

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

David Bogataj

Ukrepi za izboljšanje prometne varnosti na strmih padcih cest - zasilni izvozi

Diplomska naloga št.: 3035

Mentor:

doc. dr. Alojzij Juvanc

Somentor:

asist. mag. Robert Rijavec , Janez Šenk

Ljubljana, 3. 11. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **DAVID BOGATAJ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»UKREPI ZA IZBOLJŠANJE PROMETNE VARNOSTI NA STRMIH PADCIH CEST
– ZASILNI IZVOZI«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 12. 09. 2008

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 656.1.08(043.2)
Avtor: David Bogataj
Mentor: doc. dr. Alojz Juvanc
Naslov: Ukrepi za izboljšanje prometne varnosti na strmih padcih cest – zasilni izvozi
Obseg in oprema: 106 str., 5 pregl., 46 sl., 18 en., 4 pril.
Ključne besede: zasilni izvoz, zaustavna rampa, zaustavni bazen, pobeglo vozilo, nujen primer težkega tovornega vozila

Izvleček:

Na topografsko zahtevnejših terenih, kjer so dolgi in strmi spusti cest, je potrebno posvetiti posebno pozornost velikim, težkim tovornim vozilom. Voznik tovornega vozila lahko zgubi nadzor nad zavorami zaradi pregretih zavor, mehanske napake ali napake pri pravočasni menjavi prestavnega razmerja. Pobeglo vozilo je potrebno zaustaviti stran od prometnega vrveža. Iz tega razloga gradimo zasilne izvoze. Zasilni izvoz je relativno preprost objekt, projektiran kot trasa. Vozilo se na objektu zaustavi zaradi vzpenjanja in/ali vožnje po rahljanih oziroma drobljivih (mečkljivih) materialih. Zasilni izvoz zagotovi varno zaustavitev pobeglega vozila brez resnih poškodb tako voznika kot tudi vozila.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 656.1.08(043.2)
Author: David Bogataj
Supervisor: assist. prof. dr. Alojz Juvanc
Title: Measures for improvement of traffic safety on steep, descending grades – Emergency Escape Ramps
Notes: 106 p., 5 tab., 46 fig., 18 eq., 4 app.
Key words: runaway lane, truck escape ramp, arrester (arrestor) bed, out-of-control vehicle, heavy truck emergency

Abstract:

Where topographic and location controls require long, steep, descending grades special safety control for large heavy trucks is needed. Truck driver can lose vehicles braking ability as a result of overheated brakes, mechanical failure or driver`s failure to downshift in appropriate time. Out-of-control vehicle needs to be stopped away from the main traffic stream. For that purpose, the Escape Ramps are constructed, Emergency Escape Ramp is relatively simple traffic facility, constructed as an alignment. Vehicle is stopped by ascending grade or/and by loose or crushable materials integrated as a pavement. Emergency Escape Ramp provide a safe stop to an out-of-control vehicle, without serious injury or serious damage to the driver and the vehicle.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem svojemu mentorju, doc.dr. Alojziju Juvancu. Njegovi nasveti in želja doseči odličnost, so pomembno vplivali pri nastajanju pričujočega dela.

Zahvaljujem se tudi zunanjemu somentorju in mecenu, g. Janezu Šenku in njegovemu podjetju.

Zahvala gre tudi moji družini in moji dragi Špeli, ki so mi med študijem stali ob strani, me spodbujali in zaupali vame.

KAZALO VSEBINE:

1	UVOD	1
2	ZAUSTAVNI SISTEMI TRANSPORTNIH IN DRUGIH MOBILNIH SREDSTEV	2
2.1	Letalski varnostno-zaustavni sistemi.....	2
2.1.1	Kabelski sistemi	2
2.1.2	Letalske ovire	4
2.1.3	Zaviralna padala.....	4
2.1.4	Zaustavne ploščadi	5
2.2	Izletne cone dirkalnih stez	6
2.3	Sistemi za prisilno zaustavitev voznikov v prekršku.....	8
2.3.1	Bodice (<i>spikes</i>).....	8
2.3.2	Ležeča mreža.....	9
2.3.3	Zapornica	9
2.3.4	Povlečna mreža (<i>dragnet</i>).....	10
2.3.5	Zaustavni sistem vgrajen (integriran) na tovorno prikolico	10
3	ZASILNI IZVOZI NA CESTAH.....	11
3.1	Zgodovina	11
3.2	Površine namenjene za tovorna vozila	12
3.3	Vrste zasilnih izvozov	13
3.3.1	Gravitacijski zasilni izvoz	14
3.3.2	Zasilni izvoz brez vzdolžnega nagiba in s spuščajočim vzdolžnim nagibom	17
3.3.3	Zasilni izvoz z nasipom	17
3.3.4	Zasilni izvoz s koritastim prečnim profilom z vgrajenimi povlečnimi mrežami	18
3.3.5	Zasilni izvoz s ploščadjo iz penjenega betona ali umetnih mas.....	19
3.4	Tehnične smernice, lokacija in terenske razmere.....	19
3.4.1	Deli zasilnega izvoza	21
3.4.1.1	Vstopni del	21
3.4.1.2	Pojemalni del.....	23
3.4.1.3	Zaustavni del.....	23
3.4.2	Preglednost.....	24

3.5	Ugotavljanje upravičenosti objekta.....	25
4	ZAUSTAVNI BAZEN ZASILNEGA IZVOZA - ARRESTER BED.....	28
4.1	Zaustavni bazen.....	28
4.1.1	Agregat.....	29
4.1.2	Dimenzije zaustavnega bazena	31
4.1.2.1	Širina	31
4.1.2.2	Dolžina.....	31
4.2	Spremljajoči objekti in naprave	34
4.2.1	Odstavni pas za preverjanje zavor (<i>brake check/cool areas</i>)	34
4.2.2	Servisna pot	35
4.2.3	Sidra.....	36
4.2.4	Nasipi.....	37
4.2.4.1	Nasipi na zaustavnem bazenu zasilnega izvoza.....	37
4.2.4.2	Nasipi na spustih odprtih kopov za zaustavljanje demperjev	38
4.2.5	Blažilnik naleta	39
4.2.6	Ograje.....	39
4.3	Vzdrževanje	40
5	VARNOST NA CESTI	43
6	TEHNIČNO-DINAMIČNE LASTNOSTI VOZIL IN VOZIŠČA	47
6.1	Sile	47
6.2	Interakcija pnevmatika – vozišče	48
6.2.1	Trenje in kotalni upor	48
6.2.2	Pnevmatike	50
6.2.3	Cestna geometrija	52
6.2.4	Vozna površina.....	53
6.3	Dinamika vozila.....	53
6.3.1	Hitrost, sila teže in energija.....	54
6.3.2	Račun dolžine glede na nagib spusta pred zasilnim izvozom	55
6.3.3	Učinek žepnega noža (<i>Jack-knifing</i>)	58
6.3.4	Bočno prevračanje vozila	59
6.4	Zavore	61
6.4.1	Vrste zavor.....	62

6.4.1.1	Zaviranje preko trenja na zavorah.....	63
6.4.1.2	Zaviranje preko pogonske osi.....	70
6.4.2	Zavorne razdalje in časi.....	72
6.4.2.1	Stop pregledna razdalja (<i>Stopping Sight Distance</i>).....	72
6.4.2.2	Odločitvena pregledna razdalja (<i>Decision Sight Distance</i>).....	76
6.4.2.3	Prehitevalna vidna razdalja (<i>Passing Sight Distance</i>).....	76
6.4.2.4	Pregledno polje pri uvozu v križišče (<i>Intersection Sight Distance</i>).....	78
6.4.2.5	Zaustavna razdalja pobeglega tovornega vozila.....	78
7	NAPRAVE ZA UPRAVLJANJE PROMETA.....	79
7.1	Horizontalna signalizacija.....	79
7.2	Vertikalna signalizacija.....	80
7.2.1	Prometni znaki in table.....	80
7.2.1.1	Slike prometnih znakov in tabel uporabljenih v tujini.....	80
7.2.2	Varnostne ograje in smerniki (oprema za vodenje prometa).....	83
7.3	Inteligentni transportni sistemi in storitve.....	83
8	PRIMERI ZASILNIH IZVOZOV.....	86
8.1	Zasilni izvoz Črni Kal.....	86
8.2	Zasilni izvoz na spustu iz Korenskega Sedla na avstrijsko stran.....	88
9	ZASILNI IZVOZ NA VIPAVSKI HITRI CESTI.....	92
9.1	Tehnično poročilo.....	92
9.1.1	Splošno.....	92
9.1.2	Vodnogospodarski pogoji in ureditve.....	92
9.1.3	Geologija in geomehanika.....	92
9.1.4	Dimenzioniranje voziščne konstrukcije.....	92
9.1.5	Tehnični podatki.....	93
9.1.5.1	Zasilni izvoz.....	93
9.1.5.2	Trasirni elementi.....	93
9.1.5.3	Opis konstrukcijskih elementov.....	94
9.1.5.4	Odvodnjavanje.....	94
9.1.5.5	Objekti in zidovi.....	95
9.1.5.6	Ureditev in zaščita brežin.....	98
9.1.6	Opis projektnih rešitev.....	98

9.1.7	Preureditev komunalnih vodov	99
9.1.8	Poseg na zemljišče, prestavitev in porušitev objektov	99
9.1.9	Pogoji in tehnologija	100
9.2	Grafične priloge.....	100
10	ZAKLJUČEK.....	101
11	VIRI.....	102
12	PRILOGE	106

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Dopustni nagib nivelete prometnice	20
Preglednica 2: Potrebna dolžina zasilnega izvoza pri vstopni hitrosti vozila 110 km/h	34
Preglednica 3: Potrebna dolžina zaustavnega bazena z drobnim prodom (<i>pea gravel</i>)	34
Preglednica 4: Stop pregledna razdalja izračunana na osnovi pojemka ($t = 2,5s$, $a = 3,4m/s^2$, $s = \pm 0$ (AASHTO))	75
Preglednica 5: Prehitevalna vidna razdalja.....	77

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Vzdolžni profil ceste na Korensko sedlo iz avstrijske smeri (Vir: <http://www.climbbybike.com/climb.asp?Col=Wurzenpass&qryMountainID=1294>)..... 91

KAZALO SLIK:

Slika 1: Lociranje EMAS zaustavne ploščadi	6
Slika 2: Sive izletne cone dirkalne steze, Sachsenring, Hohenstein-Ernstthal, Germany (Google Earth)	7
Slika 3: Zaščitna ograja iz avtomobilskih gum za izletno cono (Google Earth picture).....	7
Slika 4: Oblike zasilnih izvozov	14
Slika 5: Zasilni izvoz med sredi cestišča, pred T križiščem, Malibu, ZDA (Google Earth)....	20
Slika 6: Deli zasilnega izvoza.....	21
Slika 7: Vertikalna preglednost gravitacijskega zasilnega izvoza.....	24
Slika 8: Horizontalna preglednost	25
Slika 9: Lahki agregat Lytag in droben prod (<i>pea gravel</i>) (Encyklopedie Energie)	30
Slika 10: Karakteristični prečni profil zaustavnega bazena iz avstralskega predpisa	31
Slika 11: Smiselno razdeljeni odseki zasilnega izvoza (za primer izračuna dolžine zasilnega izvoza)	33
Slika 12: Odstavni pas za hlajenje in preverjanje zavor (PIARC, str. 366)	35
Slika 13: Servisna pot desno ob zaustavnem bazenu	36
Slika 14: Nezasuto sidro zasilnega izvoza (WIPO).....	36
Slika 15: Gravitacijski zasilni izvoz s štirimi nasipi, Tejon Pass, I-5, ZDA (Google Earth)....	37
Slika 16: Polovični in polni nasip proti koncu zaustavnega bazena zasilnega izvoza.	37
Slika 17: Oblika in dimenzije nasipov na spustih za zaustavljanje demperjev	38
Slika 18: Betonska varnostna ograja za varovanje in preprečevanje raztrosa agregata na Črnem Kalu	40
Slika 19: Shema brane za rahljanje zaustavnega bazena z gramoznim nasutjem	42
Slika 20: Trenje 2D (PIARC, str. 406)	49
Slika 21: Vzдолžno in bočno trenje pnevmatike ob vozno površino 3D (PIARC, str. 407)	50

