so v moderna gospodarska vozila vgrajeni sistemi aktivne in pasivne varnosti. Med prve sodijo sistemi trajnega zaviranja in sistemi pomoči vozniku v kritičnih prometnih situacijah, med druge pa zaščita voznikov in potnikov (v samem gospodarskem vozilu in v drugih udeleženi vozilih) v primerih trkov.

3.7.1. Sistemi trajnega zaviranja

Drugače kot osebna vozila, za katera predpisi zahtevajo samo vgradnjo delovne in parkirne zavore, morajo imeti težja gospodarska vozila vgrajene tudi sisteme trajnega zaviranja. Ti sistemi delujejo neodvisno od uporabe delovnih zavore, ponavadi brez mehanskega trenja, in za svoje delovanje lahko izkoriščajo energijo pogonskega motorja.

Sistemi trajnega zaviranja se tako delijo na motorne zavore, ki zavorni moment ustvarjajo s povečevanjem tlakov in uporov v samem motorju, in retarderje, ki so dodatni podsklopi, prigradeni v transmisijo vozila, in ustvarjajo zavorni moment s hidrodinamičnimi ali elektromagnetnimi silami med svojima rotorjem in statorjem.

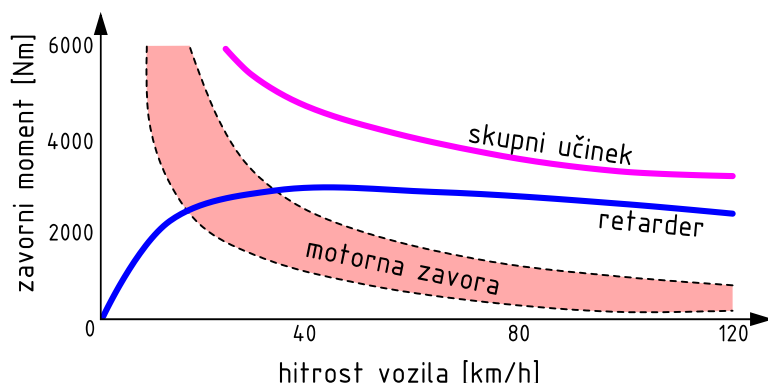
Motorne zavore so lahko izvedene na različne načine. Najenostavnejši način je prekinitev dovoda goriva in zapiranje sesalnih kanalov z loputo, kar povzroči, da se motorju dovedeno delo porablja za ekspanzijo in vrtnčenje zraka v valjih motorja. Drugi način je uporaba zavore na zastojni tlak, kjer z loputo zapremo

izpuh motorja, s čimer ob hkratni prekinitvi dovoda goriva izkoristimo motorju dovedeno delo za stiskanje plina. Učinek takšne zavore lahko še povečamo, če po koncu stiskanja plin spustimo iz valja in s tem preprečimo, da bi ob ponovni ekspanziji oddal delo. Plin lahko iz valja spuščamo tudi že med samim stiskanjem. V tem primeru je potreben ločeno krmiljen dušilni ventil, takšna izvedba zavore pa se imenuje motorna zavora s konstantnim dušenjem. Pri motorjih s turbo polnilnikom lahko za ustvarjanje zavornega momenta uporabimo tudi tlak na izhodu iz turbo polnilnika, tako da izhod le-tega zapremo in se motorju dovedeno delo porablja za zviševanje tlaka. Posamezne načine motornega zaviranja lahko za dodatno povečanje zavornega učinka med seboj tudi kombiniramo.

Retarderji so naprave, ki so vgrajene v transmisijo vozila in nadzorovano zagotavljajo zavorni moment med svojimi mirujočimi in vrtečimi se deli. Glede na način zagotavljanja zavornega momenta ločimo hidrodinamične retarderje in elektromagnetne retarderje (imenovane tudi zavore na vrtnični tok). V **hidrodinamičnih retarderjih** za ustvarjanje obodne sile izkoriščamo hidrodinamične sile toka tekočine (ponavadi olja) med lopaticami rotorja in statorja. Velikost teh sil uravnavamo s spreminjanjem količine tekočine med rotorjem in statorjem retarderja. V retarderju se kinetična energija pretvori v toploto, ki jo je treba odvesti v okolico prek dodatnih izmenjevalnikov toplote ali ločenih hladilnikov olja. V **elektromagnetnih retarderjih** oziroma zavorah na vrtnični tok zavorni moment ustvarimo z elektromagnetno silo, ki je posledica gibanja magnetnega materiala (ponavadi nameščenega na rotorju) v polju tuljav (ponavadi nameščenih na stator). Velikost sile uravnavamo s spreminjanjem toka skozi tuljave. Tudi v elektromagnetnih retarderjih se kinetična energija pretvarja neposredno v toploto, zato tudi ti potrebujejo ločeno hlajenje. Ker ne potrebujejo dodatnih agregatov (črpalke, rezervoarja za tekočino), so elektromagnetni retarderji primerni tudi za vgradnjo na preme priklopnikov in polpriklopnikov. Glede na to, kje je retarder vgrajen, ločimo **primarne** in **sekundarne** retarderje. Primarni retarderji so v transmisiji vgrajeni pred menjalnikom, neposredno na glavno gred motorja, in je zato njihov učinek odvisen od vrtilne hitrosti motorja in izbranega prestavnega razmerja v menjalniku. Sekundarni retarderji so vgrajeni v transmisiji za menjalnikom (ponavadi na izstopno gred menjalnika ali na kardansko gred) in je zato njihov učinek odvisen samo od hitrosti vozila. Obe vrsti retarderjev sta lahko nameščeni na dva različna načina: neposredno na eno izmed gredi v transmisiji – v tem primeru gre za **zaporedni** (angleško *in-line*) retarder ali prek dodatnega gonila vzporedno s transmisijo – v tem primeru gre za **vzporedni** (angleško *off-line*) retarder.

Sistemi trajnega zaviranja so najučinkovitejši, kadar se motorna zavora in retarder uporabljata skupaj. Pri tem se učinki dopolnjujejo kot prikazuje slika 73. Krmiljenje sistemov trajnega zaviranja je lahko popolnoma ločeno od krmiljenja delovnih zavor (na primer neodvisno krmiljenje retarderja z ročico ob volanu), lahko pa je integrirano v enovito krmiljenje zaviranja (na primer

aktiviranje retarderja s pedalom delovne zavore ob blažjih zaviranjih in delovne zavore ob močnejših).



Slika 73: Skupni učinek motorne zavore in retarderja (povzeto po [15])

3.7.2. Elektronska pomagala

Zaradi večjih mas, kompleksnejše konstrukcije (več koles, priklopnik, ...) in mnogokrat neugodne lege težišča predstavlja upravljanje gospodarskih vozil v primerjavi z upravljanjem osebnih vozil za voznika večji izziv. Zaradi navedenega, pa tudi zaradi gospodarskih in družbenih posledic, ki jih imajo nezgode z udeleženi gospodarskimi vozili, je smiselno vanje vgraditi sisteme za pomoč vozniku. Njihov osnovni namen je podpora vozniku pri varnem in učinkovitem upravljanju vozila, v skrajnem primeru pa tudi popravljanje njegovih napak in preprečevanje nezgod.

Sistemi za pomoč vozniku izkoriščajo usklajeno elektronsko krmiljenje različnih sistemov na vozilu za izboljšanje voznih lastnosti vozila. Nekateri izmed pogosto uporabljenih sistemov so:

Protiblokirni zavorni sistemi (angleško *Anti-Lock Brake System*, nemško *Automatischer Blockierverhinderer – ABV*), ki skrbijo, da ob zaviranju v sili ne pride do blokiranja zaviranih koles. S tem po eni strani dosežejo zaviranje v področju vzdolžnega zdrsa, ki omogoča največje trenje, po drugi strani pa omogočajo prenašanje bočnih sil na kolesa med zaviranjem in s tem stalno smerno vodljivost vozila. V sodobnih vozilih ti sistemi delujejo v povezavi s sistemi za nadzor stabilnosti in sistemi za samodejno zaviranje.

Sistemi za nadzor speljevanja (angleško *Traction Control – TC*), ki skrbijo za optimalen prenos pogonskega momenta s koles na vozno ploskev. Z zaznavanjem zdrsa pogonskih koles in ustreznim zaviranjem tistih, ki drsijo, prenašajo pogonski moment na kolesa z večjim vprijetjem in tako zagotovijo zanesljivo speljevanje. Ti sistemi so večinoma vgrajeni v vozila, ki obratujejo zunaj utrjenih cest (na primer v gradbiščne tovornjake, avtodvigala in terenska vozila).

Sistemi za elektronski nadzor smerne in vzdolžne stabilnosti (angleško *Electronic Stability Program – ESP, Dynamic Stability Program – DSP, Roll-over Prevention – ROP, Roll Stability Program – RSP*), ki z nadziranjem zavorne sile na posameznih kolesih (pri skupini vozil na vseh vozilih) preprečujejo blokiranje posameznih koles in s tem zagotavljajo stabilnost vozila okoli navpične in vzdolžne osi. Pri skupinah vozil takšni sistemi preprečujejo tudi neželjeno relativno gibanje vlečnega in priklopnega vozila (na primer "zapiranje" pol-priklopnika, prevelike zasuke vrtljivega ojesa priklopnika ali nihanja priklopnikov s centralno osjo).

Sistem za stalni nadzor dušenja (angleško *Continuous Damping Control – CDC*), ki preprečuje pretirano nagibanje vozila s tem, da sproti ločeno uravnava dušilne karakteristike posameznih zračnih vzmeti. S tem lahko v kritičnih situacijah prepreči prevračanje vozila.

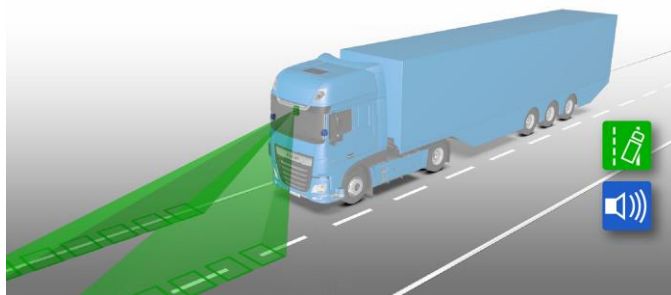
Sistemi samodejnega zaviranja v sili (angleško *Active Brake Assist, Emergency Brake Assist – EBA*), ki so namenjeni preprečevanju trkov v nepričakovane ovire, ki se pojavijo pred vozilom oziroma lažšanju posledic, če do trka vseeno pride. Odvisno od vrste sistema le-ta voznika na nevarnost najprej opozori, nato pa mu pomaga pri zaviranju tako, da ojači njegovo zavorno silo do polnega učinka zaviranja.



*Slika 74: Delovanje sistema samodejnega zaviranja v sili
(slika: © MAN Truck & Bus AG)*

Prilagodljivi tempomati (angleško *Adaptive Cruise Control – ACC*), ki s pomočjo zaznavanja razdalje do vozil, ki vozijo pred vozilom, v katerega so vgrajeni, z upravljanjem motorne krmilne enote prilagajajo hitrost in s tem vzdržujejo stalno razdaljo med vozili v koloni. Nekateri sistemi vključujejo tudi upravljanje menjalnika (angleško *Predictive Shifting*) in zavor. Pri dolgih vožnjah po ravnih cestah izven mest takšen sistem bistveno zmanjša obremenitev voznika in s tem prispeva k večji prometni varnosti. Prilagodljivi tempomati so lahko nadgrajeni s sistemi (angleško *Predictive Cruise Control – PCC*), ki na podlagi informacij iz sistemov za zajemanje geolokacije (sistemi za globalno pozicioniranje) in iz podatkovnih baz o cestah pri prilagajanju hitrosti upoštevajo tudi informacije o nadaljnjem poteku ceste.

Sistemi za opozarjanje na zapuščanje voznega pasu (angleško *Lane Guard System – LGS*), ki s pomočjo zaznavanja talnih oznak na vozišču (slika 75) opozarjajo voznika na vožnjo preblizu roba voznega pasu. Podobno kot prilagodljivi tempomati tudi takšni sistemi zmanjšujejo škodljive vplive monotone vožnje na voznika in s tem prispevajo k izboljšanju varnosti.



*Slika 75: Delovanje sistema za opozarjanje na zapuščanje voznega pasu
(slika: © DAF Truck N.V.)*

3.7.3. Sistemi pasivne varnosti

Podobno kot sodobna osebna vozila imajo tudi sodobna gospodarska vozila vgrajene sisteme za varovanje voznika in potnikov. Ti sistemi vključujejo prilagojene izvedbe karoserijskih ojačitev (slika 76) in zadrževalnih naprav, predvsem varnostnih pasov in zračnih blazin.



Slika 76: Strukturni elementi kabine tovornega vozila (slika: © Scania CV AB)

Ostali sistemi pasivne varnosti na gospodarskih vozilih so vgrajeni na njihove šasije oziroma karoserije in so večinoma namenjeni zaščiti ostalih udeležencev

v prometu v primerih trkov. Zaradi konstrukcije gospodarskih vozil, katerih šasije so večinoma višje od tal, se lahko v primeru trkov z osebnimi vozili le-ta zagodijo pod šasijo. Pri takšnem trku deformacijske cone osebnih vozil ne opravijo svoje naloge, obremenitve pa prevzamejo deli karoserije (streha in njeni stebrički), ki temu niso namenjeni. Posledice so zato za potnike v osebni vozilu lahko zelo hude. Za preprečevanje zagoditve nižjih vozil pod šasije gospodarskih vozil morajo zato ta imeti vgrajeno predpisano zaščito. Ta mora biti nameščena na sprednjem in zadnjem delu ter na bokih vsakega tovornega motornega in priklopnega vozila. Osnovne tehnične zahteve za elemente zaščite predpisujejo ECE predpisi [18, 19, 20] (ECE R 93 za zaščito na sprednjem delu, ECE R 58 za zaščito na zadnjem delu in ECE R 73 za bočno zaščito).



Slika 77: Bočna zaščita na tovornem vozilu (slika: © MAN Truck & Bus AG)

3.8. Tehtanje cestnih vozil

3.8.1. Namen in pravna podlaga

Tehnično pogojene osne obremenitve gospodarskih (predvsem tovornih) vozil so lahko 10- in večkrat večje od tistih pri osebnih vozilih. Kljub zakonskim omejitvam, ki so prikazane v tabeli 4, polno obremenjena težka tovorna vozila povzročajo na voziščnih konstrukcijah deformacije zgornje plasti in s tem njihove poškodbe. Te se kažejo kot obraba, razpoke, vdolbine ali vzdolžni žlebovi zaradi trajnih deformacij vozišča (slika 78) in lahko bistveno zmanjšujejo varnost prometa na tako poškodovanih voziščih.

Vpliv osne obremenitve vozil na poškodbe vozišča v Sloveniji opisuje predpis TSC 06.511[21], ki faktor ekvivalentnosti osne obremenitve vozila FE_v definira kot

$$FE_v = 10^{-8} \cdot \sum_{i=1}^{N_{osi}} f_o \cdot (f_k \cdot A_i)^4, \quad (57)$$

kjer N_{osi} predstavlja število osi vozila, A_i obremenitev posamezne osi, faktorja f_o (1 za enojno premo, 0,0953 za tandemsko premo in 0,0301 za trojno premo) ter f_k (1 za tandem kolo, 1,2 za široko enojno kolo in 1,3 za enojno kolo) pa popisujeta vpliv konstrukcije prem in koles.

Zaradi naraščanja ekvivalentne obremenitve vozila s četrto potenco osne obremenitve je vpliv preobremenitve pri težjih vozilih bistveno večji kot pri lažjih. Za primerjavo: prema tovornega vozila z osno obremenitvijo 80 kN poškoduje vozišče skoraj 3000-krat bolj kot prema povprečnega osebnega vozila z osno obremenitvijo 9 kN.

Pri projektiranju vozišč se poleg ekvivalentne obremenitve kot vhodni podatek upošteva tudi predvideno število vozil posameznih kategorij na časovno enoto (ponavadi izražen kot povprečni dnevni letni promet - PLDP), zato je pomembno, da ta parameter pri kasnejši uporabi vozišča ni presežen. Pri preprečevanju preobremenjevanja vozišč ima glavno vlogo tehtanje vozil. Tehtanje na javnih cestah v Sloveniji izvaja policija v sodelovanju s ponudniki storitev tehtanja.

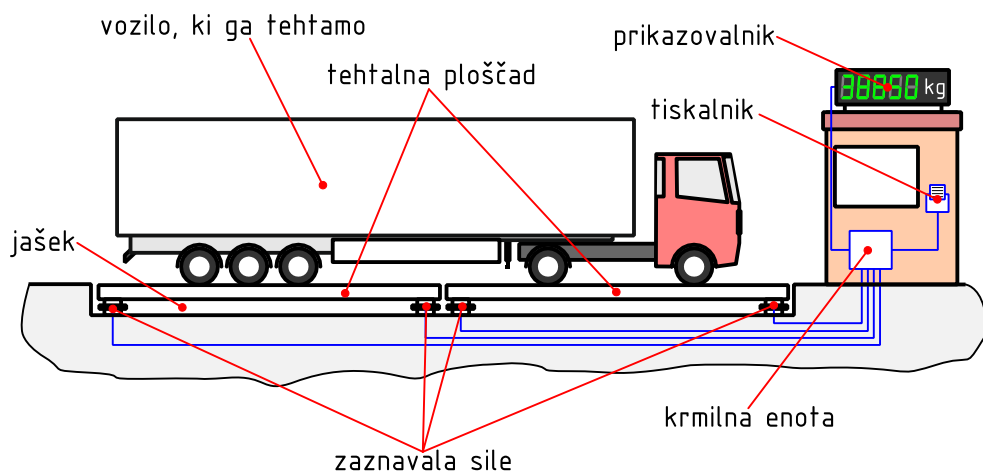


Slika 78: Poškodbe vozišča zaradi pretežkih vozil (levo razpoka, desno vdolbina)

3.8.2. Tehtalne postaje

Tehtalne postaje, imenovane tudi stacionarne tehtnice, so vgrajene na mestih na ali ob voziščih, kjer se izvaja stalno preverjanje mase ali osnih obremenitev vozil. Takšna mesta so lahko na dovoznih cestah v proizvodne obrate, kjer s tehtanjem prihajajočih in odhajajočih vozil nadzirajo pretok materiala, lahko pa so tudi ob javnih cestah, kjer nadzirajo mase in osne obremenitve vozil v rednem prometnem toku. Prednost takšnih naprav je njihova visoka natančnost in ponovljivost meritev, manj ugodno pa je, da morajo vozila, predvidena za tehtanje, opraviti dodatno pot do mesta tehtanja. Poleg tega so takšne naprave mnogokrat zasnovane samo za tehtanje skupne mase vozil ne pa tudi za tehtanje osnih obremenitev posameznih osi.

Tehtalne postaje so izdelane kot ploščadi, vgrajene v poglobljeni jašek v vozni ploskvi tako, da lahko vozila nanje zapeljejo z vsemi svojimi kolesi. Ploščadi so opremljene z zaznavali sile, ki izmerijo vsoto sil, s katerimi vozilo obremenjuje podlago (slika 79). Krmilna enota poskrbi za ustrezno pretvorbo signalov z zaznaval, programska oprema pa za prikaz rezultata na prikazovalniku ali v obliki natisnjenega potrdila in je lahko povezana tudi z napravami za krmiljenje proizvodnih procesov.



Slika 79: Shematični prikaz tehtalne postaje

3.8.3. Prenosne tehtnice

Prenosne tehtnice so namenjene prenašanju na različna mesta tehtanja ob cestnem omrežju. S takšnim pristopom lahko delno odpravimo potrebe po opravljanju dodatnih poti zaradi voženj na tehtalne postaje, poleg tega pa z ustrezno obliko prenosnih tehtnic lahko zagotovimo tehtanje osnih obremenitev posameznih osi vozil. Zaradi pogostega prenašanja in uporabe na različnih podlagah so prenosne tehtnice v primerjavi s tehtalnimi postajami podvržene večjim vplivom na točnost in ponovljivost meritev in zahtevajo redno preverjanje in kalibracijo.



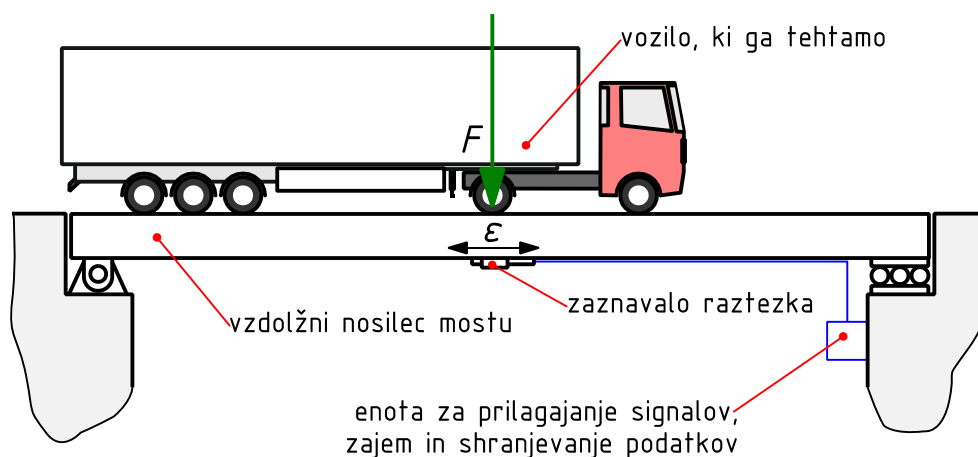
Slika 80: Tehtanje osne obremenitve vozila na prenosni tehtnici

Prenosne tehtnice so izdelane v obliki plošč z vgrajenimi zaznavali sile. Postavimo jih pod kolesa vozil, ki jih želimo stehtati. Pri tem z ustrezno podložno preprogo poskrbimo, da celotno vozilo pri tehtanju stoji na ravni podlagi. Na ta način dobimo osne obremenitve posameznih osi, njihova vsota pa predstavlja skupno maso vozila. Takšno postavitve prenosne tehtnice prikazuje slika 80. Programska oprema prenosnih tehtnic omogoča trenutni prikaz posameznih obremenitev, izračun skupne mase ter izdajo predpisanih potrdil o tehtanju.

3.8.4. Sistemi za tehtanje med vožnjo (WiM)

Zaradi slabosti klasičnih sistemov za tehtanje, zaradi katerih je možno stehtati samo majhen del vozil v prostem prometnem toku na javnih cestah, so se v sedemdesetih letih 20. stoletja začeli pojavljati sistemi za tehtanje vozil med vožnjo (*WiM - Weighing-in-Motion*), vgrajeni v samo vozišče. Takšni sistemi se delijo na sisteme, vgrajene neposredno v voziščno konstrukcijo in na sisteme BWiM (angleško *Bridge Weighing-in-Motion*), ki kot deformabilni nosilec uporabljajo obstoječi premostitveni objekt.

Kot učinkovitejši in natančnejši so se izkazali sistemi BWiM (slika 81), ki z ustreznimi zaznavali (slika 82) zaznavajo deformacije vzdolžnih nosilcev mostov in jih ob ustrezni kalibraciji pretvorijo v osne obremenitve. BWiM sistemi zadnje generacije so sposobni zaznavati osne obremenitve z manj kot 5% merilnim pogreškom.



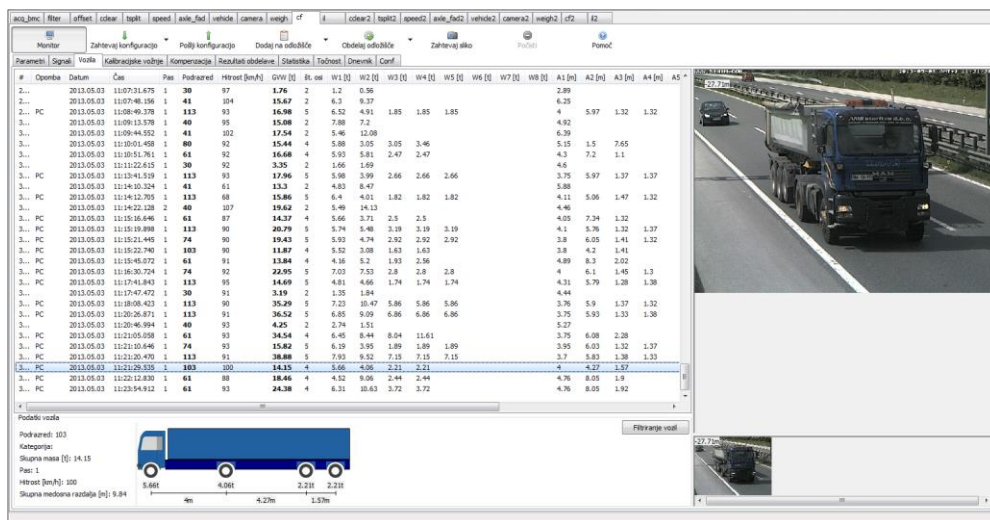
Slika 81: Shematični prikaz naprave za tehtanje med vožnjo na mostu

Sistemi za tehtanje med vožnjo lahko delujejo pri zmanjšanih hitrostih do 20 km/h (angleško *Low-speed WiM*) ali pri normalnih hitrostih prometa (angleško *High-speed WiM*). Posledica tehtanja pri večjih hitrostih je manjša natančnost zaradi dinamičnih vplivov (voznih uporov, pospeševanja in zaviranja itd.) na osne obremenitve.



*Slika 82: Namestitev zaznaval na spodnji strani nosilca mostu
(slika: © Cestel/SiWIM)*

Sodobni sistemi za tehtanje med vožnjo lahko združujejo sisteme za štetje prometa (na primer induktivne zanke števec) ter sisteme za zajem slike in samodejno prepoznavanje registrskih tablic. Tako so uporabni za zbiranje podatkov za vodenje prometnih statistik in za zaznavanje preobremenjenih vozil, ki zahtevajo napotitev na statično tehtanje. Slika 83 prikazuje zaslonski posnetek programske opreme za sprotno spremljanje vozil na merilnem mestu.



Slika 83: Spremljanje vozil na merilnem mestu (slika: © Cestel/SiWIM)

3.8.5. Sistemi za tehtanje na vozilih

Dodatno možnost tehtanja vozil oziroma merjenja njihovih osnih obremenitev predstavlja tudi tehtanje na samem vozilu s pomočjo vgrajenih tlačnih doz ali prek zaznavanja tlaka v mehovih zračnega vzmetenja. Takšni sistemi so vgrajeni v vozila, kjer so obremenitve pomembne bodisi zaradi nadzora preobremenjenosti ali zaradi nadzora mase tovora (na primer pri gradbiščnih ali rudniških tovornjakih). Tehtalni sistem vozniku sporoči maso vozila, obremenitev posamezne osi ali vlečnega sedla na prikazovalniku v kabini. Takšni sistemi predstavljajo dodatno kontrolo in so lahko ob ustrezni kalibraciji zelo natančni. Večinoma (razen na nekaterih delovnih strojih) niso odobreni kot zakonsko določeni sistemi za ugotavljanje obremenitev.

3.9. Tranzitni prevozi

Za poenostavitev postopkov pri prehajanju državnih meja in s tem opravljanjem dolgotrajnih carinskih postopkov je bil leta 1975 sprejet carinski dogovor ("TIR konvencija") o mednarodnem prevozu blaga urejenega s TIR zvezki (angleško *The Customs Convention on the International Transport of Goods under Cover of TIR Carnets*). Dogovor predvideva prevoz blaga v zapečatenem tovornem

prostoru vozila (ali drugem vsebniku), pri katerem se ob prehodu državnih mej opravi samo kontrola pečatov in evidentiranje prehoda. Pečatenje je izvedeno s predpisanimi sredstvi ("TIR vrvica"). Na ta način je zagotovljeno, da se vsebina tovora med prevozom ne spreminja. Carinski postopek se nato izvede samo v državi izvora in v ciljni državi.

Čeprav je "TIR konvencija" v Evropi s povezovanjem držav v skupno carinsko območje nekoliko izgubila na pomenu, pa še vedno velja za enega najpomembnejših in najuspešnejših dogovorov na področju logistike prometa. Geografsko pokriva celotno Evropo, srednjo Azijo, bližnji vzhod in severno Afriko. Pri tem združuje 71 držav podpisnic s 33.000 izvajalci, ki letno opravijo okoli 1,5 milijona prevozov. Dogovor dovoljuje tudi intermodalne prevoze, kadar so le-ti vsaj delno opravljeni po cesti. Podrobno prevoze in postopke v skladu s "TIR konvencijo" opisuje priročnik *TIR Handbook* [22].

3.10. Nadzorovanje in upravljanje cestnega prometa

3.10.1. Tahografi

Sodobni trgi logističnim podjetjem narekujejo čim višjo izkoriščenost vozil, kar v praksi pomeni njihovo nenehno obratovanje in s tem ustvarjanje zaslužka iz opravljenih prevoznih storitev. Te zahteve se prenašajo tudi na voznike gospodarskih vozil. Zbranost voznikov med vožnjo omogoča ustrezno reagiranje na prometne situacije in je potreben pogoj za zagotavljanje prometne varnosti, še posebej pri gospodarskih vozilih, kjer v primeru prometne nezgode lahko nastanejo hujše posledice. Zbranost voznikov gospodarskih vozil je možno zagotoviti z ustreznim počitkom med posameznimi deli voženj. Zaradi nasprotujočih si zahtev po stalnem obratovanju vozil in zagotavljanju ustreznega počitka voznikov so dovoljeni časi voženj in zahtevani časi počitka voznikov zakonsko regulirani. V državah ES uskladitev nacionalne zakonodaje na tem področju predpisuje uredba [23].

Za preverjanje upoštevanja zakonsko predpisanih časov vožnje in počitka morajo biti zagotovljena tehnična sredstva in metode. Za nova gospodarska vozila, ki presegajo največjo dovoljeno maso 3,5 t ali omogočajo prevoz več kot devetih oseb skupaj z voznikom, je od 1. maja 2006 z uredbo [24] predpisana vgradnja digitalnega tahografa.

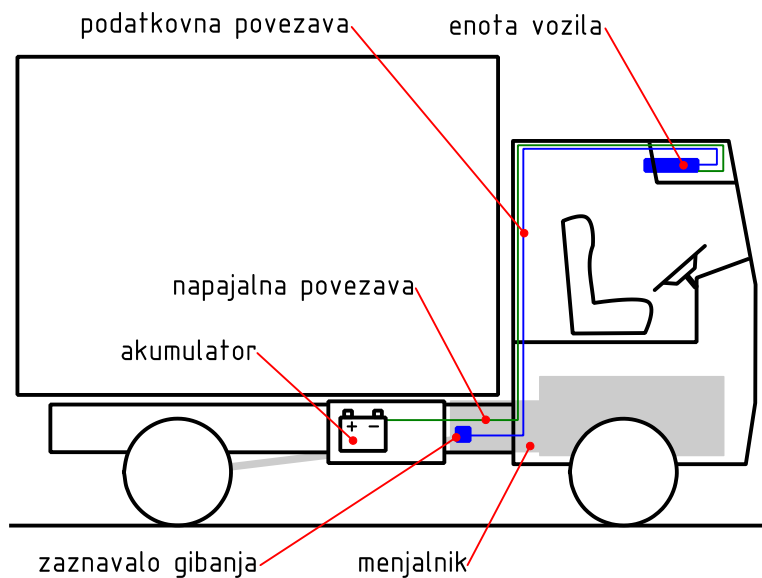
Tahograf je naprava, ki omogoča avtomatsko ali polavtomatsko prikazovanje, zapisovanje, shranjevanje in izpis podatkov o gibanju vozila, v katero je vgrajena. Ti podatki obsegajo najmanj čas, trenutno hitrost, prevoženo razdaljo in dejavnost enega ali dveh voznikov (tabela 7), pri digitalnih tahografih pa še podatke o identiteti voznikov, geolokacijo in dogodke v zvezi s servisiranjem tahografa.

Tabela 7: Simboli za dejavnost voznika na tahografu

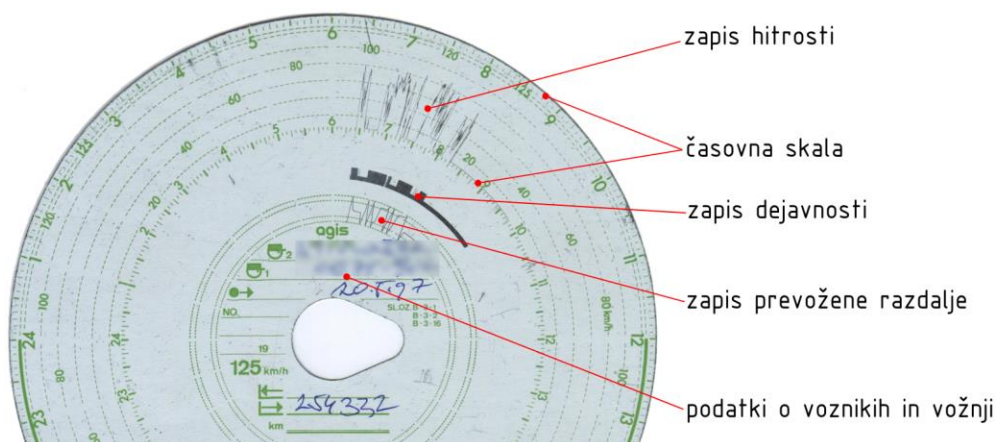
piktogram	matrični simbol	pomen
		vožnja
		drugo delo
		pripravljenost
		počitek

Digitalni tahograf je sestavljen iz enote vozila, zaznavala gibanja in ene ali več tahografskih kartic, ki omogočajo identifikacijo vloge posameznega uporabnika. Enota vozila združuje naprave za zajemanje, shranjevanje in izpis podatkov, zaznavalo gibanja pa daje signal, sorazmeren kinematičnim količinam gibanja vozila in je nameščeno na odgonski gredi menjalnika vozila ali na drugem delu transmisije vozila, katerega vrtilna hitrost je sorazmerna vrtilni hitrosti koles. Namestitev digitalnega tahografa v vozilo shematično prikazuje slika 84.

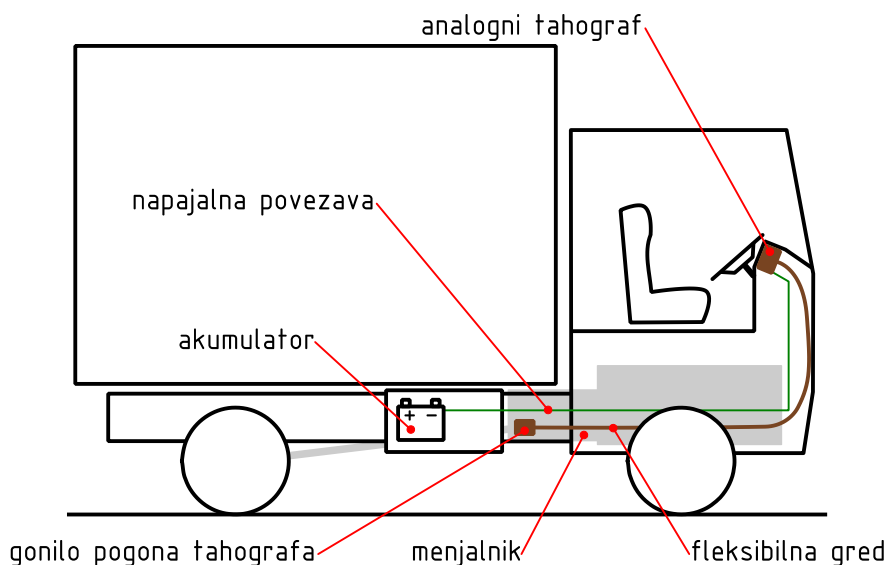
Pred uvedbo digitalnih tahografov je bila zakonsko predpisana vgradnja analognih tahografov, ki so podatke zapisovali z mehansko napravo na papirnate tahografske vložke (slika 85). Novejše izvedbe analognih tahografov uporabljajo elektromehanske aktuatorje za premikanje igel za zapisovanje, starejše izvedbe pa so popolnoma mehanske in gnane prek fleksibilnih gredi neposredno iz menjalnika vozila. Razen pri najstarejših izvedbah z mehanskimi urami je mehanizem za merjenje časa pri analognih tahografih gnan električno. Namestitev analognega tahografa v vozilo shematično prikazuje slika 86. Uporaba analognih tahografov je še vedno dovoljena v vozilih, ki so bila prvič dana v uporabo pred nastopom veljavnosti odredbe [24].



Slika 84: Shematični prikaz namestitve digitalnega tahografa v vozilo



Slika 85: Primer tahografskega vložka za analogni tahograf



Slika 86: Shematični prikaz namestitve analognega tahografa v vozilo

Vsi tahografi, vgrajeni v vozila za uporabo na področju ES, morajo biti homologirani v eni izmed držav članic ES. Vgradijo in servisirajo jih lahko le serviserji ali izdelovalci vozil, ki imajo ustrezna pooblastila pristojnih organov države članice ES. Pri vgradnji mora biti tahograf zapečaten, kar preprečuje nepooblaščen spreminjanje njegovih parametrov delovanja.

TAHOGRAPH d.o.o.	
pooblaščen servis merilne opreme	
Petrčeva ulica 9, SI-4270 Jesenice	
ID: 18529	
Datum:	28.10.2017
VIN:	YV2B8BDB88B200000
Tah. ser.:	288968
Dim. pn.:	315/80R22.5
w =	4788 imp/km
k =	4788 imp/km
l =	3360 mm
v _{max} =	90.0 km/h

k= 4788 imp/km

Slika 87: Napisna ploščica s podatki o tahografu (levo) in nalepka s kalibracijsko konstanto (desno)

Vsako vozilo z vgrajenim tahografom mora biti ob vgradnji ali servisiranju opremljeno z neodstranljivo napisno ploščico (slika 87 levo), ki vsebuje podatke o kalibraciji tahografa (datum, identifikacijsko številko vozila, serijsko številko tahografa, dimenzijo pnevmatik, kalibracijski konstanti zaznavala in vozila, obseg pnevmatik ter največjo hitrost). Sam tahograf mora biti ob kalibraciji opremljen z nalepko s kalibracijsko konstanto (slika 87 desno). Za zagotavljanje pravilnega delovanja morajo biti tahografi periodično pregledani na pooblaščenih servisih.