Slika 22: Kolutne zavore.....	64
Slika 23: Bobnasta zavora.....	65
Slika 24: Mehanski naletni zavorni sistem za tandem prikolice.....	68
Slika 25: Hidravlični retarder.....	71
Slika 26: Elektromagnetni retarder z rotorjem in elektromagnetni retarder z dvema polovičnima rotorjema	72
Slika 27: Prometne table za obveščanje o odstavnem pasu za preverjanje zavor.....	80
Slika 28: Prometne table za seznanjanje šoferjev tovornih vozil o poteku in nagibu trase	80
Slika 29: Prometne table in znaki za priporočanje in omejevanje hitrosti pred strmimi spusti.....	81
Slika 30: Prometni znaki za nevaren klanec navzdol.....	81
Slika 31: Obveščanje voznikov o nagibu in dolžini spusta.....	81
Slika 32: Obveščanje voznikov o zasilnem izvozu.....	81
Slika 33: Obveščanje udeležencev v prometu o možnosti naleta tovornega vozila.....	82
Slika 34: Prometne table na lokaciji zasilnega izvoza	82
Slika 35: Znak za prepovedano ustavljanje in parkiranje na območju uvoza na zasilni izvoz.....	82
Slika 36: Dopolnilne table o vrsti zaustavnega bazena (pesek, gramoz, asfalt oz. beton).....	82
Slika 37: Odcep iz primorske avtoceste za zasilni izvoz	87
Slika 38: Zaustavni bazen iz grobe separacije prodca	87
Slika 39: Vzorno speljana os odcepa zasilnega izvoza.....	88
Slika 40: Zaporedje prometnih tabel za označevanje zasilnega izvoza na Črnem Kalu.....	88
Slika 41: Neugodno speljan "odcep" za zasilni izvoz in nepravilno parkiran osebni avtomobil	89
Slika 42: Skromne dimenzije zasilnega izvoza.....	89
Slika 43: Tabla za nevarnost zadrževanja na območju zasilnega izvoza.....	90

Slika 44: Razširitev vozišča rezerviranega za pobegla vozila s prometnim znakom za prepovedano ustavljanje in parkiranje.....	90
Slika 45: Blažilnik naleta iz pnevmatik in jeklene varnostne ograje.....	90
Slika 46: Nasip	97

KAZALO PRILOG:

Priloga 1: Gradbena situacija

Priloga 2: Vzdolžni prerez

Priloga 3: Karakteristični prečni prerez

Priloga 4: Detajl zaustavnega bazena

1 UVOD

Na dolgih strmih padcih cestnih odsekov velikokrat pride do preobremenjenosti zavor vozil, ki lahko zaradi pregretja ali kake druge napake odpovedo. Zaradi strmenja k zmanjšanju tovrstnih prometnih nezgod, v katerih so oz. bi lahko bila vpletena predvsem težka tovorna vozila, je smiselna uporaba zasilnih zaustavnih sistemov ali izvozov.

Zasilni izvoz je cestni objekt ali naprava za zaustavitev vozil, ki se s pomočjo lastnih zavor ne morejo varno ustaviti.

V prvem delu diplomske naloge opisujem letalske zaustavne sisteme, varnostne objekte na dirkališčih ter sisteme za prisilno ustavitev vozil. Vse te naprave in sistemi se z manjšimi prilagoditvami lahko uporabljajo tudi na zasilnih izvozih.

Jedro diplomske naloge naj bi osvetlilo stanje in razmere v tovornem vozilu, katerega voznik je prisiljen uporabiti zasilni izvoz. Opisane so vrste zasilnih izvozov, zaustavnih sistemov in dodatne opreme, njihovo vzdrževanje in upravičenost.

V 8. poglavju sta opisana dva, nam bližnja, zasilna izvoza. Na koncu diplomske naloge so grafične priloge, ki se nanašajo na zasilni izvoz na vipavski hitri cesti. V času nastajanja diplomske naloge je zasilni izvoz na vipavski hitri cesti v procesu gradnje.

Literature slovenskega izvora, ki bi opisovala ali predpisovala tovrstne sisteme in/ali objekte, ni. S slovensko literaturo sem si pomagal le posredno, s predpisi za drugo cestno infrastrukturo. Npr.: karakteristike zavor, motorjev in dinamiko vozil, pregledne, zaustavne razdalje, geometrijske elemente... Za nalogo sem uporabil tujo literaturo, predvsem ameriško in avstralsko-novozelandsko saj imajo v teh deželah že dolgoletne izkušnje s tovrstnimi sistemi in objekti.

2 ZAUSTAVNI SISTEMI TRANSPORTNIH IN DRUGIH MOBILNIH SREDSTEV

2.1 Letalski varnostno-zaustavni sistemi

Tako kot vsa zemeljska vozila, imajo tudi letala na kolesih klasične zavore. Klasične zavore imajo, vsaj pri komercialnih letalih, primaren pomen pri zaviranju na pristajalni stezi, kar pa ne velja za vojaška letala, ki pristajajo na letalonosilkah. Zaviralna moč zavore na enem kolesu pri Airbusovem A380 je 5,04 MW oz. 6759 konjskih moči (10 glavnih koles + 2 sprednji). Druga zelo pomembna zaviralna sila je sila zračnega upora, ki se še poveča z dvignjenimi zakrilci.

Poznamo štiri osnovne tipe letalskih zaustavnih sistemov:

- kabelski sistemi
- letalske ovire
- zaviralna padala
- zaustavne ploščadi

Prvi trije naštetih sistemi se uporabljajo predvsem v vojaške namene. Zaustavne ploščadi pa so rezervirane predvsem za komercialna letališča, če letalo nima zadostnega prostora za varno ustavitvev na pristajalni stezi.

Velik pomen pri varnosti letališč ima osvetljava pristajalne steze v mraku.

2.1.1 Kabelski sistemi

Letalo med pristajanjem spusti posebno zaustavno kljuko, ki se zapne za enega od kablov, ki se raztezajo preko pristajalne steze. Nato aktivira zaviralni mehanizem, ki s pomočjo trenja med zavorami in kolesom, vodnim retarderjem ali tekstilnim absorberjem za enkratno uporabo, zaustavi letalo. Kabli imajo običajno 2,5 – 3,2 cm premera in so 3,8 – 7,6 cm nad tlemi pristajalne piste, ki je tako kot kabelski sistem povezana z zaviralnim mehanizmom.

Razdalja, ki je potrebna za zaustavitvev letala, je izredno kratka, zato se ta sistem uporablja predvsem na letalonosilkah. Kabelski sistem zaustavljanja letal je poznan že iz poznih dvajsetih let prejšnjega stoletja.



Ustavitev vojaškega letala s pomočjo kabskega sistema (ZODIAC)



Mobilni letalski retarder (ZODIAC)



Tekstilni absorber (ZODIAC)

2.1.2 Letalske ovire

Te naprave se ne aktivirajo z zaustavnimi kljukami letal, ampak nasprotujejo potisni sili letala pri pristajanju ali prekinitvi vzleta. Običajno so to naprave z mrežami, ki so locirane proti koncu vzletnih oz. pristajalnih stez. Uporabljajo se lahko v kombinaciji s kabelskim sistemom. Silo ustavljanja prevzame retarder. Uporabljajo jih tudi pri pristanku Nasinega vesoljskega plovila »space shuttle«.



Letalska ovira (ZODIAC)

2.1.3 Zaviralna padala

Zaviralno padalo je del letala, podobno kot zaustavna kljuka, ki ga pilot lahko aktivira pri pristanku. Ko se padalo odpre, dobimo dodatno silo zračnega upora, ki deluje na padalo, ta pa z enako silo zavira letalo.

Obstajajo tudi padala za manjša športna letala. Ob morebitni tehnični napaki med letom pilot preprosto sprosti padalo in letalo vertikalno pristane.



Zaviralno padalo (Aerospacweb)

2.1.4 Zaustavne ploščadi

Zaustavno varnostna letališka površina je površina, ki obkroža letališko stezo in ima funkcijo varne zaustavitve letala ob nepredvideni zapustitvi steze.

Zaustavna ploščad je površina na koncu pristajalne steze, ki služi zaustavitvi letal, katerim zaviralna pot na pristajalni stezi se je iztekla. Zaustavno ploščad se uporablja le v izrednih razmerah.

Najpogostejši vzroki za uporabo zaustavne ploščadi je prekratka pista (letalo ima večje zahteve od predpostavljene kritičnega plovila), prepozno pristajanje, napake na zavorah, spolzka ali celo zasnežena pristajalna steza.

Po FAA (Federal Aviation Administration) je širina varnostne površine skupaj s širino steze od 42 m (120 ft) do 152 m (500 ft) in podaljšana na vsaki strani steze za od 84 m (240 ft) do 305 m (1000 ft). Dimenzije so odvisne od kritičnega plovila, ki je običajno največje in najtežje letalo, ki na določeni pisti oz. letališču pristaja.

Zaustavna ploščad je iz varnostnih razlogov na koncu piste lahko tudi nasuta z gramozom, kakor zaustavni bazeni na zasilnih izvozi za tovorna vozila, lahko pa je tudi iz fenolne pene, plinobetona oz. penjenega betona (*cellular concrete* ali *foamcrete*).

EMAS (Engineered Material Arresting System) je izpopolnjena visoko energijsko absorpcijska ploščad izbrane trdnosti za zaustavljanje letal na zaustavnih ploščadih ali ob pristajalnih stezah, namenjena predvsem komercialnim letališčem.

EMAS absorpcijska zaustavna ploščad je sestavljena iz blokov penjenega betona, katerih vrhnja skorja je odporna na vremenske vplive in zadostno nosilna za reševalna vozila pri evakuaciji potnikov iz zasilno zaustavljenega letala. Struktura blokov omogoča, da se ploščad drobi pod težo letala.

Blokovna sestava ploščadi omogoča ekonomično vzdrževanje le-te in sanacijo, z menjavo uničenih blokov ploščadi.

Ploščad je oblikovana tako, da zaustavi letala različnih tež, s tem, da je upoštevana hitrost naleta in velikost ter tlak koles. Zato so inženirji morali prilagoditi homogen odpor in debelino ploščadi, hkrati pa omogočiti minimalne ali nikakršne poškodbe letala.

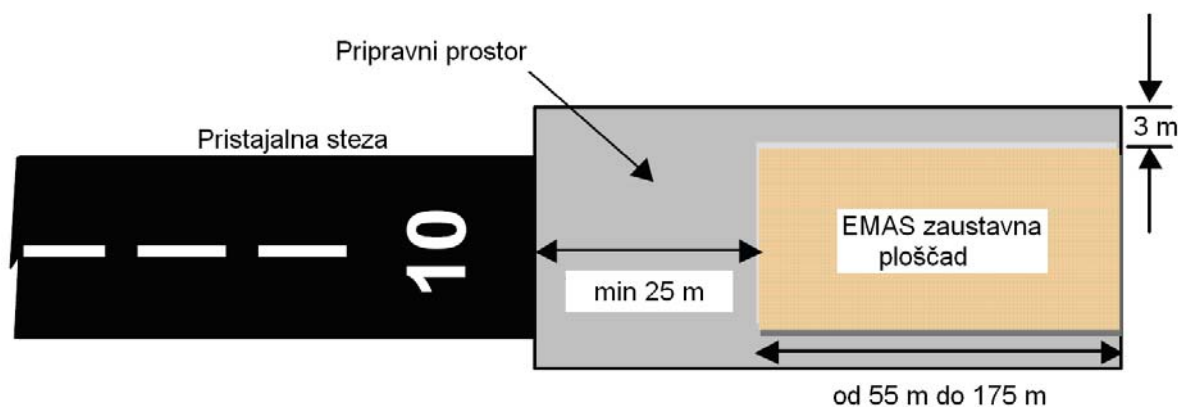
Pri velikih, težkih letalih z velikimi kolesi (380 ton pristajalne mase) lahko ploščad nudi premalo odpora, za manjša letala z manjšimi kolesi (do 40 ton pristajalne mase) pa obstaja

nevarnost, da prevelika odpornost ploščadi poruši nosilec prednjega kolesa in letalo pristane na nosu.

Vgradnja tega sistema je predvsem aktualna zaradi skrajšanja potrebne dolžine zaustavno varnostne letališke površine. Razlika v dolžini se lahko uporabi za podaljšanje letaliških stez in tako ugotovi zahtevnejšim predpisom EASA-e (European Aviation Safety Agency) oz. FAA-ja (Federal Aviation Administration) in drugim svetovnim letalskim organizacijam in njihovim zahtevam.

Potniška letala pristajajo pri hitrosti 80 vozlov, kar je približno 150 km/h. Maksimalna predvidena hitrost vstopa v zaustavno ploščad je 70 vozlov (približno 130 km/h).

Dolžina ploščadi je odvisna od kritičnega plovila.



Slika 1: Lociranje EMAS zaustavne ploščadi



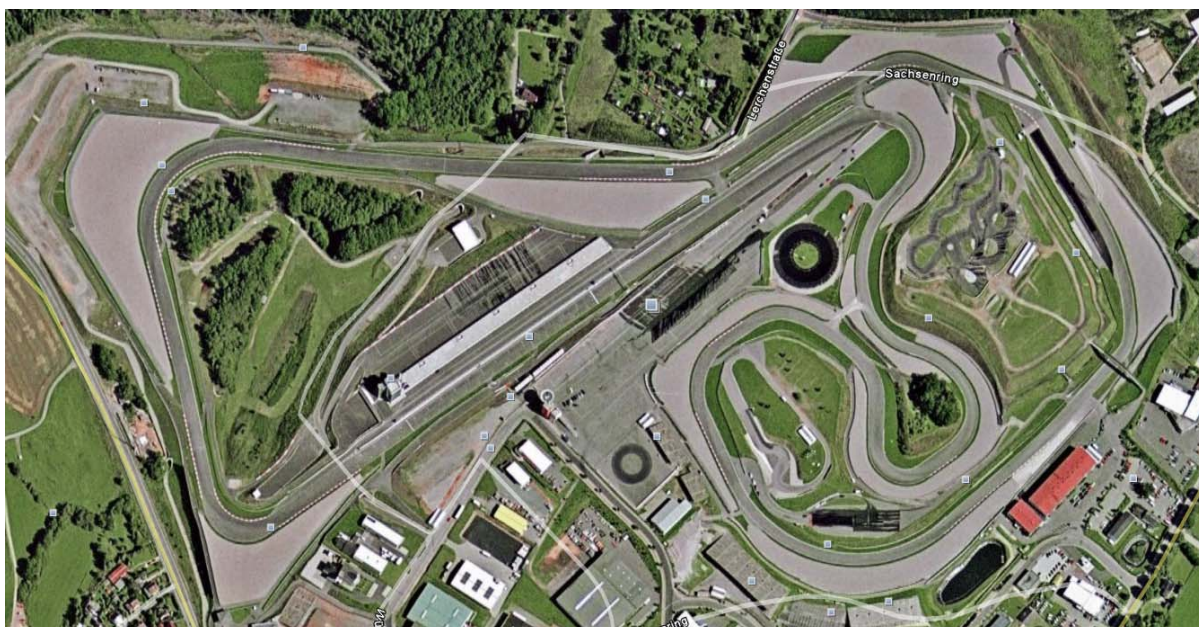
EMAS zaustavna ploščad(ZODIAC)

2.2 Izletne cone dirkalnih stez

Izletne cone dirkalnih stez imajo enako funkcijo kakor zaustavni bazeni na zasilnih izvozih. Za učinkovitejšo absorpcijo kinetične energije vozila so izletne cone nasute s finim gramozom. Dirkalne steze so zaščitene z odbojnimi ograjami. Na kritičnih mestih in ob

zunanjem robu izletnih stez pa še z dodatno zaščito v obliki zloženih avtomobilskih pnevmatik, oz. podobnimi sistemi.

Dinamika vozila določa način vstopa vozila v izletno cono ali zaustavni bazen. Na vozilo, ki vstopa v zaustavni bazen deluje sila trenja v bolj ali manj nasprotni smeri vektorja hitrosti. Na dirkalni stezi pa pride do prekrmarjenja vozila. Centrifugalna sila postane večja od sile trenja, ki je bolj ali manj pravokotna na smer vožnje in kaže proti centru krožnice, po katerem vozi vozilo, zato vozilo bočno oddrsi v izletno cono. V splošnem navedeno velja za vse vrste vozil, tako avtomobile, tovornjake, kot tudi motorna kolesa. (Tako dvosledna, kot tudi enosledna.)



Slika 2: Sive izletne cone dirkalne steze, Sachsenring, Hohenstein-Ernstthal, Germany (Google Earth)



Slika 3: Zaščitna ograja iz avtomobilskih gum za izletno cono (Google Earth picture)

2.3 Sistemi za prisilno zaustavitev voznikov v prekršku

Poleg zasilnih zaustavnih sistemov za primere okvar zavor poznamo tudi zaustavne sisteme za sankcioniranje pobežlih voznikov oz. voznikov v prekršku. Taki sistemi lahko pomagajo varno zaustaviti vozilo. V večini primerov so to neusodne zaustavne naprave, saj pri zaustavitvi povzročijo minimalne poškodbe tako potnikov, kakor vozila.

2.3.1 Bodice (*spikes*)

Bodice so priprava za postavitev prečno na vozišče, preko katerega zapelje pobežlo vozilo in si, zaradi teže vozila, prebode pnevmatike. Bodice so lahko vgrajene v vozišče in jih lahko hipno dvignemo. Prenosne bodice pa so integrirane na trak ali kovinski nosilec. Prenosne bodice se namestijo na rob vozišča in se pred iskanim pobežlim vozilom raztegnejo čez vozišče.



Prenosne bodice (zložene) (iskalnik Google, Emergency stop)

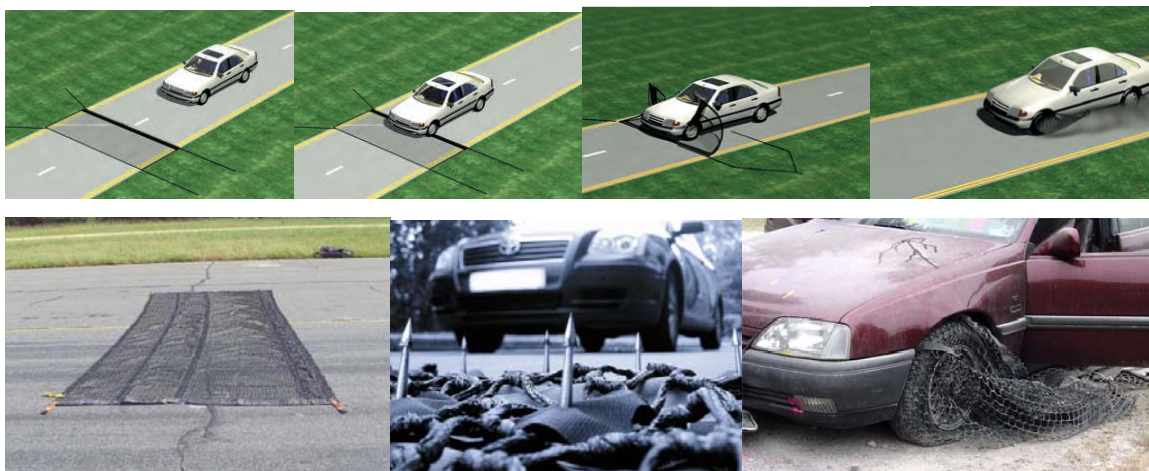


Bodice vgrajene v vozišče (dvignjene) (iskalnik Google, Emergency stop)

2.3.2 Ležeča mreža

Tekstilno ležečo mrežo razprostremo čez vozišče. Vozilo zapelje na rob mreže, kjer so vgrajeni kaveljčki, ki se zarinejo v pnevmatiko in se tako nanjo pritrdijo. Ob nadaljnjem rotiranju koles se tkanina zagozdi okoli osi in tako zablokira kolo.

Ležeča mreža bi bila potencialno uporabna pri zaustavljanju tovornih vozil s pregretimi zavorami, če bi jo povozila zadnja kolesa tovornjaka, pri tovornjaku s prikolico pa zadnja os oz. set osi pri prikolici. V tem primeru bi vozilo moralo imeti vgrajeno tako mrežo pred pravim setom koles. Tako bi preprečili zaklinjanje tovornjaka s prikolico oz. vlačilca s prikolico. Uporabnost takega sistema za potrebe zasilnega ustavljanja tovornih vozil bi bilo potrebno preizkusiti na testnem vozilu in ugotoviti učinkovitost zaviranja predrtih blokiranih pnevmatik.



Ležeča mreža (VLAD)

2.3.3 Zapornica

Cestna zapornica je odmična kovinska ograja z vzdolžno vgrajenimi jeklenimi vrvmi, namenjena kot zaustavno sredstvo predvsem pred nivojskimi prehodi čez železniško progo.



Zapornica (iskalnikGoogle, Emergency stop)

2.3.4 Povlečna mreža (*dragnet*)

Povlečna mreža je cestna različica letalskih zaustavnih mrež. Tekstilna mreža je preko vrvi povezana z zaviralnim mehanizmom. V cestni različici se kot zaviralni mehanizem navadno uporablja vodni retarder. Vodni retarder zavira vlečno silo povlečne mreže s pomočjo vodnega trenja med statorjem in rotorjem. Uporablja se na območju vozišč s spremembo smeri vožnje, na območjih del na cesti, v T-križiščih, železniških prehodih, pred dviznimi mostovi. Zaustavi lahko sedem tonsko vozilo pri hitrosti 80 km/h. Podoben sistem se uporablja tudi pri zaustavljanju težkih tovornih vozil pri eni od različic zaustavnega bazena, le da je nameščenih več zaporednih mrež.



Povlečne mreže (Entwistle)

2.3.5 Zaustavni sistem vgrajen (integriran) na tovorno prikolico

Sistem je nameščen na šasijo prikolice priklopnika, ki se aktivira ob dotiku zadaj vozečega vozila in pri tem zablokira kolesa prikolice. Sistem je bil oblikovan kot kaznovalno sredstvo, vendar bi se lahko uporabljal pri reševanju vozil s pregretimi zavorami na strmih spustih, kjer ni zgrajenih zasilnih izvozov. Rešitelj in oškodovanec v tem primeru bi bil voznik vozila s tem sistemom.

3 ZASILNI IZVOZI NA CESTAH

Na dolgih, močno spuščajočih se vzdolžnih nagibih cest, kjer topografija in smer trase to zahtevata, je potrebno oblikovati in zgraditi zasilne izvoze na primernih lokacijah. Namenjeni so predvsem težkim tovornim vozilom, ki bi jih na primernem mestu lahko izločili in varno zaustavili, stran od drugih udeležencev v prometu. Prepreči se dodatno gmotno škodo ali celo človeške žrtve.

Izguba nadzora nad hitrostjo vozila nastane največkrat zaradi pregretih zavor, drugih napak na zavornem sistemu, zaradi voznikovih napak pri menjavanju prestav, prepoznomu pretikanju v nižjo prestavo (v višje prestavno razmerje) oz. previsoki začetni hitrosti pred spustom.

Zasilni izvozi so izključno namenjeni zasilni zaustavitvi okvarjenega vozila z veliko kinetično energijo in ne izločanju in ustavljanju vozil iz kakršnih koli drugih vzrokov, saj lahko vsak trenutek nekdo nujno potrebuje zasilni izvoz.

3.1 Zgodovina

Prve potrebe po zasilnih izvozih so se pojavile z uveljavitvijo težjih tovornih vozil. Prvi pobudniki gradnje zasilnih izvozov so bili sami šoferji težkih kamionov, ki so se nemalokrat znašli v krizni situaciji, ko je na strmih padcih cest začela naraščati hitrost vozila, ob tem pa so odpovedovale zavore. V takih primerih so tovornjake preusmerili na bližnje stranske ceste, poti ali gozdne vlake z manjšim ali celo nasprotnim nagibom, ter tako bolj ali manj varno ustavili svoja vozila. Kasneje so uporabo takih izvozov inženirji začeli označevati kot zasilne izvoze. V podobnih situacijah, ko ni bilo stranskih poti, so šoferji uporabljali tudi obcestne nasipe peska, namenjenega za vzdrževanje cest (krpanje makadamskih vozniških površin, bankin in posipanje poledenelih in zasneženih vozišč), ali pa so vozilo preprosto naslonili na oporni zid ali varovalno ograjo ter s trenjem vozila ob obcestni objekt zaustavljali vozilo. Iz stranskih poti in obcestnih peščenih nasipov sta kasneje nastala dva efektivna osnovna tipa zasilnih izvozov: gravitacijska rampa in zaustavna postelja ali zaustavni bazen. V Združenih državah Amerike (ZDA) je bilo leta 1979 označenih in/ali zgrajenih petinšestdeset zasilnih izvozov. V Sloveniji do odprtja avtocestnega odseka čez Črni Kal leta 2004 ni bilo niti enega podobnega objekta, čeprav topografske značilnosti nakazujejo potrebo po tovrstnih objektih.

3.2 Površine namenjene za tovorna vozila

V cestogradnji poznamo poleg voznih pasov še druge pasove, katerih uporaba je predvidena za hitre ceste in avtoceste, kot so prehitevalni, zaviralni in pospeševalni pasovi ter pas za počasna vozila.

Pasovi za počasna vozila ali počasni pasovi (*climbing lanes*) so namenjeni predvsem neokretnim težkim tovornim vozilom in osebnim vozilom s prikolicami. Za taka vozila oz. kompozicije je značilno nizko razmerje med močjo in skupno maso, zato morajo zmanjšati hitrost vozila, da upade delež dela zaradi zračnega upora na račun povečevanja potencialne energije. Po tej logiki so pasovi za počasna vozila rezervirani za dolge vzpone. Pasove za počasna vozila izvedemo tako, da vozni pas v desno razširimo za dodaten pas. Takih pasov imamo, glede na topografijo, v Sloveniji kar nekaj.