3.10.2. Sistemi za nadzor flote

V želji po optimizaciji poslovanja prevoznih podjetij so se razvili sistemi, ki združujejo naprave za zbiranje različnih podatkov o vozilih, ki sestavljajo floto. Ti podatki so lahko na voljo sproti. Shranjujejo se lahko na samem vozilu ali pa se sproti prenašajo na skupno mesto za shranjevanje na povezanem računalniškem strežniku, od koder so dostopni prek omrežja. Skupine tako zajetih podatkov lahko vsebujejo:

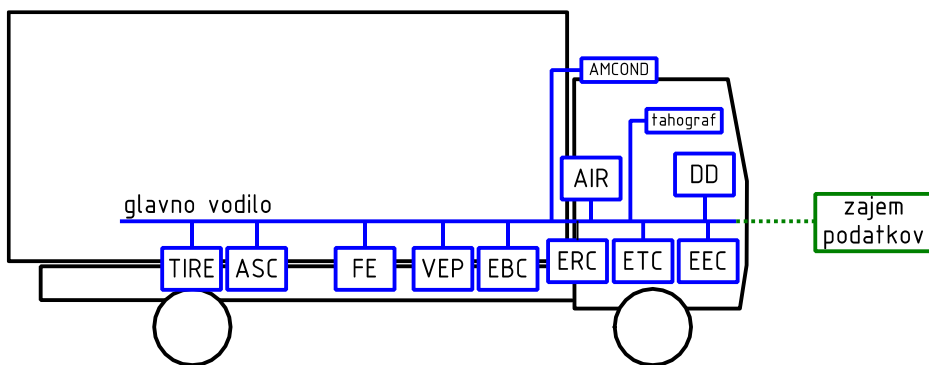
- geografsko lokacijo posameznega vozila,
- podatke o delovanju sistemov na vozilu,
- podatke o stanju tovora in o razmerah v tovornem prostoru,
- podatke o obnašanju voznikov,
- podatke o vozni dinamiki določen čas pred trkom vozila.

Za določevanje **geografskih lokacij** vozil so uporabljene naprave za globalno pozicioniranje z uporabo javnih storitev (GPS, GLONASS, Galileo itd.). V vozila vgrajeni sprejemniki za globalno pozicioniranje lahko služijo samo sledenju in shranjevanju podatkov o geolokaciji vozila, lahko pa so isti ali ločeni sprejemniki povezani tudi z navigacijskim sistemom v vozilu, ki pomaga vozniku pri načrtovanju in sledenju poti (podrobneje o tem v poglavju 8.1.4).

Za zbiranje **podatkov o delovanju vozil** so uporabljeni sistemi za shranjevanje komunikacije med elektronskimi sistemi vozila. Takšni sistemi se imenujejo tudi sistemi za telematiko. Prvi neformalni dogovor med pomembnejšimi izdelovalci gospodarskih vozil o poenotenju naprav za telematiko in nadzor flote je nastal leta 2002⁶. Pri sodobnih vozilih je takšna komunikacija standardizirana in poteka po protokolu SAE J1939 (električne lastnosti in obliko signalov pri tem predpisuje standard ISO 11898 [25]). Ta protokol predvideva povezavo posameznih elektronskih sistemov na vozilu z glavnim vodilom, ki kot nizkonivojski protokol za prenos podatkov uporablja vodilo CAN (angleško *Controller Area Network*).

⁶ Dogovor o poenotenju vmesnika *Fleet Management Systems Interface (FMS-Standard)* so leta 2002 skupaj sprejeli Daimler, MAN, Scania, Volvo/Renault, DAF in Iveco. Trenutno veljavna različica je FMS 04 iz leta 2017.

Slika 88 shematično prikazuje primer tako povezanih sistemov na gospodarskem vozilu. Kratice, navedene na posameznih elektronskih sistemih, so pojasnjene v tabelah 8, 9 in 10.



Slika 88: Povezava elektronskih sistemov vozila z glavnim vodilom

Po protokolu SAE J1939 se sporočila med enotami na glavnem vodilu prenašajo v obliki CAN sporočil, ki poleg 29 identifikacijskih bitov vsebujejo do 8 bytov (64 bitov) uporabne informacije. Slika 89 prikazuje primer strukture takšnega sporočila.

Pomembnejše skupine sporočil s podatki, ki jih vsebujejo, so zbrane v tabelah 8, 9 in 10. Na 8 bytih v vsakem sporočilu so posamezne količine lahko zapisane na dva različna načina:

- Kot niz bitnih vrednosti za identifikacijo stanj naprav, ki lahko zavzemajo le dve vrednosti (vklop/izklop), na primer stikalo zavorne luči, indikator odprtih vrat, indikator vklopa tempomata itd. V tem primeru protokol SAE J1939 podaja mesto in število uporabljenih bitov posameznega byta ter njihov pomen.
- Kot računsko vrednost, zapisana na enem ali več bytih. V tem primeru protokol SAE J1939 podaja multiplikator Mp in premik ničlišča Of za izračun vrednosti parametra VP iz vrednosti posameznih bytov B_i :

- vrednost parametra, zapisana na enem bytu:

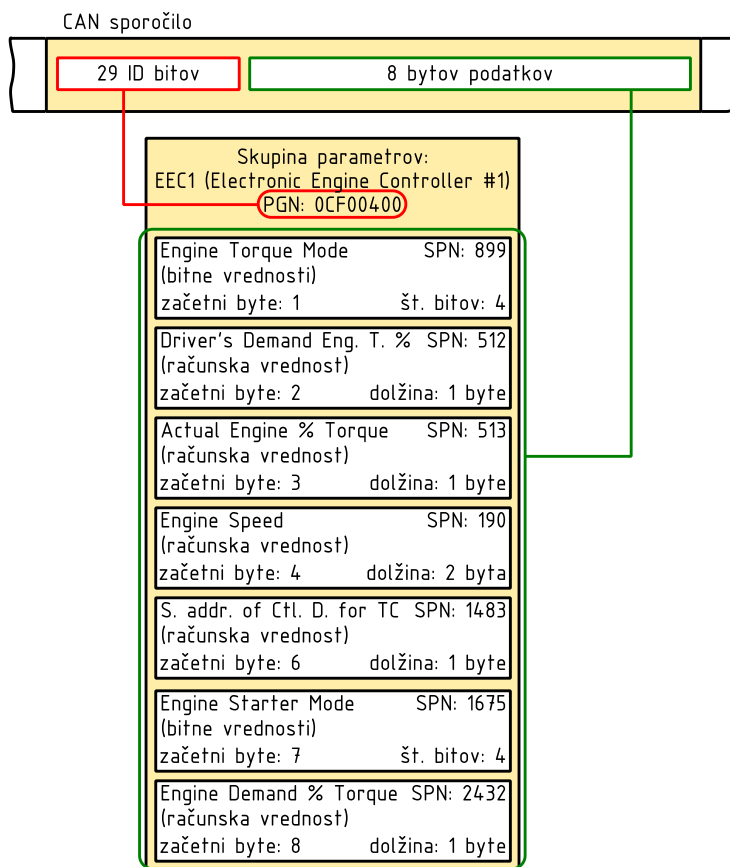
$$VP_1 = B_i \cdot Mp + Of, \quad (58)$$

- vrednost parametra, zapisana na dveh bytih:

$$VP_2 = (2^8 \cdot B_{i+1} + B_i) \cdot Mp + Of, \quad (59)$$

- vrednost parametra, zapisana na štirih bytih:

$$VP_4 = (2^{24} \cdot B_{i+3} + 2^{16} \cdot B_{i+2} + 2^8 \cdot B_{i+1} + B_i) \cdot Mp + Of. \quad (60)$$



Slika 89: Primer strukture CAN sporočila po protokolu SAE J1939 (skupina EEC1 - krmilna enota motorja)

Podatki o delovanju sistemov na vozilu so lahko dopolnjeni s **podatki o parametrih tovornega prostora** (temperatura, stanje hladilnega sistema, stanje vrat tovornega prostora itd.) in se lahko prenašajo skupaj s podatki o delovanju ostalih sistemov na vozilu po enakem vmesniku in z enakimi protokoli ali pa se shranjujejo ločeno in so dostopni na zahtevo ob pretovarjanju tovora.

Podatki o **obnašanju voznikov** obsegajo podatke s tahografa o dejavnosti posameznega voznika, ki so lahko povezani s podatki o delovanju vozila (na primer s podatki o porabi goriva ali obrabi pnevmatik). S temi podatki je možno analizirati in vrednotiti način vožnje posameznega voznika. Dodati jim je mogoče tudi podatke iz ostalih merilnih naprav (na primer naprave za sledenje pogleda) in na podlagi njihovega vrednotenja pripraviti ukrepe za izboljšanje varnosti ali učinkovitosti prevoza.

Tabela 8: Skupine parametrov po SAE J1939, skupnih tovornim vozilom in avtobusom

skupina parametrov PGN	parameter SPN	vrsta	byte dolžina	enota, vrednosti	
Fuel Consumption: LFC (poraba goriva) PGN 0x00FEE9	Engine Total Fuel Used (celotna poraba goriva) SPN 250	rač.	byte 5 4 byte	[l]	$Mp = 0,5$ $Of = 0$
Dash Display: DD (prikaz armaturne plošče) PGN 0x00FEFC	Fuel Level 1 SPN 96	rač.	byte 2 1 byte	[%]	$Mp = 0,4$ $Of = 0$
Electronic Engine Controller #1: EEC1 (krmilna enota motorja 1) PGN 0x00F004	Actual Engine – Percent Torque (dejanski moment motorja) SPN 513	rač.	byte 3 2 byte	[%]	$Mp = 1$ $Of = -125$
	Engine Speed (vrtlina hitrost motorja) SPN 190	rač.	byte 4 2 byte	[min ⁻¹]	$Mp = 0,125$ $Of = 0$
Engine Hours, Revolutions: HOURS (ure in vrtljaji motorja) PGN 0x00FEE5	Engine Total Hours of Operation (celotno število ur delovanja motorja) SPN 247	rač.	byte 1 4 byte	[h]	$Mp = 0,05$ $Of = 0$
Vehicle Identification: VI (identifikacija vozila) PGN 0x00FEEC	podrobnosti v [26]				
FMS-standard Interface Identity / Capabilities: FMS (identifikacija zmogljivosti vmesnika FMS na vozilu) PGN 0x00FDD1	podrobnosti v [26]				
High Resolution Vehicle Distance: VDHR (prevožena razdalja vozila) PGN 0x00FEC	High Resolution Total Vehicle Distance (celotna prevožena razdalja vozila) SPN 917	rač.	byte 1 4 byte	[m]	$Mp = 5$ $Of = 0$
Tachograph: TC01 (tahograf) PGN 00FE6C	Vehicle Motion (gibanje vozila) SPN 1611	bit	byte 1 bit 8, 7	00-gibanje je zaznano 01-gibanje ni zaznano	
	Driv. 2 Working State (dejavnost voznika 2) SPN 1613	bit	byte 1 bit 6, 5, 4	000-počitek 001-pripravljenost 010-drugo delo 011-voznja 110-napaka 111-ni na voljo	
	Driv. 1 Working State (dejavnost voznika 1) SPN 1612	bit	byte 1 bit 3, 2, 1	000-počitek 001-pripravljenost 010-drugo delo 011-voznja 110-napaka 111-ni na voljo	
	Vehicle Overspeed (prekoračena omejitev hitr.) SPN 1614	bit	byte 2 bit 8, 7	00-je prekoračeno 01-ni prekoračeno	

	Driver 1 Card (kartica voznika 1) SPN 1615	bit	byte 2 bit 6, 5	00-kartica ni prisotna 01-kartica je prisotna	
	Driv. 1 Time Rel States (časovno stanje voznika 1) SPN 1617	bit	byte 2 bit 4, 3, 2, 1	podrobnosti v [26]	
	Driver 2 Card (kartica voznika 2) SPN 1616	bit	byte 3 bit 6, 5	00-kartica ni prisotna 01-kartica prisotna	
	Driv. 2 Time Rel States (časovno stanje voznika 2) SPN 1618	bit	byte 3 bit 4, 3, 2, 1	podrobnosti v [26]	
	Direction Indicator (indikator smeri vožnje) SPN 1619	bit	byte 4 bit 8, 7	00-naprej 01-nazaj	
	Tachograph Performance (obratovanje tahografa) SPN 1620	bit	byte 4 bit 6, 5	00-normalno obratovanje 01-analizni način	
	Handling Information (informacija o ukrepih) SPN 1621	bit	byte 4 bit 4, 3	00-informacija ni na voljo 01-informacija je na voljo	
	System Event (sistemski dogodek) SPN 1622	bit	byte 4 bit 2, 1	00-sistemski dogodek ni prisoten 01-sistemski dogodek je prisoten	
	Tachogr. Vehicle Speed (hitrost vozila iz tahografa) SPN 1624	rač.	byte 7 2 byta	[km/h]	$Mp = 1/256$ $Of = 0$
Engine Temperature 1: ET1 (temperature motorja) PGN 0x00FEEF	Engine Coolant Temperature (temperatura hladilnega sredstva motorja) SPN 110	rač.	byte 1 1 byte	[°C]	$Mp = 1$ $Of = -40$
Ambient Conditions: AMB (pogoji okolja) PGN 0x00FEF5	Ambient Air Temperature (temperatura zraka okolja) SPN 171	rač.	byte 4 2 byta	[°C]	$Mp = 0,03125$ $Of = -273$
Driver identification: DI (identifikacija voznikov) PGN 0x00FE6B	podrobnosti v [26]				
Fuel Economy: LFE (poraba goriva) PGN 0x00FEF2	Fuel Rate (pretok goriva) SPN 183	rač.	byte 1 2 byta	[l/h]	$Mp = 0,05$ $Of = 0$
	Instantaneous Fuel Economy (trenutna poraba goriva) SPN 184	rač.	byte 3 2 byta	[l/h]	$Mp = 1/512$ $Of = 0$
Air Supply Pressure: AIR1 (tlak dobave zraka) PGN 0x00FEAE	Service Brake Air Pressure Circuit #1 (tlak tokokroga delovne zavore 1) SPN 1087	rač.	byte 3 1 byte	[kPa]	$Mp = 8$ $Of = 0$
	Service Brake Air Pressure Circuit #2 (tlak tokokroga delovne zavore 1) SPN 1088	rač.	byte 4 1 byte	[kPa]	$Mp = 8$ $Of = 0$

High Resolution Fuel Consumption (Liquid): HRLFC (poraba tekočega goriva) PGN 0x00FD09	High resolution engine total fuel used (celotna količina porabljenega goriva) SPN 5054	rač.	byte 5 4 byte	[l]	$Mp = 0,001$ $Of = 0$
Aftertreatment 1 Diesel Exhaust Fluid Tank 1 Information: AT1T1I (zalogovnik sredstva za obdelavo izpusta) PGN 0x00FE56	Aftertreatment 1 Diesel Exhaust Fluid Tank 1 Level (zalog sredstva v zalogovniku 1) SPN 1761	rač.	byte 1 1 byte	[%]	$Mp = 0,4$ $Of = 0$
FMS Tell Tale Status: FMS1 (stanje opozoril FMS) PGN 0x00FD7D	podrobnosti v [26]				

Tabela 9: Skupine parametrov po SAE J1939 za tovorna vozila

skupina parametrov PGN	parameter SPN	vrsta	byte dolžina	enota, vrednosti	
Cruise Control/Vehicle Speed: CCVS (tempomat/hitrost vozila) PGN 0x00FEF1	Wheel Based Speed (hitrost na kolesu) SPN 84	rač.	byte 2 2 byte	[km/h]	$Mp = 1/256$ $Of = 0$
	Clutch Switch (stikalo sklopke) SPN 598	bit	byte 4 bit 8, 7	00-pedal popuščen 01-pedal pritisnjen	
	Brake Switch (stikalo zavore) SPN 597	bit	byte 4 bit 6, 5	00-pedal popuščen 01-pedal pritisnjen	
	Cruise Control Active (tempomat aktiven) SPN 595	bit	byte 4 bit 2, 1	00-tempomat izključen 01-tempomat vključen	
	PTO State (stanje gonila za odjem moči)	bit	byte 7 bit 5, 4, 3, 2, 1	00000-izključeno 00101-vključeno 11111-ni na voljo	
Electronic Engine Controller #2: EEC2 (krmilna enota motorja 2) PGN 0x00F003	Accelerator Pedal Position 1 (položaj pedala plina) SPN 91	rač.	byte 2 1 byte	[%]	$Mp = 0,4$ $Of = 0$
	Engine Percent Load at Current Speed (obremenitev motorja pri trenutni hitrosti) SPN 92	rač.	byte 3 1 byte	[%]	$Mp = 1$ $Of = 0$
Vehicle Weight: VW (obremenitev vozila) PGN 0x00FEEA	Axle Location Bit-mapped position number counting front to back facing forward (lokacija osi) SPN 928	bit	byte 1 bit 8, 7, 6, 5	podrobnosti v [26]	
	Tire Location Bit-mapped position number counting front to back facing forward (lokacija osi) SPN 928	bit	byte 1 bit 8, 7, 6, 5	podrobnosti v [26]	

	Axle Weight (obremenitev osi) SPN 582	rač.	byte 2 2 byta	[kg]	$Mp = 0,5$ $Of = 0$
Service Information: SERV (servisne informacije) PGN 0x00FEC0	Service Distance (razdalja do servisa) SPN 914	rač.	byte 2 2 byta	[km]	$Mp = 5$ $Of = -160635$
PTO Drive Engagement: PTODE (vklop gonila odjema moči) PGN 0x00FDA4	At least one PTO engaged (vklopljeno vsaj eno gonilo za odjem moči) SPN 3948	bit	byte 7 bit 2, 1	00-nobeno gonilo ni vklopljeno 01-vsaj eno gonilo vklopljeno 10-napaka 11-ni na voljo	
Combination Vehicle Weight: CVW (združena masa vozila) PGN 0x00FE70	Gross Combination Vehicle Weight (bruto združena masa vozila) SPN 1760	rač.	byte 3 2 byta	[kg]	$Mp = 10$ $Of = 0$
Electronic Retarder Controller 1: ERC1 (elektronski krmilnik retarderja) PGN 0x0F000	Retarder Torque Mode (režim momenta retarderja) SPN 900	bit	byte 1 bit 4, 3, 2, 1	16 stanj na 4 bitih (podrobnosti v [26])	
	Actual Retarder - Percent Torque (dejanski momemt retarderja) SPN 520	rač.	byte 2 1 byte	[%]	$Mp = 1$ $Of = -125$
	Retarder Selection, Non- engine (izbrani učinek sekundarnega retarderja) SPN 1716	rač.	byte 7 1 byte	[%]	$Mp = 0,4$ $Of = 0$

Tabela 10: Skupine parametrov po SAE J1939 za avtobuse

skupina parametrov PGN	parameter SPN	vrsta	byte dolžina	enota, vrednosti	
Cruise Control/Vehicle Speed: CCVS (tempomat/hitrost vozila) PGN 0x00FEF1	Parking Brake Switch (stikalo parkirne zavore) SPN 70	bit	byte 1 bit 4, 3	00-parkirna zavora ni aktivirana 01-parkirna zavora je aktivirana	
	Wheel Based Speed (hitrost na kolesu) SPN 84	rač.	byte 2 2 byta	[km/h]	$Mp = 1/256$ $Of = 0$
	Clutch Switch (stikalo sklopke) SPN 598	bit	byte 4 bit 8, 7	00-pedal popuščen 01-pedal pritisnjen	
	Brake Switch (stikalo zavore) SPN 597	bit	byte 4 bit 6, 5	00-pedal popuščen 01-pedal pritisnjen	
	Cruise Control Active (tempomat aktiven)	bit	byte 4 bit 2, 1	00-tempomat izključen 01-tempomat vključen	
Electronic Engine Controller #2 : EEC2 (krmilna enota motorja 2) PGN 0x00F003	Accelerator Pedal Position (položaj pedala za plin) SPN 91	rač.	byte 2 1 byte	[%]	$Mp = 0,4$ $Of = 0$

Door Control 1: DC1 (kontrola vrat 1) PGN 0x00FE4E	Status 2 of Doors (sestavljeno stanje vrat avtobusa) SPN 3411	bit	byte 1 bit 8, 7	00-vsa vrata onemogočena 01-vsaj ena vrata omogočena 10-napaka 11-ni na voljo	
	Ramp/Wheelchair Lift (rampa/dvigalo za invalidski voziček) SPN 1820	bit	byte 1 bit 6, 5	00-znotraj vozila 01-zunaj vozila 10-napaka 11-ni na voljo	
	Position of Doors (odprtost vrat) SPN 1821	bit	byte 1 bit 4, 3, 2, 1	0000-vsaj ena vrata odprta 0001-zadnje zapiranje vrat dodatno v [26]	
Door Control 2: DC2 (kontrola vrat 2) PGN 0x00FDA5	podrobnosti v [26]				
Time/Date: TD (čas/datum) PGN 0x00FEE6	Seconds (sekunde) SPN 959	rač.	byte 1 1 byte	[s]	$Mp = 0,25$ $Of = 0$
	Minutes (minute) SPN 960	rač.	byte 1 1 byte	[min]	$Mp = 1$ $Of = 0$
	Hours (ure) SPN 961	rač.	byte 1 1 byte	[h]	$Mp = 1$ $Of = 0$
	Month (mesec) SPN 963	rač.	byte 1 1 byte	[mesec]	$Mp = 1$ $Of = 0$
	Day (dan) SPN 962	rač.	byte 1 1 byte	[dan]	$Mp = 0,25$ $Of = 0$
	Year (leto) SPN 964	rač.	byte 1 1 byte	[leto]	$Mp = 1$ $Of = 1985$
Alternator Speed: AS (hitrost alternatorja) PGN 0x00FED5	Alternator status 4 (stanje alternatorja 4) SPN 3356	bit	byte 3 bit 8, 7	00-ne polni 01-polni 10-napaka 11-ni na voljo	
	Alternator status 3 (stanje alternatorja 3) SPN 3355	bit	byte 3 bit 6, 5	00-ne polni 01-polni 10-napaka 11-ni na voljo	
	Alternator status 2 (stanje alternatorja 2) SPN 3354	bit	byte 3 bit 4, 3	00-ne polni 01-polni 10-napaka 11-ni na voljo	
	Alternator status 1 (stanje alternatorja 1) SPN 3353	bit	byte 3 bit 2, 1	00-ne polni 01-polni 10-napaka 11-ni na voljo	
Electronic Transmission Controller 2: ETC2 (elektronski krmilnik menjalnika) PGN 0x00F005	Selected Gear (izbrana prestava) SPN 524	rač. [26]	byte 1 1 byte	[-]	$Mp = 1$ $Of = -125$
	Current Gear (trenutna prestava) SPN 523	rač. [26]	byte 1 1 byte	[-]	$Mp = 1$ $Of = -125$

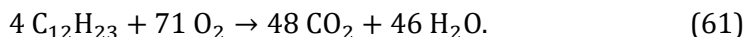
Air Suspension Control 4: ASC4 (krmilnik zračnega vzmetenja 4) PGN 0x00FE58	Bellow Pressure Front Axle Left (tlak v mehu sprednja os levo) SPN 1725	rač.	byte 1 2 byta	[kPa]	$Mp = 0,1$ $Of = 0$
	Bellow Pressure Front Axle Right (tlak v mehu sprednja os desno) SPN 1726	rač.	byte 3 2 byta	[kPa]	$Mp = 0,1$ $Of = 0$
	Bellow Pressure Rear Axle Left (tlak v mehu zadnja os levo) SPN 1727	rač.	byte 5 2 byta	[kPa]	$Mp = 0,1$ $Of = 0$
	Bellow Pressure Rear Axle Right (tlak v mehu zadnja os desno) SPN 1728	rač.	byte 7 2 byta	[kPa]	$Mp = 0,1$ $Of = 0$

3.11. Okoljski vplivi cestnega prometa

Predvsem zaradi svojega velikega obsega ima cestni promet znaten vpliv na okolje. Po eni strani ta vpliv predstavljajo škodljive snovi in hrup, ki jih v okolje oddajajo vozila in naprave, ki sodelujejo v prometu, po drugi strani pa imajo lahko vpliv na okolje tudi nevarne snovi, ki v cestnem prometu predstavljajo tovor.

3.11.1. Vpliv vozil na okolje

Popolno zgorevanje ogljikovodikov je mogoče zagotoviti samo z zagotovitvijo idealnega stehiometričnega razmerja reaktantov, ki vstopajo v reakcijo. Produkta popolnega zgorevanja idealnega goriva sta tako voda in ogljikov dioksid. Enačba (61) podaja primer za idealno plinsko olje povprečne sestave⁷ brez neželenih primesi:



Pri obratovanju motorja z notranjim zgorevanjem, gnanega z dieselskim gorivom industrijske kakovosti, neizogibno prihaja do nepopolnega zgorevanja. Na liter zgorelega goriva se tako pri obratovanju takšnega motorja povprečno tvorijo naslednje količine snovi, ki predstavljajo izpuste:

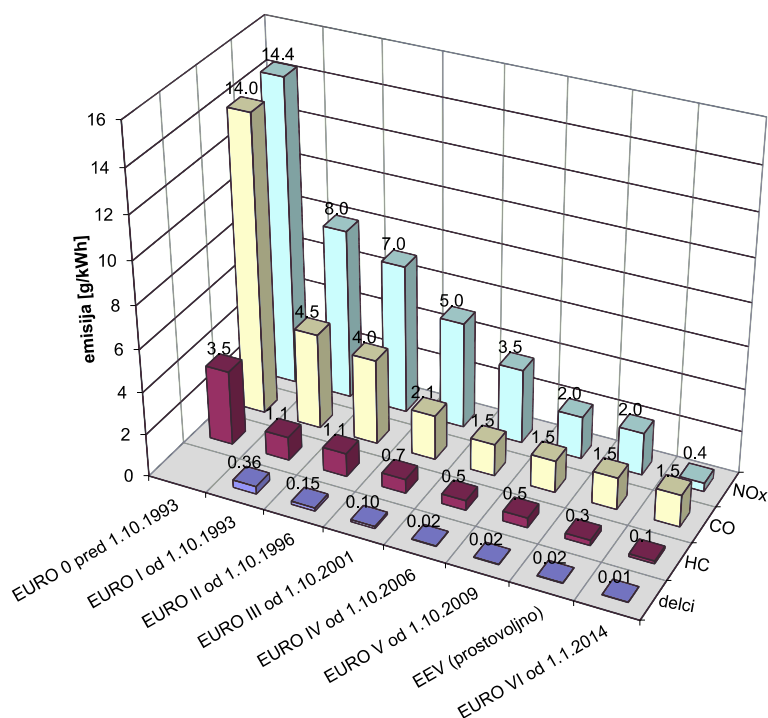
- 100 g ogljikovega monoksida (CO),
- 20 g neobstoječih organskih spojin (ogljikovodiki - HC),
- 30 g dušikovih oksidov (NO_x),
- 2500 g ogljikovega dioksida (CO₂).

⁷ Kemijska formula C₁₂H₂₃ predstavlja teoretično povprečno utežno razmerje ogljika in vodika v zmesi ogljikovodikov, ki tvorijo povprečno plinsko olje, in ne upošteva primesi, ki vsebujejo ostale elemente in v katerih ogljik in vodik nista vezana v ogljikovodike.

Produkti zgorevanja iz prvih treh skupin predstavljajo strupena onesnaževala, ki neposredno onesnažujejo zrak. Ogljikov dioksid sam po sebi ni strupen, prispeva pa k globalnemu segrevanju in je zato opredeljen kot škodljiv toplogredni plin. Poleg naštetih snovi izpusti motorjev z notranjim zgorevanjem – odvisno od sestave goriva – vsebujejo še druge strupene kemijske spojine in zmesi v različnih koncentracijah:

- trdne delce (ogljik, saje),
- žveplov dioksid (SO_2),
- svinec in svinčeve spojine (Pb),
- dušikov dioksid (NO_2),
- amonijak (NH_3),
- didušikov oksid (N_2O),
- druge težke kovine (Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, Se),
- vodikov sulfid (H_2S).

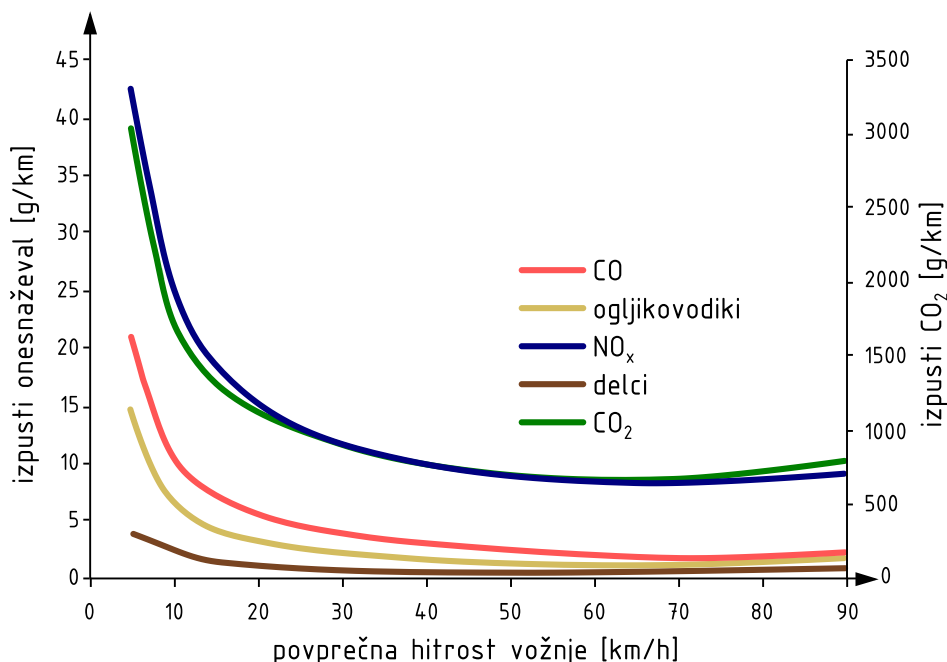
Dopustni izpusti so regulirani z zakonodajo, po kateri se dovoljene koncentracije onesnaževal v izpustih novih vozil z vsako generacijo zmanjšujejo. V Evropi trenutno velja Uredba (ES) št. 715/2007 Evropskega parlamenta in Sveta [27], ki predpisuje dovoljene izpuste iz lahkih potniških in gospodarskih vozil (pogovorno imenovane tudi "euro norme"). Uredba predpisuje dopustne izpuste za različne vrste vozil in motorjev.



Slika 90: Dopustne količine izpustov po "euro" predpisih

Slika 90 prikazuje postopno zmanjševanje dopustnih izpustov dieselskih motorjev za gospodarska vozila s posodobitvami "euro" predpisov od prve uveljavitve leta 1992 do trenutno veljavnega standarda Euro VI.

Specifična količina izpustov vozil na kilometer prevožene poti je odvisna tudi od povprečne hitrosti vožnje. Skupna emisija onesnaževal in ogljikovega dioksida se strmo manjša s povečevanjem povprečne hitrosti vožnje, dokler ne doseže svoje najnižje vrednosti, ki je pri cestnih vozilih med 70 in 80 km/h. Pri višjih povprečnih hitrostih začne specifična količina izpustov spet naraščati (slika 91).



Slika 91: Krivulje specifične količine izpustov glavnih onesnaževal za cestna gospodarska vozila (povzeto po [28])

Izpusti vozil z motorji z notranjim zgorevanjem so sestavljeni iz treh glavnih delov: izpustov pri zagonu motorja, izpustov ogretega motorja in izpustov zaradi izhlapevanja goriva iz rezervoarja:

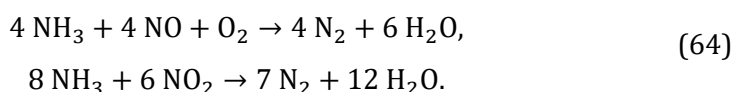
$$E_{\text{MNZ}} = E_{\text{st}} + E_{\text{vr}} + E_{\text{iz}}. \quad (62)$$

Količina snovi, ki jih v ozračje izpusti vozilo z ogretim motorjem, je premosorazmerna obsegu transporta in je odvisna od emisijskih vrednosti posameznih snovi:

$$E_{\text{vr}} = e \cdot m_{\text{a}}. \quad (63)$$

Koeficienti emisivnosti e za nekatere snovi in podrobnejše informacije o izračunu količin izpustov so podane v [28].

Koncentracije onesnaževal v izpuhkih je mogoče zmanjšati s primerno konstrukcijo motorjev in ostalih sistemov na vozilu. Ena od možnosti za to je uporaba sistemov za vbrizgavanje sredstev za redukcijo dušikovih oksidov v izpuhkih dieselskih motorjev. Najpogosteje se za to uporablja raztopina sečnine v demineralizirani vodi (trgovsko ime zanjo je v Evropi "AdBlue"), s katero je možno ob pravilnem doziranju doseči zmanjšanje izpuhkov dušikovih oksidov za do 90%. Pretvorbo dušikovih oksidov dosežemo s pomočjo selektivne katalitične redukcije (angleško *Selective Catalytic Reduction* – *SCR*), kjer s pomočjo amonijaka, ki nastane pri hidrolizi in termolizi sečnine, dušikove okside reduciramo v čisti dušik in vodo:



Kemijske reakcije redukcije dušikovih oksidov potekajo neodvisno od procesa zgorevanja v motorju, kar v celoti ohranja delovanje motorja s siceršnjim izkoristkom.

3.11.2. Prevoz nevarnih snovi

Poleg izpuhkov škodljivih snovi, ki jih neizogibno povzročajo vozila v prometu, potencialno nevarnost predstavljajo tudi snovi v tovoru, ki so nevarne samo, kadar nekontrolirano pridejo v stik z okoljem. Za razliko od izpuhkov onesnaževal iz motorjev je mogoče škodljive vplive na okolico zaradi prevoza nevarnih snovi s primernimi varnostnimi ukrepi popolnoma preprečiti.

V Evropi (in deloma tudi drugod) prevoz nevarnih snovi v cestnem prometu ureja "Evropski sporazum o mednarodnem cestnem prevozu nevarnega blaga" [29], s kratico imenovan ADR. Ta sporazum vsebuje sistematizacijo snovi, ki jih je treba prevažati kot nevarne. Nevarne snovi so razdeljene na 13 razredov glede na vrsto nevarnosti, ki jo predstavljajo. Vsaka nevarna snov ima svojo unikatno štirimestno številko ("UN številka"), na podlagi katere jo je mogoče natančno identificirati.

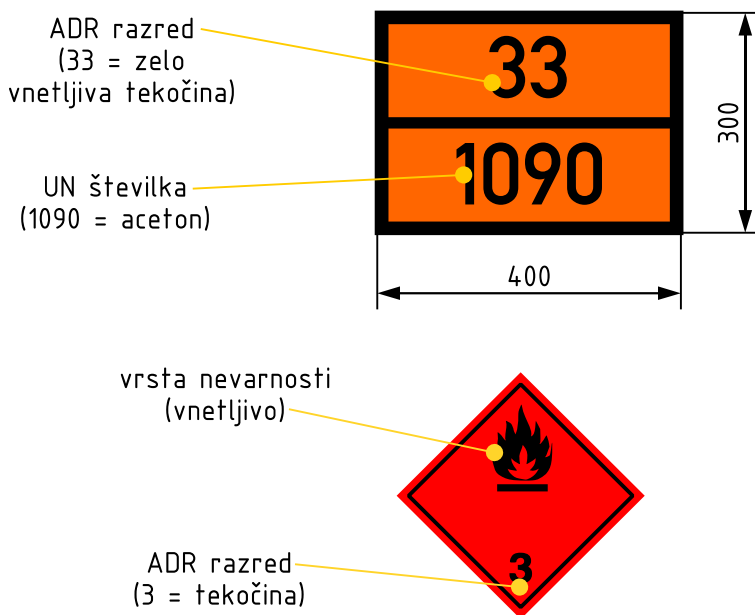
ADR razvršča nevarne snovi v naslednje razrede:

- razred 1: eksplozivne snovi,
- razred 2: plini,
- razred 3: vnetljive tekočine,
- razred 4.1: vnetljive trdne snovi, reaktivne snovi, trdni neobčutljivi eksplozivi,
- razred 4.2: snovi, podvržene samovžigu,
- razred 4.3: snovi, ki ob stiku z vodo tvorijo vnetljive pline,
- razred 5.1: oksidativne snovi,
- razred 5.2: organski peroksidi,
- razred 6.1: strupene snovi,
- razred 6.2: kužne snovi,

- razred 7: radioaktivne snovi,
- razred 8: jedke snovi,
- razred 9: ostale nevarne snovi in predmeti.

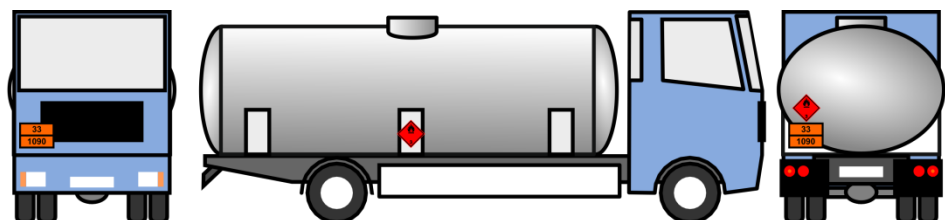
UN številke nekaterih snovi, ki se pogosto prevažajo, so podane v tabeli 11. Celoten seznam je na voljo v [29].

Cestna vozila za prevoz nevarnih snovi morajo biti po ADR ustrezno označena. Oznaka je sestavljena iz table ("ADR tabla"), ki podaja razred snovi, ter table, ki s piktogramom in številko označuje vrsto nevarnosti po sistemu GHS (angleško *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*) [30]. Primera obeh oznak sta prikazana na sliki 92. Piktogrami, ki pojasnjujejo vrsto nevarnosti v skladu s [30], so zbrani v tabeli 11.