Upravičenost počasnih pasov izkažemo, če se poveča pretočnost (PIARC) za 200 vozil na uro, od tega vsaj 20 tovornih vozil in hkrati enega od naslednjih pogojev:

- vsaj za 15 km/h zmanjšana hitrost težkih tovornih vozil
- zaradi tovornih vozil na vzponu nivo uslug E ali F (nestabilen tok ali tok z ustavljanjem)
- utemeljeni varnostni zadržki



Pas za počasna vozila (PIARC, str. 366)

Pojavlja se vprašanje: »Bi potrebovali **pasove za težja vozila** (*descending grades*) tudi na dolgih strmih padcih cest?« Zdi se smiselni, ker so pri višjih hitrostih zavore mnogo bolj obremenjene kot pri nižjih, na račun zmanjševanja potencialne energije.

V angleško govorečih deželah poznajo tudi **umikalne pasove** (*passing bays*). To so lokalne razširitve voznih površin za dodatni pas v dolžini do 160 m za zelo počasna vozila. Vzdolžni nagib ceste mora biti vsaj 8 %, na daljšem odseku pa ni prostora za počasni pas, ki bi prevzel velik delež tovornih vozil na sicer ne preobremenjeni trasi. Umikalni pas mora biti označen z ustreznim prometnim znakom, po Slovenskih predpisih 250 m prej. Nadomestek za umikalne pasove v Sloveniji so **odstavne niše**. Problem teh pasov je, da se v primeru zelo gostega prometnega toka, ko bi bilo umikanje aktualno, ta vozila na velikem vzponu zelo težko vključijo nazaj v prometni tok. Zato te vrste pasovi niso na splošno uporabljani.

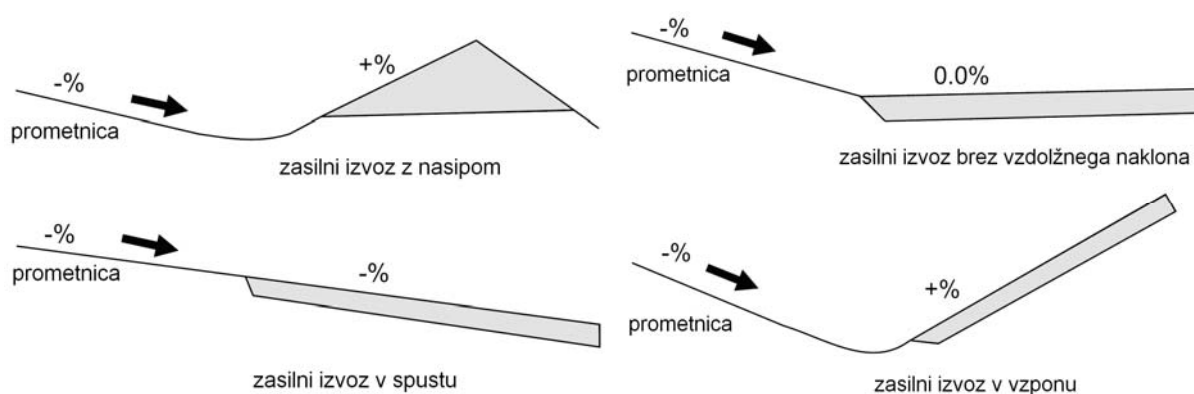
Med posebne pasove prištevamo tudi pasove, ki so urejeni na funkcionalnih in servisnih površinah ob ali zunaj vozišča. Pri funkcionalnih površinah so to odstavni pas, odstavne niše, površine za preverjanje stanja zavor pred in med dolgimi, strmimi padci cest, površine za montažo snežnih verig in podobno, na servisnih pa počivališča in površine za oskrbo vozil in potnikov. Zasilne izvoze uvrščamo med funkcionalne površine na cesti.

3.3 Vrste zasilnih izvozov

Obstaja več vrst zasilnih izvozov. Prevladujejo štiri osnovne oblike in trije sistemi zaustavljanja.

Oblike:

- zasilni izvoz z naraščajočim vzdolžnim nagibom
- zasilni izvoz brez vzdolžnega nagiba ($q = 0 \%$)
- zasilni izvoz s spuščajočim vzdolžnim nagibom
- zasilni izvoz z nasipom



Slika 4: Oblike zasilnih izvozov

Sistemi zaustavljanja:

- naraščajoči vzdolžni nagib (gravitacijski zasilni izvoz)
- zaustavni bazen (*arrester bed*)
- nasip

3.3.1 Gravitacijski zasilni izvoz

Zasilni izvoz z naraščajočim vzdolžnim nagibom (z dvigovanjem nivelete) se od ceste odcepi na desni strani voznega pasu, spremeni predznak vzdolžnega nagiba in se navadno konča na pobočju hriba. Na gravitacijskem zasilnem izvozu se kinetična energija pobeglega vozila spreminja v potencialno energijo. Vozna površina je navadno asfaltirana, betonirana, makadamska ali celo zemljinska. Gravitacijski zasilni izvozi so običajno dolgi objekti, da akumulirajo kinetično energijo vozila predvsem z naraščanjem potencialne energije.

Potencialna energija po zaustavitvi predstavlja problem vzvratnega zdrsa tovornega vozila s prikolico ali vlačilca s prikolico, ki imata zavore uničene ali celo prevrnitve vozila. Iz tega razloga so gravitacijski zasilni izvozi s strmim nagibom manj zaželeni. Problem lahko rešimo z niveleto brez nagiba na koncu zasilnega izvoza, vendar to zahteva od voznika, da v trenutku ustavitve vozila pretakne v prvo prestavo in zapelje vozilo na raven plato na koncu zasilnega izvoza.

Najpogostejši zasilni izvozi so gravitacijski zasilni izvozi.

Gravitacijski zasilni izvoz ne potrebuje dodatnih pripomočkov za odstranjevanje zagozdenih vozil, kot so izvlečna vozila, sidra, vzdrževalna pot, prav tako je manj vzdrževalnih del, kot npr. rahljanje agregata v zaustavnem bazenu.

Pogosto se na koncu gravitacijskega zasilnega izvoza umesti zaustavni bazen, ki lahko dolžinsko zmanjša objekt do 5x in vozilo nima težav z vzratnim zdrsom. Taki izvozi merijo v dolžino od 170 m do 700 m in v širino od 5,5 m do 15 m. Nagibi nivelete gravitacijskih klančin znašajo od 3% do 26%.



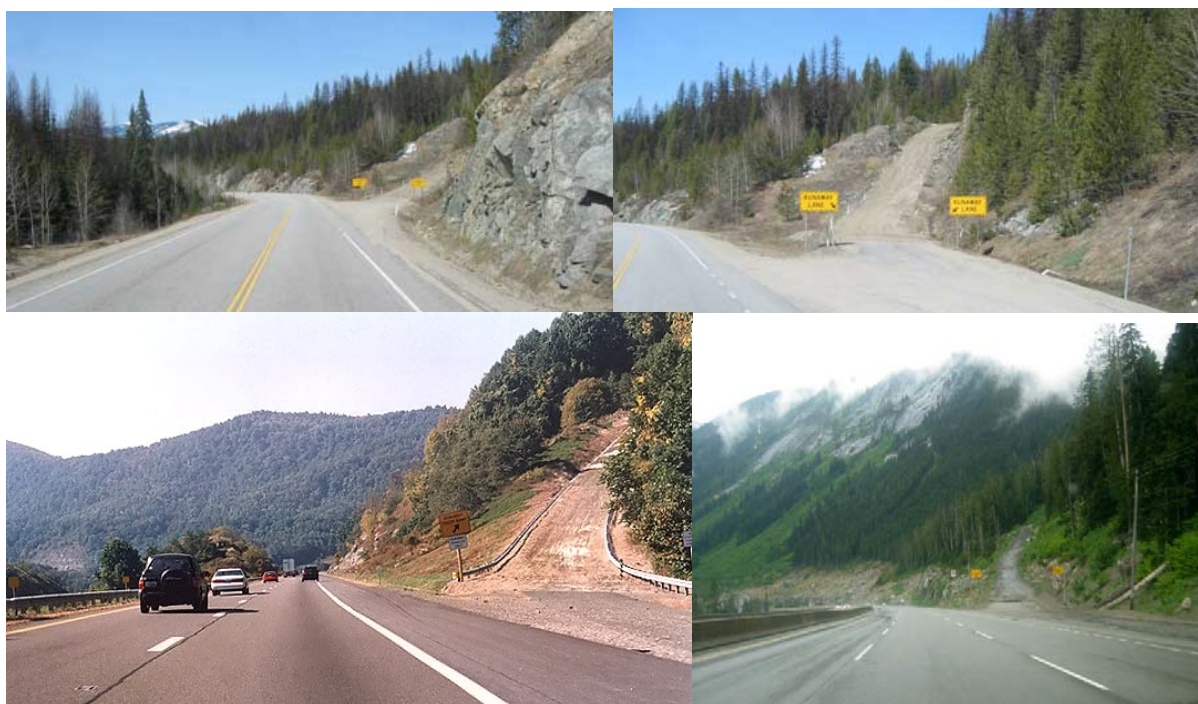
Primeri vzornih gravitacijskih zasilnih izvozov (Roads to The Future)



Gravitacijska zasilna izvoza odcepljena od prehitevalnega pasu (Roads to The Future)



Avstralska gravitacijska zasilna izvoza (wikipedia)

Manj primerno izvedeni gravitacijski zasilni izvozi (slabo pregledni ali slabo dimenzionirani)
(Roads to The Future)

3.3.2 Zasilni izvoz brez vzdolžnega nagiba in s spuščajočim vzdolžnim nagibom

Za zasilne izvoze brez vzdolžnega nagiba ali s spuščajočim vzdolžnim nagibom so zaustavni bazeni nujni. Edini pomembnejši odpor hitrosti tovrstnih zasilnih izvozov predstavlja kotalni upor. Pri spuščajočem vzdolžnem nagibu mora biti odpor kotalnega upora večji od gravitacijskega prispevka h gibanju vozila. Zasilni izvoz s spuščajočim vzdolžnim nagibom je lahko dolg več kilometrov. Zaustavni delež zaustavnega bazena na zasilnem izvozu s spuščajočim vzdolžnim nagibom mora biti večji kot pospeševalni delež nagiba nivelete, da se vozilo brez zavorne sile lahko ustavi (v enačbi povzeti po AASHTO, v poglavju 4.1.2.2) upoštevamo negativen nagib. Zaradi dolžine zasilnega izvoza mora biti na koncu zasilnega izvoza predvidena možnost priključevanja na prvotno cesto. Zasilni izvoz s priključkom mora biti nedvoumno predhodno označen, da ni dvoma o namenu in uporabi objekta. Pri zelo dolgih objektih je lahko zaustavni bazen iz materiala, ki povzroča manjši kotalni odpor, da se lahko vozilo z lastnim pogonom odstrani iz objekta.

3.3.3 Zasilni izvoz z nasipom

Nasip na zasilnem izvozu je lahko iz peska, gramoza (po možnosti ene granulacije) ali drugih umetnih, lahkih nasipnih materialov. Za nasipni material je važno, da je dobro zrahljan, da so trenja med delci nasipa relativno majhna (ni zaklinjanja med delci). Vozilo se mora zariti v nasip, ne pa ga prevoziti ali zaradi prevelike hitrosti celo preskočiti. Pri zarinjanju vozila v nasipni material se sproščajo velike sile in hudi pojemki, zato so nasipi primernejši za ustavljanje pobeglih vozil z nižjo hitrostjo. Nasip navadno ni daljši od 120 m, zato so taki zasilni izvozi kompaktnih dimenzij, cenovno ugodnejši in manj zahtevni pri umeščanju v prostor. Zaradi zaželeno nižje vstopne hitrosti vozil in kompaktnosti je smiselno tovrstne zasilne izvoze umeščati v prostor na krajših razdaljah strmih padcev cest.

Nasipni sistem zaustavljanja deluje na gravitacijskem učinku in učinku kotalnega upora oz. odpora potiskanega nasipnega materiala pred vozilom. Učinek gravitacije je odvisen od nagiba nasipa, kotalni upor pa od materiala nasipa.

Dež in zmrzal drastično poslabšata zaustavne sposobnosti nasipnih materialov, predvsem peska. Pesek je zato manj primeren kot gramoz. Isto velja za zaustavne bazene.

3.3.4 Zasilni izvoz s koritastim prečnim profilom z vgrajenimi povlečnimi mrežami

Tip zasilnega izvoza s koritastim prečnim profilom je novejšega izvora in dokaj neuveljavljen. V primerjavi s tradicionalnimi zasilnimi izvozi, le ta relativno močno poškoduje masko tovarnega vozila, ne pa tudi vitalnih delov. Vozilo zapelje v betonsko korito, vzdolž katerega je prečno nameščenih več povlečnih mrež. Povlečne mreže so na dveh višinah na vsaki strani povezane preko jeklenih trakov z enim ali dvema zaviralnima mehanizmoma. Zaviralni mehanizem je podoben kot za ustavljanje letal ali osebnih avtomobilov omenjenih v 2. poglavju. Mehanizem ustavlja vozilo s konstantnim pojemkom in velikost pojemka prilagodi hitrosti in teži vozila glede na dolžino zaustavnega korita. Zaustavna korita s povlečnimi mrežami lahko zaustavijo 40 tonsko vozilo s hitrostjo 145 km/h, pri tem pa je pojemek manjši kot gravitacijski pospešek ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Zavzame zelo malo prostora, vzdrževalna dela so minimalna, saj je potrebno le na novo naviti jeklene trakove in nastaviti mreže. Ni težav z zmrznjenim gramozom v zaustavnem bazenu, rahljanjem gramoza, reševanjem zagodenih vozil, zato tudi ni potrebe po izvlečnih servisnih vozilih. Ni nevarnosti zaklinjanja (učinek žepnega noža) in prevračanja tovarnega vozila pri vzvratni vožnji vzdolž gravitacijskega zasilnega izvoza.

Potrebna dolžina zasilnega izvoza s koritastim prečnim profilom s povlečnimi mrežami (potreben razvoj funkcije $f(v)$):

$$l = \int_{145 \text{ km/h}}^{0 \text{ km/h}} T * f(v) dv; \quad v = a * t, \quad dv = a * dt \quad (1)$$

Velja za stalno težo in konstanten pojemek.

T teža vozila [t = 1000kg]

l potrebna dolžina zaustavnega korita [m]

v hitrost [m/s]

t čas [s]

a pojemek $a \leq g$



Zasilni izvoz s koritastim prečnim profilom z vgrajenimi povlečnimi mrežami (Entwistelco)

3.3.5 Zasilni izvoz s ploščadjo iz penjenega betona ali umetnih mas

Potencialen sistem za zaustavljanje tovornih vozil, preizkušen v letalstvu (opisano v poglavju 2.1.4).

Kjer je potreba po tovrstnih objektih, je možno vsak tip zasilnega izvoza prilagoditi za določen prostor in pogoje uporabe.

3.4 Tehnične smernice, lokacija in terenske razmere

Tehničnih predpisov ali smernic za zasilne izvoze v Sloveniji nimamo. Pomagamo si lahko s Pravilnikom o projektiranju cest. Tudi v tujini natančnih predpisov ni, saj je vsak zasilni izvoz svojevrsten unikat glede na krajevne razmere.

Glede na vrsto ceste in terena Pravilnik o projektiranju cest, UL RS, št. 91, iz dne 14. 10. 2005, predpisuje naslednje mejne vrednosti nagiba nivelete:

Preglednica 1: Dopustni nagib nivelete prometnice

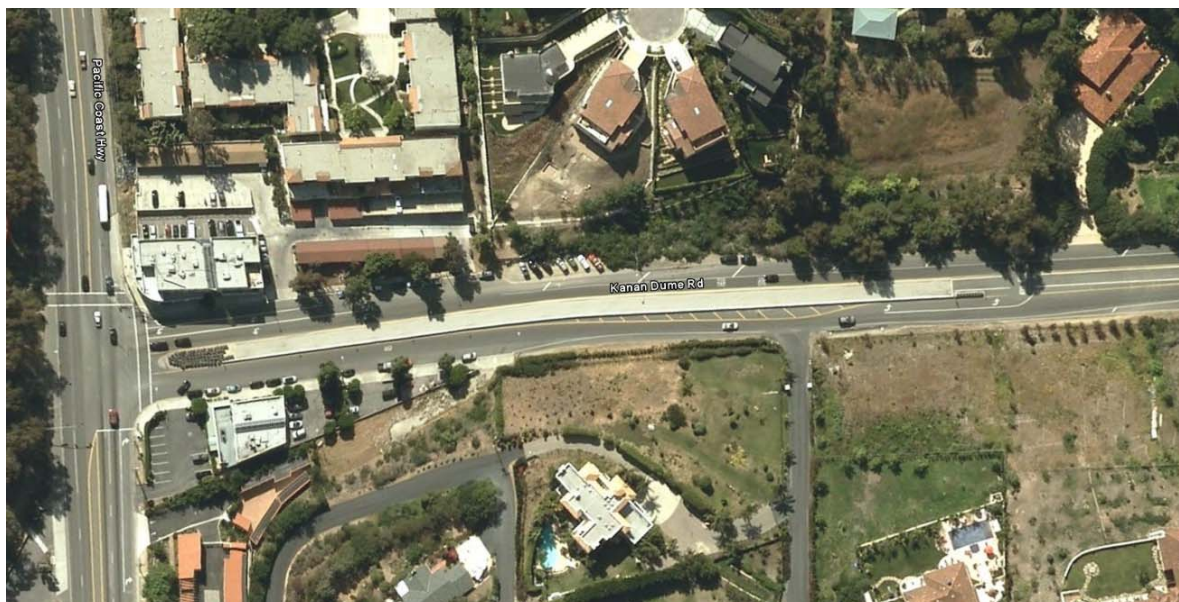
Vrsta ceste	Vrsta terena			
	Ravninski	Gričevnat	Hribovit	Gorski
AC	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%
HC	3,0%	5,0%	6,0%	7,0%
GC	4,0%	6,0%	7,0%	8,0%
RC	5,0%	8,0%	10,0%	12,0%
LC	6,0%	10,0%	12,0%	15,0%

V svetu ni standardiziranih predpisov oz. direktiv, ki bi zapovedovale, kje bi se morali nahajati zasilni izvozi. O odločitvi glede izbire lokacije za zgraditev zasilnega izvoza nam lahko pripomore podatek o deležu tovornih vozil na trasi, lokacije prometnih nesreč z udeleženi tovornimi vozili in podobno.

Zasilne izvoze lociramo na krajih, kjer obstajajo utemeljeni razlogi za njihovo graditev.

Zaželene lokacije:

- proti koncu dolgega spusta nivelete
- ob kritičnih horizontalnih krivinah poteka tras
- pred večjimi objekti (tuneli, viadukti ...)
- pred semaforiziranimi križišči urbanih področji



Slika 5: Zasilni izvoz med sredi cestišča, pred T križiščem, Malibu, ZDA (Google Earth)

Na zelo dolgih spustih je smiselno umestiti tudi več zasilnih izvozov na približno enakih višinskih razlikah. Potreba po zasilnem izvozu se lahko pojavi na višinski razliki od 100 m do

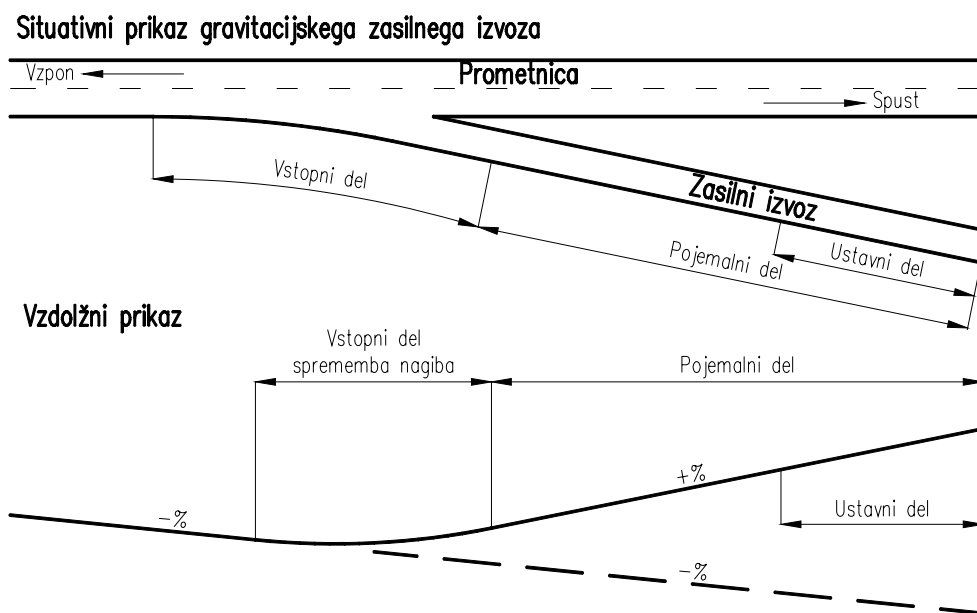
500 m, odvisno od kategorije ceste (širine, vzdolžnega nagiba, dovoljene hitrosti ...) ter vrst in dolžin zasilnih izvozov. Zasilni izvoz je običajno potreben na dolгих spustih cest, katerih vzdolžni nagib je bolj ali manj konstanten in blizu kritičnemu glede na kategorijo ceste.

Na hitrih cestah in avtocestah je mogoče zasilni izvoz speljati tudi levo od prehitevalnega pasu. Ta lokacija je smiselna, saj je hitrost pobeglega vozila primernejša za prehitevalni pas kot za vozni pas. Zasilni izvoz na levi strani prehitevalnega pasu pride v poštev na hitrih cestah in avtocestah, katerih smerni vozišči sta med seboj dovolj razmaknjeni ali pa potekata povsem ločeno (parkway).

3.4.1 Deli zasilnega izvoza

Vsak zasilni izvoz ima tri osnovne dele:

- Vstopni del
- Pojemalni del
- Zaustavni del



Slika 6: Deli zasilnega izvoza

3.4.1.1 Vstopni del

Vstopno področje se mora dimenzionirati na maksimalno sprejemljivo hitrost. Ta je odvisna od velikosti in dolžine vzdolžnega nagiba, velikosti polmerov horizontalnih krožnih lokov in s tem povezanega prečnega nagiba vozišča.

Pri oblikovanju vstopnega dela je potrebno izbrati dovolj velike dimenzije horizontalnih in vertikalnih elementov kot so preme, horizontalne krivine, vertikalne krivine in prečni profil uvoza.

Predpisani horizontalni radiji glede na vzdolžni, prečni nagib prometnice in hitrost tovornih vozil po predpisih v ZDA (Runaway-Vehicle Safety Provisions)

Prečni nagib	Hitrost vozil na vstopnem delu zasilnega izvoza, [km/h (milj/h)]					
	65 (40)		72 (45)		80 (50)	
	Vzd. nagib	Hor. radij, [m]	Vzd. nagib	Hor. radij, [m]	Vzd. nagib	Hor. radij, [m]
6%	12%	145	10%	180	8%	220
8%	13%	135	10%	175	8%	220
10%	14%	125	11%	165	9%	195
	89 (55)		97 (60)		105 (65)	
	Vzd. nagib	Hor. radij, [m]	Vzd. nagib	Hor. radij, [m]	Vzd. nagib	Hor. radij, [m]
	6%	6%	285	5%	350	4%
8%	7%	255	6%	290	5%	350
10%	7%	245	6%	290	5%	350

Pravilnik o projektiranju cest, UL RS, št. 91, iz dne 14. 10. 2005, predpisuje naslednje mejne polmere horizontalnih krožnih lokov na cestah:

Horizontalni radiji cest glede na prečni nagib vozišča in hitrost vozil (Pravilnik o projektiranju cest)

Prečni nagib	Hitrost vozil						
	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h	130 km/h
2,5%	500	700	1000	1250	1700	2000	3000
4%	320	420	620	780	1050	1375	1550
6%	210	290	400	550	700	900	1050
7%	175	250	350	450	600	750	900

Pri upoštevanju pravilniških določil je treba za definiranje dimenzij elementov zasilnega izvoza upoštevati $V_{85\%}$.

Ameriški pravilnik o projektiranju zasilnih izvozov predvideva prečni nagib vozišča zasilnega izvoza med 6 % in 10 %. Odstopanja od teh nagibov utemeljuje kot nepriporočljiva zaradi zmanjšane odvodnjavanja oz. težav z oblikovanjem izvoza. V tem predpisu gre za nevezano

voziščno konstrukcijo, za katero Pravilnik predpisuje prečni nagib med 4% in 10%, za vezane voziščne konstrukcije pa med 2,5 % in 7 %.

Kot je razvidno iz predhodnih dveh tabel, so zahteve slovenskega pravilnika strožje, kljub temu, da gre pri ameriškem pravilniku za makadamsko vozišče. (Primerjava: 6 % prečni nagib za podobne hitrosti.) Pravilnik ne predvideva spremembe mejnih polmerov zaradi spremembe nagiba nivelete.

Pravilnika za projektiranje cest ni treba neposredno uporabiti za potrebe projektiranja zasilnega izvoza. Ceste je treba oblikovati ne le na fizikalne omejitve dinamike vozila, ampak tudi na udobnost vožnje. Zasilni izvoz je pa objekt, ki je v uporabi le v ekstremnih razmerah.

Taka izhodišča lahko privzamemo tudi za polmer vertikalne zaokrožitve na uvozu.