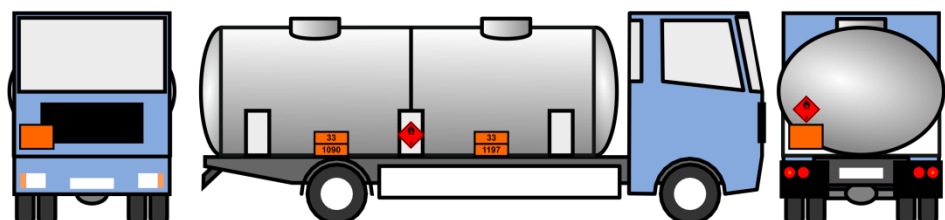


Slika 92: Primera ADR table in GHS oznake

ADR table z oznako razreda in UN številko morajo biti nameščene na vozilu spredaj in zadaj v navpični legi, pri vozilih z več vsebniki pa tudi na posameznem vsebniku ob straneh. GHS table morajo biti nameščene na vozilu zadaj in ob straneh. Slika 93 prikazuje primera označitve vozila za prevoz nevarnih snovi v skladu z ADR.



a)



b)

*Slika 93: Predpisane oznake na vozilu po ADR
(a - vozilo z enim vsebnikom, b - vozilo z dvema vsebnikoma)*

Dogovor ADR poleg oznak predpisuje tudi konstrukcijske ukrepe za zagotavljanje varnosti cestnih prevozov nevarnih snovi ter ukrepe za zagotavljanje varnosti pri pakiranju in združevanju tovorkov, ki vsebujejo nevarne snovi. Pri tem za določene nevarne snovi veljajo dovoljene največje količine za prevažanje v posameznem tovoru in medsebojno izključevanje različnih snovi, ki bi lahko med seboj reagirale, v posameznih tovorih ali tovorih. Natančneje so opredeljene tudi zahteve za embalažo in pomožna transportna sredstva (rezervoarje, cisterne, zabojnike itd.), potrebna spremljevalna dokumentacija pošiljk ter navodila za ukrepanje ob morebitnih nezgodah. Ta morajo za vsak tovorek vsebovati podatke o blagu, vrsto nevarnosti, predpisana osebna varovala, splošne ukrepe voznika, postopke prve pomoči in morebitne dodatne informacije.

Vozniki, ki upravljajo vozila za prevoz nevarnih snovi, morajo biti ustrezno usposobljeni. Seznanjeni morajo biti s potencialnimi nevarnostmi ter z ukrepi za preprečevanje nezgod in omilitev posledic, kadar do njih vseeno pride. Dogovor ADR zato predpisuje usposabljanje voznikov in preverjanje njihove usposobljenosti. Vozniki vseh vozil za prevoz nevarnih snovi morajo opraviti osnovno usposabljanje, vozniki vozil s cisternami s skupno prostornino nad 1000 l pa morajo opraviti še dodatno specialistično usposabljanje. Kot dokaz usposobljenosti voznika se mu izda *Certifikat o strokovni usposobljenosti voznikov motornih vozil za prevoz nevarnega blaga* (imenovan tudi "ADR certifikat") z veljavnostjo 5 let. Z njim lahko voznik opravlja prevoze nevarnega blaga vseh vrst razen eksplozivov (ADR razred 1) in radioaktivnih snovi (ADR razred 7). Za ta dva razreda je zahtevano dodatno usposabljanje.

Tabela 11: Seznam UN števil in ADR razredov za nekatere nevarne snovi

UN št.	snov	razred	UN št.	snov	razred
1001	acetilen	2.1	1005	amonijak	2.3
1011	butan	2.1	1013	ogljikov dioksid	2.2
1046	stisnjeni helij	2.2	1049	stisnjeni vodik	2.1
1066	stisnjeni dušik	2.2	1072	stisnjeni kisik	2.2
1090	acetone	3	1133	vnetljiva tekoča lepila	3
1202	lahko plinsko ali kurilno olje	3	1203	motorni bencin	3
1223	kerozin	3	1230	metanol	3, 6.1
1263	barve	3	1267	surova nafta	3
1268	naftni derivati	3	1345	gumijasti prah	4.1
1350	žveplo	4.1	1379	papir	4.2
1381	fosfor	4.2, 6.1	1401	kalcij	4.3
1415	litij	4.3	1428	natrij	4.3
1547	anilin	6.1	1558	arzen	6.1
1759	korozivna trdna snov	8	1760	korozivna tekočina	8
1789	klorovodikova kislina	8	1977	tekoči dušik	2.2
1978	propan	2.1	1986	strupeni vnetljivi alkoholi	3, 6.1
1987	alkoholi	3	1992	strupena vnetljiva tekočina	3, 6.1
1993	nestrupena vnetljiva tekočina	3	2014	vodikov peroksid <60%	5.1, 8
2015	vodikov peroksid >60%	5.1, 8	2016	razstrelivo, strupeno	6.1
2017	razstrelivo, solzivo	6.1	2037	mali plinski vsebniki	2.1, 2.2, 5.1, 8
2067	dušikovo umetno gnojilo	5.1	2201	tekoči dušikov oksid	2.2, 5.1
2312	fenol	6.1	2426	amonijev nitrat	5.1
2810	strupena organska tekočina	6.1	2811	strupena organska trdna snov	6.1
3065	alkoholne pijače	3	3248	tekoča vnetljiva strupena zdravila	3, 6.1
3249	trdna strupena zdravila	6.1	3321-3333	radioaktivni materiali	7

Tabela 12: Piktogrami za označevanje nevarnosti po GHS

piktogram	pomen	uporaba
	eksplozivno	eksplozivne snovi iz ADR razredov 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 in 1.6
	vnetljivo	vnetljive snovi in zmesi, generatorji toplote, snovi, ki oddajajo vnetljive pline ob stiku z vodo
	oksidativno	oksidativne snovi in zmesi (plini, tekočine ali trdne snovi)
	stisnjen plin	stisnjeni plini, utekočinjeni plini, ohlajeni utekočinjeni plini, raztopljeni plini (v posodah pod tlakom)
	korozivno	snovi, ki povzročajo korozijo kovin
	strupeno	akutno strupene snovi (pri zaužitju, stiku s kožo ali vdihu)
	škodljivo	akutno strupene snovi, dražeče za oči, kožo ali dihal, snovi z narkotičnimi učinki
	zdravju nevarno	snovi, ki povzročajo občutljivost dihal, genetske mutacije zarodnih celic, rakotvorne snovi, reproduktivni strupi, strupi s specifičnim ciljnim delovanjem
	okolju nevarno	snovi z akutnimi ali kroničnimi vplivi na varnost voda

4. Železniški promet

Železniški promet poteka s tirnimi vozili po tirnih progah. Transportne enote predstavljajo vlaki, ki so sestavljeni iz tirnih vozil. Za standardizacijo železniške infrastrukture, vozil in pomožnih naprav skrbi organizacija UIC (francosko *Union Internationale des Chemins de fer* - Mednarodna železniška zveza), ki povezuje železniške operaterje z vsega sveta.

4.1. Pomen železniškega prometa

V večini sodobnih gospodarstev predstavlja rast železniškega prometa le majhen delež v celotni rasti prometa. Razlog za to je mnogokrat zastarela tehnologija in predpisi, ki niso prilagojeni sodobnim zahtevam. Kljub temu železniški promet predstavlja potencial zaradi svoje energijske učinkovitosti in okoljske primernosti. Na nekaterih področjih železniškega prometa se v zadnjem času uveljavljajo novosti, katerih namen je povečanje njegovega tržnega deleža v primerjavi z ostalimi vrstami prometa.

Tirna vozila so v primerjavi z ostalimi vrstami vozil zaradi manjših kotalnih uporov večinoma učinkovitejša. Poleg tega dosegajo zelo ugodno razmerje med maso praznega in polno naloženega vozila (pri vlaku tudi do 1:4, pri cestnih vozilih kvečjemu do 1:2,5). Z enostavnim sestavljanjem tirnih vozil v vlake je možen prevoz velikih količin blaga (vlaki z bruto maso 2000 t in več). Pri ustrezni izvedbi infrastrukture in ob uporabi ustreznih vozil je v železniškem prometu zaradi njegove manjše občutljivosti za izredne dogodke možno doseči višje povprečne hitrosti kot v cestnem prometu.

Prednosti, ki izhajajo iz možnosti prevoza velikih količin tovora po železnici, imajo za posledico omejitve pri rentabilnosti. Za dobro izkoriščenost transportnih kapacitet železniškega prometa je potrebno povezovanje posameznih vozil v vlake, ki je učinkovito šele od določenih najmanjših količin in razdalj naprej. Dostopnost železniškega prometa do izvirov in ponorov v logističnih sistemih zahteva izgrajeno železniško infrastrukturo, kar pomeni, da je popolna pokritost transporta možna samo s kombiniranim prometom.

Železniški promet je lahko organiziran kot prekinjen promet, kjer je transport po železnici samo del transporta od izvira do ponora, ali kot neprekinjen promet, kjer blago od izvira do ponora ostane na istem tirnem vozilu. V prvem primeru morajo biti tovarne enote blaga v ustreznih pomožnih transportnih sredstvih (palette, kontejnerji, zamenljive nadgradnje), ki omogočajo enostaven pretovor. V drugem primeru je transport možen samo, kadar je od izvira do ponora na voljo železniška infrastruktura. Železniške prevoze je zaradi nefleksibilnih vozniških redov in neenakomernih obremenitev infrastrukture zaradi prometnih konic mnogokrat težko popolnoma prilagoditi željam uporabnikov. Pogosto k slabi fleksibilnosti prispeva tudi monopolni položaj prevoznikov in operaterjev infrastrukture. Za terminsko usklajene (angleško *just in time* – JIT) prevoze manjših količin blaga je mogoče organizirati namenske vlake s točno določenim

blagom ob točno določenem času (primer: prevoz gotovih avtomobilov od proizvajalca do пристanišča).

Združevanje tovornih enot v pošiljke je v železniškem prometu lahko organizirano na nivoju posameznih vagonov ali na nivoju celotnih vlakov. Organizacija na nivoju posameznih vagonov omogoča prevoz manjših količin blaga, ki ga lahko dobavitelji pripravijo sami na svojih industrijskih tirih, vendar takšen pristop zahteva učinkovitejše planiranje povezovanja v vlake in posledično povzroča višje prevozne stroške na enoto tovara. Organizacija na nivoju celotnih vlakov je z vidika planiranja sicer enostavnejša, je pa zaradi minimalnih rentabilnih količin omejena na cenovno občutljivo blago brez posebnih časovnih in tehničnih zahtev glede vozil (surovine, gradbeni material itd.).

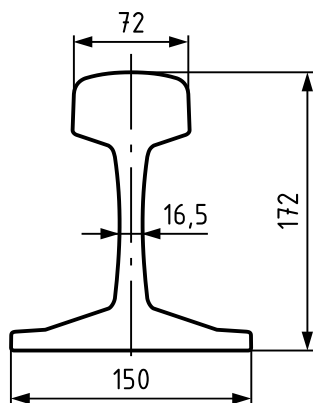
Kadar je železniški promet del kombiniranega prometa, gre večinoma za prevoz vsebnikov, ki skozi celotno transportno verigo ostanejo isti (na primer kontejnerji ali zamenljive nadgradnje), ali pa za prevoz celotnih cestnih vozil (priklopnikov ali polpriklopnikov).

4.2. Železniška infrastruktura

Železniška infrastruktura je sestavljena iz železniških prog ter objektov in naprav, ki omogočajo železniški promet. Vse prednosti železniškega prometa je mogoče izkoristiti, če so železniška vozila gnana električno, zato so sodobne železniške proge elektrificirane.

4.2.1. Prečni prerez železniške proge

Železniška proga mora zagotavljati varno vožnjo tirnih vozil, hkrati pa imeti čim manjši vpliv na okolje, kar se tiče vibracij, hrupa in izpustov škodljivih snovi. Tiri železniške proge predstavljajo njen zgornji ustroj in so zgrajeni iz dveh med seboj vzporednih tirnic (slika 94), ki ju povezujejo leseni ali betonski pragovi. Pragovi skrbijo tako za ohranjanje pravilne razdalje med tirnicama kot tudi za prenos obremenitev tirnih vozil na podlago. Prečna razdalja med notranjima ploskvama glav tirnic je definirana s kolotekom tirnih vozil. Pri normalnotirnih progah v večjem delu Evrope je ta razdalja 1435 mm. Proge z manjšo razdaljo imenujemo ozkotirne, tiste z večjo pa širokotirne. Nekatere pogosto uporabljene prečne razdalje med tirnicama povzema tabela 13. Lastnosti elementov zgornjega ustroja železniških prog so v Sloveniji določene s Pravilnikom o zgornjem ustroju železniških prog [31].

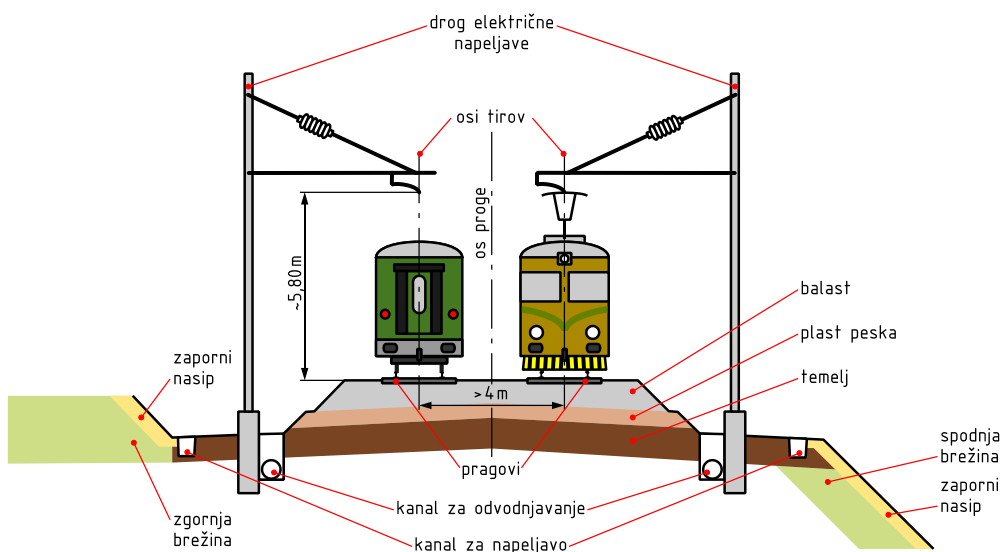


Slika 94: Karakteristične mere železniške tirnice 60 E 1 po EN 13647-1:2003

Tabela 13: Razdalje med tirnicama železniških prog in njihova uporaba

razdalja	uporaba
600 mm	zgodovinsko vojaške oskrbne proge med 1. svetovno vojno, danes kot industrijske in rudniške proge
750 mm	zgodovinsko nemške kolonije v Afriki, danes v Nemčiji in Švici (muzejske in industrijske proge)
760 mm	zgodovinsko v Bosni in Hercegovini in deželah Avstroogrske, danes kot industrijske, muzejske in turistične proge
762 mm	ozkotirne proge v Veliki Britaniji in deželah Commonwealtha
914 mm	ozkotirne proge v ZDA in Veliki Britaniji ter južni Ameriki
950 mm	zgodovinsko ozkotirne proge v Italiji in deželah pod njenim vplivom
1000 mm	ozkotirne proge v Evropi, južni Ameriki, severni Afriki in Aziji
1067 mm	ozkotirne proge v Južni Afriki, Avstraliji, na Japonskem in v južni Ameriki
1435 mm	"normalnotirne" proge v Evropi, ZDA in na Kitajskem, predstavljajo okoli 40% celotnega svetovnega železniškega omrežja
1520 mm	Rusija in dežele bivše Sovjetske zveze, Finska
1600 mm	Irska, Severna Irska, Avstralija, Brazilija, zgodovinsko zahodni del Nemčije
1668 mm	Španija, Portugalska
1676 mm	Indija, Pakistan, Bangladeš, Čile, Argentina

Podlaga železniških prog je tradicionalno izvedena kot nasip gramoza na ustreznem temelju. Takšna izvedba zagotavlja dobro prilagodljivost obliki terena in dobro dušenje vibracij, vendar je izvedljiva samo, kadar je možno izdelati temelj, ki zagotavlja dobro prečno stabilnost. Kadar to ni možno, je zgornji ustroj proge lahko izdelan tudi kot toga plošča (na primer iz betona). Takšna izvedba sicer lahko prenaša večje obremenitve, je pa bistveno manj elastična od izvedb z nasipom, zato je uporabna predvsem za lažje hitre vlake z mirnim tekom. Slika 95 prikazuje tipično dvotirno elektrificirano železniško progo v prečnem prerezu.

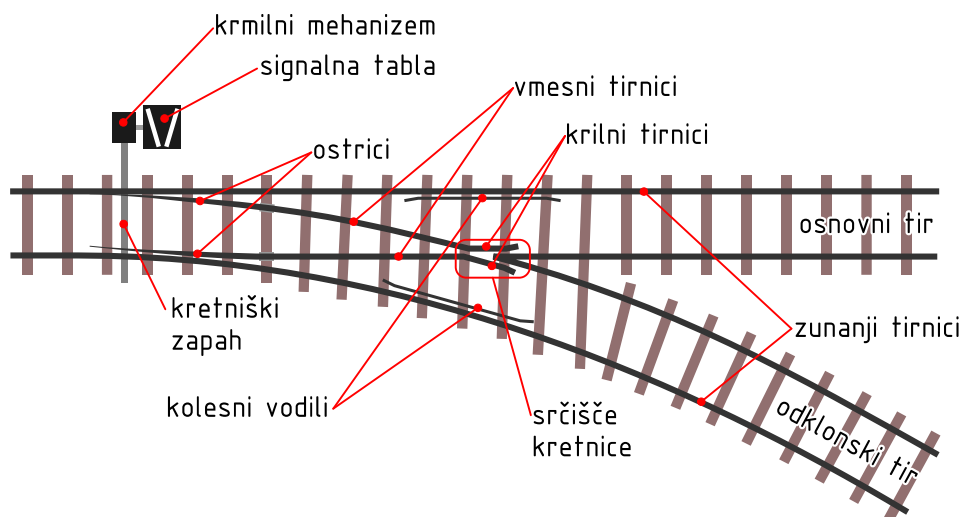


Slika 95: Prečni prerez dvotirne železniške proge

4.2.1. Elementi zgornjega ustroja proge

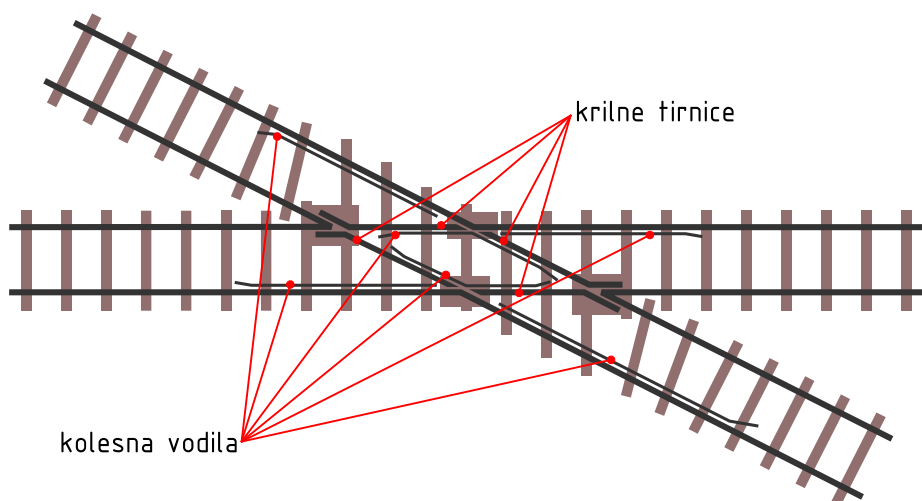
V zgornji ustroj proge sodijo tudi usmerjevalne naprave (kretnice, križišča, okretnice, prenosnice) ter tirni zaključki, raztirniki in dilatacijske naprave. Tudi njihove lastnosti podrobno predpisuje Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog [31].

Kretnice so naprave, ki tirnim vozilom omogočajo vožnjo z enega na drugi tir brez ustavljanja. Na sliki 96 so shematično prikazani elementi in delovanje enojne kretnice, pri kateri sta ostrici v položaju za vožnjo na odklonski tir.



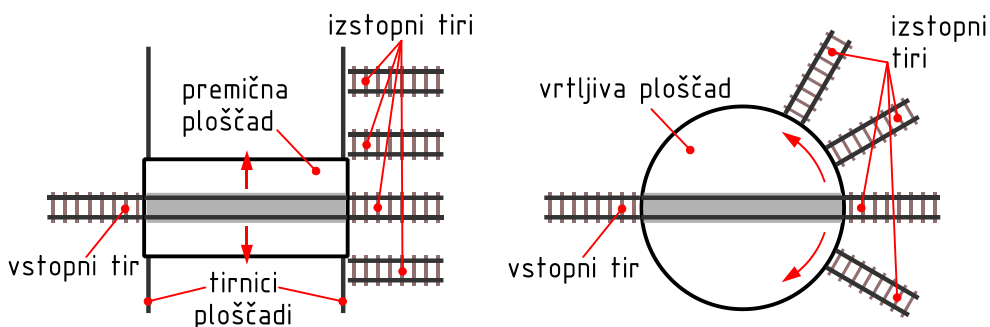
Slika 96: Shematični prikaz enojne kretnice

Tirno križišče (slika 97) je naprava, ki omogoča križanje dveh tirov v isti ravnini in vožnjo tirnih vozil po vsakem izmed njih. Za razliko od kretnice križišče tirnim vozilom ne omogoča prehajanja z enega tira na drugega in nima gibljivih delov.



Slika 97: Shematični prikaz tirnega križišča

Prenosnice in **okretnice** so naprave, ki s pomočjo gibljivega dela omogočajo usmerjanje železniških vozil z enega na več tirov. Obe napravi sta shematično prikazani na sliki 98. Pri prenosnici se gibljivi del giblje premo, pri okretnici pa je vrtljiv. Okretnica tako omogoča tudi zasuk vozila za 180° oziroma spremembo njegove smeri vožnje.



Slika 98: Prenosnica (levo) in okretnica (desno)

Tirni zaključki (slika 99) so nameščeni na koncih slepih tirov in tirnim vozilom preprečujejo vožnjo prek konca tira. **Raztirniki** (slika 100) so nameščeni na stranskih ali industrijskih tirih in, kadar so zaprti, preprečujejo tirnim vozilom uvoz nanje. **Dilatacijske naprave** so nameščene na mestih, kjer zaradi mehanskih ali temperaturnih vplivov prihaja do sprememb dolžine tirov (na primer na dolgih mostovih), in z drsenjem ene tirnice ob drugi preprečujejo, da bi se zaradi raztezkov tirnice ukrivile.



Slika 99: Tirni zaključek na 750 mm ozkotirni progi (Göhren, Rügen, Nemčija)



Slika 100: Raztirnik v zaprti legi (ŽP Šiška, Ljubljana, Slovenija)

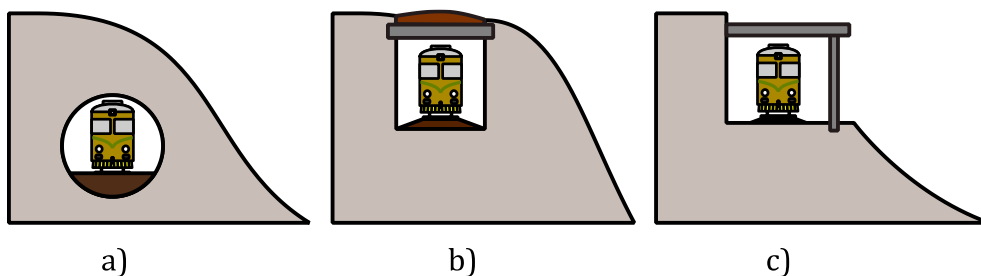
4.2.2. Elementi železniške infrastrukture

Obratovanje železniškega prometa poleg prog in naprav zgornjega ustroja zahteva tudi druge elemente železniške infrastrukture.

Vmesnike med železniškim prometom in ostalimi vrstami prometa predstavljajo postaje in postajališča. Postaje so prometna mesta na železniških progah, ki imajo vsaj eno kretnico in kjer je mogoč promet nasprotnih in zaporednih vlakov, vstopanje in izstopanje potnikov ter pretovor blaga. Postajališča so namenjena samo izstopanju in vstopanju potnikov v potniškem prometu in lahko imajo samo en tir in ustrezen peron ter tako hkrati oskrbujejo samo en vlak. Tako postaje kot postajališča imajo lahko sprejemno poslopje.

Vodenju, upravljanju in signalizaciji v železniškem prometu so namenjene signalno varnostne naprave. V Sloveniji so njihov pomen, oblika in način postavitve podrobno določeni v Signalnem pravilniku SŽ [32] in v Pravilniku o železniških signalnovarnostnih napravah [33].

Za nemoteno obratovanje železniškega prometa vsebuje železniška infrastruktura tudi pomožne objekte, ki omogočajo umestitev železniške proge v okolje ter njeno križanje in stik z ostalo prometno infrastrukturo. Sem sodijo predori, pokriti vkopi, galerije (slika 101), mostovi, viadukti, prepusti ter nivojski cestni železniški prehodi in nadvozi.



Slika 101: Predor (a), pokriti vkop (b), galerija (c)

4.3. Tirna vozila

Tirna vozila se glede na svojo funkcijo v železniškem prometu delijo na:

- **lokomotive**, ki imajo lastni pogon, so namenjene vleki vlakov in na vozilu nimajo prostora za potnike ali koristni tovor,
- **pogonske vozove**, ki imajo lastni pogon, so namenjeni vleki vlakov in imajo poleg pogonskega sklopa tudi prostor za potnike ali koristni tovor,
- **vagone**, ki nimajo lastnega pogona in so namenjeni prevozu koristnega tovora ali potnikov,
- **ostala železniška vozila** z lastnim pogonom ali brez njega, ki ne obratujejo kot del vlakov in so večinoma namenjena nalogam pri vzdrževanju prog.

Pogonski vozovi in (večinoma potniški) vagoni so lahko med seboj povezani v garniture, ki obratujejo kot celota in jih zunaj prostorov za vzdrževanje ni mogoče razdružiti.

4.3.1. Konstrukcijske izvedbe vlečnih vozil in pogonskih vozov

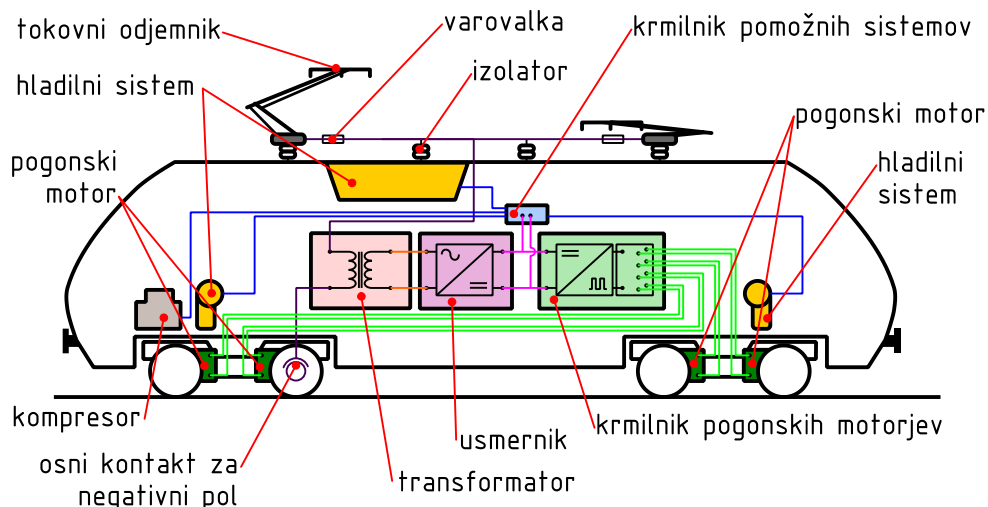
Sodobna vlečna tirna vozila (lokomotive in pogonski vozovi) se po vrsti pogonskega motorja delijo na električna in na gnana z motorji z notranjim zgorevanjem. Zgodovinska vlečna tirna vozila so bila gnana s parnimi stroji.

Električna vlečna vozila se praviloma oskrbujejo z električno energijo iz vodnika, ki je izveden kot žična napeljava nad progo ali kot dodatna tirnica. Vrsta in napetost električnega toka za pogon električnih vozil je v železniških omrežjih različnih držav različna. Tabela 14 prikazuje podatke za nekatere države.

Tabela 14: Električni sistemi na železnicah

vrsta toka (frekvenca)	napetost	države uporabe
enosmerni	750 V	jug Velike Britanije
enosmerni	1500 V	del Francije, Belgija
enosmerni	3000 V	Slovenija, Španija, Italija, Poljska, sever Češke in Slovaške, Latvija, Estonija, Moldova, Ruska federacija
izmenični (16,7 Hz)	15 kV	Avstrija, Švica, Nemčija, Švedska, Norveška
izmenični (50 Hz)	25 kV	Portugalska, del Francije, Velika Britanija, Danska, Finska, Litva, Belorusija, zahodna Ukrajina, južna Češka in Slovaška, Madžarska, Romunija, Bolgarija, Hrvaška, Bosna in Hercegovina, Srbija, Črna gora, Makedonija, Grčija, Turčija, Indija, Kitajska, del Japonske
izmenični (60 Hz)	25 kV	ZDA, Kanada, Mehika, Tajvan, Južna Koreja, del Japonske

Za obratovanje v različnih električnih sistemih so v uporabi večsistemska vozila, ki se ročno ali samodejno prilagodijo na ustrezno napajalno napetost električnega omrežja. Glavne dele električne lokomotive na izmenični tok shematično prikazuje slika 102, na sliki 103 pa je prikazan primer sodobne večsistemske električne lokomotive (Siemens ES64U4 kot serija 1216 podjetja Adria Transport).

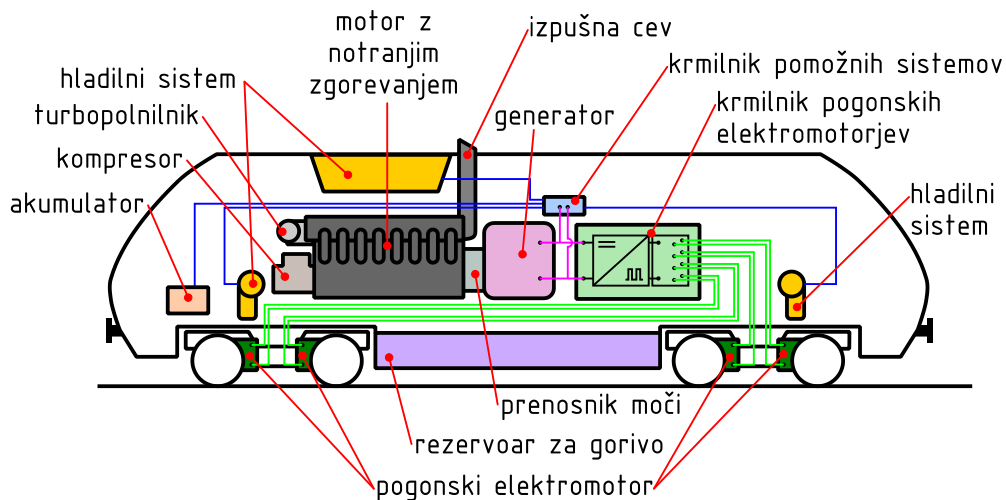


Slika 102: Shema električne lokomotive na izmenični tok

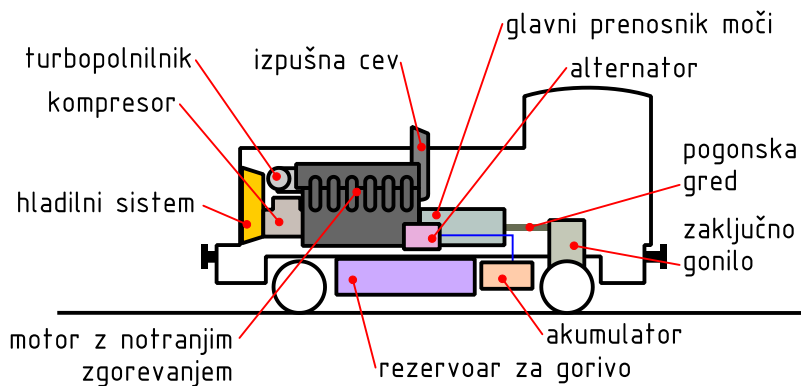


Slika 103: Večsistemska električna lokomotiva Siemens ES64U4

Vozila, katerih primarni pogon je motor z notranjim zgorevanjem, se ločijo po vrsti sekundarnega pogona in transmisije. Lažja vozila imajo mehanske ali hidravlične prenosnike moči, težja pa so skoraj izključno izvedena kot zaporedni hibridni pogoni, kjer motor z notranjim zgorevanjem poganja električni generator, ki nato z električno energijo oskrbuje enega ali več pogonskih elektromotorjev. Slika 104 shematično prikazuje zgradbo sodobne diesel-električne lokomotive, slika 105 pa zgradbo lahke lokomotive z mehanskim pogonom in prenosnikom moči. Primer klasične diesel-električne lokomotive (Brissonneau et Lotz/Đuro Đaković BB kot serija 642 Slovenskih železnic) prikazuje slika 106.



Slika 104: Shema diesel-električne lokomotive



Slika 105: Shema lahke lokomotive z mehanskim pogonom



Slika 106: Klasična diesel-električna lokomotiva Brissoneau et Lotz/Đuro Đaković BB

4.3.2. Konstrukcijske izvedbe vagonov

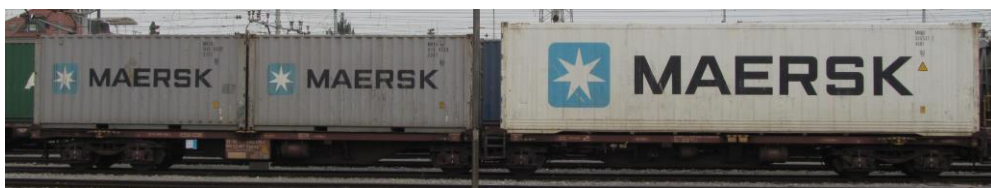
Železniški vagoni se po osnovnem namenu ločijo na potniške in tovarne vagoni. Vagoni so namenjeni sestavljanju v vlake, zato morajo poleg namenu primerne nadgradnje imeti ustrezne spenjalne naprave, ustrezen okvir, ki prenaša obremenitve, ustrezno obešenje in vzmetenje koles ter zavorni sistem.

Klasični potniški vagoni se glede na uporabo delijo na vagoni z oddelki in na enoprostorne vagoni. Sodobni vagoni so pogosto izdelani kot kombinirani, pri čemer se vse pogosteje uporabljajo tudi vagoni s potniškim prostorom v dveh nadstropjih. Med potniške vagoni spadajo tudi jedilni vagoni, vagoni z ležalniki in spalni vagoni ter prtljažni vagoni, ki se v zadnjem času uporabljajo predvsem kot del potniških vlakov za prevoz koles.

Tovorni vagoni se po obliki nadgradnje razlikujejo glede na vrsto tovora, ki ga z njimi prevažamo. Za prevoz neobčutljivih kosovnih tovorov se največ uporabljajo odprti škatlasti vagoni ali ploščni vagoni. Ploščni vagoni so uporabni tudi za prevoz kontejnerjev, če imajo nameščene naprave za njihovo pritrjevanje (sliki 107 in 108). Za prevoz občutljivejšega kosovnega tovora, ki mora biti med transportiranjem zaščiten pred atmosferskimi vplivi, se uporabljajo različne vrste zaprtih škatlastih vagonov (slika 109). Za prevoz tovora v razsutem stanju se lahko uporabljajo klasični škatlasti vagoni (slika 110), lahko pa posebne vrste vagonov z gravitacijskim praznjenjem (sliki 111 in 112). Za prevoz kapljevin in snovi v prahu se uporabljajo različne izvedbe vagonov s cisternami (sliki 113 in 114).



Slika 107: Ploščni vagon podserije Sggnss z naloženima dvema 40' kontejnerjema



Slika 108: Zgibni ploščni vagon podserije Sggrss s tremi podpornimi vozički in naloženima dvema 20' ter enim 40' kontejnerjem



Slika 109: Dvoosni zaprti tovorni vagon podserije Gbs-z (kot del vagonске enote podserije Hrrs-z)



Slika 110: Štiriosni odprti škatlasti vagon podserije Eas-z



Slika 111: Štiriosni odprti vagon za prevoz razsutega tovora z gravitacijskim praznjenjem (podserija Fals-z)



Slika 112: Štiriosni zaprti vagon za prevoz razsutega tovora z gravitacijskim praznjenjem (podserija Tadds-z)



Slika 113: Vagon s cisterno za prevoz kapljevin (podserija Zas-z), prirejen in označen za prevoz vnetljivih snovi



Slika 114: Vagon z vsebnikom za prevoz snovi v prahu (podserija Uacs-z)

Razdelitev potniških in tovornih vagonov v serije, kot jo predpisuje UIC in jo uporablja večina evropskih železniških operaterjev, je prikazana v tabeli 15. Podrobnejša razdelitev tirnih vozil na podserije je opisana v dokumentih UIC [34-36].

Tabela 15: Serije potniških (osenčeno) in tovornih vagonov po UIC

serija	vrsta vagona
A	potniški vagon 1. razreda
B	potniški vagon 2. razreda
AB	kombinirani potniški vagon 1. in 2. razreda
D	prtljažni vagon
WL	spalni vagon
WR	jedilni vagon
E	odprti tovorni vagon standardne izvedbe
F	odprti tovorni vagon posebne izvedbe
G	pokriti tovorni vagon standardne izvedbe
H	pokriti tovorni vagon posebne izvedbe
I	hladilni vagon
K	ploščni vagon standardne izvedbe s posameznimi kolesnimi dvojicami
L	ploščni vagon posebne izvedbe s posameznimi kolesnimi dvojicami
O	odprti večnamenski vagon
R	ploščni vagon standardne izvedbe s podpornimi vozički
S	ploščni vagon posebne izvedbe s podpornimi vozički
T	tovorni vagon s streho za odpiranje
U	posebni vagon
Z	vagon s cisterno

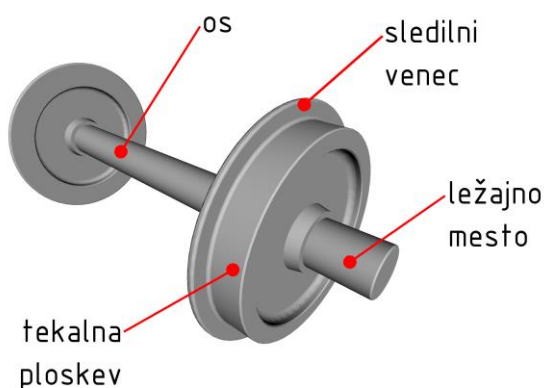
V zadnjem času posamezni železniški operaterji v sodelovanju z izdelovalci tirnih vozil razvijajo in uporabljajo vagone posebnih oblik, ki so prilagojeni določenim oblikam tovora ter metodam nakladanja in razkladanja. Takšni vagoni svojo učinkovitost dosežejo šele, ko so polno obremenjeni, zato se večinoma uporabljajo v namenskih vlakih, kjer je vedno zagotovljena količina predvidenega tovora. Primer takšnega vagona, ki je bil v zadnjem času uspešno uveden v promet na Slovenskih železnicah, je ploščni vagon (podserija Sggrs) s posebnimi kontejnerji za prevoz rude z gravitacijskim praznjenjem izdelovalca InnoFreight, znan pod imenom RockTainer ORE, prikazan na sliki 115. Z uporabo takšnih vagonov namesto vagonov podserije Tads je mogoče za več kot dvakrat povečati kapaciteto vlakov za prevoz rude in bistveno pohitriti razkladanje tovora na cilju.



Slika 115: Ploščni vagon podserije Sggrs z dvojnimi kontejnerji za prevoz rude

4.3.3. Kolesa tirnih vozil

Velika večina tirnih vozil vozi po jeklenih kolesih, ki so paroma spojena s togo osjo v **kolesne dvojice** kot je prikazano na sliki 116.

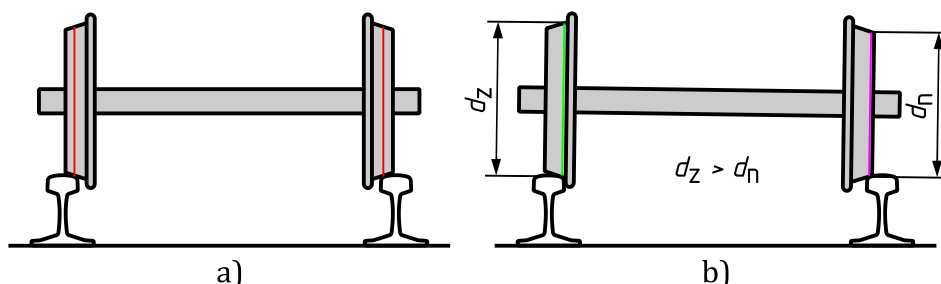


Slika 116: Kolesna dvojica tirnega vozila

Z osjo so kolesa kolesne dvojice navadno povezana s krčnim nasedom. Sama kolesa so lahko v celoti izdelana iz enega kosa (monoblok), lahko pa je kolesni obroč (bandaža) s tekalno ploskvijo in sledilnim vencem ločen od pesta in z njim povezan s krčnim nasedom ali z elastično povezavo.

Zaradi kóničnih tekalnih ploskev in toge povezave med kolesoma na isti osi se premer nakotaljevanja posameznega kolesa spreminja s prečnim pomikom kolesne dvojice glede na tir. To izkoriščamo pri vožnji v ovinek, kjer lahko potrebno razliko med premeroma nakotaljevanja zaradi različno dolgih trajektorij zunanega in notranjega kolesa ustvarimo z ustreznim prečnim

pomikom kolesnih dvojic. Na ta način v primerjavi z valjastimi kolesi dosežemo bistveno zmanjšanje drsenja koles in s tem obrabe ter hrupa v ovinku. Na sliki 117 je ta pojav prikazan s poudarjeno koničnostjo koles in zračnostjo sledilnih vencev. Leva kolesna dvojica (a) teče po enakih premerih nakotaljevanja koles, desna (b) pa je prečno premaknjena proti levi in zato njeno levo (zunanje) kolo teče po večjem premeru nakotaljevanja kot desno (notranje).



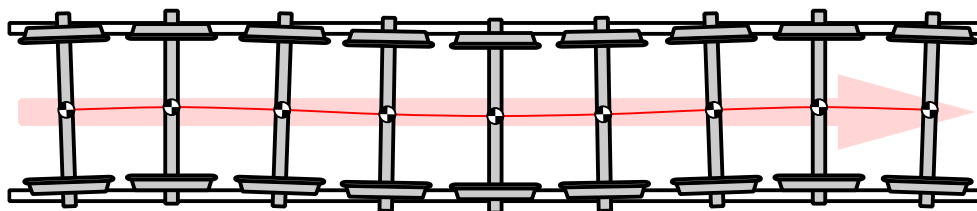
Slika 117: Sprememba premerov nakotaljevanja koles zaradi prečnega pomika kolesne dvojice glede na tir

Posledica tega povezanih kóničnih koles na isti osi je tudi sinusni tek kolesnih dvojic, ki nastane zaradi različnih premerov nakotaljevanja koles iste kolesne dvojice po ravnem tiru pri prečnem zamiku. Posledica sinusnega teka so značilna nihanja tirnih vozil v prečni smeri, ki jih je treba pri potniških vlakih pri večjih hitrostih za doseganje udobja potnikov ustrezno dušiti. Valovna dolžina sinusne krivulje je odvisna od geometrije kolesne dvojice in tira in jo lahko določimo kot

$$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{kolesa}} \cdot b}{2 \cdot k_{\text{kolesa}}}}. \quad (65)$$

Pri višjih hitrostih vožnje zaradi večjih bočnih sil in zadevanja sledilnih vencev ob tirnici lahko krivulja prečnih pomikov kolesnih dvojic izgubi svojo zvezno odvedljivost, zaradi česar se valovna dolžina nihanja zmanjša. Posledica tega je nemirnejši tek kolesnih dvojic in s tem dodatni neželeni udarci v prečni smeri.

Na sliki 118 je prikazano časovno zaporedje gibanja iste kolesne dvojice po ravnem tiru, pri čemer so prečni pomiki in zasuki zaradi jasnosti prikaza močno poudarjeni.



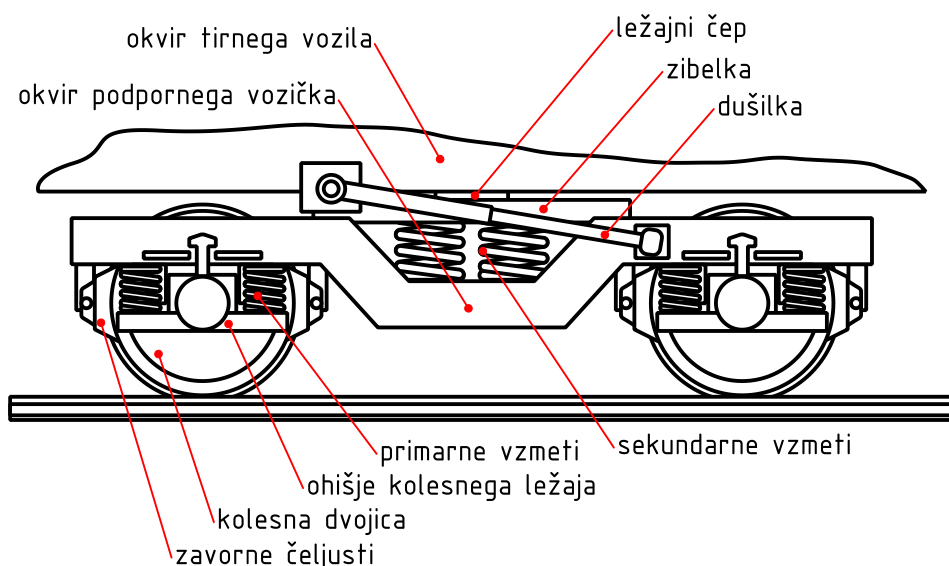
Slika 118: Sinusni tek kolesne dvojice

Skozi zgodovino so se na tirnih vozilih pojavljale tudi konstrukcije z neodvisno vrtljivimi kolesi na isti osi vendar se, razen nekaterih izjem (na primer vlaki Talgo), zaradi težav s stabilnostjo in povečano obrabo sledilnih vencev niso uveljavile.



Slika 119: Posamično vgrajena kolesna dvojica na starejšem tovornem vagonu

Kolesne dvojice so lahko na okvirje tirnih vozil vgrajene posamično (slika 119), lahko pa jih je po več skupaj (2, 3, redko 4) vgrajenih v podporne vozičke. Ti so na okvir vozila vpeti vrtljivo okoli navpične osi. Podporni vozički za potniške vagona in lokomotive imajo večinoma vzmetenje izvedeno v dveh stopnjah – primarno, s katerim so kolesne dvojice vzmetene glede na okvir podpornega vozička, in sekundarno, s katerim je podporni voziček vzmeten glede na okvir tirnega vozila. Slika 120 prikazuje glavne dele tipičnega dvoosnega podpornega vozička.



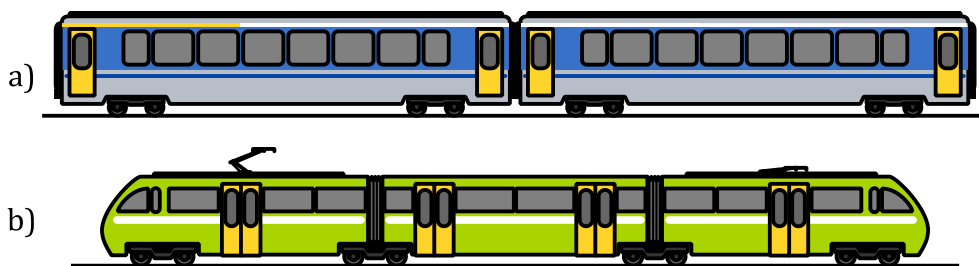
Slika 120: Glavni deli podpornega vozička z dvostopenjskim vzmetenjem

Podporni vozički za tovorne vagona, kakršnega prikazuje slika 121, so večinoma brez sekundarnega vzmetenja in brez ločenih elementov za dušenje nihanja.



Slika 121: Podporni voziček tovornega vagona

Železniška vozila, namenjena pogostemu razpenjanju in spenjanju v vlake (klasični potniški in tovorni vagoni), so večinoma podprta s po dvema podpornima vozičkoma. Pri trajno povezanih skupinah železniških vozil (na primer potniške garniture ali posebni tovorni vlaki) pa si lahko po dve vozili delita isti podporni voziček (primer tudi na sliki 108). Za ta namen se uporabljajo Jakobsovi⁸ podporni vozički, ki omogočajo manjše število kolesnih dvojic, boljšo izkoriščenost prostora in večjo varnost v primeru trkov. Primerjavo med "klasično" izvedbo podpornih vozičkov na potniških vagonih in "Jakobs" izvedbo na potniški garnituri shematično prikazuje slika 122.



Slika 122: Primerjava med "klasično" (a) in "Jakobs" (b) izvedbo podpornih vozičkov

4.3.4. Posebnosti dinamike tirnih vozil

Zaradi narave njihovega gibanja, njihove konstrukcije in uporabljenih materialov se dinamika tirnih vozil v določenih lastnostih razlikuje od gibanja dinamike drugih kopenskih vozil. Zaradi vožnje po tiru ima gibanje posameznega tirnega vozila eno samo glavno smer gibanja, zato ga lahko mnogokrat obravnavamo kot gibanje z eno samo prostostno stopnjo (za primerjavo: gibanje cestnega vozila pri normalni vožnji ima tri, gibanje zrakoplova pa šest prostostnih stopenj).

Prva pomembna razlika med tirnimi in cestnimi vozili je prenos sile s koles na podlago. Čeprav gre pri obeh vrstah vozil za prenos pogonskih sil s trenjem med kolesi in podlago, je pri tirnih vozilih zaradi materiala koles in tirnic to manjše kot pri cestnih vozilih (med jeklenim kolesom in jekleno tirnico je pri suhem

⁸ Po nemškem železniškem inženirju Wilhelmu Jakobsu (1858-1942)

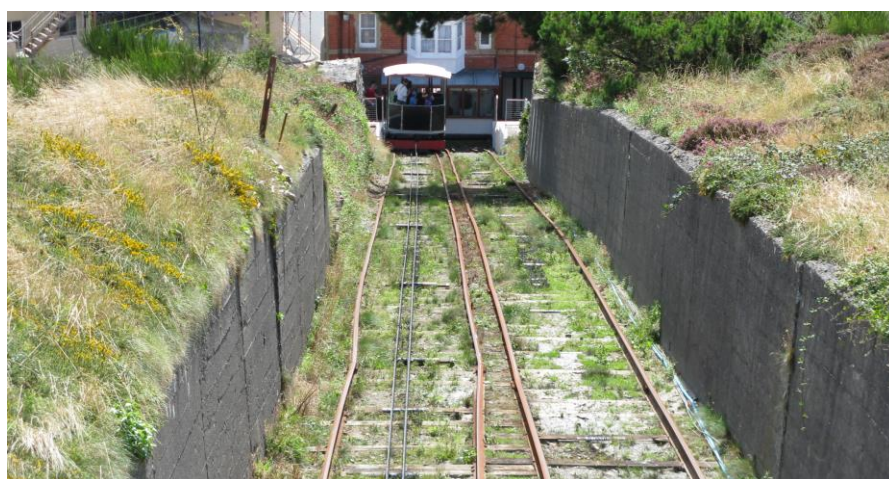
stiku mogoče doseči koeficient vprijemanja do 0,4, med gumijastim kolesom in asfaltno podlago pa do 1). Vsled tega imajo tirna vozila omejeno možnost pospeševanja in zaviranja ter posledično najvišjo potovalno hitrost, omejena pa je tudi njihova sposobnost vzpenjanja. Tirne proge so zato v primerjavi s cestami, ki dovoljujejo vzpone do 25% in več, bistveno manj strme. Njihovi vzdolžni nakloni α_m se merijo v promilih. Ker so nakloni majhni, lahko pri računanju z njimi uporabimo naslednjo poenostavitev:

$$\tan \alpha_m \approx \alpha_m. \quad (66)$$

Nekateri tipični nakloni tirnih prog so prikazani v tabeli 16. Kadar je na tirnih progah zahtevano premagovanje večjih vzponov, je treba poleg trenja zagotoviti dodatno vlečno silo, na primer z uporabo vlečnih vrvi (slika 123) ali zobatih letev.

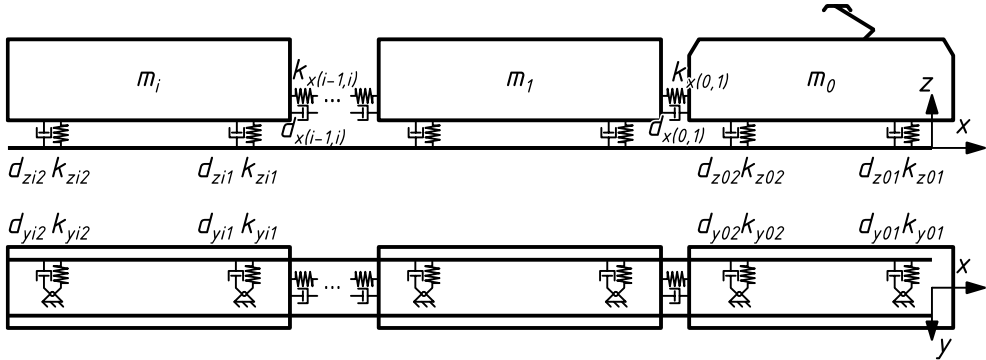
Tabela 16: Vzdolžni nakloni tirnih prog

vrsta proge	vzdolžni naklon
glavne proge	do 25‰
najstrmejši odsek proge v Sloveniji	26,7‰ (Prvačina – Štanjel, pri Kuku)
stranske proge	do 40‰
izjeme (npr. cestna železnica)	do 60‰
zobate železnice in vzpenjače	nad 60‰



Slika 123: Tirna vzpenjača z vrvnim pogonom in vzponom nad 50% (Aberystwyth, Wales)

Mehanski model vlaka, kadar ga obravnavamo na makro-skali, lahko predstavimo kot sistem togih teles, ki so med seboj in s tirom povezana z dušilkami in vzmetmi (slika 124).

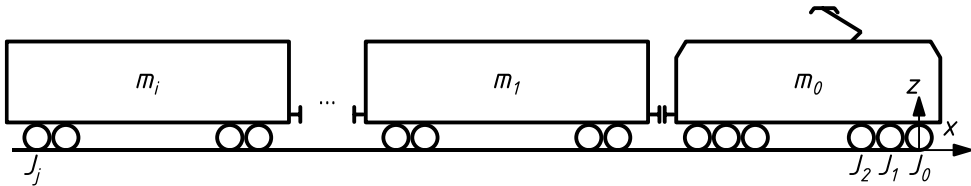


Slika 124: Mehanski model vlaka v treh koordinatnih smereh

Energija, ki je potrebna za vožnjo vlaka, je vsota kinetične energije zaradi gibanja vlaka in potencialne energije zaradi višinske razlike:

$$E_{\text{vlaka}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} \quad (67)$$

Na sliki 125 je prikazan vlak, ki je sestavljen iz i vozil z j osmi. Njegova kinetična energija je sestavljena iz translatorskega dela, ki je posledica premega gibanja vozil, in rotacijskega dela, ki je posledica vrtenja rotirajočih delov. Pri vagonih so rotirajoči deli kolesne dvojice, pri lokomotivah pa poleg njih še ostali deli pogona, ki jih zaradi njihovih sorazmerno majhnih mas mnogokrat lahko zanemarimo.



Slika 125: Model vlaka iz i vozil z j osmi

Translatorski del kinetične energije vlaka, ki vozi s hitrostjo v , lahko zapišemo kot

$$E_{\text{kin,trans}} = \sum_i \frac{m_i \cdot v^2}{2}, \quad (68)$$

njen rotacijski del pa kot

$$E_{\text{kin,rot}} = \sum_j \frac{J_j \cdot \omega_j^2}{2} = \sum_j \frac{J_j \cdot v^2}{2 \cdot r_j^2}. \quad (69)$$

Izraz za kinetično energijo lahko poenostavimo z vpeljavo faktorja mase δ , ki določa, kakšen je v celotni kinetični energiji delež rotacijskega dela:

$$\delta = 1 + \left(\sum_j \frac{J_j}{r_j^2} \right) / \left(\sum_i m_i \right). \quad (70)$$

Celotno kinetično energijo lahko tedaj s faktorjem mase izrazimo kot

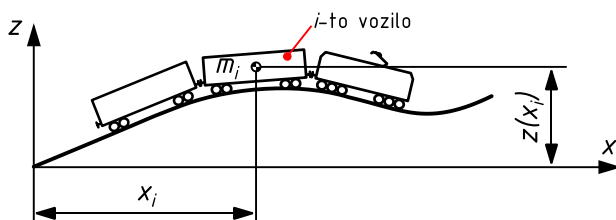
$$E_{\text{kin}} = \delta \cdot \frac{1}{2} \sum_i m_i \cdot v^2. \quad (71)$$

Eksperimentalno določeni in ocenjeni faktorji mas so za nekatera tirna vozila in vlake podani v tabeli 17.

Tabela 17: Faktorji mase vlakov in tirnih vozil (povzeto po [37])

vrsta vlaka ali vozila	faktor mase δ
potniški vlak	1,1
hitri vlak (ICE 3)	1,04
prazen tovorni vlak	1,15
naložen tovorni vlak	1,06
diesel lokomotiva	1,2 ... 1,3
električna lokomotiva	1,2 ... 1,3

Potencialna energija vlaka se spreminja z njegovo višino l . Za posamezno vozilo je odvisna od njegove lege x vzdolž proge, kot prikazuje slika 126.



Slika 126: Višina vozila v vlaku v odvisnosti od njegove lege na progi

Potencialno energijo celotnega vlaka na določenem mestu vzdolž proge lahko tedaj zapišemo kot

$$E_{\text{pot}} = \sum_i m_i \cdot g \cdot z(x_i). \quad (72)$$

Skupna potencialna energija je lahko tudi negativna, če je končna točka vožnje na nižji višini kot začetna.

Celotna energija vlaka predstavlja delo, ki ga moramo dovesti v sistem, da vlak doseže hitrost in premaga višinsko razliko, oziroma energijo, ki jo moramo do ustavitve z zavorami pretvoriti v toploto. Če imajo vozila vgrajene naprave za regenerativno zaviranje, lahko del kinetične energije pri upočasnjevanju

pretvorimo nazaj v električno energijo, ki jo vrnemo v omrežje ali shranimo v baterijah na vozilu.

Celotno energijo vlaka zapišemo kot:

$$E_{\text{cel}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \delta \cdot \frac{1}{2} \sum_i m_i \cdot v^2 + \sum_i m_i \cdot g \cdot z(x_i). \quad (73)$$

Poleg energije, ki je potrebna za pospeševanje, se določen del dovedene energije porabi tudi za premagovanje sil voznih uporov vlaka. Upori, ki nastopajo pri vožnji tirnih vozil, so posledica enakih fizikalnih pojavov kot upori pri vožnji cestnih vozil (podrobneje opisani v [8]). Zaradi drugačnih velikosti masnih, vztrajnostnih in tornih lastnosti pa so tudi velikosti sil uporov in njihovi deleži pri vožnji tirnih vozil drugačni od tistih pri cestnih vozilih.

Kotalni upor tirnih vozil je zaradi kotaljenja togih jeklenih koles po togih jeklenih tirnicah bistveno manjši kot pri cestnih vozilih z gumijastimi pnevmatikami. Silo kotalnega upora R_k posamezne kolesne dvojice tirnega vozila, obremenjene z navpično silo $F_{z,KD}$, na progi z vzdolžnim naklonom α_m zapišemo kot

$$R_k = F_{z,KD} \cdot f_k \cdot \cos \alpha_m, \quad (74)$$

kjer je f_k koeficient kotalnega upora. Ta ima pri tirnih vozilih vrednosti od 0,001 do 0,002 in je tako približno desetkrat manjši od tistega pri cestnih vozilih (za primerjavo: tipični koeficient kotalnega upora za pnevmatiko osebnega avtomobila na asfaltni cesti [8] je 0,015).

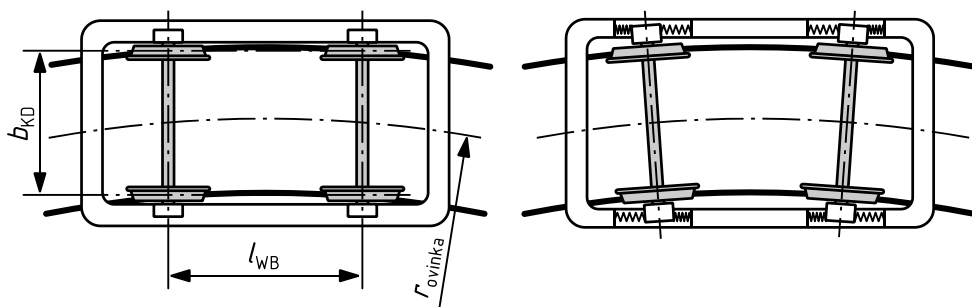
V ovinkih se kotalni upor tirnih vozil poveča. K temu prispevata drsenje kolesnih dvojic zaradi različnih dolžin notranje in zunanje tirnice ter povečano trenje med tirnicama in sledilnimi venci koles. To povečanje upora je odvisno od geometrije kolesnih dvojic in od geometrije njihovega vpetja (medosna razdalja l_{WB} in kolotek b_{KD} kot na sliki 127). Povečanje kotalnega upora v ovinkih je mogoče omejiti s podpornimi vozički z majhno medosno razdaljo ali z elastičnim vpetjem ležajev kolesnih dvojic. Takšna rešitev je prikazana na sliki 127 desno in se uporablja pri tirnih vozilih, ki vozijo po progah z majhnimi polmeri ovinkov (na primer cestne železnice).

Za oceno povečanja upora v ovinku so v uporabi različne empirične enačbe, zapisane na podlagi meritev. Ena izmed njih je Protopapadakisova⁹ enačba za silo kotalnega upora v ovinku:

$$R_{k,ovinek} = \frac{m_v \cdot g \cdot \mu}{r_{ovinka}} \cdot (\alpha_P \cdot l_{WB} + \gamma_P \cdot b_{KD}), \quad (75)$$

⁹ Enačbo je predstavil grški inženir Demosthenes Protopapadakis/Δημόσθενης Πρωπαδάκης (1873-1955) v zborniku *Internationale Eisenbahn-Kongress-Vereinigung* aprila 1937.

kjer je μ koeficient trenja med kolesi in tirnico, α_p in γ_p pa sta empirično ugotovljena brezdimenzijska koeficienta (za tipični vlak z vagoni s podpornimi vozički $\alpha_p = 0,47$ in $\gamma_p = 0,72$).



Slika 127: Podporni voziček pri vožnji v ovinek (desno izvedba z elastičnim vpetjem ležajev kolesnih dvojic)

Do povečanja kotalnega upora pride tudi **pri vožnji tirnih vozil prek usmerjevalnih naprav** (kretnice, križišča), kjer pride do udarcev v navpični smeri zaradi vožnje čez reže in do povečanega trenja kolesnih vencev ob krilne in vodilne tirnice ter kolesna vodila. Sila teh uporov je premosorazmerna masi vlaka in jo izrazimo kot

$$R_{k,usm} = c_{usm} \cdot m_v \cdot g, \quad (76)$$

kjer je c_{usm} koeficient povečanja sile kotalnega upora pri vožnji prek usmerjevalnih naprav, ki ima pri tipičnih tirnih progah vrednosti do $5 \cdot 10^{-3}$.

V celotnem uporu vožnje tirnega vozila imajo ponavadi nezanemarljiv delež tudi **upori v ležajih**, ki nastanejo zaradi viskoznega trenja (pri drsnih ležajih) in zaradi deformacij kotalnih elementov (pri kotalnih ležajih). Njihova velikost je premosorazmerna z navpičnimi obremenitvami ležajev in jo za posamezno kolesno dvojico lahko zapišemo kot

$$R_{lež} = c_{lež} \cdot F_{z,KD}, \quad (77)$$

kjer je $c_{lež}$ koeficient upora v ležajih, ki je do $0,6 \cdot 10^{-3}$ za drsne ležaje in do $0,2 \cdot 10^{-3}$ za kotalne ležaje. Upor v ležajih (predvsem drsnih) je še dodatno povečan pri zagonu vlaka, preden se v vseh ležajih vzpostavijo stacionarni pogoji obratovanja. To povečanje imenujemo **zagonski upor** in ga je treba upoštevati pri tirnih vozilih, ki pogosto ustavljajo in speljujejo (cestna železnica, lokalni vlaki), in pri vozilih, katerih pogonski sistem ima majhno zalogo moči.

Upore v transmisiji R_t , ki nastanejo zaradi mehanskega trenja v gonilih (zobniških in hidravličnih prenosnikih) in elektromagnetnih izgub v električnih

pogonih, izrazimo z izkoristkom transmisije η_t , zaradi katerega se zmanjša pogonska sila motorja F_{mot} , ki je na voljo na obodu pogonskih koles:

$$R_t = F_{\text{mot}} \cdot (1 - \eta_t). \quad (78)$$

Izkoristki transmisije so zelo odvisni od vrste pogona in imajo pri mehanskih pogonih z motorji z notranjim zgorevanjem vrednosti pod 0,8, pri visoko učinkovitih električnih pogonih z motorji neposredno na kolesnih dvojicah pa tudi nad 0,95.

Zaradi fizikalnih pojavov, ki so značilni za tirna vozila (sinusni tek kolesnih dvojic, dušenje vibracij tirnic, dušenje vibracij elementov tirnih vozil, dušenje v spenjalnih napravah, sredobežna sila pri vožnji v ovinek), se pri njihovi vožnji pojavijo še dodatne izgube energije, ki jih lahko popišemo s **silo dinamičnega upora** R_{din} , ki je odvisna od hitrosti vlaka v :

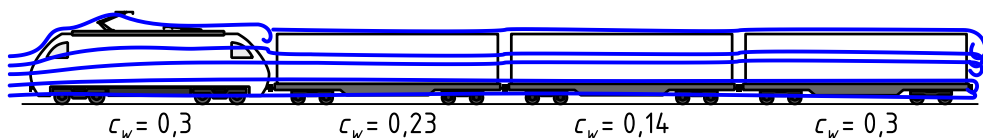
$$R_{\text{din}} = c_{\text{din}} \cdot k_D \cdot v, \quad (79)$$

kjer je c_{din} brezdimenzijski koeficient, odvisen od stanja proge, k_D pa koeficient dušenja, odvisen od vrste vozila (za tipičen vlak z dvoosnimi podpornimi vozički znaša med $3 \cdot 10^{-4}$ in $6 \cdot 10^{-4}$ Ns/m). Obe količini sta težko določljivi, zato mnogokrat silo dinamičnega upora obravnavamo kot del sile kotalnega upora. Z meritvami ugotovljeni deleži dinamičnega upora pri tipičnih vlakih predstavljajo okoli 1% celotne sile upora.

Za **zračni upor** tirnih vozil in vlakov, ki ne vozijo z zelo visokimi hitrostmi (do 200 km/h), velja, da je premosorazmeren s kvadratom hitrosti vlaka (enako velja tudi za večino cestnih vozil [8]). Silo zračnega upora zapišemo kot

$$R_{\text{zr}} = \frac{\rho_{\text{zr}}}{2} c_w \cdot A_n \cdot v^2, \quad (80)$$

pri čemer je A_n normirana površina ploskve natekanja (za vlake na normalnotirnih progah velja $A_n = 10 \text{ m}^2$), c_w pa koeficient zračnega upora. Ta je odvisen od oblike vozila in od tega, na katerem mestu v vlaku se vozilo nahaja. Slika 128 shematično prikazuje tokovnice zraka ob vlaku in tipične vrednosti koeficientov zračnega upora za lokomotivo in enake vagone na različnih mestih v vlaku.



Slika 128: Zračni upor vlaka

Gibanje vlaka skozi viskozni medij ima lahko za posledico še druge sile uporov, ki ga zavirajo. Sem sodijo sila zaradi povečanega trenja sledilnih vencev ob tirnice zaradi bočnega vetra, vrtinčenje zraka zaradi prisilnega hlajenja zavornih diskov in povečan zračni upor pri vožnji vlaka skozi predore. Tega izrazimo kot

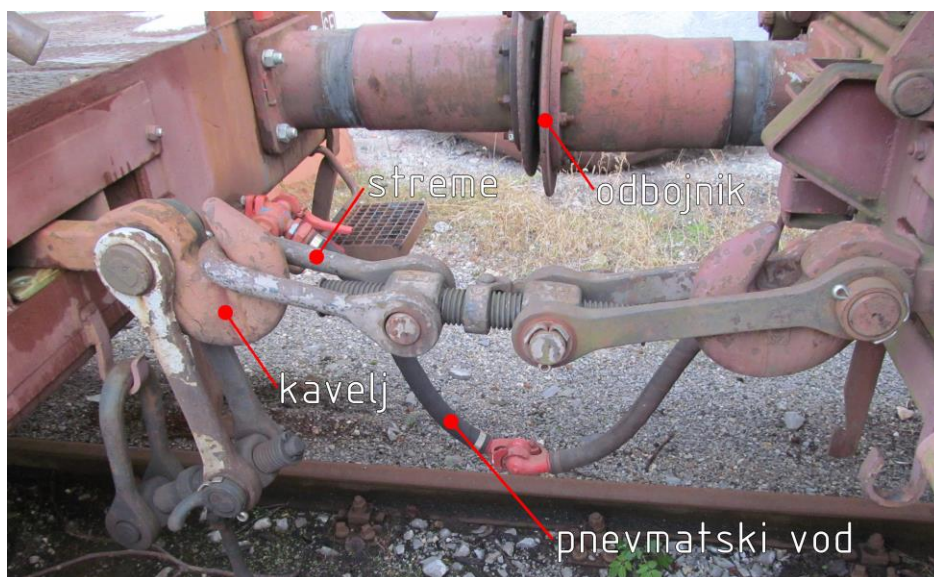
$$R_{\text{predor}} = c_{\text{predor}} \cdot R_{\text{zr}}, \quad (81)$$

kjer je c_{predor} koeficient povečanja zračnega upora v predoru. Ta je v splošnem večji od 1 (v daljših predorih tudi do 3) in je odvisen od dolžine predora, razmerja presekov vlaka in predora ter hrapavosti stene predora.

4.3.5. Naprave za spenjanje tirnih vozil

Tirna vozila morajo biti za povezovanje v vlake opremljena s spenjalnimi napravami. Te morajo prenašati vlečno in potisno silo med posameznimi vozili ter hkrati omogočati njihovo zahtevano medsebojno gibanje.

Kot standardna spenjalna naprava za tovarne vagone je na evropskih železnica že od zgodnjega 20. stoletja v uporabi vijačna spenjača, prikazana na sliki 129. Sestavljena je iz kavlja in stremena, ki sta vgrajena na čelu tirnega vozila, in prenaša samo vlečno silo. Za prenašanje potisne sile morajo biti zato na vozila vgrajeni dodatni odbojniki. Zaradi vsesplošne razširjenosti in visokih stroškov, ki bi bili povezani z menjavo na celotnem voznem parku, je v uporabi ostala tako dolgo kljub svojim številnim očitnim pomanjkljivostim. Te poleg prenašanja sile samo v eni smeri vključujejo še nezmožnost samodejnega spenjanja in razpenjanja ter s tem povezano nevarnost za železniške delavce, dodatne omejitve pri polmerih ovinkov zaradi odbojnikov in zahtevajo dodatno ločeno priključevanje pnevmatskih in električnih vodov. Poleg tega je njihova vlečna sila omejena na 500 kN (in sila porušitve na 700 kN), kar onemogoča sestavljanje daljših in težjih vlakov.



Slika 129: Tovarna vagona speta z vijačno spenjačo

Za spenjanje potniških garnitur so v uporabi različne vrste samodejnih spenjalnih naprav. V Evropi je najbolj razširjena spenjalna naprava tipa Scharfenberg¹⁰ (slika 130), ki zagotavlja samodejno spenjanje, prenaša tako vlečno kot potisno silo in zato ne potrebuje dodatnih odbojnikov. Odvisno od različice lahko spenjalne naprave tipa Scharfenberg prenašajo vlečne sile do 1000 kN in potisne sile do 1300 kN in so tipizirane z uredbo Evropske komisije [38].



Slika 130: Dieselmotorna potniška garnitura s spenjalno napravo tipa Scharfenberg (Süd-Thüringen-Bahn, Nemčija)

V zadnjem času se v evropskih železniških sistemih pojavljajo težnje po uvedbi standardizirane spenjalne naprave, ki bi delovala samodejno in odpravila pomanjkljivosti vijačne spenjače. Najbližje temu je spenjalna naprava C-AKv, ki omogoča samodejno spenjanje in povezovanje električnih ter pnevmatskih vodov, poleg tega pa dovoljuje tudi spenjanje z vozili, opremljenimi z vijačno spenjačo.

¹⁰ Po nemškem železniškem inženirju Karlu Scharfenbergu (1874-1938)

5. Vodni promet

Vodni promet poteka s plovili po vodnih površinah. Glede na vrsto vodne površine se deli na pomorski promet in notranji vodni promet (po rekah, jezerih in prekopih). Na večini vodnih površin je mogoče izvajati tako tovorni kot potniški promet.

Prednosti vodnega prometa so v možnosti hkratnega prevoza velikih količin blaga na dolгих razdaljah za zelo ugodno ceno, v enostavnem združevanju pošilk in majhni občutljivosti na izredne dogodke. Po drugi strani vodni promet ponavadi ne dosega velikih hitrosti ter zahteva zahtevno in drago infrastrukturo, kar sta njegovi bistveni slabosti.

5.1. Pomorski promet

5.1.1. Pomen in splošne lastnosti pomorskega prometa

V pomorski promet sodi prevoz blaga in potnikov po morju ter rekah in prekopih do pristanišč. Pravno je urejen ločeno od notranjega vodnega prometa in se deli na plovbo po odprtem morju ter priobalno plovbo. Izvaja se s plovili za pomorski promet. Prevozi v pomorskem prometu lahko potekajo kot linijski prevozi po voznem redu ali kot sproti dogovorjeni prevozi brez voznega reda (angleško "*tramp trading*").

Pretovor blaga in prestopanje potnikov potekata v pristaniščih, kjer morajo biti na voljo ustrezni pretovorni in potniški terminali. Po masi prepeljanega tovora ima pomorski promet z 90% daleč največji delež med vrstami prometa. V gospodarstvu EU je 95% izvoza in uvoza blaga prepeljanega po morju.