Ameriški pravilnik predpisuje tudi minimalno širino uvoza na zaustavno rampo glede na težo vozila. Vozila, ki smejo voziti v Sloveniji, spadajo v najnižji težnostni razred, ki po ameriškem predpisu določa minimalno širino uvoza 4,5 m. Pravilnik o merah in masah vozil v cestnem prometu, izdan dne 28. 12. 2006, določa največjo dovoljeno skupno maso vozila 44 ton (triosni vlačilec z dvo- ali triosnim priklopnikom v kombiniranem prevozu).

3.4.1.2 Pojemalni del

Obsega področje od konca horizontalne in/ali vertikalne krivine (vstopni del) do konca objekta. Običajno je v premii, redko, če teren preme ne dovoljuje, tudi v zelo iztegnjeni krivini. Največji prispevek k pojemku hitrosti odpade na spremembo nagiba nivelete zasilnega izvoza. Vzdolžni nagib se iz negativnega spremeni v pozitivnega. Čim večji je nagib nivelete, tem krajša je zaustavitvena razdalja. Pomemben delež prispeva tudi kotalni upor, ki je odvisen predvsem od vrste in načina izvedbe vozne površine. (več v pogl. 4.1 in 6.3)

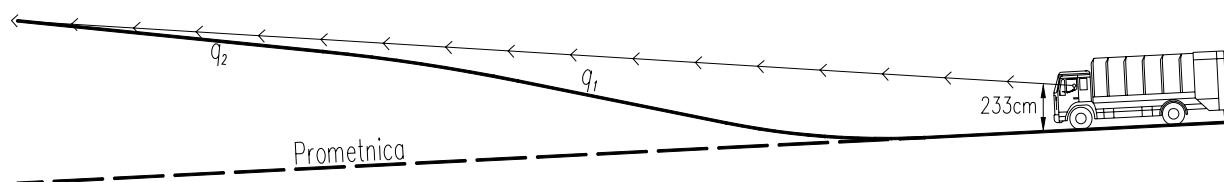
3.4.1.3 Zaustavni del

Zaustavni del je zadnji del (približno četrtnina) pojernalnega dela zasilnega izvoza. Pri večini zasilnih izvozov je na tem območju urejen zaustavni bazen z gramoznim nasutjem. Pri zasilnem izvozu s koritastim prečnim profilom s povlečnimi mrežami se kot zaustavni smatra del od prve povlečne mreže naprej. Na zasilnem izvozu z nasipom je zaustavni del nasip sam.

3.4.2 Preglednost

Tako kot za vse prometnice je tudi za zasilne izvoze potrebna pregledna razdalja. Preglednost zasilnega izvoza je ključnega pomena, saj vpliva na voznikovo odločitev o uporabi objekta. Primarna dejavnika, ki vplivata na preglednost sta pričakovana hitrost ($V_{85\%}$) na cesti in razgibanost terena. Voznik pobeglega vozila naj bi videl cel zasilni izvoz ves čas od časa odločanja za uporabo zasilnega izvoza do ustavitve vozila. Ker je zasilni izvoz geometrijsko sorazmerno enostaven objekt, je preglednosti relativno lahko ustreči. Problem pa se lahko pojavi ob nerednem čiščenju vegetacije.

Vidna višina šoferja tovornega vozila znaša od 182 cm do 286 cm, odvisno od modela težkega tovornega vozila. Karakteristična vidna višina znaša 233 cm.



Slika 7: Vertikalna preglednost gravitacijskega zasilnega izvoza

Pravtako kot vertikalno je treba zagotoviti tudi horizontalno preglednost zasilnega izvoza. Kriterij pregledne berme privzamemo iz Pravilnika o projektiranju cest. Širino pregledne berme ob desnem robu vozišča na splošno določa linija neoviranega pregleda od položaja oči voznika na sredini voznega pasu v višini 100 cm nad voziščem na dolžini zaustavne razdalje, ki se določi z enačbama:

$$b_p = \frac{P_z^2}{8R} \quad \text{in} \quad b' = b_p - \frac{b}{2} \quad (\text{TSC, V-23})$$

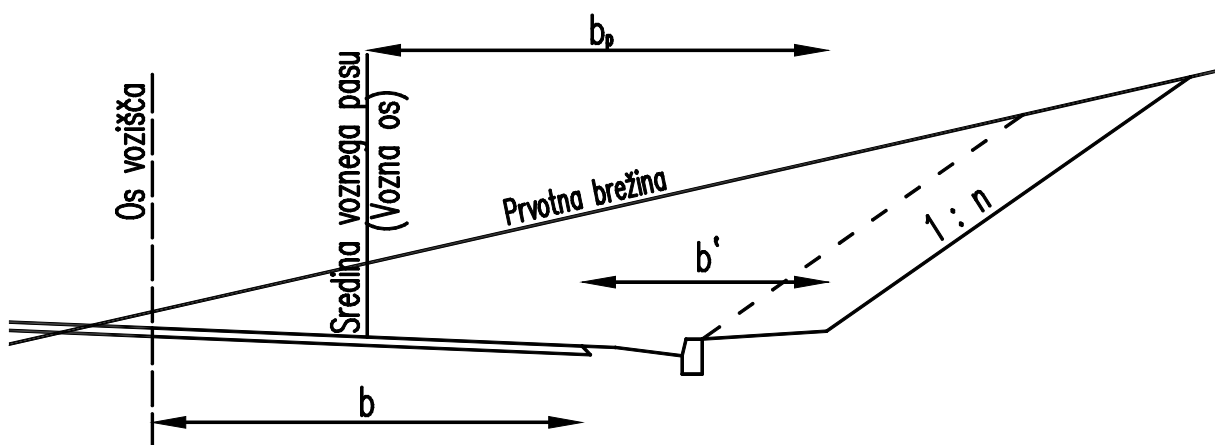
b' širina pregledne berme [m]

b_p širina preglednosti [m]

P_z potrebna dolžina preglednosti [m]

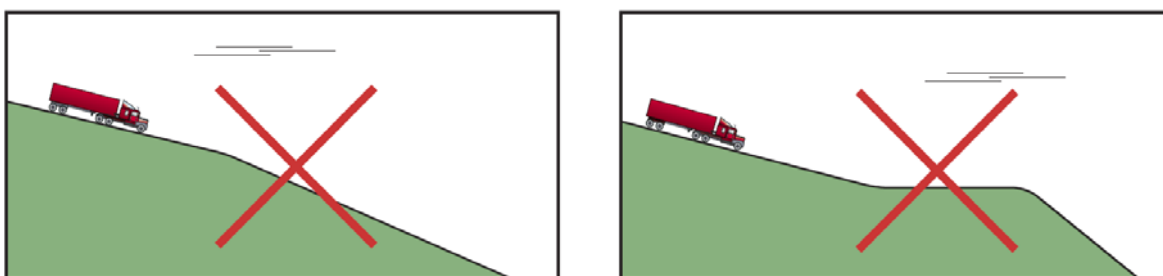
R polmer horizontalne krivine [m]

P_z in R se določita iz projektne hitrosti.



Slika 8: Horizontalna preglednost

Problematika napačno sestavljenih vzdolžnih nagibov;



Zavajajoče zaporedje nagibov (PIARC, str. 361)

Prvi del slike prikazuje konstantni vzdolžni nagib, za katerega je voznik pravilno izbral prestavno razmerje, da ne pregreva zavor. Nato se nagib poveča in voznik je prisiljen pretakniti v nižjo prestavo. Pri tem dodatno obremenjuje zavore.

Na drugi sliki lahko krajše zmanjšanje nagiba zavede voznika o spremembi predznaka nivelete.

Pomembno je tudi zagotoviti preglednost in smotrno postavitev prometne signalizacije.

3.5 Ugotavljanje upravičenosti objekta

Po raziskavah R. W. Eck-a, leta 1979, za ugotavljanje potrebe po zasilnem izvozu, moramo dati največjo težo faktorju dolžine spusta, sledi vzdolžni nagib spusta in količina tovarnega prometa, manj pomembni faktorji so še: razmere na koncu spusta (naselje, semaforizirana križišča ipd.), povprečni letni dnevni promet (PLDP), horizontalne krivine, resnost nesreč

(prisotnost šolskih avtobusov), dovoljena maksimalna skupna masa vozila in razgibanost terena oz. topografija.

Izbira tipa zasilnega izvoza je odvisna od večih pogojev na lokaciji predvidene gradnje. Potrebno je skrbno zbiranje in podrobna ter smiselna obdelava razpoložljivih podatkov. Glavni parametri potrebni pri presoji upravičenosti gradnje vrste in oblike zasilnega izvoza:

- topografija področja predvidene gradnje
- nagib nivelete zasilnega izvoza in potrebna dolžina glede na izbrane materiale
- ekonomska upravičenost
- vpliv na okolje
- podatki o prometnih nesrečah
- preglednost
- potencialna hitrost pobeglih vozil

Pri ugotavljanju upravičenosti zasilnega izvoza na določeni lokaciji se je prvenstveno potrebno posvetovati z lokalnim vzdrževalcem ceste in pridobiti lokacijo črnih točk in vzrokov za nesreče. Pri novogradnjah cest nas pa zanimajo razmere na stari trasi, volumen prometa na stari trasi in razmerje s predvideno količino in vrsto prometa na novi trasi, dolžina in nagib vzdolžnega profila ter predvidena lokacija in tip zasilnega izvoza.

Uveljavljen sistem ugotavljanja upravičenosti zasilnega izvoza v procesu uresničevanja projekta:

- Zbiranje podatkov:
 - vrsta ceste
 - prometna obremenitev (delež in količina tovornih vozil)
 - planska doba
 - vzdolžni nagib in dolžina vozišča
 - karakteristike potencialnih zemljišč namenjenih za gradnjo (topografija, geologija, uporaba zemljišč)
 - ekologija, kulturna in naravna dediščina
 - bližina naselij in križišč za dolgimi padci cest
- Obdelava podatkov:
 - verjetnost izgube nadzora nad vozilom
 - prometne študije

- Načrtovanje in vrednotenje
 - projektna hitrost
 - napovedovanje števila vozil za plansko dobo
 - dimenzioniranje objekta
 - uporaba materialov
- Realizacija
 - izgradnja
- Vzdrževanje
 - glede na letni čas
 - redno vzdrževanje (rahljanje agregata v zaustavnem bazenu, čiščenje naprav za odvodnjo, utrjevanje bankin ...)

Objekt lahko posredno reši več človeških življenj, ki bi se sicer končala pod pobeglim tovornim vozilom. Izognemo se lahko tudi materialni škodi.

Po podatkih iz ZDA je človeško življenje ovrednoteno na 1 milijon ameriških dolarjev, invalidnost na 35.300 \$, oškodovanje lastnine in lažje telesne poškodbe pa na 6.500 \$.

Zasilni izvoz je še posebej primeren ob odprtju nove trase z neugodnim vzdolžnim nagibom, saj vozniki še ne poznajo pasti nove trase. Iz tega vzroka je pomembno, da je zasilni izvoz zgrajen že ob odprtju trase, če je bil predviden. Drugače je pri odsekih cest, kjer se potreba po zasilnem izvozu pokaže kasneje npr. ob povečanju tovornega prometa na določeni trasi.

4 ZAUSTAVNI BAZEN ZASILNEGA IZVOZA – ARRESTER BED

Osnovna ideja zasilnega izvoza z zaustavnim bazenom je, da se pobeglo vozilo pogreza v zaustavni medij v bazenu oz. polju zaustavljanja in začne s konstantnim pojemkom zmanjševati hitrost in posledično uniči kinetično energijo vozila. Ta medij je lahko pesek, gramoz, umetni agregat, bloki z drobljivo cementno skorjo z mehko stisljivo vsebino. Najbrž bi ta medij, ob določenih pogojih, lahko bila tudi voda in blato. Pri tem je problem, kako ohranjati blato konstantne židkosti. Blato in voda bi v zimskem času zmrznila. Zaustavni bazen z vodo bi moral biti na ravnini, potreboval bi stalen pretok vode (reka, potok) in ne hudournik. Nagib dna zaustavnega bazena bi moral biti prilagojen vodi. Globina vode bi bila znatno manjša kot debelina nasutja prodca. Pri višjih hitrostih je nevarnost akvaplaninga in težka prikolica lahko vlačilec ali tovornjak obrne iz prvotne smeri (učinek žepnega noža), še preden bi kolesa prikolice zapeljala v vodo. Ob morebitnem prehudem pojemku lahko voznik pade iz vozila, se onesvesti in utone v minimalni globini vode.

Ključnega pomena je določiti pravo dolžino zaustavnega bazena oz. zasilnega izvoza nasploh. Postavlja se vprašanje odgovornosti ob morebitnem prevozu celega zaustavnega bazena in uničenju vozila ali celo smrti šoferja. Hkrati pa je potrebno racionalno razmišljanje ob uporabi prostora in materialov za zasilni izvoz.