5.1.2. Plovila za pomorski promet

Sodobna plovila za pomorski tovorni promet so večinoma prilagojena vrsti tovora, ki ga z njimi transportiramo. Glede na njihov namen tako plovila delimo na naslednje vrste:

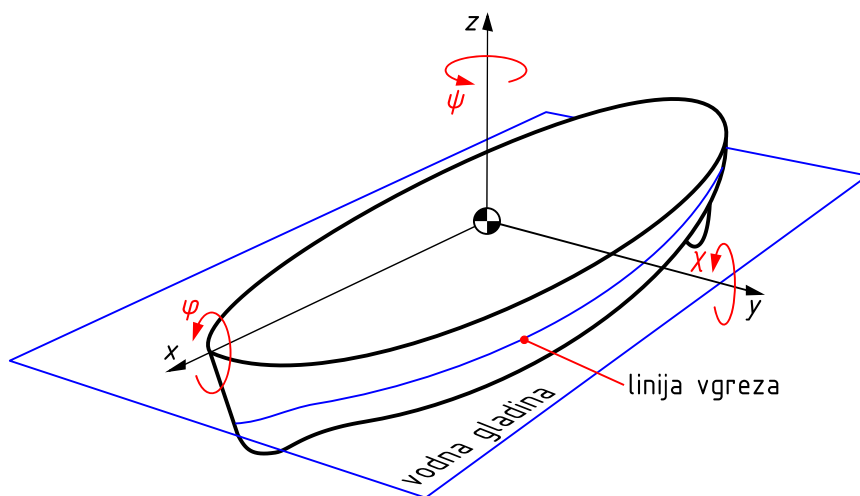
- ladje za kosovni tovor,
- ladje za razsuti tovor,
- tankerji za kapljevine,
- tankerji za pline,
- kontejnerske ladje,
- ladje za težke posamične tovore,
- ladje hladilniki za hitro pokvarljivo blago,
- ladje za prevoz avtomobilov (angleško *Pure Car Carrier – PCC/Pure Car and Truck Carrier – PCTC*),
- ladje za prevoz živali,
- ladje za prevoz tovora v vozilih (angleško *Roll-On-Roll-Off – RoRo*),
- trajekti,

- potniške ladje za križarjenja,
- potniške ladje za priobalno plovbo,
- potniške ladje za čezoceanski prevoz.

Poleg tega med plovila sodijo tudi ladje za dela na morskem dnu in za polaganje kablov ter plavajoča skladišča brez lastnega pogona. Vrste plovil, njihove lastnosti in konstrukcijske značilnosti so podrobneje opredeljene v serijski publikaciji Lloydovega registra o pravilih za klasifikacijo ladij [39].

5.1.3. Posebnosti dinamike plovil za zagotavljanje varnosti tovora

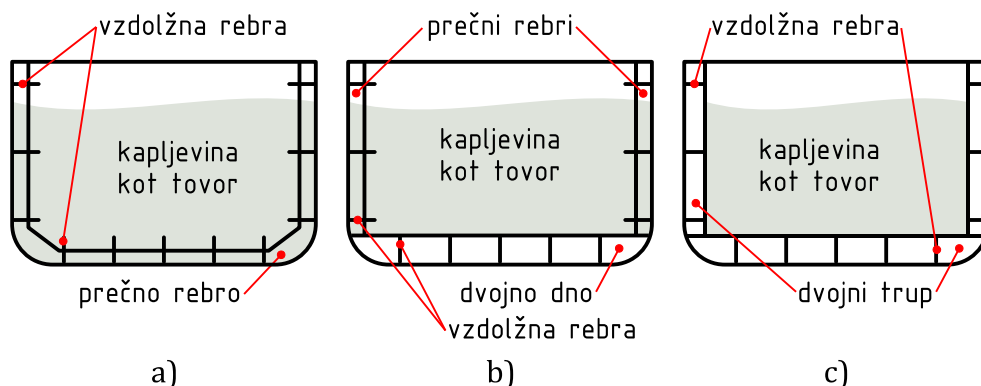
Gibanje plovil med plovbo se razlikuje od gibanja kopenskih vozil med vožnjo. Gibanje plovila na gladini vode ima v splošnem šest prostostnih stopenj, kot je prikazano na sliki 131. Kljub temu, da rotacijski in translacijski pospeški med normalno plovbo ponavadi ne dosegajo tistih pri vožnji kopenskih vozil, pa je zaradi možnih velikih zasukov v prečni in vzdolžni smeri varovanje tovora na njih ravno tako zahtevno. Zasuki okoli vzdolžne osi plovila (kot φ) dosegajo do 40° od navpične lege, zasuki okoli prečne osi (kot χ) do 10° in zasuki okoli navpične osi (kot ψ) do 5° od smeri plovbe. Pri premem gibanju plovila gre za kratke pomike, ki nastanejo pretežno zaradi valovanja vodne gladine. Plovilo se pri tem pomika vzdolžno (angleško *surge*), prečno (angleško *sway*) in navpično (angleško *heave*).



Slika 131: Gibanje plovila na vodni gladini

Konstrukcija ladijskega trupa za prevoz kapljevin mora, posebej kadar gre za velike tankerje za prevoz surove nafte, zagotavljati strukturno trdnost in varnost proti izteku tovora v morje. Plovila so zato lahko zgrajena z enojnim trupom (slika 132 a), z dvojnim dnom (slika 132 b) ali z dvojnim trupom (slika 132 c). Dvojni trupi utegnejo biti bolj odporni na preboj pri manjših trkih, vendar imajo v primerjavi z enojnimi za 20% in več večjo maso ter zahtevajo več vzdrževanja. Pri tankerjih, ki prevažajo naftne derivate, so občutljivi tudi na

nabiranje hlapov iz netesnih rezervoarjev med notranjo in zunanjo steno trupa, kar lahko vodi do eksplozij. Večina flote svetovnih tankerjev ima tako še vedno enojni trup.



Slika 132: Konstrukcijske izvedbe trupov plovil

5.1.4. Označevanje ladijske tonaže

Ladijska tonaža lahko predstavlja prostornino ali maso, ki sta neposredno povezana z gospodarsko zmogljivostjo plovila. Za plovila, zgrajena po 18. 7. 1982 podrobna pravila predpisuje *Mednarodna konvencija o merjenju ladijske tonaže*[40].

Nosilnost ladje (angleško *Deadweight tonnage – DWT*) predstavlja vsoto **mas** vsega, kar plovilo nosi (tovor, gorivo, zaloge, balast, posadka, potniki), izraženo v metričnih tonah.

Bruto tonaža (angleško *Gross Tonnage – GT*) je izračunana iz **prostornine** celotnega zaprtega votlega prostora plovila. V nekaterih primerih je korigirana glede na vrsto in velikost plovila. Uporabna je pri določanju splošnih pogojev za plovila (na primer zahteve po posadki, varnostne zahteve, dovoljenja za plovbo itd.). Izražena je v enotah GT.

Neto tonaža (angleško *Net Tonnage – NT*) je izračunana iz prostornine uporabnega tovarnega prostora plovila in je zato neposredno povezana z njegovo gospodarsko zmogljivostjo. Posledično je neto tonaža ponavadi osnova za izračuna dajatev za registracijo in obratovanje plovila.

Pri **kontejnerskih ladjah** je njihova kapaciteta izražena s številom 20' kontejnerjev, ki jih je mogoče namestiti na plovilo. Kot enota se uporablja 20' kontejnerski ekvivalent (angleško *Twenty-foot Equivalent Unit – TEU*).

Preden sta ju leta 1994 nadomestila bruto in neto tonaža, sta bila v veljavi pojma **bruto registrska tonaža** in **neto registrska tonaža**, kjer je bila "registrska tona" določena kot prostornina 100 kubičnih čevljev oziroma 2,832 m³, (ki tehta približno 2830 kg, če je napolnjena z vodo).

Glede na njihove dimenzije in tonaže Konferenca Združenih narodov za trgovino in razvoj (*UNCTAD*) [41] plovila razvršča v razrede, ki so poimenovani po svoji velikost oziroma po geografskih značilnostih, skozi katere lahko plujejo. Povzetek razvrstitve je prikazan v tabeli 18.

Tabela 18: Razredi plovil

razred	tonaža [DWT]	uporaba
ULCC (ultra large crude carrier)	nad 300.000	največji tankerji za prevoz surove nafte iz Zaliva do namenskih pristanišč v Evropi, Ameriki in Aziji
VLCC (very large crude carrier)	200.000 do 300.000	tankerji, manjši od ULCC, uporabni tudi v pristaniščih v Sredozemlju, Afriki in Severnem morju
VLOC/ULOC (very/ultra large ore carrier)	nad 200.000	največja plovila za rzsuti tovor, pretežno za prevoz železove rude iz J Amerike v Evropo in Azijo
Suezmax	120.000 do 199.999	tankerji, ki lahko plujejo skozi Sueški prekop
Aframax ¹¹	80.000 do 119.999	tankerji, ki so lahko pluli skozi Panamski prekop pred njegovo razširitvijo 2006
Panamax	60.000 do 79.999 za tankerje, 65.000 do 99.999 za ladje za rzsuti tovor	plovila, ki so lahko plula skozi Panamski prekop pred njegovo razširitvijo 2016 (tudi kontejnerske ladje nad 3000 TEU)
Neo Panamax	do 120.000	plovila, ki lahko plujejo skozi Panamski prekop po njegovi razširitvi leta 2016
Capesize	nad 100.000	plovila za rzsuti tovor, ki zaradi svojih dimenzij ne morejo pluti skozi Sueški ali Panamski prekop in morajo med oceani pluti okoli rta Agulhas oziroma rta Horn
Supramax	50.000 do 60.000	plovila za rzsuti tovor z manjšo kapaciteto in večjo fleksibilnostjo
Handymax	40.000 do 49.999	
Handysize	10.000 do 39.999	

5.1.5. Upravljanje in administrativni vidiki pomorskega prometa

Za upravljanje in nadzor pomorskega prometa na mednarodni ravni skrbi Mednarodna pomorska organizacija (angleško *International Maritime*

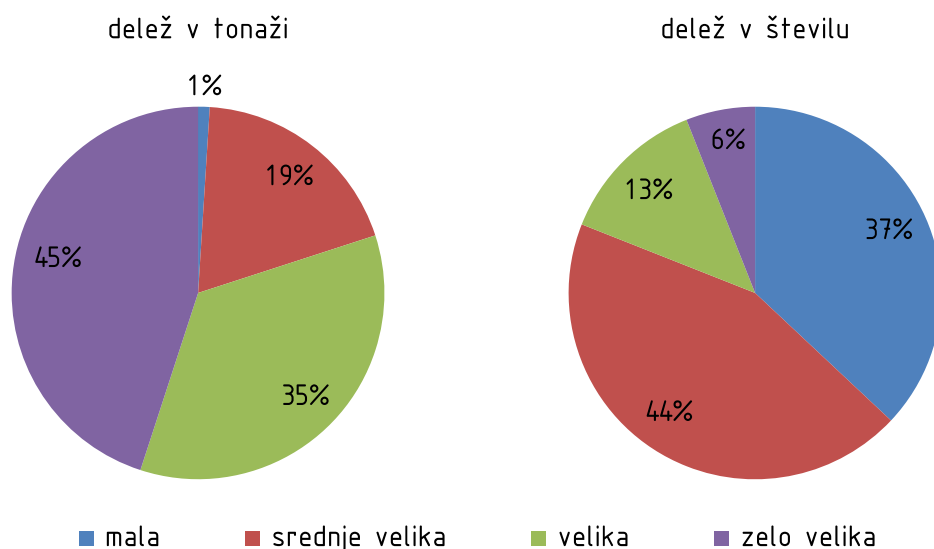
¹¹ AFRA (*Average Freight Rate Assessment*), sistem, ki ga je leta 1954 uvedlo naftno podjetje Shell Oil za poenotenje pogodbenih pogojev pomorskega transporta surove nafte.

Organization – IMO), ki skozi pripravo in stalno dopolnjevanje predpisov zagotavlja varnost, zanesljivost in učinkovitost plovbe, njene okoljske in pravne vidike ter tehnično sodelovanje med njenimi udeleženci. Iz njenega dela izhajajo nekatere mednarodno veljavne konvencije, ki urejajo različna področja pomorske plovbe. Med najpomembnejše sodita Mednarodna konvencija o varstvu človeškega življenja na morju (angleško *International Convention for the Safety of Life at Sea – SOLAS*) [42] in Mednarodna konvencija o preprečevanju onesnaženja morja z ladij (angleško *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships – MARPOL*) [43].

Upravljanju in nadzoru in analizam je podvržen tudi mednarodni trg pomorskih prevozov. Neodvisne organizacije, v katere so združeni izvajalci pomorskega prometa, njegovi uporabniki in posredniki, zbirajo, obdelujejo in objavljajo statistične podatke, iz katerih določajo kazalnike za posamezna področja pomorskega prometa. Za potrebe izdelave širših statistik so plovila lahko razdeljena tudi izključno po tonaži. Primer takšne delitve je podatkovna baza Equasis (angleško *Electronic Quality Shipping Information System*) [44], ki deli plovila po bruto tonaži na naslednji način:

- mala plovila (100 GT do 499 GT),
- srednje velika plovila (500 GT do 24.999 GT),
- velika plovila (25.000 GT do 59.999 GT),
- zelo velika plovila (60.000 GT in več).

Povprečni deleži posameznih kategorij v celotni svetovni trgovski floti glede na število in skupno tonažo plovil za leto 2014 so prikazani na sliki 133.



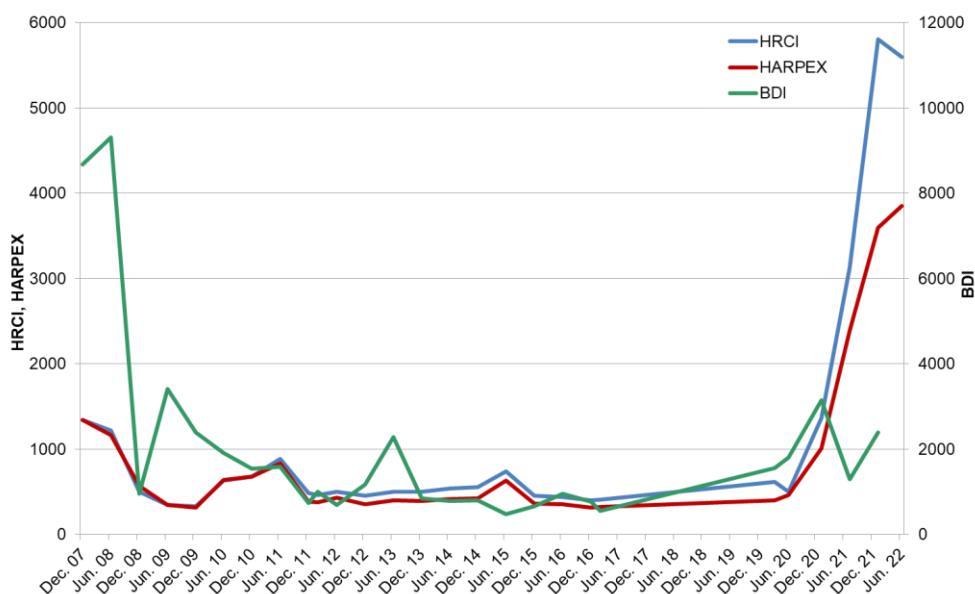
Slika 133: Deleži kategorij plovil v celotni svetovni trgovski floti

Svetovni trg pomorskih prevozov različnih vrst tovara in trende v gibanju njihovih cen spremljajo z različnimi indeksi cen, ki jih pripravljajo in izračunavajo neodvisne ustanove. Gibanje indeksov cen pomorskih prevozov je eden od pomembnih kazalnikov za ugotavljanje trenutnega in napovedovanje prihodnjega stanja svetovnega gospodarstva.

Cene prevozov **razsutega tovara** (premog, železova ruda, cement, pesek, umetna gnojila, granulati umetnih mas, žito) na 26 glavnih relacijah po svetu glede na razrede plovil (Capesize, Panamax, Supramax, Handysize) so vključene v **Baltic Dry Index (BDI)**. Cene prevozov **surove nafte** na 17 glavnih relacijah po svetu glede na razrede plovil (VLCC, Suezmax, Aframax, Panamax) so vključene v **Baltic Dirty Tanker Index (BDTI)**. Cene prevozov **naftnih derivatov** (bencin, dieselsko gorivo, kurilno olje, kerozin) na 7 glavnih relacijah po svetu so vključene v **Baltic Clean Tanker Index (BCTI)**. Vse štiri navedene indekse (poleg indeksov za posamezne razrede plovil) dnevno izračunava londonska agencija The Baltic Exchange.

Cene **kontejnerskih prevozov** so glede na razrede plovil vključene v indeksa **Harper Petersen Charter-Rate Index (HARPEX)** in **Howe Robinson Container Index (HRCI)**.

Graf na sliki 134 prikazuje gibanje indeksov HRCI, HARPEX in BDI od začetka leta 2008, ko se je začela svetovna gospodarska kriza, do sredine leta 2022, ko so se indeksi zaradi pandemije novega koronavirusa in geopolitičnih razmer zelo povišali.



Slika 134: Gibanje vrednosti indeksov pomorskih prevozov 2008-2022

5.2. Notranji vodni promet

Notranji vodni promet, včasih imenovan tudi kar rečni promet, poteka po celinskih vodnih poteh, ki jih sestavljajo reke, jezera in prekopi. Pravno je večinoma urejen ločeno od pomorskega prometa. V večini evropskih držav ga ureja *Evropski zakon o notranjih plovnih poteh* (francosko *Code Européen des Voies de la Navigation Intérieure – CEVNI*) [45]. V Sloveniji plovbo po celinskih vodah ureja *Zakon o plovbi po celinskih vodah*, ki pa nekaterih določil CEVNI (na primer signalizacije) ne vsebuje, zato je urejanje notranjega vodnega prometa trenutno večinoma prepuščeno lokalnim skupnostim. Primer signalizacije, usklajene s CEVNI je prikazan na sliki 135.



Slika 135: Primer signalizacije za rečno plovbo po CEVNI (Ljubljana, Ljubljana)

5.2.1. Pomen in splošne lastnosti notranjega vodnega prometa

Tovorni notranji vodni promet poteka po plovnih vodotokih ustrezne širine, globine in pretoka, zato ima pomemben delež v celotnem prometu le v državah na porečjih takšnih rek. V Evropi so glavne plovne poti reke Ren, Majna, Donava, Sena, Laba ter prekopi v Nemčiji in državah Beneluxa. Tovorni notranji vodni promet tako predstavlja nad 1% celotnega tovornega prometa v Nemčiji, v Belgiji, na Nizozemskem, v Franciji, v Avstriji, na Madžarskem, v Romuniji in v Bolgariji. V ostalih državah je ta delež manjši. V svetovnem merilu ima notranji vodni promet pomemben delež še na Kitajskem in v Indiji, kjer v zadnjih letih beleži tudi najhitrejšo rast.

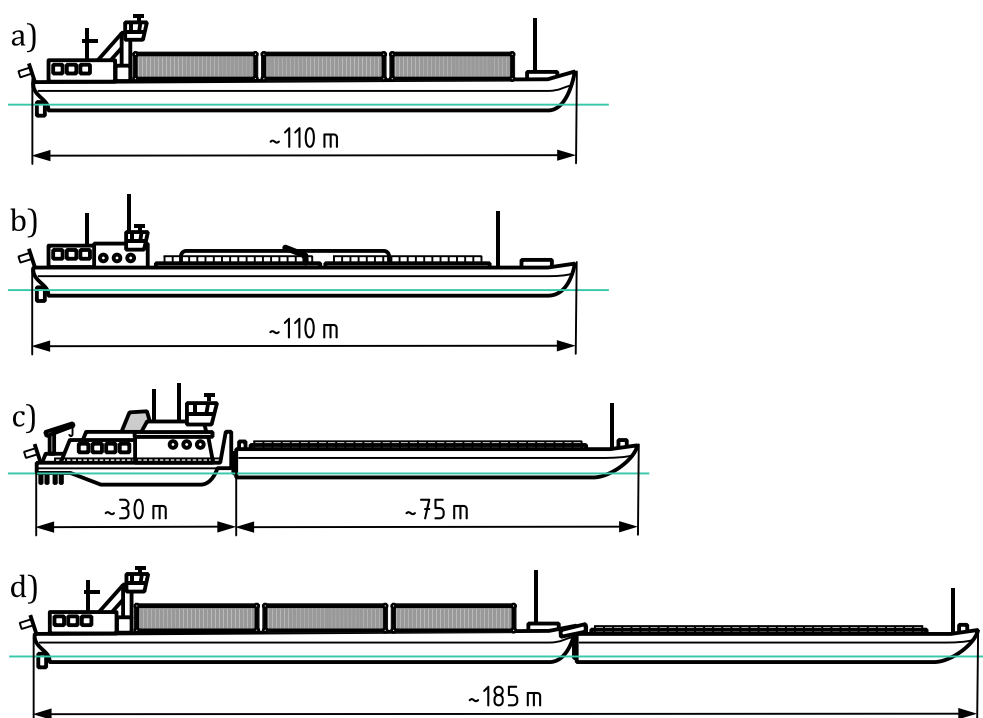
V Sloveniji je notranji vodni promet večinoma omejen na plovbo manjših plovil za turistične, športne in rekreacijske namene.

5.2.2. Plovila za notranji vodni promet

Plovila za notranji vodni promet se zaradi načina plovbe po konstrukciji večinoma razlikujejo od plovil za pomorski promet. Za plovbo po notranjih

vodnih poteh morajo plovila tako po eni strani imeti ustrezen pogon za plovbo proti rečnemu toku, po drugi strani pa morajo ustrezati geometrijskim omejitvam glede ugreza, dolžine, širine in višine nad gladino. Zadnje je posebej pomembno za plovbo pod premostitvenimi objekti – rečna plovila so zato večinoma široka in nizka. Zaradi odsotnosti močnejšega valovanja je lahko konstrukcija njihovega trupa v primerjavi s plovili za pomorski promet trdnostno šibkejša. V rečnem prometu se plovila za prevoz blaga mnogokrat povezujejo v skupine, sestavljene iz potisnih čolnov in barž brez lastnega pogona. Na širših plovnih poteh je mogoče barže združiti (primer: štiri vrste po pet 11 m širokih barž) in tako z enim potisnim čolnom prevažati tudi do 40.000 t tovora oziroma do 4000 TEU.

Na sliki 136 so shematično prikazane najpogostejše konstrukcijske oblike rečnih plovil za prevoz tovora: **kontejnerska ladja** (a), **ladja za prevoz kapljev in ali razsutega tovora** (b), **potisni čoln z baržo** za prevoz razsutega tovora (c) in **skupina** kontejnerske ladje in barže (d). Na slikah 137, 138 in 139 so prikazani primeri rečnih plovil z evropskih rek.



Slika 136: Konstrukcijske oblike rečnih plovil



Slika 137: Rečna ladja za prevoz razsutega tovara (Ren, Düsseldorf, Nemčija)



Slika 138: Potisni čoln z baržo za prevoz razsutega tovara (Laba, Dresden, Nemčija)



Slika 139: Potisni čoln z baržo s kosovnim tovorom (Neva, Sankt Peterburg, Rusija)

Posebna vrsta plovil za notranji vodni promet so tako imenovani "ozki" ali "kanalski" čolni (angleško "*narrow boat*" ali "*canal boat*"), namenjeni plovbi po umetnih prekopih, ki so večinoma omejene širine. Posebej so takšna plovila razširjena v Veliki Britaniji (slika 140) in so zgodovinsko služila tako prevozu blaga kot potnikov, danes pa imajo večinoma samo še turistični pomen.



Slika 140: Kanalski čoln (Birmingham, Velika Britanija)

6. Zračni promet

Zračni promet poteka po zraku z zrakoplovi. Po vrsti zrakoplovov ga delimo na letalski promet in promet z ostalimi vrstami zrakoplovov (helikopterji, zrakoplovi, lažji od zraka), po vrsti prevozov pa na prevoz blaga in prevoz potnikov. Civilni prevozi v zračnem prometu so organizirani kot linijski ali čarterski prevozi, ki jih opravljajo letalski prevozniki, oziroma kot splošno letalstvo (angleško *general aviation*), ki vključuje zasebne in ostale nekomercialne civilne prevoze. Zračni promet vojaških sil je večinoma urejen ločeno.

6.1. Pomen in splošne lastnosti zračnega prometa

Bistvena prednost zračnega prevoza je njegova hitrost. Zaradi zaprtega sistema nadzora zračnega prometa so njegove prednosti v primerjavi z ostalimi načini prometa tudi varnost, zanesljivost in točnost, kar lahko pripomore k zmanjšanju stroškov skladiščenja.

Zaradi omejene nosilnosti posameznih zrakoplovov je transportna zmogljivost zračnega prometa v primerjavi z ostalimi načini prometa majhna. Posledica tega je velika specifična poraba energije in večje obremenjevanje okolja glede na ostale načine prometa, kar se odraža v končni ceni prevoza. Zaradi visokih cen je prevoz blaga po zraku primeren predvsem za lažje tovore visokovrednega blaga z zahtevami po hitri dobavi. Velik del zračnega blagovnega prometa zato predstavljajo storitve KEP, katerih izvajalci so tudi operaterji največjih flot tovornih zrakoplovov.

6.2. Administrativna in pravna ureditev zračnega prometa

6.2.1. Organizaciji ICAO in IATA

Na svetovnem nivoju za načrtovanje in razvoj civilnega zračnega prometa skrbi **mednarodna organizacija za civilno letalstvo ICAO** (angleško *International Civil Aviation Organization*), ki deluje pod okriljem Organizacije združenih narodov. Njeno članstvo sestavlja 192 **držav** (191 članic OZN in Cookovi otoki, ki to niso). Njena glavna naloga je skrb za pripravo predpisov o načelih in postopkih mednarodne zračne plovbe in s tem zagotavljanje njene varnosti in vzdržne rasti. Za doseganje teh ciljev sprejema standarde in priporočila, ki zadevajo zračno plovbo, infrastrukturo za izvajanje zračnega prometa, nadzor poletov ter njihovo skladnost s pravnimi predpisi in postopki. Poleg tega tudi dodeljuje kode letališčem (primeri v tabeli 19) in letalskim družbam, predpisuje registracijske oznake zrakoplovov in oznake njihovih tipov, ki so v uporabi v vseh uradnih postopkih v zračnem prometu. Podrobneje so naloge ICAO opredeljene v Konvenciji o mednarodnem civilnem letalstvu [46].

Svetovni **letalski prevozniki** so povezani v **Mednarodno združenje za zračni transport IATA** (angleško *International Air Transport Association*), ki združuje 278 družb iz 117 držav. Njegova glavna naloga je podpora dejavnostim letalskih

družb ter priprava politik in predpisov s področij zanesljivosti in varnosti zračnega prometa, poenostavljanja poslovanja, razvoja sistemov za prodajo vozovnic ter varovanja okolja.

Za potrebe upravljanja komercialnega zračnega prometa in njegovo povezavo z drugimi načini prometa IATA dodeljuje lastne kode in oznake prestopnim terminalom (letališčem in ostalim, če so intermodalna in vključujejo letalski promet), prevoznikom (letalskim in ostalim), lastnikom ULD enot, in izdajateljem prtljažnih značk. V tabeli 19 je zbrana primerjava oznak nekaterih svetovnih letališč s kodami ICAO in IATA.

IATA kot komercialno združenje svoje poslovanje financira iz članarin in iz prihodkov od prodaje publikacij in nujenja storitev.

Tabela 19: ICAO in IATA kode nekaterih letališč

letališče	mesto, država	ICAO koda	IATA koda
Amsterdam Schiphol	Amsterdam, Nizozemska	EHAM	AMS
Auckland	Auckland, Nova Zelandija	NZAA	AKL
Beijing Capital	Peking, LR Kitajska	ZBAA	PEK
Belgrade Nikola Tesla	Beograd, Srbija	LYBE	BEG
Berlin Brandenburg	Berlin, Nemčija	EDDB	BER
Berlin Schönefeld	Berlin, Nemčija	EDDB	SXF
Berlin Tegel	Berlin, Nemčija	EDDT	TXL
Brussel National	Bruselj, Belgija	EBBR	BRU
Bucharest Henri Coanda	Bukarešta, Romunija	LROP	OTP
Budapest Ferihegy	Budimpešta, Madžarska	LHBP	BUD
Cairo Intl.	Kairo, Egipt	HECA	CAI
Cape Town	Cape Town, JAR	FACT	CPT
Cerklje ob Krki	Cerklje ob Krki, Slovenija	LJCE	-
Chicago O'Hare	Chicago, ZDA	KORD	ORD
Copenhagen Kastrup	København, Danska	EKCH	CPH
Doha	Doha, Katar	OTBD	DOH
Dubai	Dubaj, ZAE	OMDB	DXB
Dublin	Dublin, Irska	EIDW	DUB
Edvarda Rusjana	Maribor, Slovenija	LJMB	MBX
Fiumicino L. Da Vinci	Rim, Italija	LIRF	FCO
Frankfurt	Frankfurt, Nemčija	EDDF	FRA
Friuli Venezia Giulia	Trst, Italija	LIPQ	TRS
Graz	Gradec, Avstrija	LOW	GRZ
Helsinki - Vantaa	Vantaa, Finska	EFHK	HEL
Istanbul Ataturk	Carigrad, Turčija	LTBA	IST
John F. Kennedy	New York, ZDA	KJFK	JFK
Jožeta Pučnika	Ljubljana, Slovenija	LJLJ	LJU
Keflavik	Keflavik, Islandija	BIKF	KEF

Kiev Boryspil	Kijev, Ukrajina	UKBB	KBP
Kimpo Intl.	Seul, Južna Koreja	RKSS	SEL
London City	London, ZK	EGLC	LCY
London Gatwick	London, ZK	EGKK	LGW
London Heathrow	London, ZK	EGLL	LHR
London Luton	London, ZK	EGGW	LTN
London Stanstead	London, ZK	EGSS	STN
Madrid Barajas	Madrid, Španija	LEMD	MAD
Moskva Domodedovo	Moskva, Rusija	UUDD	DME
Moskva Šeremetjevo	Moskva, Rusija	UUEE	SVO
Moskva Vnukovo	Moskva, Rusija	UUWW	VKO
München	München, Nemčija	EDDM	MUC
Oslo Gardermoen	Oslo, Norveška	ENGM	OSL
Paris - Charles de Gaulle	Pariz, Francija	LFPG	CDG
Paris - Le Bourget	Pariz, Francija	LFPB	LBG
Paris - Orly	Pariz, Francija	LFPO	ORY
Portorož	Portorož, Slovenija	LJPZ	POW
Praha Ruzyně	Praga, Češka	LKPR	PRG
Pristina	Priština, Kosovo	LYPR	PRN
Riga	Riga, Latvija	EVRA	RIX
Rovaniemi	Rovaniemi, Finska	EFRO	ROV
Sarajevo	Sarajevo, BIH	LQSA	SJJ
Schwechat	Dunaj, Avstrija	LOWW	VIE
Seattle-Tacoma	Seattle, ZDA	KSEA	SEA
Skopje	Skopje, Makedonija	LWSK	SKP
Stockholm Arlanda	Stockholm, Švedska	ESSA	ARN
Strassbourg	Strassbourg, Francija	LFST	SXB
Svalbard	Longyearbyen, Norveška	ENSB	LYR
Sydney Kingsford Smith	Sydney, Avstralija	YSSY	SYD
Tallinn	Talin, Estonija	EETN	TLL
Tokyo Haneda	Tokio, Japonska	RJTT	HND
Vagar	Vagar, Ferski otoki	EKVG	FAE
Warsaw Frederic Chopin	Varšava, Poljska	EPWA	WAW
Zagreb	Zagreb, Hrvaška	LDZA	ZAG
Zürich	Zürich, Švica	LSZH	ZRH

6.2.2. Svoboščine zračnega prometa

Sodobni komercialni zračni promet temelji na devetih "svoboščinah zračnega prometa" (angleško "*Freedoms of the Air*") [47], ki veljajo za vse operaterje zračnega prometa iz držav članic ICAO. Pri tem je prvih pet svoboščin dogovorjenih med članicami z mednarodno pogodbo, ostale pa ICAO označuje kot "tako imenovane", ker takšen dogovor zanje ne obstaja. Zadnji dve izmed svoboščin (osma in deveta) sta bili dogovorjeni kasneje od ostalih in dovoljujeta

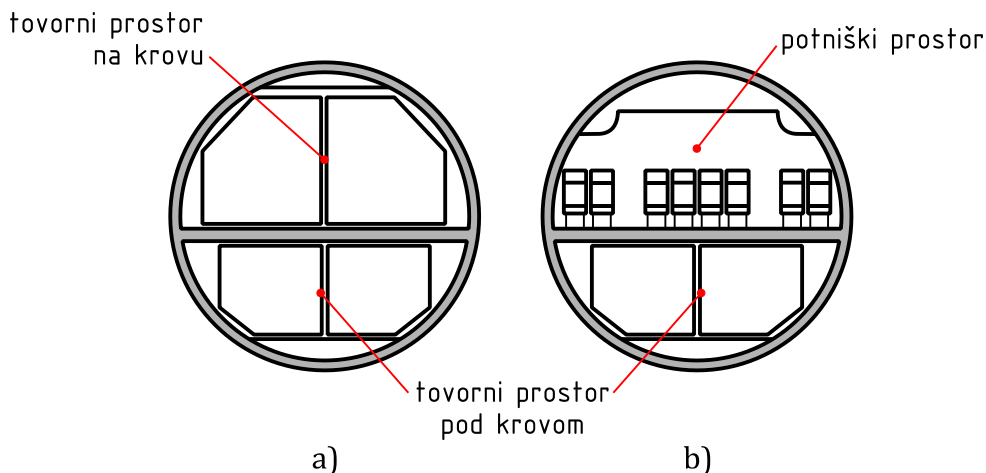
letalskim prevoznikom kabotažo (notranji promet) na ozemlju tuje države. Posamezne svoboščine zračnega prometa so opisane in prikazane v tabeli 20.

Tabela 20: Svoboščine zračnega prometa

št.	svoboščina	prikaz
1.	prelet zračnega prostora tuje države	
2.	tehnični postanek v tuji državi	
3.	neposredni transport blaga/potnikov v tujo državo	
4.	neposredni transport blaga/potnikov iz tuje države	
5.	transport med tujima državama z začetkom ali koncem v domači državi	
6.	transport med tujima državama z vmesnim postankom v domači državi	
7.	transport med tujima državama brez obiska domače države	
8.	kabotaža s ciljem ali začetkom v domači državi	
9.	kabotaža v tuji državi	

6.3. Posebnosti opreme za zračni promet

Zračni transport blaga se lahko izvaja s posebej za to prilagojenimi zrakoplovi, pri katerih je celoten prostor namenjen prevozu tovora (slika 141 a), lahko pa je del kombiniranega potniško-tovornega prevoza, kjer se tovor prevaža le v delu notranjega prostora zrakoplova (slika 141 b).



Slika 141: Presek trupa tovornega (a) in potniškega (b) letala

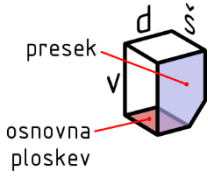
6.3.1. ULD enote – palete in kontejnerji

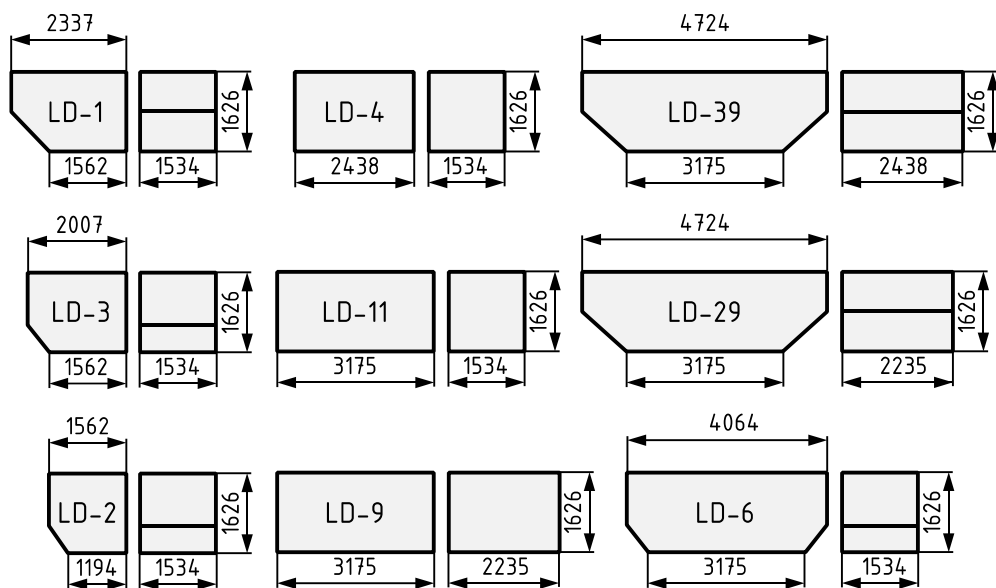
Zaradi oblike in narave gibanja zrakoplovov morajo biti tovarne enote za prevoz z njimi ustrezno oblikovane. Poleg tega morajo zagotavljati varnost in enostavno premeščanje med posameznimi vrstami zrakoplovov, imeti čim manjšo lastno maso in čim boljše izkoriščati tovarni prostor v zrakoplovu. Posebej pomembno je, da so preprečeni vsakršni premiki tovora znotraj zrakoplova, ki bi lahko povzročili premik njegovega težišča in s tem poslabšali njegovo dinamiko leta.

Zaradi navedenih zahtev se v blagovnem zračnem prometu uporabljajo izključno tipizirana pomožna transportna sredstva v obliki palet in kontejnerjev, skupno poimenovana "enotne nakladalne naprave" (angleško *Unit Load Device* – *ULD*). Po svoji naravi so takšne naprave deli zrakoplovov in zato zanje veljajo stroga pravila, ki sicer urejajo plovnost in obratovanje zrakoplovov. Njihove tehnične lastnosti in označevanje urejajo predpisi IATA [48], ki določajo tudi obliko in trdnostne zahteve naprav za varovanje tovorov na zrakoplovih.

Oznaka vsake ULD enote se začne s trimestno kodo, s katero sta enolično določeni njeni vrsta in geometrija, sledita ji še serijska številka in koda lastnika. Tabela 21 povzema pomen oznak za vrsto in geometrijo na prvih treh mestih (Z1, Z2 in Z3) teh oznak. Geometrija nekaterih pogosto uporabljenih oblik ULD kontejnerjev je prikazana na sliki 142, na sliki 144 pa so vidne ULD enote z oznakami v uporabi.