4.1 Zaustavni bazen

Zaustavni bazen je pojem, ki označuje del zasilnega izvoza, ki zaradi spremembe vozne površine intenzivneje zaustavlja pobeglo tovorno vozilo. Pred vstopom v bazen mora biti klančina v premi. Zaustavni bazen se lahko zgradi tudi neposredno izza uvoza. V tem primeru je pač mnogo daljši.

Za zajetje morebitnih izlivov tekočin iz tovornega vozila je treba zaustavni bazen zgraditi iz vodonepropustnega materiala (beton, umetna masa) in urediti odvodnjavanje preko lovilca olj. Odvodnjavanje dna zaustavnega bazena je potrebno tudi zaradi zmrzali, saj zamrznjen agregat omenogoča pogrezanje vozila. Odvodnjavanje zunaj zaustavnega bazena mora biti urejeno tako, da je preprečen vnos organskih in finih mineralnih delcev v zaustavni bazen.

AASHTO omejuje nagib nivelete zaustavnega bazena in celega zasilnega izvoza na 10 %. S tem se vsaj deloma omejuje nesreče po ustavitvi, če se vozilo zaustavi na klančini in začne drvet vzvratno.

4.1.1 Agregat

Material za zapolnitev zaustavnega bazena naj bo čist, gladkih površin, težko stisljiv (ne da se ga kompaktirati), nebrusljiv ter nedrobljiv oz. odporen na zmrzal. Imeti mora visok koeficient kotalnega upora (dobro pogrezanje vozila). Da se vozilo dobro vgreza, mora imeti agregat majhen koeficient trenja med zrnji. Trenje med zrnji je majhno, če je agregat okrogel in nebrusljiv. Drobljenec ni zaželen, ker ima zaradi zaklinjanja med zrnji preveliko trenje in je zato slabo vgrezljiv.

Običajno se za vgrezalni medij v zaustavnih bazenih uporablja rahel gramoz enakomerne zrnivosti, velikosti 0,5 cm do 2 cm (*pea gravel*), ali rahel pesek. Uporablja pa se tudi gramozni agregat premera vse do 5 cm. Angleški predpis DMRB (Design Manual for Roads and Bridges) določa, da mora biti zaustavni agregat gramoz, granulacije med 5 mm in 10 mm. Kotalni upor gramoza je manjši od drobnega proda enakomerne zrnivosti in zato manj primeren za zaustavni agregat. Sprejemljiv agregat ima lahko maksimalno 12% (po predpisih DMRB 50%) podaljšanih ali sploščenih zrn (maksimalna dimenzija zrna je več kot dvakrat večja od najmanjše).

Zaradi slabih drenirnih karakteristik, hitrega kompaktiranja in kontaminiranja je pesek manj primeren medij za zaustavljanje tovornih vozil. Pesek se uporablja le v primerih, če ni na voljo gramoza.

Za klasične zaustavne bazene je najprimernejši (z velikim kotalnim uporom) lahki agregat Lytag. Lytag je agregat narejen s procesom sintranja iz elektrofiltrskega pepela, betonita (fino mleto glina iz katere delajo cement) in vode. Lytag je agregat okroglih oblik frakcije od 0,5 mm do 12 mm. Specifična teža Lytag agregata je 1400 kg/m^3 . Na vetrovnih lokacijah zasilnih izvozov je potrebno zaščititi lahki agregat z netogo, elastično mrežo, ki omogoča pogrezanje tovornega vozila v zaustavni material.



Slika 9: Lahki agregat Lytag in droben prod (*pea gravel*) (Encyklopedie Energie)

Debelina nasutja agregata v zaustavnem bazenu, po angleških predpisih (DMRB), je minimalno 35 cm do največ 45 cm. Ameriški predpis (AASHTO's Green Book) določa minimalno nasutje 100 cm. Debelina nasutja 100 cm je predvidena za izpiranje prašnih, organskih delcev v spodnjih 40 cm. Zgornjih 60 cm je potrebno rahljati za učinkovito vgrezanje vozil. Na vstopu v zaustavni bazen je priporočena debelina nasutja 35 cm oz. 75 cm po ameriških predpisih. V naslednjih metrih (AASHTO predvideva od 30 m do 60 m) se debelina nasutja poveča na predvideno globino (prilagojeno vzdolžnemu odvodnjavanju dna zaustavnega bazena). Pojemki zaustavljanega vozila s hitrostjo pod 75 km/h so občutno večji, če je globina nasutja zaustavnega agregata v zaustavnem bazenu večja. Testiranja so pokazala, da debelina nasutja 45 cm nudi 50 % večji pojemek kot debelina nasutja 35 cm. Zaustavni agregat na gravitacijskem zasilnem izvozu ima tudi funkcijo zadrževanja ustavljenega vozila, saj ima vozilo okvarjene zavore. Vozilo je zadržano v agregatu le, če je koeficient kotalnega upora večji od faktorja nagiba nivelete zaustavnega bazena (glej 4.1.2.2).

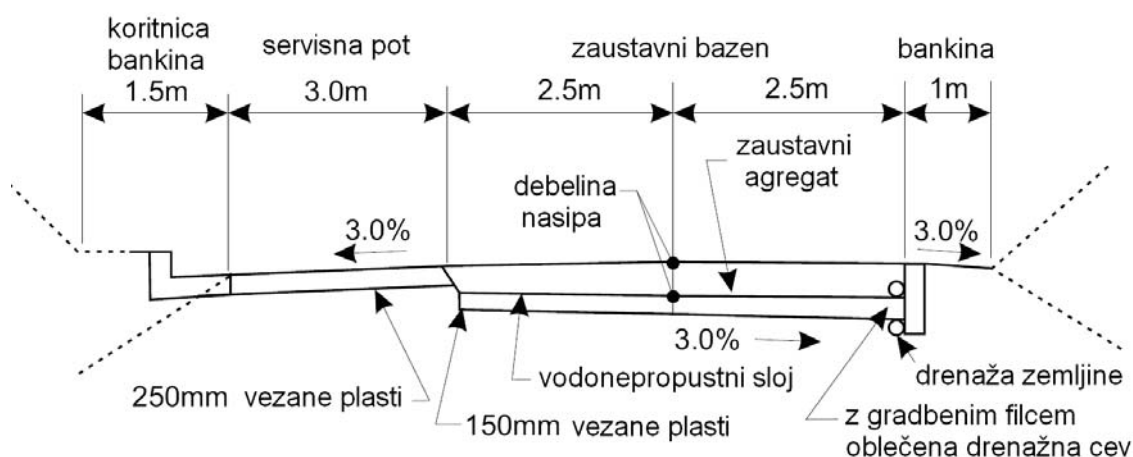


Vgrezanje vozila v drobnni prod (onlinepubs.trb.org)

4.1.2 Dimenzije zaustavnega bazena

4.1.2.1 Širina

Širine zasilnih izvozov v svetu se gibljejo od 3,6 m do 12 m. Ameriški predpis določa minimalno širino zasilnega izvoza 8 m, zaželeno pa od 9 m do 12 m. Ameriški predpis predvideva možnost uporabe zasilnega izvoza dvema tovornima voziloma hkrati. Angleški predpis določa primerno širino izvoza med 4 m in 5 m.



Slika 10: Karakteristični prečni profil zaustavnega bazena iz avstralskega predpisa

4.1.2.2 Dolžina

Potrebna dolžina zasilnega izvoza je odvisna predvsem od:

- vzdolžnega nagiba in vrste materiala površine zasilnega izvoza,
- vrste zaustavnega medija v zaustavnem bazenu ter
- dolžine zaustavnega bazena.

Potrebna ali minimalna dolžina zaustavnega bazena je enaka zaustavni razdalji pobeglega tovornega vozila. Referenčna hitrost pobeglega tovornega vozila se giblje med 120 km/h in 145 km/h, odvisno od karakteristik prometnice nad zasilnim izvozom. AASHTO predlaga karakteristično hitrost med 130 km/h in 140 km/h. Višje vrednosti se ne zdi smiselno upoštevati, saj je manevriranje tovornega vozila pri tej hitrosti že močno oteženo. Tudi hitrost drugih vozil na prometnici ni tako visoka, da bi vozilo uspelo s tako hitrostjo pripeljati do zasilnega izvoza.

Izračun potrebne dolžine bazena:

$$l = \frac{V^2}{254(x \pm G)} \Rightarrow V = \sqrt{254l(x \pm G)} \quad (\text{AASHTO, str. 266})$$

l dolžina zasilnega izvoza oz. zaustavnega bazena [m]

V hitrost vozila ob vstopu na zasilni izvoz s konstantnim vzdolžnim nagibom oz. zaustavni bazen [km/h]

Gfaktor vzdolžnega nagiba vozišča [%/100]; $G = q/100$

μ koeficient kotalnega upora izražen kot % vzdolžnega nagiba /100

a pojemek [m/s^2]

x spremenljivka: - za račun s faktorjem trenja: $x = \mu$

- za račun s pojemkom: $x = \left(\frac{a}{g} \right)$

g gravitacijski zemeljski pospešek = $9,81 \text{ m/s}^2$

Vrednosti pojemka a znašajo cca. $0,3 \text{ g}$. Skupni pojemki (upoštevajoč vzdolžni nagib) pobeglega tovornega vozila znašajo do $0,6 \text{ g}$. Račun dolžine s pojemkom je nov način določitve potrebne dolžine zaustavnega bazena, ki jo je uvedel AASHTO.

V primeru, da zaustavni bazen ni na celi dolžini zasilnega izvoza (od uvoza dalje), ali pa se spreminja nagib nivelete zasilnega izvoza, je treba račun smiselno razdeliti na več odsekov, izračunati zmanjšanje hitrosti in novo hitrost upoštevati v naslednjem delu računa.

Primer izračuna dolžine zasilnega izvoza:

Računam s koeficientom kotalnega upora.

Vzamemo referenčno hitrost $V = 140 \text{ km/h}$.

Vrednost referenčne hitrosti V ne sme presegati vsote vseh zmanjšanih hitrosti;

$$V \leq \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 \quad (4)$$

Zmanjšanje hitrosti $\Delta V_1 = \sqrt{254l_1(\mu_1 + q_1/100)}$ na prvem delu.

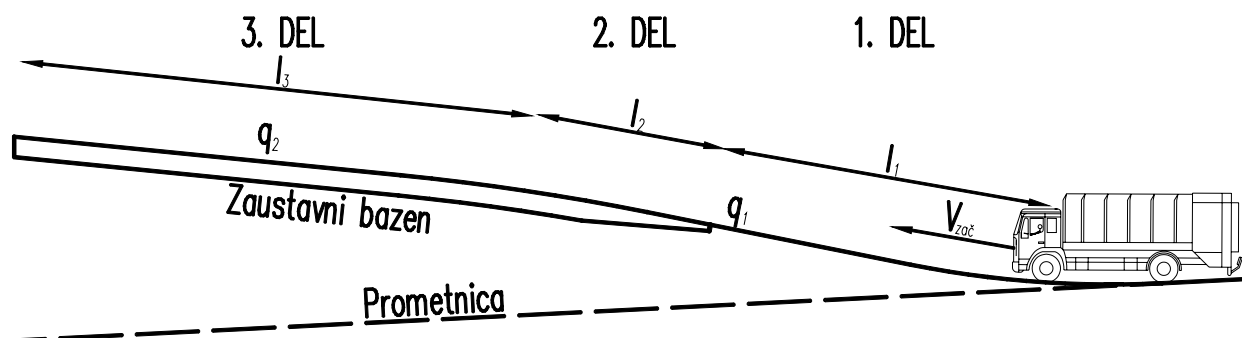
Zmanjšanje hitrosti $\Delta V_2 = \sqrt{254l_2(\mu_2 + q_1/100)}$ na drugem delu.

Zmanjšanje hitrosti $\Delta V_3 = \sqrt{254l_3(\mu_2 + q_2/100)}$ na tretjem delu.

- l_1 dolžina prvega dela [m]
- l_2 dolžina drugega dela [m]
- l_3 dolžina tretjega dela [m]
- μ_1 koeficient kotalnega upora na vozni površini prvega dela
- μ_2 koeficient kotalnega upora na zaustavnem bazenu
- q_1 nagib nivelete zasilnega izvoza [%]
- q_2 nagib nivelete zasilnega izvoza [%]

V primeru, da enačbi (4.) ni zadoščeno, je potrebno podaljšati dolžine l_1 in/ali l_2 in/ali l_3 .

Končna dolžina zasilnega izvoza je $l = l_1 + l_2 + l_3$ (5)



Slika 11: Smiselno razdeljeni odseki zasilnega izvoza (za primer izračuna dolžine zasilnega izvoza)

Ob nameravani gradnji zasilnega izvoza z zaustavnim bazenom je zaželeno narediti testni zaustavni bazen iz agregata, namenjenega za vgradno kot zaustavni medij. Tako se lahko določi koeficient kotalnega upora tega agregata in lažje določi dolžino zaustavnega bazena.