Tabela 21: Vrste in oznake ULD enot

Z1	vrsta enote	Z2	d × š osnovne ploskve [mm (in.)]	Z3	d × v preseka [mm], oblika, namestitvev
A	certificiran letalski kontejner	A	2235 × 3175 (88 × 125)	A	2438 × 2438 □ na krovu
B	certificirana paleta s policama	B	2235 × 2743 (88 × 108)	B	2438 × 2438 □ na krovu, zračenje
D	necertificiran letalski kontejner	G	2438 × 6058 (96 × 238,5)	C	2337 × 1626 □ pod krovom
F	necertificirana letalska paleta	K	1534 × 1562 (60,4 × 61,5)	D	2438 × 2997 ▢ na krovu
G	necertificirana letalska mreža	L	1534 × 3175 (60,4 × 125)	E	2007 × 1626 □ pod krovom
H	certificiran boks za konja	M	2438 × 3175 (96 × 125)	F	4064 × 1626 ▢ pod krovom
J	toplotni nenosilni kontejner ("iglu")	N	1562 × 2438 (61,5 × 96)	G	2007 × 1143 □ pod krovom
K	certificiran boks za drobnico	P	1198 × 1534 (47 × 60,4)	H	2438 × 1143 ▢ pod krovom
L	certificiran večkonturni letalski kontejner	Q	1534 × 2438 (60,4 × 96)	J	2438 × 2438 ▢ na krovu
M	toplotni necertificiran letalski kontejner	R	2438 × 4978 (96 × 196)	K	3175 × 1626 ▢/▢ na krovu/pod krovom
N	certificirana letalska mreža	S	1562 × 2235 (61,5 × 88)	L	2438 × 2946 ▢ na krovu
P	certificirana letalska paleta			M	2235 × 2286 □ na krovu
Q	certificiran ojačan letalski kontejner			N	2007 × 1626 ▢ pod krovom, zračenje
R	toplotni certificiran letalski kontejner			P	3175 × 1626 □ pod krovom
S	certificiran večmodalni zračni/kopenski kontejner			U	4724 × 1626 ▢ pod krovom
U	nenosilni kontejner ("iglu")			V	2438 × 2438 ▢ na krovu
V	oprema za prevoz avtomobilov			X	2438 × 2997 ▢ na krovu
W	certificirana ULD enota za prevoz letalskega motorja			Y	3175 × 2083 ▢ na krovu
				Z	3175 × 2083 ▢ na krovu



Slika 142: Nekatere oblike in dimenzije pogosto uporabljenih ULD enot in oznake njihovih tipov

6.3.2. Oprema za talno podporo

Oskrba zrakoplovov na letališčih zahteva infrastrukturo in opremo. Opremo za talno podporo (angleško *Ground Support Equipment – GSE*) sestavlja oprema za samo oskrbo zrakoplovov in oprema za logistiko tovora in potnikov.

Med prvo spadajo naprave za črpanje goriva, zaganjalniki reaktivnih motorjev, vlačilci in potisna vozila (slika 143), talni generatorji, cisterne za gorivo, pitno in odpadno vodo ter naprave za razledenitev in gašenje. Te naprave so večinoma izdelane kot vozila, bodisi z lastnim pogonom ali kot priklopniki. K zrakoplovu jih pripeljejo k zrakoplovu, ko je le-ta ustavljen na letališki ploščadi, in jih po končani oskrbi spet odstranijo. V to skupino sodijo tudi naprave za zavarovanje zrakoplovov pred neželenimi pomiki (cokle za blokiranje koles, podporna stojala).

Med opremo za logistiko tovora in potnikov sodijo različne oblike transporterjev (tračni za kosovno prtljago, dvižni in tračni za ULD enote, za hrano), vozički in vlečna vozila, potniški mostovi in stopnice.

Oprema za logistiko tovora predstavlja vmesnik med tovornimi enotami, ki so večinoma ULD enote, in zrakoplovi, ki se razlikujejo po lastnostih in geometriji odprtih in naprav za nakladanje tovora.

Celotne flote opreme za talno podporo na večjih letališčih vsebujejo veliko število posameznih kosov (predvsem manjših, kot so vozički in vlečna vozila), kar zahteva tudi uporabo celovitih rešitev nadzora in upravljanja z njimi.



Slika 143: Potiskanje letala s parkirne pozicije (EDDM, München, Nemčija)



Slika 144: Oprema za talno podporo in ULD enote (EFHK, Vantaa, Finska)

6.4. Kontrola zračnega prometa

Naloge kontrole zračnega prometa so ločevanje zrakoplovov v zraku in tleh za preprečevanje trkov med njimi, organiziranje in pospeševanje tokov zračnega prometa ter nudenje informacij pilotom zrakoplovov. Svoje naloge kontrola zračnega prometa izpolnjuje z usmerjanjem pilotov zrakoplovov prek radijske komunikacije.

Zgodovinsko je kontrolo zračnega prometa nad svojim ozemljem opravljala vsaka država zase. Po političnih in gospodarskih integracijah v Evropi konec 20. stoletja so se začele povezovati tudi kontrole zračnega prometa iz posameznih

držav. Tako je nastala iniciativa "Enotno evropsko nebo" (angleško *Single European Sky – SES*), katere namen je združiti kontrole zračnega prometa držav Evropske unije za povečanje zmogljivosti zračnega prometa in izboljšanje njegove varnosti. Področje se širi tudi na Zahodni Balkan kot del iniciative FAB CE (angleško *Functional Airspace Block Central Europe*), v kateri sodelujejo Avstrija, Bosna in Hercegovina, Češka, Hrvaška, Madžarska, Slovaška in Slovenija.

7. Pomožna transportna sredstva

Transport kosovnega tovora v majhnih enotah večinoma ni gospodaren. Po eni strani se povešajo skupni stroški pretovarjanja takšnih tovorov in poslabša izkoriščenost prostora na transportnem sredstvu, po drugi strani pa je blago, transportirano na takšen način, skozi celoten proces transporta izpostavljeno mehanskim poškodbam in krajam posameznih enot.

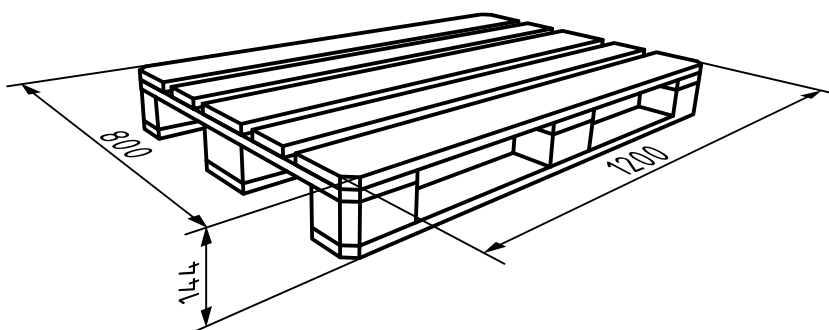
Naštete izzive je mogoče rešiti z uporabo sredstev, s katerimi manjše tovarne enote združimo v večje, ki jih nato med transportom ne razdružujemo. Za takšno združevanje uporabljamo naprave, ki jih s skupnim imenom imenujemo pomožna transportna sredstva (tudi pomožna nakladalna sredstva) in jih uporabimo za to, da nanje tovarne enote naložimo, jih vanje vložimo ali jih vanje zapremo. Mednje sodijo različne vrste palet, kontejnerjev in različne vrste zamenljivih nadgradenj za vozila. Značilnost večine izmed njih je, da jih lahko uporabljamo na različnih transportnih sredstvih, ne da bi bilo treba njihovo vsebino kakorkoli spreminjati, zaradi česar so po svoji naravi intermodalna (primer: intermodalni prevoz kontejnerja od izvira do ponora v cestnem, železniškem, rečnem in pomorskem prometu).

7.1. Palete

Paleta predstavlja najenostavnejša pomožna transportna sredstva. Večinoma se uporabljajo za združevanje kosovnih tovorkov definirane oblike. Pri tem za povezovanje zahtevajo dodatno opremo (vrvi, mreže, folije). Za transport splošnih tovorov so najbolj razširjene paleta, izdelane iz lesa, ki so na voljo v različnih velikostih, njihove oblike in dimenzije pa so standardizirane. Njihove dimenzije povzema tabela 22. Pri transportiranju tovora na paletah v kontejnerjih je pomembna tudi izguba prostora zaradi neujemanja mere obeh pomožnih transportnih sredstev. Paleta z dimenzijami 1000×1200 mm ima sicer najboljšo izkoriščenost prostora v kontejnerju, vendar je zaradi njene širine ni mogoče spraviti skozi standardna enokrilna vrata. V Evropi je zato najpogostejše v uporabi paleta z dimenzijami 800×1200 mm (pogovorno mnogokrat imenovana "euro" paleta), kot jo prikazuje slika 145, ali njena "polovična" izvedba dimenzij 800×600 mm (slika 146). Pomembnejši standardi, ki urejajo obliko, dimenzije, konstrukcijske trdnostne zahteve in označevanje lesenih palet so EN 13382, EN 13626, EN 13698, ISO 6780 in ISO 8611 [49-53].

Tabela 22: Dimenzije in uporaba različnih standardnih palet

mere (š × d) [mm/(")]	izguba prostora v 20' kontejnerju	področje uporabe
800 × 600 (31,5 × 23,62)	15,2%	Evropa
800 × 1200 (31,5 × 47,24)	15,2%	Evropa
1000 × 1200 (39,37 × 47,24)	6,7%	Evropa
1100 × 1100 (43,3 × 43,3)	14%	Azija
1067 × 1067 (42 × 42)	11,5%	ZDA, Evropa, Azija
1165 × 1165 (45,87 × 45,87)	8,1%	Avstralija
1219 × 1016 (48 × 40)	11,7%	ZDA, Kanada

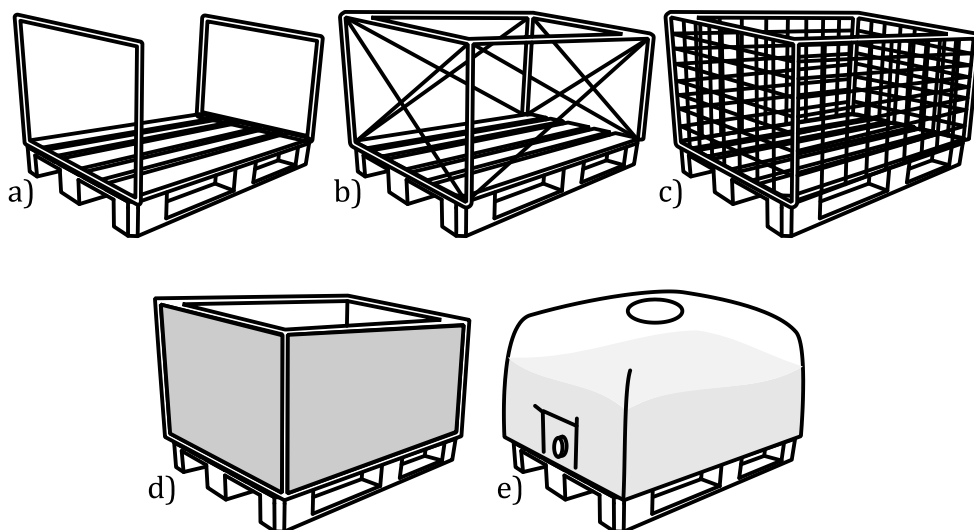


Slika 145: "Euro" paleta 800 × 1200 mm po ISO 6780



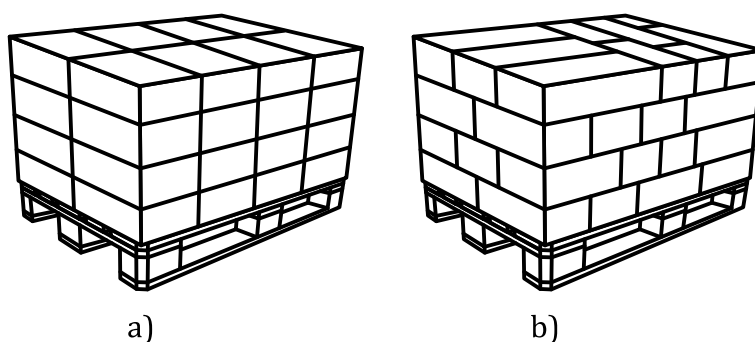
Slika 146: Sklad "euro" palet (spodaj 800 × 1200 mm, zgoraj 800 × 600 mm)

Paleta imajo lahko prigradjene **dodatne elemente za varovanje tovora** na njih, kot je prikazano na sliki 147: **varnostna loka** (a), **okvir** (b), **kletko** (c), **zabo** (d) ali **vsebnik za kapljevine** (e). Takšne paleta so primerne tudi za transport nepovezanega kosovnega materiala manjših dimenzij ali kapljev.



Slika 147: Palete z dodatnimi elementi za varovanje tovora

Da paleta res predstavlja neločljivo tovarno enoto, morajo biti posamezni tovorki na njej ustrezno povezani in zavarovani pred premiki. To dosežemo s povezovanjem (na primer z mrežo, s trakovi ali s toplotno skrčljivo folijo) oziroma z ustreznim povezanim zlaganjem (slika 148). Od načina zlaganja je odvisen tudi način depaletiziranja, ki je pri zlaganju v stebre enostavnejše na račun slabšega varovanja tovorkov na paleti proti premikanju.



Slika 148: Zlaganje tovorkov na paletu (a - v stebre, b - povezano)

Slika 149 prikazuje primer varovanja kosovnega tovora na paleti s toplotno skrčljivo folijo (levo) ter različni izvedbi palet z zabojem (desno).



Slika 149: Uporaba palet

7.2. Kontejnerji

Začetki kontejnerizacije segajo v leta po 2. svetovni vojni, ko se je pokazala potreba po intermodalnem pomožnem transportnem sredstvu, ki bi tedaj ponovno oživljajočemu gospodarstvu olajšalo in pocenilo transport kosovnega blaga na daljših razdaljah. Prve standardizacije kontejnerjev se pojavijo okoli leta 1950. Med zgodnjimi uporabniki in pobudniki standardizacije je najbolj znano ameriško podjetje SeaLand¹², ki je kontejnerje uporabljalo kot intermodalno pomožno transportno sredstvo v cestnem in pomorskem prometu. Zgodovina kontejnerizacije in njen vpliv na razvoj svetovnega gospodarstva je obširno in na poljuden način predstavljena v knjigi Marca Levinsona "*The Box*" [54].

Uporaba kontejnerjev v čezoceanskem pomorskem prometu se je začela konec 60. let 20. stoletja in se je v 70. letih z uvedbo svetovnih standardov močno povečala. V sodobnem gospodarstvu je več kot 90% kosovnega tovora prepeljanega v kontejnerjih, skupni pretovor kontejnerjev v največjih svetovnih pristaniščih pa presega 600.000.000 TEU letno.

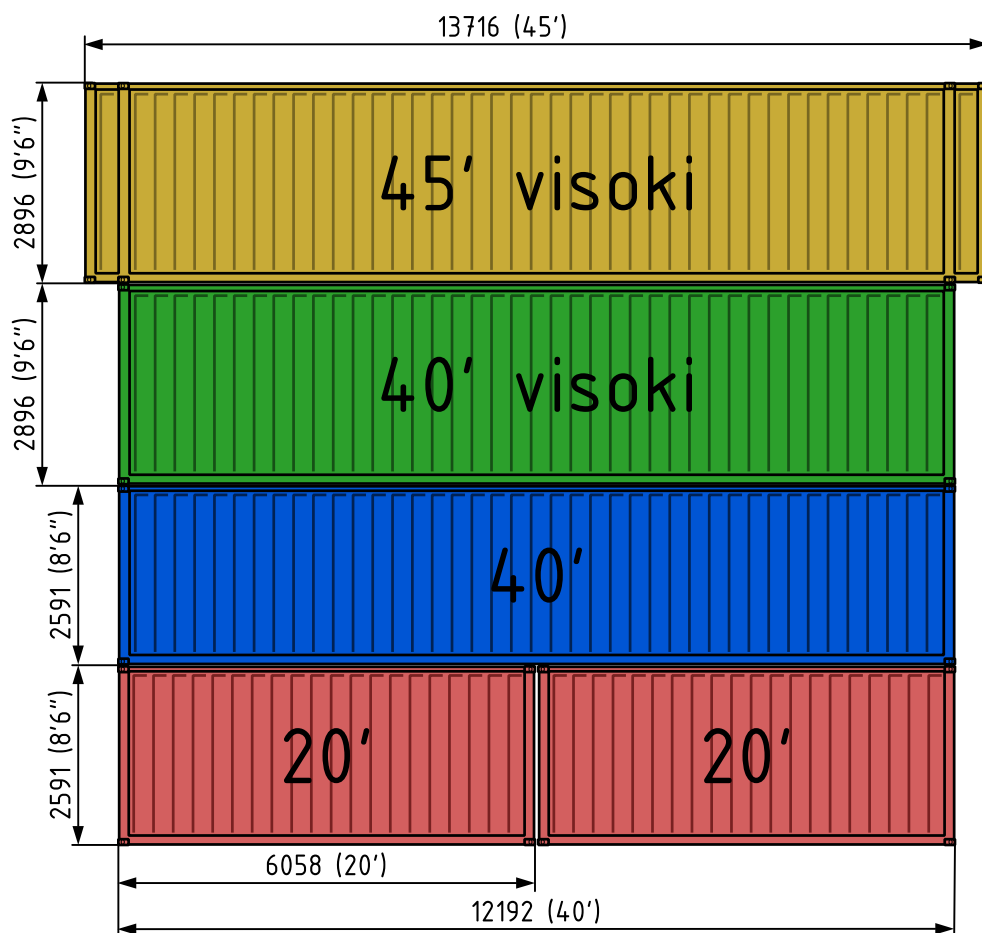
Oblike in dimenzije sodobnih intermodalnih kontejnerjev so standardizirane po standardu ISO 668 [55], zato jih pogovorno mnogokrat imenujemo "ISO kontejnerji".

¹² Ustanovil ga je leta 1935 Malcolm (J. P.) McLean in danes posluje v okviru združenega podjetja Maersk Line. Leta 1956 je podjetje dalo izdelati svojo prvo kontejnersko ladjo SS Ideal X, ki je lahko prevažala 58 33' kontejnerjev.

7.2.1. Konstrukcijske izvedbe

Kontejner osnovne izvedbe (angleško "dry freight container" ali "general-purpose container"), kakršnih je večina kontejnerjev v uporabi, je izdelan kot zaboj kvadraste oblike z dvokrilnimi vrati na eni ali obeh najmanjših ploskvah. Standardizirane dimenzije so shematično prikazane na sliki 150 in povzete v tabeli 23.

Poleg kontejnerjev, standardiziranih po ISO 668, se (predvsem v severni Ameriki) uporabljajo tudi 48' in 53' kontejnerji, ki so tudi 6" (~150 mm) širši od ISO kontejnerjev in so večinoma namenjeni intermodalnemu cestno-železniškemu prometu.

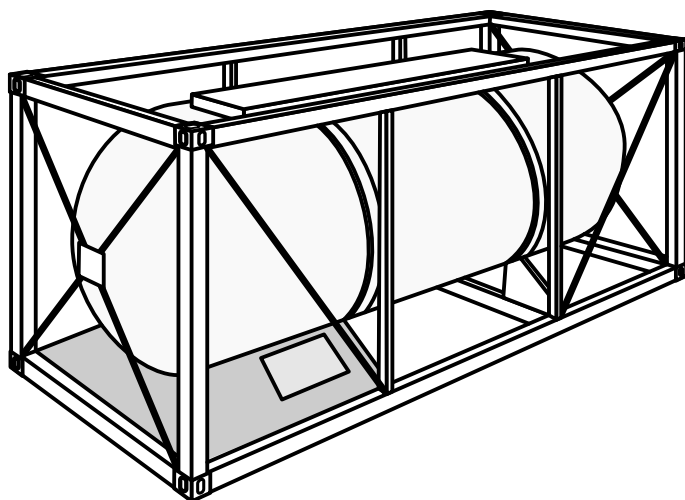


Slika 150: Primerjava dimenzij kontejnerjev po ISO 668

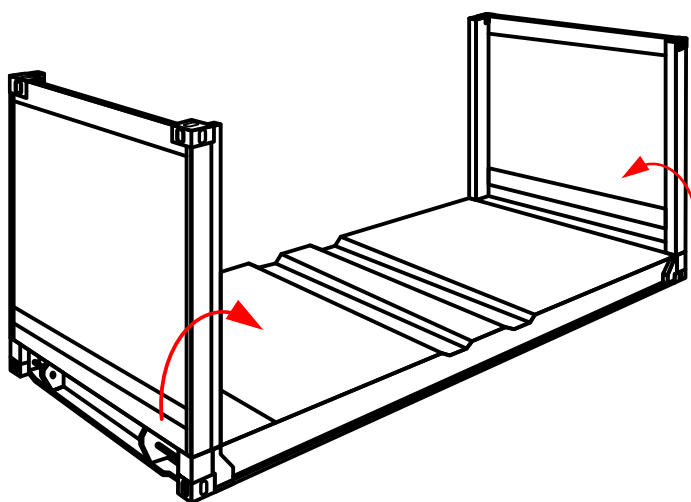
Tabela 23: Dimenzije standardnih kontejnerjev

vrsta, (skupina po ISO 6346)	dimenzije d × š × v: zunaj, znotraj [mm/(")]	š × v vrat [mm/(")]	prostornina [m ³ /(cu ft)]	masa: skupna, prazna, tovor [kg]
20' (22)	6058 × 2438 × 2591 (238,5 × 96 × 102) 5710 × 2352 × 2385 (224,8 × 92,6 × 93,9)	2343 × 2280 (92,1 × 89,8)	33,1 (1169)	30400 2200 28200
40' (42)	12192 × 2438 × 2591 (480 × 96 × 102) 12032 × 2352 × 2385 (473,7 × 92,6 × 93,9)	2343 × 2280 (92,1 × 89,8)	67,5 (2385)	30400 3800 26600
40' visoki (45)	12192 × 2438 × 2896 (480 × 96 × 114) 12000 × 2311 × 2650 (472 × 91 × 105)	2280 × 2560 (89,8 × 101)	75,3 (2660)	30848 3900 26580
45' visoki (L5)	13716 × 2438 × 2896 (540 × 96 × 114) 13556 × 2352 × 2698 (533,7 × 92,6 × 106,2)	2343 × 2585 (92,1 × 101,7)	86,1 (3040)	30400 4800 25600

Poleg kontejnerjev osnovne izvedbe so v enakih gabaritih lahko izdelani tudi drugačni vsebniki. To vključuje kontejnerje s posodami za kapljevine (angleško *tank container* ali "*tanktainer*", slika 151), ploske kontejnerje s trdnimi ali zložljivimi stranicami (slika 152), odprte kontejnerje, kontejnerje za prevoz razsutih tovorov, kontejnerje z naravnim ali prisilnim prezračevanjem in kontejnerje s toplotno izolacijo. Toplotno izolirani kontejnerji imajo lahko vgrajene tudi naprave za zagotavljanje stalne temperature z lastnim ali zunanjim virom napajanja (angleško *refrigerated container* ali "*reefer*", slika 153).



Slika 151: Kontejner s posodo za kapljevine ("tanktainer")



Slika 152: Ploski kontejner z zložljivima stranicama



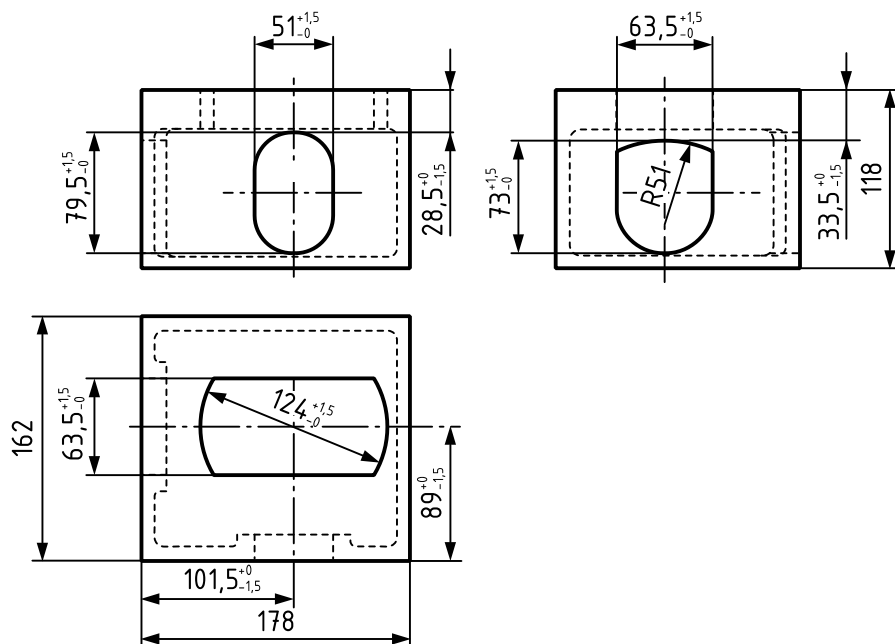
Slika 153: Kontejner z napravo za zagotavljanje stalne temperature ("reefer")

7.2.2. Naprave za vpenjanje in združevanje

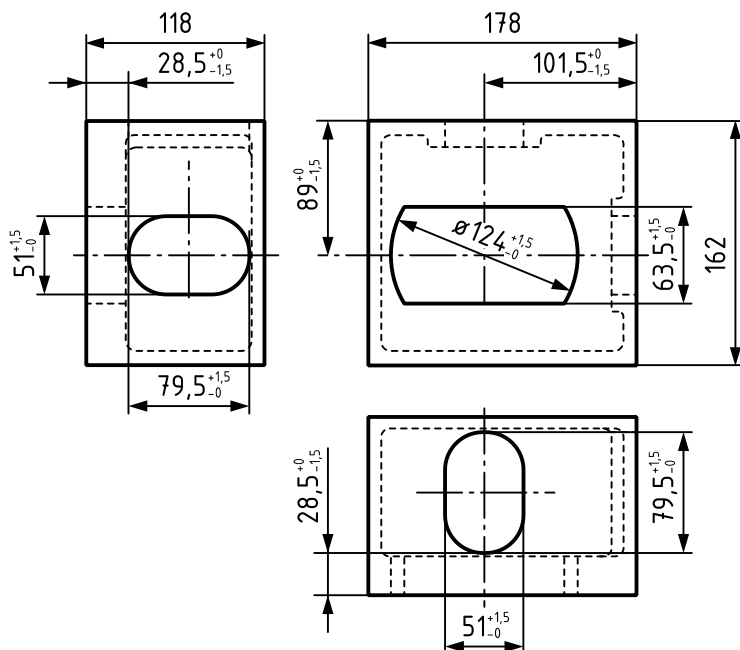
Standardni kontejnerji imajo v ojačan okvir na vogalih na zgornji in spodnji strani vgrajene odprtine za medsebojno spenjanje in pritrdjevanje kontejnerjev na vozila oziroma plovila. Vpenjanje kontejnerjev dosežemo z vstavitvijo zasušnih pritrdil v te odprtine. Sistem ima trgovsko ime "Twistlock"¹³, je standardiziran [56] in ga v prilagojenih izvedbah uporabljajo tudi nekateri drugi sistemi intermodalnih pomožnih transportnih sredstev (predvsem različne vrste zamenljivih nadgradenj). Bistvena prednost sistema Twistlock je, da na samem kontejnerju za pritrdjevanje niso potrebni nobeni gibljivi ali štrleči deli. Tako so dosežene robustnost ter zanesljivost in varnost vpenjanja tudi pri daljši izpostavljenosti okolju, slabšem vzdrževanju in močnejših udarcih pri manipulaciji. Posamezno pritrdilno mesto je navadno izdelano iz jeklene litine in privarjeno na cevni okvir kontejnerja. Njegova porušitvena trdnost je najmanj 250 kN. Slika 154 prikazuje obliko in dimenzije pritrdilnega mesta na zgornjem

¹³ V 50. letih 20. stoletja ga je zasnoval inženir Keith Tantlinger iz podjetja Fruehauf v sodelovanju Malcolmom McLeanom iz podjetja SeaLand.

levem, slika 155 pa na spodnjem desnem vogalu kontejnerja (nasprotna vogala imata zrcalno obliko in enake dimenzije).

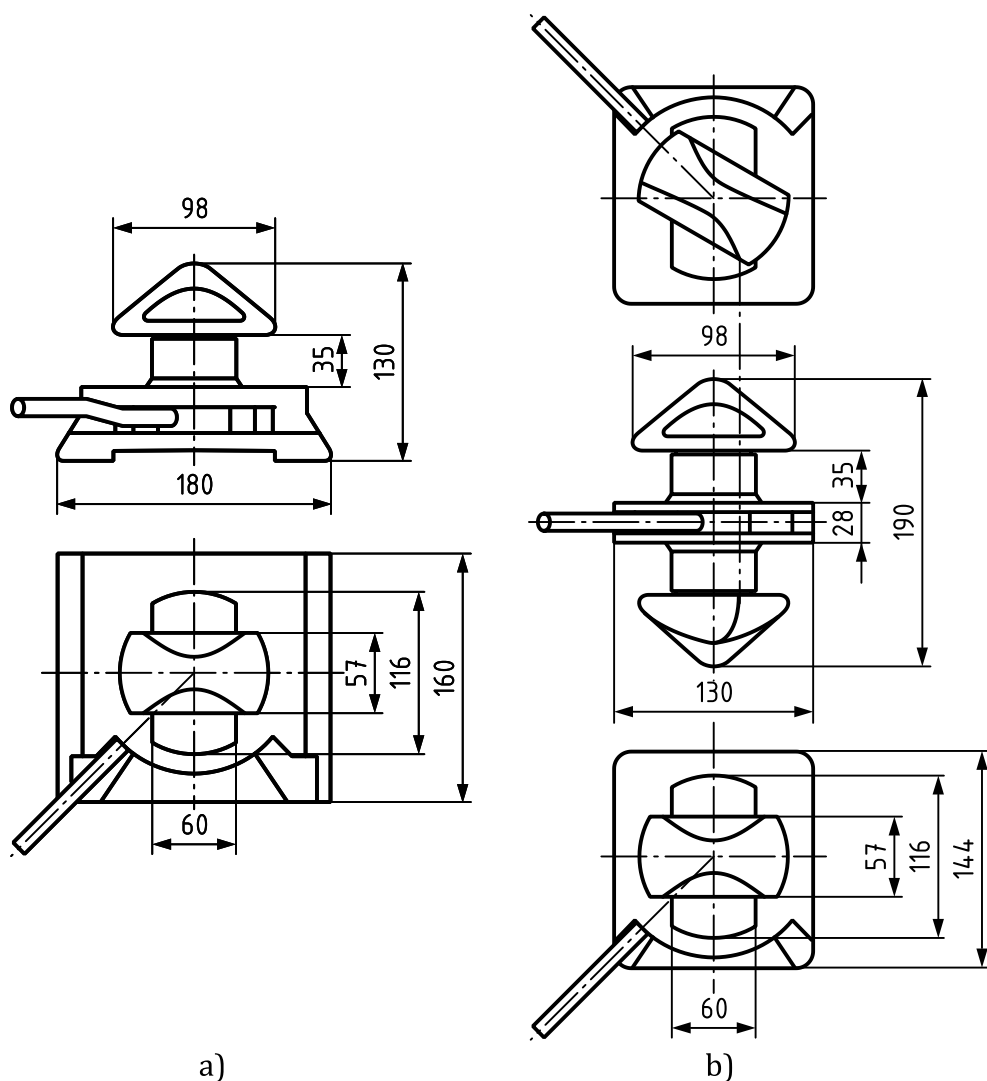


Slika 154: Pritrdilno mesto na zgornjem levem vogalu kontejnerja



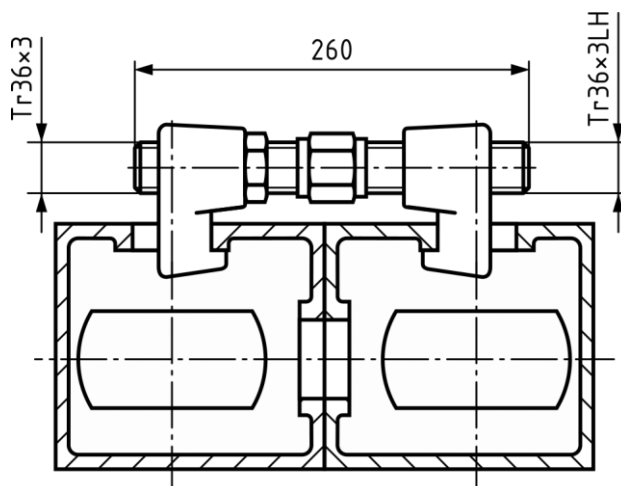
Slika 155: Pritrdilno mesto na spodnjem desnem vogalu kontejnerja

Slika 156 prikazuje dve izvedbi naprav Twistlock. Izvedba a služi pritrjevanju kontejnerjev na podlago (na primer na krov ladje) in je nanjo privarjena ter ima zaklep samo na eni strani, izvedba b pa ima zaklepa na obeh straneh in služi za medsebojno spenjanje kontejnerjev, kadar so naloženi v sklad eden na drugega.



Slika 156: Naprava Twistlock (a - za vgradnjo na podlago, b - za povezovanje sklada)

Poleg odprtín na zgornji in spodnji strani ima vsako pritrdilno mesto tudi odprtine na bočni in čelni strani. Te odprtine so namenjene prečnemu in vzdolžnemu povezovanju kontejnerjev z verigami, palicami ali vijaki s čeljustmi (slika 157).



Slika 157: Vzдолžno povezovanje dveh kontejnerjev z vijakom s čeljustmi

Trdnostne lastnosti standardnih kontejnerjev so takšne, da jih je mogoče zlagati enega na drugega. V skladu s standardom [57] mora vsak navpični nosilec v posameznem vogalu kontejnerja prenesti 860 kN navpične obremenitve, kar pomeni, da je možno na ta način tvoriti sklade do 8 polno naloženih kontejnerjev, kadar niso polno naloženi pa tudi višje. Slika 158 prikazuje del manjšega kontejnerskega terminala z napravami za manipulacijo.



Slika 158: Del območja kontejnerskega terminala (Tórshavn, Ferski otoki)

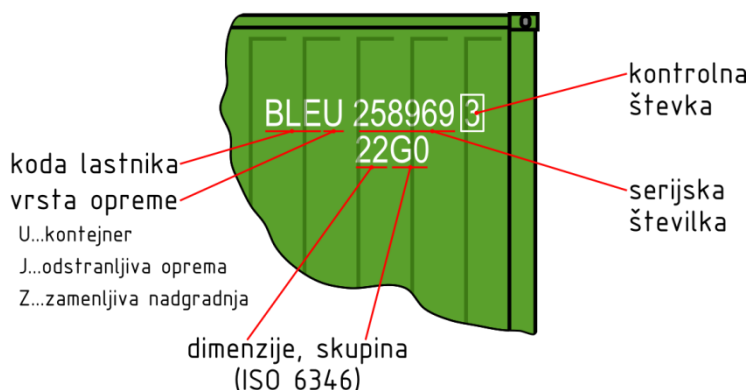
7.2.3. Označevanje kontejnerjev

Enotno označevanje kontejnerjev ureja standard ISO 6346 [58], ki kontejnerje po obliki, vrsti in dimenzijah razvršča v skupine, označene s štirimestnimi kodami, kot je prikazano v tabelah 24 in 25.

Poleg oznak za vrsto kontejnerja mora biti vsak kontejner v mednarodnem prometu na vseh ploskvah, razen na spodnji, označen z identifikacijsko oznako, ki vsebuje podatke o lastniku, serijski številki kontejnerja in njegovi vrsti. Primer oznake na bočni ploskvi kontejnerja prikazuje slika 159.

Tabela 24: Oznake kontejnerjev po ISO 6346 – prvi in drugi znak

Z1	dolžina [mm/(',")]	Z2	višina × širina [mm/(',")]
1	2991 (10')	0	2438 × 2438 (8' × 8')
2	6068 (20')	2	2591 × 2438 (8'6" × 8')
3	9125 (30')	4	2743 × 2438 (9' × 8')
4	12192 (40')	5	2895 × 2438 (9'6" × 8')
A	7150	6	>2895 × 2438 (>9'6" × 8')
B	7315 (24')	8	1295 × 2438 (4'3" × 8')
C	7430 (24'6")	9	<1219 × 2438 (<4' × 8')
D	7450	C	2591 × (2438..2500)
E	7820	D	2743 × (2438..2500)
F	8100	E	2895 × (2438..2500)
G	12500 (41')	F	>2895 × (2438..2500)
H	13106 (43')	L	2591 × >2500
K	13600	M	2743 × >2500
L	13716 (45')	N	2895 × >2500
M	14630 (48')	P	>2895 × >2500
N	14935 (49')		
P	16154 (53')		



Slika 159: Identifikacijska oznaka kontejnerja

Tabela 25: Oznake kontejnerjev po ISO 6346 – tretji in četrti znak

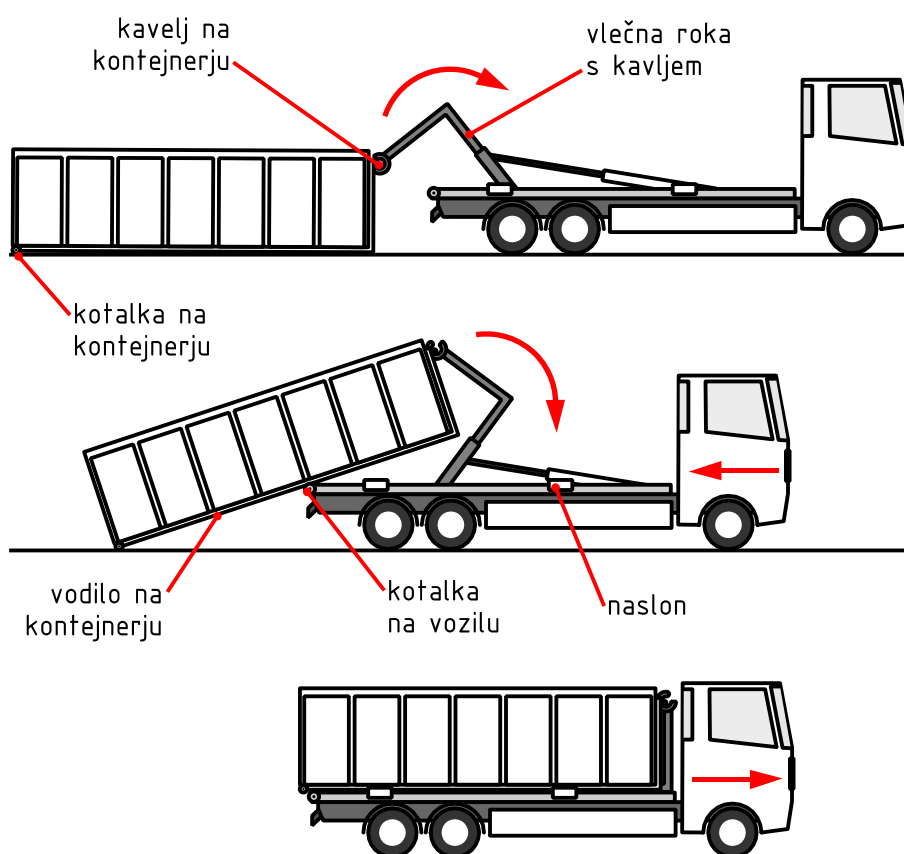
Z3 in Z4	vrsta kontejnerjev in skupine
G0, G1, G2, G3	kontejnerji za splošno rabo brez prezračevanja (skupina GP)
V0, V2, V4	kontejnerji za splošno rabo s prezračevanjem (skupina VH)
B0, B1, B3, B4, B5, B6	kontejnerji za razsuti tovor (skupini BU in BK)
S0, S1, S2	kontejnerji za avtomobile in žive živali (skupina SN)
R0, R1, R2, R3	hlajeni in ogrevani kontejnerji (skupine RE, RT, RS)
H0, H1, H2, H5, H6	toplotno izolirani hlajeni in ogrevani kontejnerji (skupine HR, HI)
U0, U1, U2, U3, U4, U5	kontejnerji z odprto streho (skupina UT)
P0, P1, P2, P3, P4, P5	ploski kontejnerji s trdnimi ali zložljivimi stranicami (skupine PL, PF, PC, PS)
T0, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9	kontejnerji s posodo za kapljevine in pline (skupine TN, TD, TG)
A0	kontejnerji za intermodalni zračni in kopenski promet (skupina AS)

7.3. Kotalni in samonakladalni kontejnerji

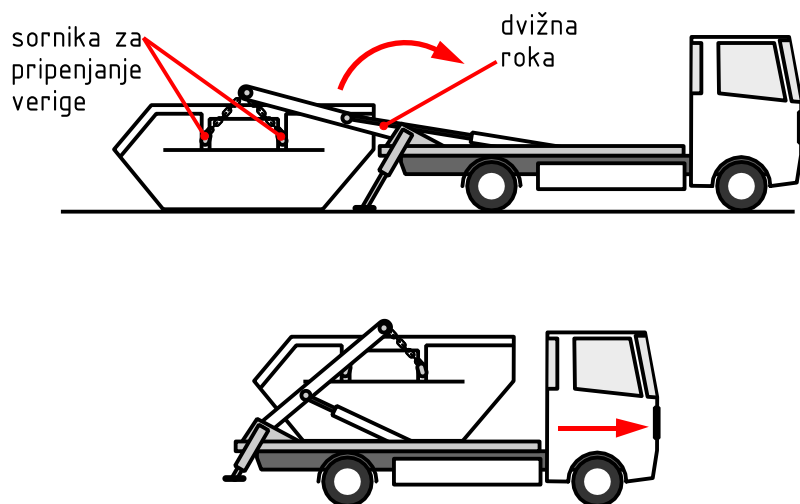
Posebno vrsto intermodalnih pomožnih transportnih sredstev predstavljajo kotalni (imenovani tudi odvalni ali navlečni) kontejnerji in samonakladalni kontejnerji. Oboji so večinoma v uporabi za prevoz razsutega tovora. Kotalni kontejnerji so zaradi svoje konstrukcije primerni za prevoz na cestnih tovornih vozilih in na železniških vagonih. Vozila, s katerimi se takšni kontejnerji prevažajo, morajo imeti vgrajene naprave za nakladanje. Za kotalne kontejnerje je to naprava za pripenjanje in vlečenje kontejnerja ter ustrezna vzdolžna vodila in kotalne elemente, po katerih se kontejner premika med natovarjanjem in raztovarjanjem. Za transport na ploskih železniških vagonih imajo le-ti vgrajena vodila, ki jih je možno okoli navpične osi obrniti za 90° in tako nanje naložiti kotalni kontejner neposredno s tovornjaka. Za samonakladalne kontejnerje je to

naprava za dvig kontejnerja. V Nemčiji (in nekaterih drugih evropskih državah) so kotalni kontejnerji del sistema ACTS (nemško *Abrollcontainer-Transportsystem*), katerega deli (okvir, kavelj in vodila) so standardizirani po DIN 30722 [59]. Po standardu DIN 30720-1 [60] so standardizirani tudi samonakladalni kontejnerji prostornin 5, 7 in 10 m³ ter simetrične ali asimetrične oblike. Standardni samonakladalni kontejnerji omogočajo zlaganje enega v drugega in s tem prihranek pri prevozu praznih kontejnerjev.

Postopek natovarjanja in pomembne elemente sistema vozila za prevoz kotalnega kontejnerja shematično prikazuje slika 160, vozilo za prevoz samonakladalnega kontejnerja pa slika 161.



Slika 160: Postopek nalaganja kotalnega kontejnerja na vozilo



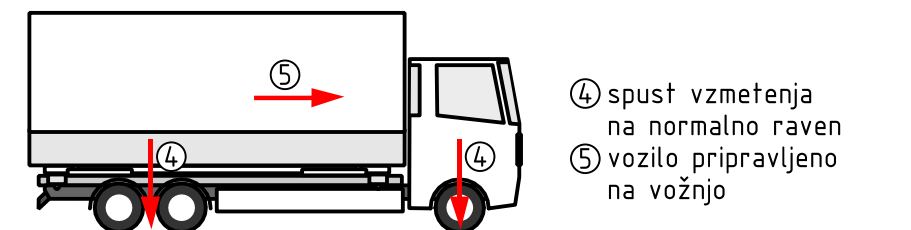
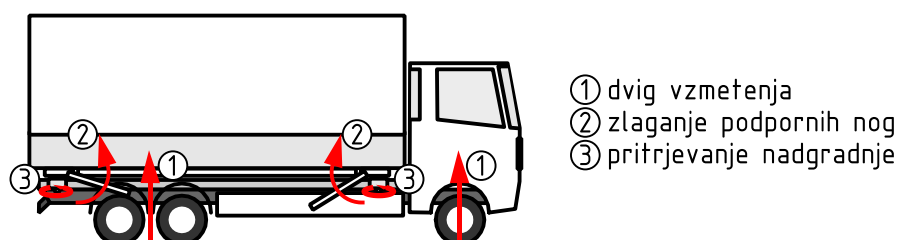
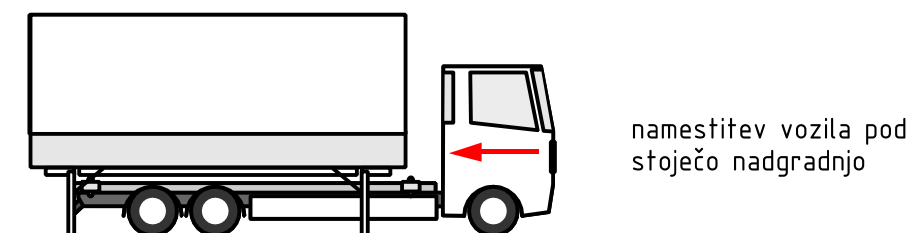
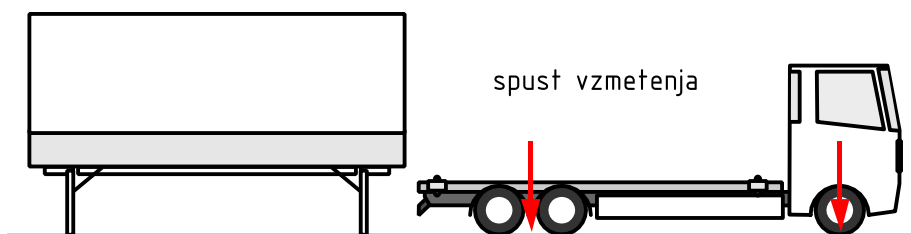
Slika 161: Vozilo za prevoz samonakladalnega kontejnerja

7.4. Zamenljive nadgradnje

Podobno nalogo kot kotalni kontejnerji imajo zamenljive nadgradnje (ime-novane tudi zamenljivi vsebniki). Po svoji obliki so kombinacija klasičnega kontejnerja in nadgradnje tovornega vozila in so izdelane tako, da jih je mogoče enostavno ločiti od šasije tovornega vozila. Nekatere izvedbe so izdelane tako, da ločene od vozila lahko samostojno stojijo na podpornih nogah. Na ta način za njihovo nakladanje na vozila in razkladanje z njih niso potrebne dodatne naprave ali oprema, ki bi povečevala maso vozil.

Na sliki 162 je prikazan postopek nakladanja zamenljive nadgradnje na tovorno vozilo. Postopek razkladanja poteka v obratni smeri.

V primerjavi z vozili za prevoz kotalnih kontejnerjev so zato lahko vozila za prevoz zamenljivih nadgradenj lažja in konstrukcijsko enostavnejša. Sistemi za njihovo pritrdjevanje na vozila so po obliki in dimenzijah lahko združljivi s tistimi na standardnih kontejnerjih, kar omogoča prevoz obeh vrst vsebnikov na istem vozilu. Največji delež uporabe imajo zamenljive nadgradnje v intermodalnem prometu, ki vključuje prevoz po cesti in po železnici. Po konstrukcijski izvedbi njihove oblike ustrezajo klasičnim nadgradnjam za tovorna vozila (kot so opisane v točki 3.3.2) in so lahko namenjene klasičnemu prevozu tovora (kot zaprte, odprte ali nadgradnje s ponjavo), lahko pa so na njih vgrajene tudi druge naprave (na primer prekucni keson, bivalna enota, mešalnik za beton ali naprava za stiskanje odpadkov). Z uporabo zamenljivih nadgradenj za različne namene je mogoče razširiti področje uporabe enega samega vozila in tako prihraniti pri izdatkih za nakup flote.



Slika 162: Postopek nalaganja zamenljive nadgradnje na vozilo

8. Informacijski sistemi v logistiki prometa

8.1. Sistemi za sledenje tovara

8.1.1. Pomen sledenja tovara

Informacije o legi in stanju enot tovara znotraj preskrbnih verig so mnogokrat odločilne za učinkovito upravljanje logističnih procesov. Takšne informacije lahko zagotovimo s sistemi, ki jih s skupnim imenom imenujemo sistemi za sledenje tovara. Deli teh sistemov uporabljajo različne tehnologije zaznavanja, zajemanja in zapisovanja fizikalnih količin ter prenosa in prikaza podatkov. Med seboj so povezani tako, da zbrane informacije zagotavljajo uporabnikom v realnem času. Delujejo lahko na različnih nivojih preskrbnih verig – od posameznih skladišč do celotne verige. Od širine območja njihovega delovanja je odvisna njihova kompleksnost in s tem zanesljivost ter cena.

Idealni sistem za sledenje tovara bi moral delovati popolnoma brez človeškega posredovanja, zajemati podatke o stanju enot tovara brez fizičnega stika z njimi, brez obrabi podvrženih gibljivih delov ter neodvisno od vplivov okolja. Pri tem bi moral biti enostaven za vzdrževanje, zanesljiv in poceni. Z uporabo različnih tehnologij se lahko tem zahtevam bolj ali manj približamo.

8.1.2. Tehnologija črtnih kod

Ena od možnosti identifikacije tovarnih enot je označevanje podatkov o njih s črtnimi kodami. Te predstavljajo zapis številskih ali besedilnih informacij v obliki slike izmenjujočih se polj kontrastne barve. Takšna slika je lahko natisnjena na papir ali prikazana na prikazovalniku. Polja so pri tem lahko razporejena vzdolž ene osi (enodimenzionalna, prava črna koda) ali vzdolž dveh osi (ploskovna koda). Osnovni princip zapisa pri črtnih kodah izhaja iz mehanskih zapisov binarnih informacij, ki so bili v uporabi pri zgodnjih računalnikih in teleprinterjih (luknjani trak, luknjane kartice) in še prej pri avtomatiziranih strojih (predvsem v tekstilni industriji).

Zajem slike, ki predstavlja črtno kodo, lahko opravimo na različne načine. Za branje enodimenzionalnih črtnih kod ponavadi uporabljamo linearne laserske bralnike, ki bitne vrednosti informacije ločijo na podlagi odboja svetlobe. Za branje dvodimenzionalnih (ploskovnih) kod pa večinoma uporabljamo naprave za zajem bitnih slik, največkrat različne vrste digitalnih kamer, ki so ponavadi primerne tudi za branje enodimenzionalnih črtnih kod. Oba načina izpolnjujeta zahtevo po brezstičnem branju, vendar zahtevata vidnost med tovarno enoto in bralnikom, kar zahteva pravilno namestitvev in orientacijo obeh in zato mnogokrat ni možno popolnoma brez človeškega posredovanja.

Natisnjene črtne kode so za izdelavo razmeroma poceni, njihova namestitvev je enostavna, so pa podvržene mehanski obrabi in vplivom okolja. Zanesljivost njihovega branja pada s kompleksnostjo kode, ki je neposredno odvisna od

količine informacij zapisane na njej. Količina zapisane informacije na črtnih kodah je od nekaj bytov pri enodimenzionalnih črtnih kodah do največ nekaj kilobytov pri večjih dvodimenzionalnih kodah. Večina črtnih kod vsebuje tudi kontrolno informacijo, s katero je mogoče preveriti uspešnost branja oziroma v nekaterih primerih celo popraviti napake. Za zanesljivo branje morajo imeti črtne kode zadostno velikost, zato niso najbolj primerne za označevanje zelo majhnih tovarnih enot. Kljub opisanim pomanjkljivostim so črtne kode široko uporabne tako v industrijskih trgovskih verigah kot v javnem blagovnem in celo potniškem prometu (na primer za identifikacijo in potrjevanje letalskih ali železniških vozovnic).

Nekaj primerov najbolj uporabljanih vrst črtnih kod s primeri je zbranih v tabelah 26 in 27.

Tabela 26: Pogosto uporabljane vrste enodimenzionalnih črtnih kod

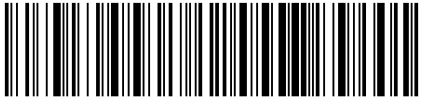
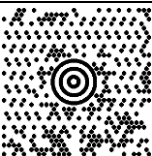
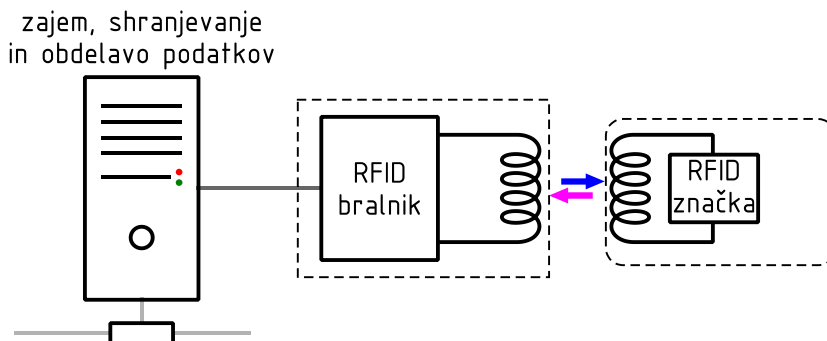
ime	vrsta zapisa	primer zapisa
Code 11	številski, spremenljiva dolžina	 3068-67
Code 39	besedilo (samo velike črke), spremenljiva dolžina	 *LOGISTIKA PROMETA*
Code 39 Extended	besedilo, spremenljiva dolžina	 logistika prometa
Code 128	besedilo, spremenljiva dolžina	 logistika prometa
EAN-13, EAN-8	številski (8 ali 13 znakov), označevanje artiklov v prodaji	 6 411401 037115 3832 5182
ISBN	poseben primer EAN-13 za označevanje publikacij	 9 789616 980531

Tabela 27: Pogosto uporabljane vrste dvodimenzionalnih črtnih kod

ime	vrsta zapisa	primer zapisa
Aztec	besedilo, do 3832 znakov	
Code 16k	besedilo, spremenljiva dolžina	
Data Matrix	besedilo, do 2335 znakov	
MaxiCode	besedilo, ~93 znakov	
PDF-417	besedilo, do ~1800 znakov	
QR Code	besedilo, spremenljiva dolžina	

8.1.3. Tehnologija radiofrekvenčne identifikacije

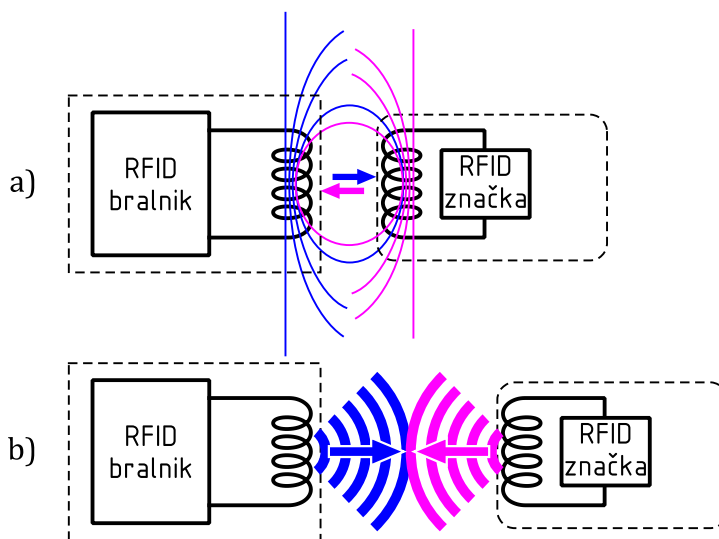
Ena od glavnih pomanjkljivosti črtnih kod je zahteva po neoviranem vidnem stiku med natisnjeno kodo in napravo za njeno branje. Poleg tega je branje večje količine podatkov s črtnih kod s pomočjo linearnega bralnika razmeroma počasno, kar utegne predstavljati oviro pri tovarnih enotah v gibanju.



Slika 163: Princip delovanja sistema za radiofrekvenčno identifikacijo

Tehnologija, ki odpravlja ti dve pomanjkljivosti črtnih kod, je radiofrekvenčna identifikacija (angleško *radiofrequency identification* - *RFID*). Sistemi radiofrekvenčne identifikacije delujejo na principu širjenja elektromagnetnega valovanja. Pri tem se z elektromagnetnim valovanjem lahko prenašajo tako podatki kot energija za napajanje elektronskih komponent. Princip delovanja sistema za radiofrekvenčno identifikacijo prikazuje slika 163.

Sklopljenje obeh delov sistema je lahko induktivno (slika 164a), kjer morata magnetni polji obeh tuljav sovpadati, lahko pa je sevalno (slika 164b), kjer se elektromagnetno valovanje širi skozi okoliški medij.



Slika 164: Sklopljenje delov sistema za radiofrekvenčno identifikacijo

Informacije o tovornih enotah v RFID sistemih, ki so v uporabi v logistiki, so shranjene na nosilcih, ki jih imenujemo značke ali oznake (angleško *RFID tag*). Značka je sestavljena iz integriranega vezja, ki vsebuje pomnilnik, sprejemnik in oddajnik ter iz sprejemno-oddajne antene (ponavadi v obliki tuljave). Po načinu delovanja se značke delijo na pasivne, aktivne in napajane pasivne.

Pasivne značke nimajo lastnega napajanja, integrirano vezje napaja oziroma aktivira neposredno signal z bralnika. Zaradi takšnega načina delovanja imajo pasivne značke omejen domet, omejeno hitrost prenosa in zato omejeno količino pomnilnika. Tipične pasivne značke so izdelane v obliki nalepk, kartic ali obeskov in lahko shranijo od nekaj deset bytov do nekaj kilobytov podatkov. Kot pasivne značke v obliki miniaturnih ampul so izdelani tudi podkožni vsadki za radiofrekvenčno identifikacijo živih bitij. Ker nimajo lastnega napajanja, so pasivne značke trajne, poceni in razmeroma neobčutljive na vplive okolja.

Aktivne značke imajo lastno napajanje svojih elektronskih komponent in uporabljajo elektromagnetno valovanje samo za prenos podatkov, ki je lahko aktivno neodvisno od bližine bralnika. S tako izvedbo je mogoče v primerjavi s

pasivnimi značkami zagotoviti daljši domet, poleg tega pa je lahko integrirano vezje na znački kompleksnejše in lahko poleg pomnilnika in oddajnika vsebuje tudi druge podsisteme, ki razširijo funkcionalnost značke. Primer za to so značke, ki beležijo podatke z zaznaval (na primer temperature znotraj hladilnega kontejnerja). Zaradi napajanja in možnosti daljšega in hitrejšega prenosa podatkov lahko pomnilniki aktivnih značk obsegajo tudi do nekaj MB, njihovi dometi pa znašajo tudi do nekaj deset metrov. Bistveni slabosti aktivnih značk sta dražje vzdrževanje zaradi praznjenja baterij ter višja cena.

Napajane pasivne značke (imenovane tudi pol-aktivne) združujejo lastnosti pasivnih in aktivnih značk, kjer napajanje služi za povečevanje dometa in vzdrževanje določenih funkcij (na primer zaznaval), pošiljanje podatkov pa se, kot pri pasivnih značkih, še vedno aktivira samo s signalom oddajnika. Tudi za to vrsto značk velja, da so dražje od pasivnih in zahtevajo periodično menjavanje oziroma polnjenje baterij.

Pomnilniki vseh vrst RFID značk so lahko zapisljivi enkrat ali večkrat. Nekatere izvedbe značk uporabljajo za zapisovanje pomnilnikov drugačne protokole kot za branje (na primer zapisovanje samo s fizičnim električnim kontaktom). Tako je po eni strani zagotovljena varnost pred izgubo in zlorabo podatkov in po drugi zmanjšana kompleksnost komponent značk. Najenostavnejše pasivne značke imajo informacijo zapisano že pri izdelavi in je naknadno ni več mogoče spreminjati.

8.1.4. Tehnologije za določanje lokacije

Z ugotavljanjem prisotnosti tovornih enot z branjem črtnih kod ali radio-frekvenčno identifikacijo je ob vsakem branju posredno mogoče določiti tudi lokacijo tovarne enote. Takšen postopek uporabljajo na primer sledilni sistemi za poštne pošiljke, ki informacijo o prispetu pošiljke na kontrolne lokacije lahko posredujejo tudi njenemu naslovniku.

Pogosto pa je zaželeno oziroma nujno v vsakem trenutku poznati tudi točno lokacijo posamezne tovarne enote ali transportnega sredstva, v katerem se nahaja. Za takšno določanje lokacije so uporabni sistemi za stalno določanje lokacije v prostoru. V novem času gre večinoma za sisteme za satelitsko globalno navigacijo (angleško *Global Navigation Satellite System - GNSS*), ki lokacijo sprejemnika določajo s pomočjo skupine satelitov, ki krožijo v orbitah okoli Zemlje. Prvi takšen sistem, ki je bil na voljo tudi javnosti, je bil ameriški sistem GPS, kasneje pa so bili razviti še ostali (med njimi ruski GLONASS, evropski Galileo, kitajski BeiDou in indijski NAVIC), od katerih nekateri še niso popolnoma operativni.

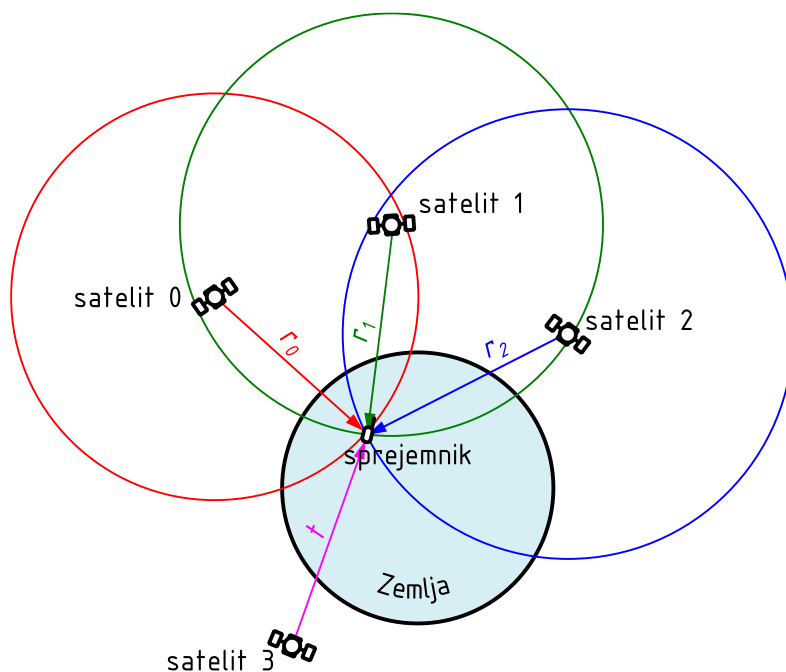
Osnovni princip določanja lege pri sistemih za globalno pozicioniranje temelji na trilateraciji razdalj treh satelitov do sprejemnika, ki so izmerjene iz časov potovanja signala od posameznega satelita do sprejemnika. Ker sprejemnik nima vgrajene natančne ure, imamo v enačbi (82) štiri neznane količine:

koordinate sprejemnika $x_r(t_r)$, $y_r(t_r)$, $z_r(t_r)$ in čas na sprejemniku t_r , od katerega so odvisne.

$$r_i(t_r, t_s) = \sqrt{(x_i(t_s) - x_r(t_r))^2 + (y_i(t_s) - y_r(t_r))^2 + (z_i(t_s) - z_r(t_r))^2}, \quad (82)$$

Sprejemnik mora zato za enolično določitev lokacije sprejeti še signal četrtega satelita, na podlagi katerega uskladi svojo uro t_r s časom satelitov t_s .

Princip trilateracije s tremi znanimi razdaljami in četrtilim satelitom za usklajitev časa je shematično prikazan na sliki 165.



Slika 165: Princip določanja lege sprejemnika za globalno pozicioniranje

Sprejemniki za globalno pozicioniranje z računskimi algoritmi prejete signale s satelitov nato pretvorijo v geografsko lego v ustreznem koordinatnem sistemu. Različne vrste sprejemnikov za globalno pozicioniranje združujejo poleg samega dekodiranja signala tudi različne dodatne funkcije. Te vključujejo periodično zapisovanje lege, prikaz lege na prikazovalniku, posredovanje podatkov oddaljenim napravam, prikaz lege na digitalnem zemljevidu in podobno. Sprejemniki za globalno pozicioniranje so lahko samostojne naprave (slika 166), lahko pa so vgrajeni v ostale naprave (na primer mobilne telefone ali računalnike) kot njihovi podsistemi. Sprejemniki so lahko namenjeni sprejemanju signalov samo določenega sistema za globalno pozicioniranje ali pa omogočajo sprejemanje več različnih vrst signalov (na primer GPS, GLONASS in Galileo).

Prenos signalov podatkov o legi in ostalih izračunanih količinah s sprejemnikov lahko poteka na različne načine in v različnih oblikah. Eden od najpogostejše uporabljan načinov za sprotno pošiljanje podatkov po zaporednem vmesniku je definiran s standardom NMEA 0183 [61]. Pri tem načinu je tok podatkov sestavljen iz posameznih znakovnih nizov (angleško "*NMEA sentences*"), ki se začnejo s ključno besedo, ki določa vrsto podatkov, in nadaljujejo s samimi podatki. Standard NMEA 0183 je v osnovi namenjen komunikaciji med navigacijskimi napravami na plovilih in določa tako fizično povezavo z njenimi električnimi lastnostmi, kot protokol in vsebino podatkov, ki se prenašajo. Primer zapisa po NMEA 0183 je prikazan in pojasnjen na sliki 167, pomembnejše skupine podatkov z opisi vsebine pa so zbrane v tabeli 28.



Slika 166: Industrijski sprejemnik signala za globalno pozicioniranje

	\$GPTXT,01,01,02,u-blox ag - www.u-blox.com*50
	\$GPTXT,01,01,02,ANTARIS ATR062x HW 00040001*2E
	\$GPTXT,01,01,02,EXT CORE 5.00 May 11 2006 14:40:17*72
podatki o sprejemniku	\$GPTXT,01,01,02,INT EXT0 (RCV) M4T1.2 May 11 2006 14:40:17*77
	\$GPTXT,01,01,02,LIC 85E7-6E21-710B-0272-42DC*56
	\$GPTXT,01,01,02,ANTSUPERV=AC SD OD PDoS SR*0B
	\$GPTXT,01,01,02,ANTSTATUS=OK*3B
zgoščeni nabor podatkov	\$GPRMC,075727.00,A,4602.60916,N,01429.72734,E,0.299,172.04,060318,,A*63
smer in hitrost	\$GPVTG,172.04,T,M,0.299,N,0.553,K,A*3C
podatki o fiksaciji	\$GPGGA,075727.00,4602.60916,N,01429.72734,E,1,04,16.66,415.3,M,44.4,M,,*6B
splošni podatki satelitov	\$GPGSA,A,3,09,07,23,30,,,,,19.90,16.66,10.89*38
podrobni podatki satelitov	\$GPGSV,2,1,06,09,58,070,30,07,77,152,47,49,,,35,23,23,083,37*4A
	\$GPGSV,2,2,06,36,34,157,40,30,54,200,43*7D
podatki o z. širini in dolžini	\$GPGLL,4602.60916,N,01429.72734,E,075727.00,A,A*6A
podatki o času in datumu	\$GPZDA,075727.00,06,03,2018,00,00*68

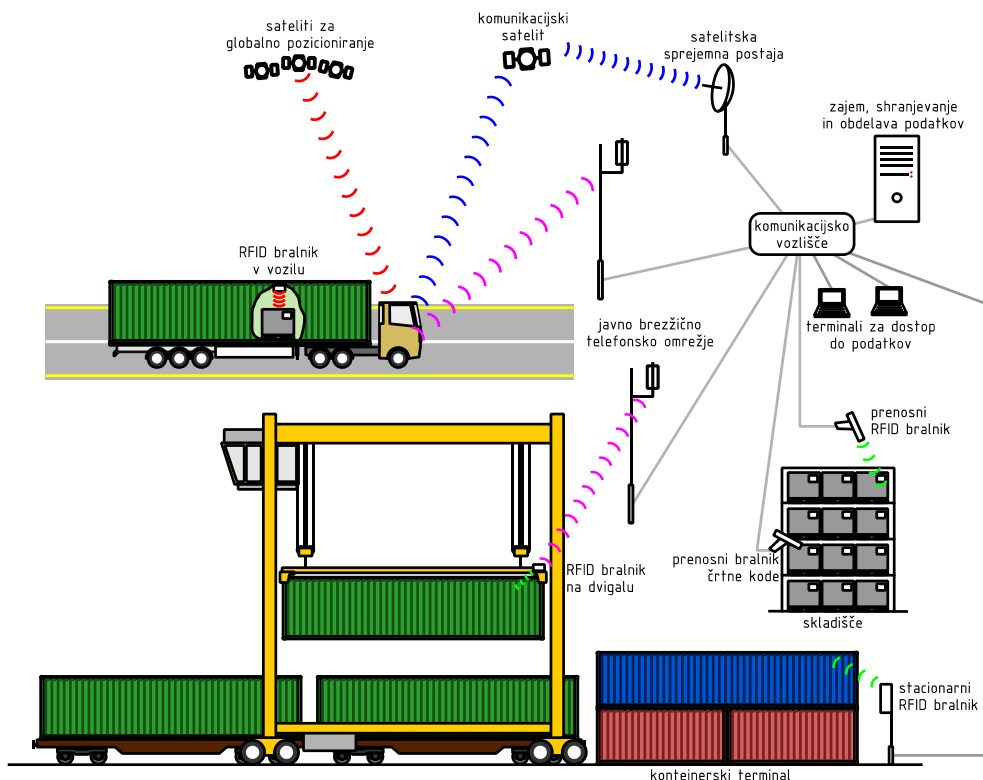
Slika 167: Primer zapisa podatkov s sprejemnika za globalno pozicioniranje

Tabela 28: Najpomembnejše skupine podatkov po NMEA 0183

ime skupine	vsebina
\$GPRMC, F,S,LAT,LON,SOG,A,D,M,C	zgoščeni minimalni nabor podatkov F .. čas fiksacije satelitov (ure:minute:sekunde UTC) S .. status (A .. aktiven, V .. neaktiven) LAT, LON .. zemljepisna širina in dolžina v °/1000 SOG .. hitrost nad tlemi v vozlih A .. smerni kot glede na resnični sever v ° D .. datum (mesec.dan.leto) M .. magnetna variacija C .. kontrolna vsota
\$GPVTG T,M,N,K,C	smer in hitrost proti cilju (<i>velocity made good</i>) T .. smer proti cilju glede na resnični sever v ° M .. smer proti cilju glede na magnetni sever v ° N .. hitrost proti cilju v vozlih K .. hitrost proti cilju v km/h C .. kontrolna vsota
\$GPGGA F,LAT,LON,Q,N,H,ALT,G,,C	podatki o času in kvaliteti fiksacije satelitov F .. čas fiksacije (ure:minute:sekunde UTC) LAT, LON .. zemljepisna širina in dolžina Q .. kvaliteta fiksacije (0 .. brez, 1 .. GPS, 2 .. DGPS) N .. število fiksiiranih satelitov H .. prečno zmanjšanje natančnosti (<i>HDOP</i>) ALT .. višina nad geoidom v m G .. višina geoida v m C .. kontrolna vsota
\$GPGSA A,F,PRN...,P,H,V, C	podatki o vrsti fiksacije za posamezen satelit A .. samodejna izbira 2D ali 3D fiksacije F .. vrsta fiksacije (1 .. brez, 2 .. 2D, 3 .. 3D) PRN .. PRN števila za posamezne fiksiirane satelite (do 12) P .. zmanjšanje natančnosti (PDOP) H .. prečno zmanjšanje natančnosti (HDOP) V .. navpično zmanjšanje natančnosti (VDOP) C .. kontrolna vsota
\$GPGSV N,S,NS,PRN,E,A,SNR,C	podatki o vidnih satelitih N .. število stavkov, ki sledijo S .. zaporedna številka stavka NS .. število vidnih satelitov PRN .. PRN število za posamezni vidni satelit E .. elevacija vidnega satelita v ° A .. azimut vidnega satelita v ° SNR .. razmerje med signalom in šumom C .. kontrolna vsota
\$GPGLL LAT,LON,F,A,C	podatki o zemljepisni širini in dolžini LAT, LON .. zemljepisna širina in dolžina F .. čas fiksacije (ure:minute:sekunde UTC) A .. podatki aktivni (A .. aktivni, V .. neaktivni) C .. kontrolna vsota
\$GPZDA T,D,LH,LM,C	podatki o času in datumu T .. čas (ure:minute:sekunde UTC) D .. datum (dan:mesec:leto) LH, LM .. ure in minute v lokalnem časovnem pasu C .. kontrolna vsota

8.1.5. Integrirani sistemi za sledenje tovora

Sisteme za identifikacijo in določanje lokacij lahko namestimo na transportna sredstva in tovarne enote ter jih povežemo s sistemi za prenos informacij. Na ta način dobimo integrirani sistem za sledenje tovora, ki svojim uporabnikom omogoča sprotno pridobivanje informacij o vsebini, stanju in lokaciji posamezne tovarne enote. Primer takšne povezave je prikazan na sliki 168.



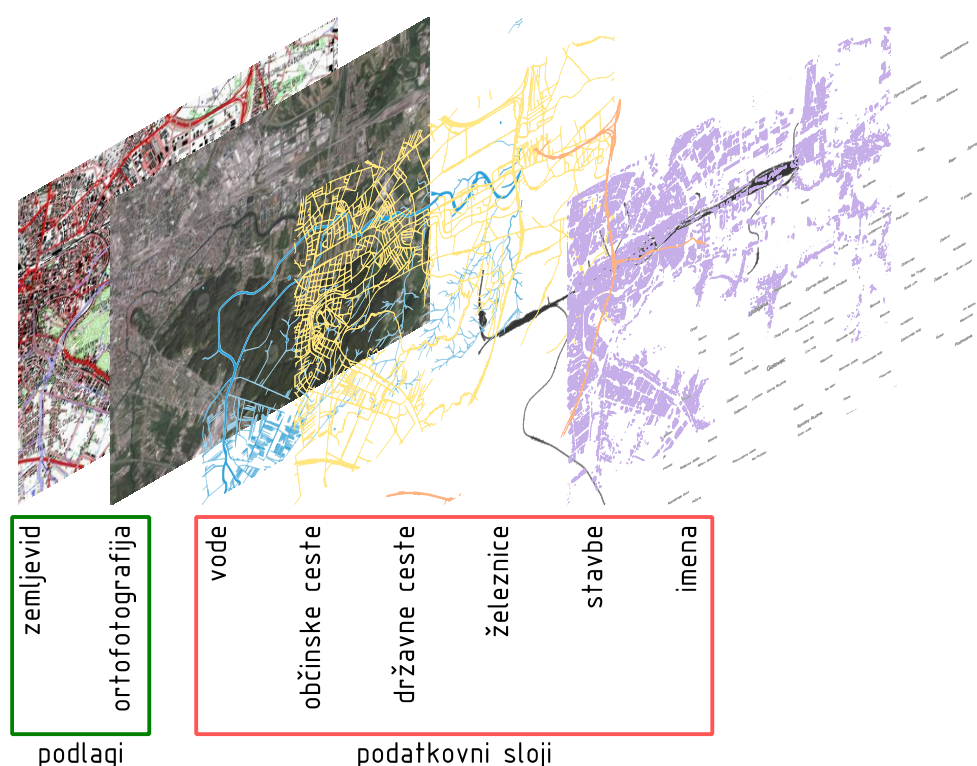
Slika 168: Primer integriranega sistema za sledenje tovora

8.2. Geoinformacijski sistemi

Podatki, ki vsebujejo prostorske informacije (na primer lege objektov in dogodkov, geografske značilnosti terena ali infrastrukture), so v logistiki prometa posebej pomembni, zato morajo biti uporabnikom logističnih sistemov ves čas na voljo v primerni obliki. V sodobnih logističnih sistemih se za shranjevanje, urejanje in prikaz takšnih podatkov vedno pogosteje uporabljajo geoinformacijski sistemi (angleško *Geographic Information System – GIS*). Najpreprostejše geoinformacijske sisteme si lahko predstavljamo kot interaktivne zemljevide, na katerih je mogoče vklopiti, izklopiti in prilagajati prikaz posameznih podatkov, ki so umeščeni v prostor (na primer trenutne lokacije vozil, ki opravljajo storitve KEP ali trenutno količino tovarnih enot v posameznem skladišču). Naprednejši geoinformacijski sistemi lahko poleg

prikaza in urejanja podatkov uporabniku omogočajo tudi iskanje povezav in statističnih relacij med prostorskimi in ostalimi podatki ter samodejno umeščanje različnih vrst podatkov v prostor.

Tipičen geoinformacijski sistem vsebuje digitalni zemljevid, ki je lahko sestavljen iz več podlag (na primer preglednih in topografskih kart, ortofotografskih posnetkov, reliefov) in podatkovnih slojev, ki lahko vsebujejo točkovne, linijske ali ploskovne elemente. Posamezne podlage so lahko prosojne, programska oprema geoinformacijskega sistema pa omogoča njihov prikaz v različnih vrstnih redih. Podatkovni sloji so lahko statični (na primer infrastruktura ali geografske značilnosti) ali dinamični (na primer lokacije vozil). Slika 169 shematično prikazuje sestavo takšnega geoinformacijskega sistema.

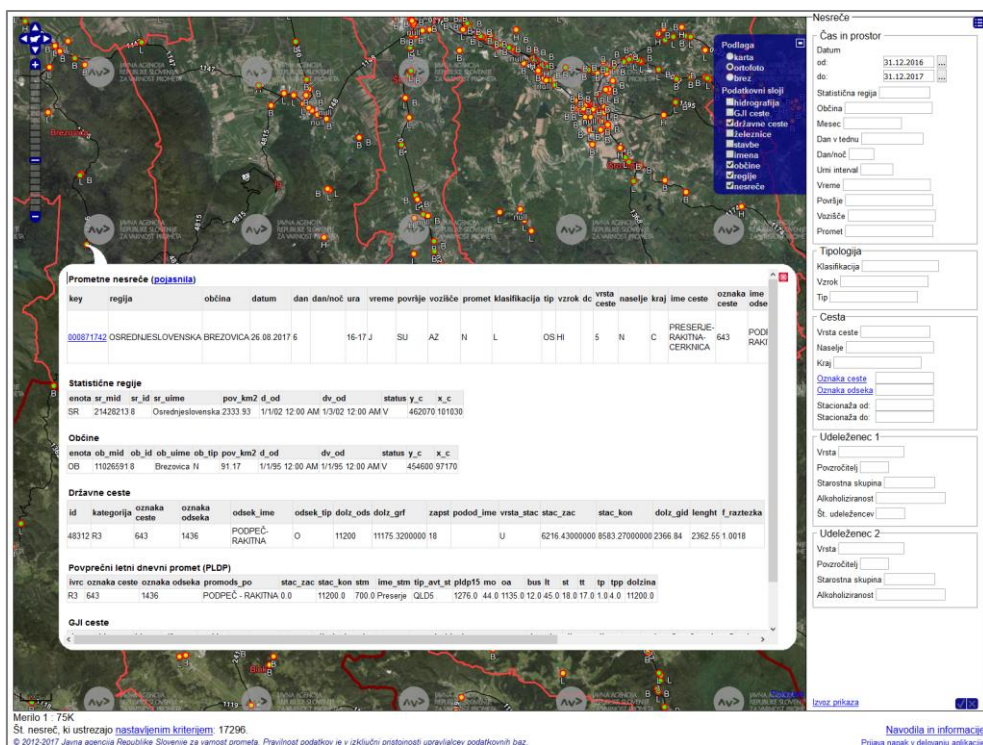


Slika 169: Primer sestave podatkov geoinformacijskega sistema

Geoinformacijski sistemi so uporabni za najrazličnejše naloge na številnih področjih. Zgodovinsko so bili najprej namenjeni urejanju podatkov o rabi tal ter evidenc različnih vrst nepremičnin in geodetskih značilnosti, v 80. in 90. letih 20. stoletja pa so se razširili tudi na ostala področja. Po svoji naravi so geoinformacijski sistemi tudi aplikacije z "digitalnimi zemljevidi", ki so vključeni

v osebne naprave za globalno pozicioniranje, in so namenjene predvsem iskanju, prikazu in analiziranju poti med točkami na zemljevidu.

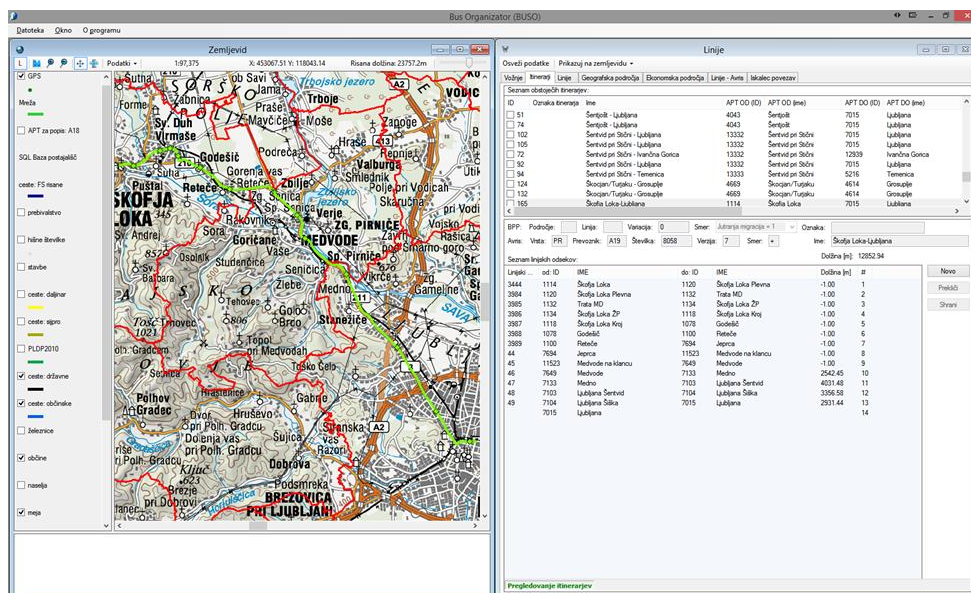
Nekaj primerov s področja prometa, ki vsebujejo prostorske podatke z ozemlja Slovenije, je predstavljeno v virih [62-65]. Slika 170 prikazuje spletni geoinformacijski sistem za prikaz prometnih nezgod [64], slika 171 pa uporabniški vmesnik geoinformacijskega sistema za upravljanje javnega potniškega prometa BUSO [65]. Zanimiv primer spletnega geoinformacijskega sistema je storitev FlightRadar24 [66], ki v realnem času omogoča spremljanje lege in ostalih podatkov komercialnih zrakoplovov na podlagi prestrezanja signalov njihovih transponderjev.



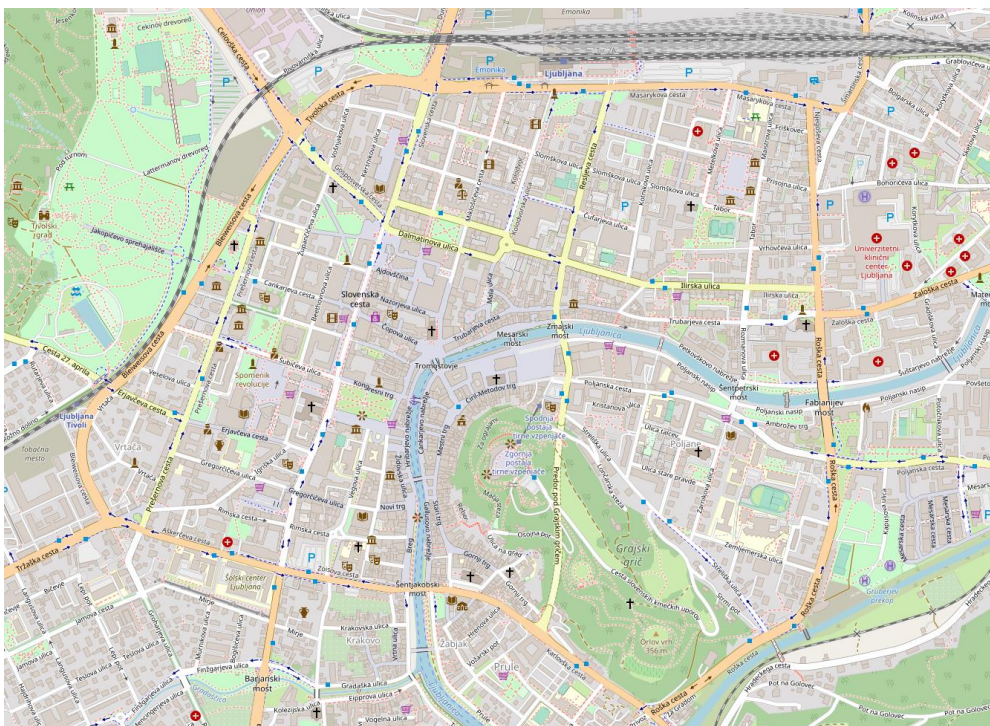
Slika 170: Spletna aplikacija za prikaz podatkov o prometnih nezgodah

Zaradi svoje narave so geoinformacijski sistemi primerni za večuporabniško sodelovanje pri urejanju baz geoinformacijskih podatkov. Primer tega je spletna platforma OpenStreetMap [67], ki svojim uporabnikom omogoča urejanje digitalnega zemljevida sveta. Njeni začetki segajo v leto 2004 in je dandanes po kakovosti podatkov popolnoma primerljiva s komercialnimi spletnimi zemljevidi. Podatki iz podatkovne baze OpenStreetMap so prosto dostopni in jih je mogoče uporabiti za različne namene (na primer kot podlago za prikaz različnih prostorskih podatkov ali kot vir podatkov za iskanje poti). Njihov prikaz je

mogoče prilagajati uporabi, za kar je razvitih več različnih programskih rešitev (spletnih in samostojnih). Z ustreznimi orodji je mogoče na podlagi podatkov iz baze OpenStreetMap pripraviti tudi zemljevide za osebne navigacijske naprave. Slika 172 prikazuje stanje zemljevida središča Ljubljane na dan 21. julija 2022 na standardni podlagi.



Slika 171: Geoinformacijski sistem BUSO za upravljanje javnega potniškega prometa



Slika 172: Del zemljevida OpenStreetMap, © OpenStreetMap contributors

Viri

- [1] Friedrich II.: *Instructions militaires du Roi de Prusse pour ses généraux*. Seyffard, London, 1762.
- [2] Dieter Arnold et al.: *Handbuch Logistik, 3., neu bearbeitete Auflage*, Springer, Berlin, 2008.
- [3] G. Don Taylor: *Logistics Engineering Handbook*, CRC Press, Boca Raton, 2008.
- [4] Rainer Lasch, Christian G. Janker: *Übungsbuch Logistik Aufgaben und Lösungen zur qualitativen Planung in Beschaffung, Produktion und Distribution, 3. Auflage*, Springer Gabler, Wiesbaden, 2013.
- [5] Reinhard Koether (Hrsg.): *Taschenbuch der Logistik, 5., aktualisierte Auflage*, Carl Hanser Verlag, München, 2018.
- [6] Karsten Peters: *Skript zur Vorlesung Verkehrslogistik*, Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrssystemtechnik, Dresden, 2008.
- [7] Miha Ambrož: *Logistika prometa: gradivo za spremljanje vaj*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2021.
- [8] Samo Zupan, Miha Ambrož: *Vozila*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2017.
- [9] *Statøpis – Statistični pregled Slovenije 2020*, Statistični urad RS, 2021, <https://www.stat.si/StatWeb/File/DocSysFile/10906/Statøpis-2020.pdf>
- [10] Alexander Asteroth, Christel Baier: *Theoretische Informatik. Eine Einführung in Berechenbarkeit, Komplexität und formale Sprachen mit 101 Beispielen*. Pearson Studium, München, 2003.
- [11] Robin J. Wilson, John J. Watkins: *Uvod v teorijo grafov*. Knjižnica Sigma (št. 63), DMFA založništvo, Ljubljana, 2004.
- [12] *Zakon o motornih vozilih (ZMV-1)*, Uradni list RS, št. 75/2017.
- [13] *Pravilnik o ugotavljanju skladnosti vozil*, Uradni list RS, št. 9/10/2010
- [14] *Direktiva 2007/46/ES Evropskega parlamenta in Sveta*, 5. 9. 2007, Uradni list Evropske unije 9. 10. 2007.
- [15] Heribert Braun, Günter Kolb: *LKW: Ein Lehrbuch und Nachschlagewerk, 11. Auflage*, Kirschbaum, Bonn, 2012.
- [16] *Pravilnik o merah in masah vozil v cestnem prometu*, Uradni list RS, št. 138/2006.
- [17] *Regulation No. 55, Uniform provisions concerning the approval of mechanical coupling components of vehicles*, UNECE, 11. 11. 2015.
- [18] *Regulation No. 58, Uniform provisions concerning the approval of: I. Rear underrun protective devices (RUPDS), II. Vehicles with regard to the installation of an rupd of an approved type, III. Vehicles with regard to their rear underrun protection (RUP)*, UNECE, 10. 9. 2008.

- [19] *Regulation No. 73, Uniform provisions concerning the approval of: I. Vehicles with regard to their lateral protection devices (LPD), II. Lateral protection devices (LPD), III. Vehicles with regard to the installation of LPD of an approved type according to Part II of this Regulation*, UNECE, 1. 9. 2011.
- [20] *Regulation No. 93, Uniform provisions concerning the approval of: I. Front underrun protective devices (FUPDs), II. Vehicles with regard to the installation of an FUPD of an approved type, III. Vehicles with regard to their front underrun protection (FUP)*, UNECE, 15. 3. 1994.
- [21] *Tehnična specifikacija za javne ceste TSC 06.511:2009: Prometne obremenitve, določitev in razvrstitve*, Republika Slovenija, Ministrstvo za promet, 2009
- [22] *TIR Handbook, Eleventh Revised Edition*, UNECE, 2018.
- [23] *Uredba (EU) št. 165/2014 Evropskega parlamenta in Sveta o tahografih v cestnem prometu, razveljavitvi Uredbe Sveta (EGS) št. 3821/85 o tahografu (nadzorni napravi) v cestnem prometu in spremembi Uredbe (ES) št. 561/2006 Evropskega parlamenta in Sveta o usklajevanju določene socialne zakonodaje v zvezi s cestnim prometom*, 4. 2. 2014.
- [24] *Uredba (ES) št. 561/2006 Evropskega parlamenta in Sveta o usklajevanju določene socialne zakonodaje v zvezi s cestnim prometom in spremembi uredb Sveta (EGS) št. 3821/85 in (ES) št. 2135/98 ter razveljavitvi Uredbe Sveta (EGS) št. 3820/85*, 11. 4. 2006.
- [25] *ISO 11898-1:2015: Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signaling*, ISO, december 2015.
- [26] *HDEI / BCEI Working Group: FMS-Standard description, Version 04*, 13. 10. 2017.
- [27] *Uredba (ES) št. 715/2007 Evropskega parlamenta in Sveta o homologaciji motornih vozil glede na emisije iz lahkih potniških in gospodarskih vozil (Euro 5 in Euro 6) in o dostopu do informacij o popravilu in vzdrževanju vozil*, 20. 6. 2007.
- [28] *A. J. Hickman (Ed.): Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption, Deliverable 22 for the project MEET (Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport)*, TRL, Crowthorne, 1999.
- [29] *ADR applicable as from 1 January 2021: European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*, UNECE, 2020.
- [30] *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), Ninth revised edition*, UNECE, 2021.
- [31] *Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog*, Uradni lis RS, št. 92/2010 z dne 19. 11. 2010.
- [32] *Signalni pravilnik*, Uradni list RS, št. 123/2007 z dne 28. 12. 2007.
- [33] *Pravilnik o železniških signalnovarnostnih napravah*, Uradni list RS, št. 85/2010 z dne 29. 10. 2010.

- [34] UIC Leaflet 438-1, *Uniform Numerical Marking Of Hauled Passenger Stock*, UIC, Pariz, 2004.
- [35] UIC Leaflet 438-2, *Identification Marking For Freight Rolling Stock*, UIC, Pariz, 2004.
- [36] UIC Leaflet 438-3, *Identification Marking For Tractive Stock*, UIC, Pariz, 1971.
- [37] Peter Spies: *Fahrdynamik des Schienenverkehrs*, DB Technik/Beschaffung, Minden, 2005.
- [38] *Uredba (ES) št. 1302/2014 o tehnični specifikaciji za interoperabilnost v zvezi s podsistemom „tirna vozila – lokomotive in potniška tirna vozila“ železniškega sistema v Evropski uniji*, 18. 11. 2014.
- [39] *Rules and Regulations for the Classification of Ships*, Lloyd's Register, London, 2021.
- [40] *International Convention on Tonnage Measurement of Ships*, International Maritime Organization, London, 1969.
- [41] *Review of Maritime Transport 2016*, United Nations Conference on Trade and Development, New York in Ženeva, 2016.
- [42] *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*, IMO, London, maj 1980.
- [43] *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*, IMO, London, 1983.
- [44] *The world merchant fleet in 2014, Statistics from Equasis*, Equasis, 2014.
- [45] Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, Working Party on Inland Water Transport: *CEVNI, European Code for Inland Waterways*, Sixth revised edition, UNECE, 2021.
- [46] *Convention on International Civil Aviation*, Doc 7300/9, ICAO, Montreal, 2006.
- [47] *Doc 9626, Manual on the Regulation of International Air Transport, Third Edition*, ICAO, Montreal, 2018.
- [48] *IATA ULD Regulations (ULDR)*, IATA, Montreal, 2022.
- [49] EN 13382: *Flat pallets for materials handling - Principal dimensions*, CEN, 2002.
- [50] EN 13626: *Packaging - Box pallets - General requirements and test methods*, CEN, 2003.
- [51] EN 13698(-1, 2): *Pallet production specification*, CEN, 2003.
- [52] ISO 6780:2003: *Flat pallets for intercontinental materials handling -- Principal dimensions and tolerances*, ISO, december 2003.
- [53] ISO 8611(-1, 2, 3):2011: *Pallets for materials handling -- Flat pallets*, ISO, 2011.

- [54] Marc Levinson: *The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger*, Second Edition, Princeton University Press, 2016.
- [55] ISO 668:2013: *Series 1 freight containers – Classification, dimensions and ratings*, ISO, avgust 2013.
- [56] ISO 1161:2016: *Series 1 freight containers – Corner and intermediate fittings – Specifications*, ISO, julij 2016.
- [57] ISO 1496-1:2013: *Series 1 freight containers – Specification and testing – Part 1: General cargo containers for general purposes*, ISO, julij 2013.
- [58] ISO 6346:1995: *Freight containers -- Coding, identification and marking*, ISO, november 1995.
- [59] DIN 30722(-1, 2, 3):2015-12: *Abrollkipperfahrzeuge, Abrollbehälter*, DIN, december 2015.
- [60] DIN30720-1:2016-02: *Behälter für Absetzkipperfahrzeuge - Teil 1: Normbehälter mit einem Nennvolumen von 5 m³ bis 10 m³*, DIN, februar 2016
- [61] NMEA 0183 V 4.11, National Marine Electronic Association, Severna Park, Maryland, 2018.
- [62] 3B+D d. o. o.: *Sistem Blackblox za sledenje vozilom in tovoru v cestnem transportu*, <http://www.blackblox.si>
- [63] IJPP, Integrirani javni potniški promet, *Načrtovalnik poti*, <https://www.jpp.si>
- [64] Javna agencija Republike Slovenije za varnost prometa: *Prometne nesreče*, <http://nesrece.avp-rs.si>
- [65] Miha Ambrož, Jernej Korinšek, Janez Blaž, Ivan Prebil: *Integral management of public transport*, Transportation research procedia, vol. 14, Elsevier, 2016.
- [66] *Flightradar24*, <https://www.flightradar24.com>
- [67] *OpenStreetMap*, <https://www.openstreetmap.org>

Viri slik

Slike iz navedenih virov so uporabljene z dovoljenjem njihovih lastnikov, za kar se jim avtor zahvaljuje.

BPW Bergische Achsen KG, preme, sistemi obešanja koles
(<https://www.bpw.de>),

Cestel d. o. o., sistemi za mostno tehtanje SiWIM
(<https://www.cestel.si>)

Continental Reifen Deutschland GmbH, pnevmatike za gospodarska vozila
(<https://www.continental-tires.com/transport>)

DAF Trucks N.V., gospodarska vozila
(<https://www.daf.com>)

Daimler AG, gospodarska vozila
(<https://www.daimler.com>)

JOST Werke AG, spenjalne naprave, sistemi za priklopna vozila
(<https://www.jost-world.com>)

MAN Truck & Bus AG, gospodarska vozila
(<https://www.truck.man.eu>)

Scania CV AB, gospodarska vozila
(<https://www.scania.com>)

Schwarzmüller Group, nadgradnje vozil, priklopniki, polpriklopniki
(<https://www.schwarzmueller.com>)

Volvo Trucks, gospodarska vozila
(<https://www.volvotrucks.com>)

Glosar uporabljenih izrazov

slovensko	angleško	nemško
analiza uporabne vrednosti	utility value analysis	Nutzwertanalyse
avtobus	coach, bus	Kraftomnibus
barža	barge	Leichter, Schute
blago v razsutem stanju	bulk cargo	Schüttgüter
blagovni promet	goods transport	Güterverkehr
cestni promet	road transport	Straßenverkehr
črtna koda	barcode	Strichkode
daljinski promet	long-distance transport	Fernverkehr
Eulerjev obhod	Eulerian cycle	Eulerkreis
Eulerjeva pot	Eulerian trail	Eulerscher Weg
gospodarsko vozilo	commercial vehicle	Nutzfahrzeug
graf	graph	Graph
neusmerjen	non-directed	ungerichtet
usmerjen	directed	gerichtet
popoln	complete	vollständig
incidenčna matrika	incidence matrix	Inzidenzmatrix
izvir	source	Quelle
kabina	cab	Fahrerhaus
kolesna dvojica	(railway) wheelset	Radsatz
kombinirani promet	combined transport	kombinierter Verkehr
kontejner	container	Container
kontrola zračnega prometa	air traffic control	Flugverkehrskontrolle
kosovno blago	break bulk cargo	Stückgüter
kotalni kontejner	roller container	Abrollcontainer
kretnica	railway switch	Weiche
križišče	crossing	Kreuzung
krmiljenje	steering	Lenkung
ladja	ship	Schiff
lestveni okvir	ladder frame	Leiterrahmen
lokalni promet	local transport	Nahverkehr
matrika sosednosti	adjacency matrix	Nachbarschaftsmatrix
matrika vrednosti	value matrix	Wertmatrix
modalna porazdelitev	modal split	Modal Split
nadgradnja vozila	vehicle body	Fahrzeugaufbau
notranji vodni promet	inland waterway transport	Binnenschifffahrt
obešanje koles	wheel suspension	Radaufhängung
označevanje	labelling	Kennzeichnung
paketsna enota	package unit	Packeinheit
paleta	pallet	Palette

planiranje	planning	Planung
plovilo	vessel	Wasserfahrzeug
podporni voziček	(railway) bogie	Drehgestell
pogonski sistem	propulsion system	Antriebssystem
polpriklopnik	semi-trailer	Sattelaufleger
pomorski promet	maritime traffic	Seeschiffahrt
pomožno transportno sredstvo	auxiliary load device	Ladehilfsmittel
ponor	sink	Senke
porazdelitev tovora	cargo distribution	Lastverteilung
pošiljka	consignment	Lieferung
potisni čoln	pusher(boat)	Schubboot
potniški promet	passenger transport	Personenverkehr
prekinjen promet	disrupted transport	gebrochener Verkehr
preskrba	supply	Versorgung
pretovor	cargo handling	Umladung
prevoz za lastne potrebe	own-account transport	Werkverkehr
priklopnik	trailer	Anhänger
s centralno osjo	central-axle ~	Zentralachs~
z vrtljivim ojesom	steerable drawbar ~	Gelenkdeichsel~
pristanišče	port	Hafen
prometno sredstvo	means of transport	Verkehrsmittel
razpoložljivost	availability	Verfügbarkeit
razporejanje	order picking	Kommissionierung
razsuti tovor	bulk cargo	Schüttgut
rečni promet	inland waterway traffic	Binnenschiffverkehr
RFID značka	RFID tag	RFID-Etikett, Funketikett
samonakladalni kontejner	skip container, skip bin	Absetzcontainer, Absetzmulde
sedlasti vlačilec	semi-trailer lorry	Sattelzug
sinusni tek	hunting oscillation	Sinuslauf
skladiščenje	warehousing	Lagerung
sledenje tovora	freight tracking	Frachtverfolgung
spenjalna naprava	coupling device	Kupplung
splošno letalstvo	general aviation	Allgemeine Luftfahrt
stopnja vozlišča	vertex degree	Knotengrad
svoboščine zračnega prometa	freedoms of the air	Freiheiten des Luftverkehrs
šasija	chassis	Chassis
tirna proga	railway	Gleisbahn
tirnica	rail	Gleis
tonaža	tonnage	Tonnage, Raumgehalt
tovor	cargo	Fracht

tovorna enota	cargo unit	Ladeeinheit
tovorno vozilo	cargo vehicle	Lastkraftfahrzeug
transportna veriga	transport chain	Transportkette
enočlenska	single-link	eingliedrig
veččlenska	multi-link	mehrgliedrig
varnostni sistem	safety system	Sicherheitssystem
varovanje tovora	cargo-securing	Ladungssicherung
vodni promet	waterway transport	Schifffahrt
vozlišče	node, vertex	Knoten
liho	odd	ungerader
sodo	even	gerader
zamenljiva nadgradnja	swap body	Wechselaufbau ~brücke
zatezni trak	lashing strap	Zurrgurt
zgibni avtobus	articulated bus	Gelenkbus
zrakoplov	aircraft	Luftfahrzeug
železniški promet	rail transport	Schienenverkehr

Stvarno kazalo

- 6 P logistike, 1
- Ackermannov pogoj, 55, 63
- ACTS, 154
- AdBlue, 91
- ADR, 91
 - certifikat, 93
 - oznake, 92
 - tabla, 92, 93
- aktivno vzmetenje, 55
- algoritem najbližjih sosedov, 18
- amplituda dinamične navpične obremenitve, 62
- analiza uporabne vrednosti, 11
- avtobus, 25, 50
- Baltic Clean Tanker Index, 127
- Baltic Dirty Tanker Index, 127
- Baltic Dry Index, 127
- barža, 129
- blagovni center, 24
- BWiM, 73
- C-AKv, 121
- CAN, 80
- čas izvajanja algoritma, 18
- cestni promet, 22
- CEVNI, 128
- črtna koda, 157
- depaletiziranje, 24, 143
- Dijkstrov algoritem, 15
- dilatacijska naprava, 101
- dimenzije cestnih vozil, 27, 32
- dinamični upor, 119
- dinamika vožnje, 33
- Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo, 22
- določanje lokacije, 161
- Družba za avtoceste Republike Slovenije, 22
- dvižna prema, 55
- ekvivalentna obremenitev vozila, 71
- elastičnost prometa, 5
- električni sistem
 - na železnici, 103
- enotno evropsko nebo, 140
- Equasis, 126
- Eulerjev graf, 19
- Eulerjev obhod, 19
- Eulerjeva pot, 19
- euro norma, 89
- Fleuryjev algoritem, 19
- funkcije logistike, 2
- geoinformacijski sistem, 165
- GHS, 92, 95
- globalno pozicioniranje, 80, 161
- gonilo, 46
- gorivo, 46, 88
- gospodarska vozila, 24
- gospodarsko vozilo, 41
- graf, 13, 15, 17
 - neusmerjen, 14
 - popoln, 14
 - usmerjen, 14
- Harper Petersen Charter-Rate Index, 127
- Howe Robinson Container Index, 127
- IATA, 132
- ICAO, 132
- IMO. *gl. Mednarodna pomorska organizacija*
- incidenčna matrika, 14
- intenzivnost prometa, 5
- intermodalni prevoz, 141
- izpust, 88, 90
 - specifične količine, 90
- izredni prevoz, 28
- kabina, 43, 69
- kanalski čoln, 131
- katalog kriterijev, 11
- kategorije cest, 22
- kategorije vozil, 25
- kolesna dvojica, 110
 - vgradnja, 112
- količine v transportu, 4

- kolo
 - cestnega vozila, 57
 - tirnega vozila, 110
- kontejner, 141
 - dimenzije, 145, 146
 - ISO, 144
 - osnovna izvedba, 145
 - ploski, 147
 - reefer, 146, 148
 - tanktainer, 146
 - ULD, 136
- kontejnerizacija, 144
- kontejnerski ekvivalent, 124
- kontrola zračnega prometa, 139
- kotalni kontejner, 153
- kotalni upor
 - cestno vozilo, 57
 - tirno vozilo, 117
- kraljevi čep, 61
- kretnica, 99
- kriterij, 11
- križišče
 - tirno, 100
- krmiljenje
 - priklopnikov, 63
- krmilni mehanizem, 56
- krmilni sistem, 55
- kurirski, ekspresni in paketni
 - prevozi. *gl. storitve KEP*
- letališče, 133
 - kode, 133
- Lloydov register, 123
- lokomotiva, 102
 - diesel-električna, 105
 - električna, 104
 - večsistemska, 104
 - z mehanskim pogonom, 105
- MARPOL, 126
- masa, 72
 - cestnih vozil, 27, 28, 29, 30
- masni pretok, 4
- matrika sosednosti, 14
- matriko vrednosti, 15
- Mednarodna pomorska
 - organizacija, 125
- množica alternativnih možnosti, 11
- modalna porazdelitev, 6
- modulna zgradba, 40
- motor, 46
- motorna zavora, 65
- multigraf, 13, 20
- način prometa, 3
- nadgradnja, 25
- nadomestni tovor, 38
- nadzor dušenja, 68
- nadzor flote, 80
- nadzor speljevanja, 67
- nadzor stabilnosti, 68
- najkrajša pot, 15
- napenjalo, 35
- navlečni kontejner. *gl. kotalni kontejner*
- notranji vodni promet, 128
- obešenje koles, 51
- oblikovanje tovora, 7
- obseg prometa, 4
- odpremni center, 24
- odvalni kontejner. *gl. kotalni kontejner*
- okretnica, 100
- okvir
 - cevni, 43
 - lestveni, 41, 42
 - prostorski, 42
 - z ukrivljenimi nosilci, 41, 42
- onesnaževalo, 89
- opozarjanje na zapuščanje voznega
 - pasu, 69
- oprema za talno podporo, 138
- optimalna lokacija, 12
- optimalni obhod povezav, 18
- optimalni obhod vozlišč, 17
- organizacija transporta, 7
- oskrba zrakoplovov, 138
- osna obremenitev, 37, 38, 51, 70, 72
 - cestnih vozil, 27, 31
 - faktor ekvivalentnosti, 70
- označevanje kontejnerjev, 152
- identifikacijska oznaka, 152

pakiranje, 24
 pakirna sredstva, 7
 paleta, 141, 142
 dimenzije, 142
 euro, 141
 ULD, 136
 parametri investicije, 10
 parametri transporta, 4
 pasivno krmiljena prema, 57
 planiranje lokacij, 10
 plovilo, 122
 gibanje, 123
 izvedba trupa, 124
 razredi, 125
 za notranji vodni promet, 128
 pnevmatike, 57
 pnevmatski meh, 53, 54
 podporni voziček, 112, 118
 Jakobs, 113
 področja logistike, 2
 podsistemi na vozilu, 41
 pogon, 47, 49
 pogonski voz, 102
 polpriklopnik, 26, 27, 60, 61
 pomožna transportna sredstva, 7, 141
 porazdelitveni diagram, 39
 pošiljka, 7
 poškodbe vozišča, 70
 pospešek
 prečni, 34
 vzdolžni, 34
 potisni čoln, 129
 povezava, 13
 premik tovora, 34
 prenosna tehtnica, 72
 prenosnica, 100
 pretočnost prometa, 5
 pretok prometa, 4
 pretovarjanje, 10, 24
 pretovorna točka, 24
 prevoz nevarnih snovi, 91
 prevožena razdalja, 4
 prevozne storitve, 7
 prevozniki, 7
 priklopnik, 26
 s centralno osjo, 27, 59
 z vrtljivim ojesom, 27, 59
 pristanišče, 122
 privezovanje, 33, 35
 problem cestnega preglednika, 18
 problem trgovskega potnika, 17
 prometna sredstva, 3
 protiblokirni zavorni sistem, 67
 radiofrekvenčna identifikacija, 159
 razporejanje, 10, 24
 raztirnik, 101
 rečni promet. *gl. notranji vodni promet*
 redukcija dušikovih oksidov, 91
 referenčna vlečna sila, 62
 retarder
 elektromagnetni, 66
 hidrodinamični, 66
 RFID. *gl. radiofrekvenčna identifikacija*
 RFID značka, 160
 Robsonovo gonilo, 49
 SAE J1939, 80, 81, 83
 za avtobuse, 86
 za tovorna vozila, 85
 samodejno zaviranje, 68
 samonakladalni kontejner, 153
 samonosna karoserija, 42
 šasija, 41
 Scharfenberg, 121
 servokrmiljenje, 57
 sila na tovor, 33, 34
 sinusni tek, 111
 sistemi na vozilu, 41
 sistemi pasivne varnosti, 69
 skladiščenje, 10
 skupina vozil, 58
 sledenje tovora, 157
 SOLAS, 126
 sosednostna matrika. *gl. matrika sosednosti*
 špediterji, 7
 spenjalna naprava
 dimenzioniranje, 62

za cestna vozila, 59, 60
 za tirna vozila, 120
 spenjanje kontejnerjev, 148
 pritrdilno mesto, 148
 splošno letalstvo, 132
 središče grafa, 16
 stacionarna tehnična. *gl. tehtalna postaja*
 stacionaža, 24
 stopnja vozlišča, 14
 storitve KEP, 7, 132
 stroškovna funkcija, 12
 svoboščine zračnega prometa, 134
 tahograf, 76
 analogni, 77
 digitalni, 77
 kalibracija, 80
 tehtalna postaja, 72
 tehtanje vozil, 71
 med vožnjo, 73
 na vozilu, 75
 tempomat, 68
 TEU. *gl. kontejnerski ekvivalent*
 težišče
 nadomestnega tovora, 37
 skupno, 37, 38
 tovora, 37, 38
 TIR konvencija, 76
 tirna proga, 96
 vzdolžni naklon, 114
 tirni zaključek, 101
 tirnica, 97
 tirno vozilo, 102
 točkovanje, 11
 tonaža, 124
 bruto, 124
 mrtva, 124
 neto, 124
 registrska, 124
 tovor, 7
 tovorek, 7
 tovarna enota, 7
 tovarno vozilo, 25, 48
 trajno zaviranje, 65
 transmisija, 46
 transportna veriga, 8
 transportna zmogljivost. *gl.*
 zmogljivost prometa
 tranzitni prevoz, 75
 trenje, 33, 35
 trilateracija, 162
 Twistlock, 148, 150
 učinkovitost prometa, 5
 UIC, 96
 ULD, 136
 oznake, 137
 upor v ležajih, 118
 upor v ovinku, 117
 upor v transmisiji, 118
 vagon, 102, 106
 odprti, 107
 ploščni, 106
 potniški, 106
 s cisterno, 108
 serije, 108
 tovorni, 106
 zaprti, 107, 108
 varnostni sistem, 65
 varovanje tovora, 33
 vijačna spenjača, 120
 vlačilec
 cestni, 27
 sedlasti, 27
 vlak, 97
 energija, 115
 faktor mase, 116
 mehanski model, 115
 vlečna glava, 60
 vlečna krogla, 60
 vlečna sklopka, 60
 vlečni drog, 59
 vlečno sedlo, 61
 vlečno uho, 60
 volumski pretok, 4
 vozlišče, 10, 13, 24
 vrednost povezave, 15
 vrednostna matrika. *gl. matrika vrednosti*
 vzmetenje, 51, 53
 vzmeti

listnate, 51
vijačne torzijske, 51
zračne, 53
vzmetna karakteristika, 53
vztrajnostna sila, 34
WiM, 73
zagonski upor, 118
zamenljiva nadgradnja, 141, 155
zaščita proti podvozu, 70
zatezni trak, 35, 37
zavarovanje zrakoplovov, 138
zbiranje blaga, 24
zbirni prevozi, 7
zdrs tovora, 34
železniška garnitura, 103
železniška infrastruktura, 97, 102
železniška proga
 prečni prerez, 99
 razdalje med tirnicama, 98
 zgornji ustroj, 99
železniški promet, 96
zgorevanje, 88
zmogljivost prometa, 5
zračni promet, 132
zračni upor, 119
zrakoplov, 132
 presek trupa, 136