V angleškem pravilniku je predviden varnostni faktor 1,25 na dolžino zaustavnega bazena.

Vrednosti kotalnega upora na različnih materialih (koeficienti kotalnega upora v [%/100] (AASHTO, str. 260)

Povozni material Upor	Cementni beton	Asfaltni beton	Zbit prodec	Rahla peščena zemljina	Rahljan drobir	Rahljan prod	Pesek	Droben prod
Kotalni upor (kg/tono vozila)	10	12	15	37	50	100	150	250
Ekvivalent vzdolžnemu naklonu (%)	1,0	1,2	1,5	3,7	5,0	10,0	15,0	25,0

V naslednjih dveh preglednicah sem podal izračun dolžin zaustavnih bazenov oz. zasilnih izvozov za bralčevo orientacijo. Varnostni faktor še ni upoštevan.

Preglednica 2: Potrebna dolžina zasilnega izvoza pri vstopni hitrosti vozila 110 km/h

Kotalni Nagib odpor nivelete	Cementni beton	Asfaltni beton	Zbit prodec	Rahla peščena zemljina	Rahljan drobir	Rahljan prod	Pesek	Droben prod
0%	4764	3970	3176	1288	953	476	318	191
5%	794	768	733	548	476	318	238	159
10%	433	425	414	348	318	238	191	136
15%	298	294	289	255	238	191	159	119
20%	227	225	222	201	191	159	136	106

Preglednica 3: Potrebna dolžina zaustavnega bazena z drobnim prodom (*pea gravel*)

Hitrost Nagib vozila nivelete	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h	130 km/h	140 km/h	150 km/h
0%	101	128	157	191	227	266	309	354
5%	84	106	131	159	189	222	257	295
10%	72	91	112	136	162	190	220	253
15%	63	80	98	119	142	166	193	221
20%	56	71	87	106	126	148	171	197

4.2 Spremljajoči objekti in naprave

Poleg objektov in naprav opisanih v poglavju 4.2 mednje štejem tudi signalizacijo. Signalizacija je opisana v poglavju 7.

4.2.1 Odstavni pas za preverjanje zavor (*brake check/cool areas*)

Površine, namenjene hlajenju in preverjanju stanja zavor, se običajno nahajajo na vrhu dolgih strmih spustov. Šoferjem težkih tovornih vozil omogočajo, da na varnem mestu, stran od prometa, preverijo stanje zavor in zavornega sistema na vozilu. Na teh površinah voznik zazna očitne napake zavornega sistema vozila. To so razne mehanske napake, zažgane ali le pregrete zavore na posameznem kolesu, ki jih voznik lahko zazna z vohom ali vidom (dim). Jasno naj bo označeno, da je pas za preverjanje zavor rezerviran za preverjanje zavor težkih tovornih vozil.

Odstavni pas za preverjanje zavor ima tudi druge naloge:

- Tovorno vozilo prične vožnjo iz odstavnega pasu s kinetično energijo enako nič.
- Šoferja se z obvestilnimi tablamami seznanijo s potekom, dolžino in nagibom trase, ter lokacijo zasilnih izvozov.

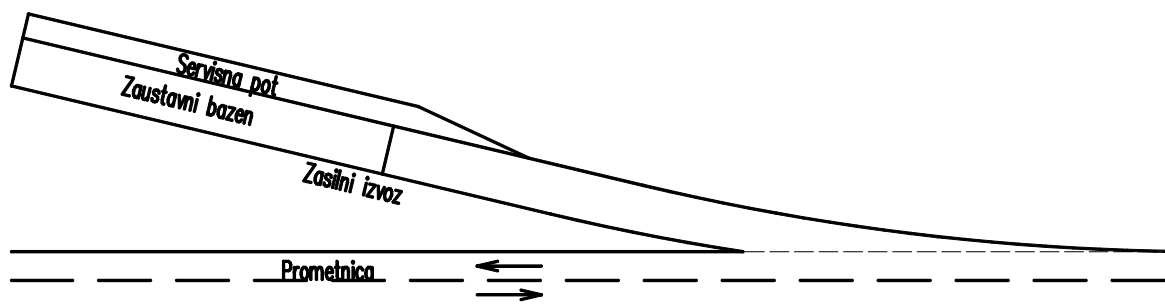


Slika 12: Odstavni pas za hlajenje in preverjanje zavor (PIARC, str. 366)

4.2.2 Servisna pot

Zaradi karakteristik zaustavnega bazena je zaustavljeno vozilo relativno težko odstraniti iz zaustavnega medija. Servisna pot je potrebna za odstranjevanje zaustavljenega vozila. Servisna pot poteka vzdolž zaustavnega bazena, tako da servisno vozilo lahko preko uvoza po servisni poti pripelje do konca zasilnega izvoza. Širina servisne poti mora biti vsaj 3 m. Servisna pot mora biti dobro utrjena. Obrabna plast je lahko asfaltna, betonska, lahko pa tudi makadamska, vendar mora biti jasno ločljiva od zaustavnega bazena. Stran servisne poti glede na zaustavni bazen ni predpisana. Običajno je servisno pot lažje postaviti na desno stran (gledano s strani uvoza), zaradi potrebne širine servisne poti in postavitve sider, če je levo locirana prometnica. Ob servisni poti (stran od zaustavnega bazena) so nameščena sidra. Servisna pot se na koncu zasilnega izvoza razširi na stran zaustavnega dela in tako omogoči izvlek zaustavljenega vozila na konec zasilnega izvoza in vrnitev vozila po servisni poti nazaj na prometnico. Servisna pot se lahko nadaljuje iz zasilnega izvoza naprej in se v nadaljevanju

priključi na glavno prometnico. Tovrstne servisne poti so značilne predvsem za zasilne izvoze s spuščajočim vzdolžnim nagibom.



Slika 13: Servisna pot desno ob zaustavnem bazenu

4.2.3 Sidra

Sidra so sestavni deli vseh zasilnih izvozov z zaustavnimi bazeni. Sidro se uporablja za privez izvlečnega vozila pri vleki zaustavljenega vozila iz zaustavnega medija in privez izvlečenega vozila na tlakovani podlagi, dokler zavore niso usposobljene. Sidro je velika betonska klada, zakopana globoko v zemljo, za dober upor. Na vrhu sidra, ki gleda iz zemlje, je nameščen nastavek za sidranje vozila. Sidra so nameščena zunaj zaustavnega bazena na primernem mestu. Prvo sidro naj bi bilo nameščeno 30 m pred zaustavnim bazenom, nato pa po dolžini zaustavnega bazena oz. zasilnega izvoza vsaj na 50 m eno. Ob primernem nastavku za sidranje je lahko sidro nameščeno tudi sredi vozišča servisne poti. Za mikrolokacijo postavitve sider se je dobro posvetovati z bodočim servisnim operativcem.



Slika 14: Nezasuto sidro zasilnega izvoza (WIPO)

4.2.4 Nasipi

Nasipi so praviloma iz ene gramozne separacije (frakcija 4/8 ali 8/16), da učinkuje kot dober uničevalec energije (velik kotalni upor), hkrati pa minimalno poškoduje vozilo.

Ločimo:

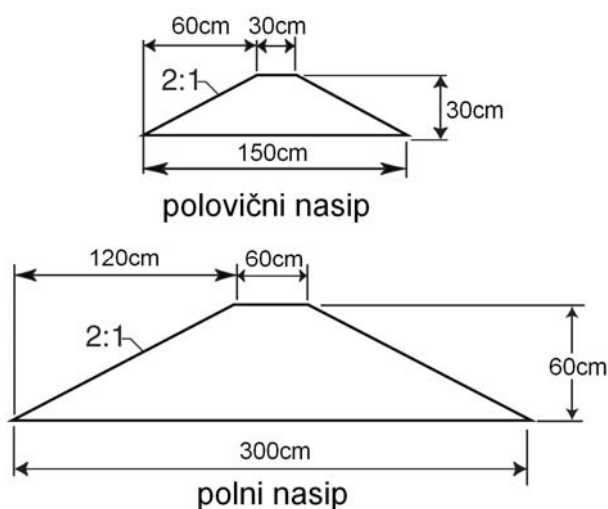
- nasipni zasilni izvoz (glej 3.3.3)
- nasipi na zaustavnem bazenu zasilnega izvoza
- nasipi na spustih odprtih kopov za zaustavljanje demperjev

4.2.4.1 Nasipi na zaustavnem bazenu zasilnega izvoza

Nasip na zaustavnem bazenu naj bi bil iz enakega materiala, kot polnilo zaustavnega bazena. Razdalja med nasipi naj bi bila 6 m, da se prepreči morebitno prevračanje tovornega vozila (razdalja med nasipi mora biti večja kot maksimalna razdalja med osmi vozila). Zaustavni nasipi so zadnje upanje za dokončno ustavitev prehitrega pobeglega tovornega vozila, ki je pred tem prevozilo že večino zasilnega izvoza oz. zaustavnega bazena.



Slika 15: Gravitacijski zasilni izvoz s štirimi nasipi, Tejon Pass, I-5, ZDA (Google Earth).



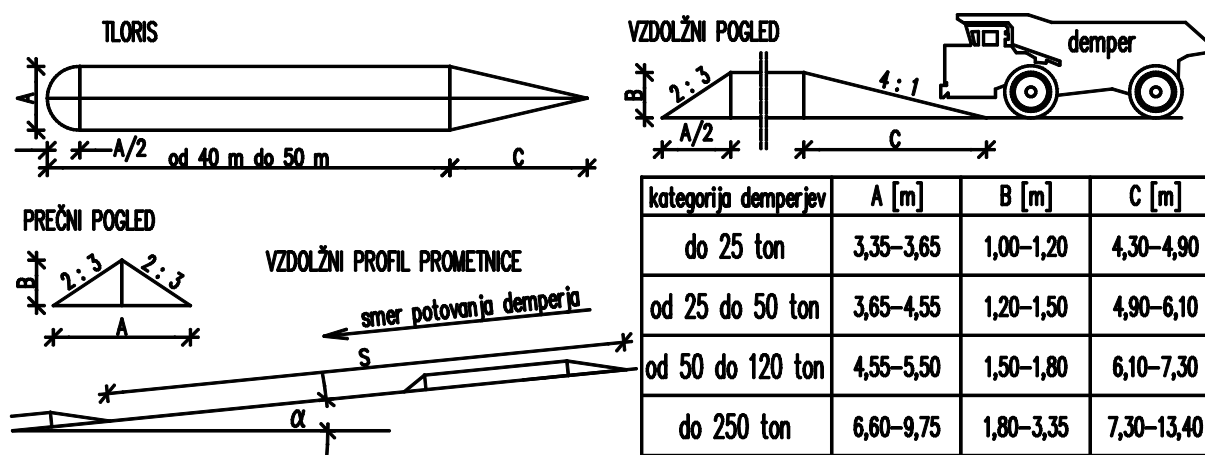
Slika 16: Polovični in polni nasip proti koncu zaustavnega bazena zasilnega izvoza.

Velikost nasipov je prilagojena tovornim vozilom. Polovični nasipi so primernejši za večje hitrosti, zato naj bodo izpostavljeni pobeglemu vozilu kot prvi. Nasipi ne poškodujejo vitalnih delov vozila in nudijo zadovoljivo zaustavno silo s pasivnim odporom gramoza. Velikost nasipov je prilagojena klasičnemu gramoznemu agregatu. Pri vgradnji lažjih materialov (umetnih recikliranih agregatov, organskih materialov ipd.) je potrebno velikost nasipov prilagoditi.

4.2.4.2 Nasipi na spustih odprtih kopov za zaustavljanje demperjev

Demper je tovorni stroj za prevažanje zemeljskega materiala. Omejen je na transport materiala le na velikih odprtih kopih in ni primeren za vožnjo po klasičnih cestah.

Tovrstni nasipi so nameščeni na strmih in/ali dolgih spustih velikih gradbišč ali odprtih rudniških kopov, kjer je na razširjenem delu spusta možno, ob povečani hitrosti demperja, demper preusmeriti na del vozišča z nasipi. Nasipi imajo podolgovato obliko, ki jih demper potiska pred seboj kot buldožer, hkrati pa vozilo z kolesi vozi deloma po nasipu, deloma po utrjenem vozišču. Velikost nasipov je odvisna od velikosti demprejev na gradbišču/rudniku.



Slika 17: Oblika in dimenzije nasipov na spustih za zaustavljanje demperjev

Razdalja med nasipi na spustu:
$$S = \frac{\Delta v^2}{2g(\sin \alpha - f)} \quad (\text{Runaway-Vehicle Safety Provisions})$$

v hitrost [m/s]

g gravitacijski zemeljski pospešek = $9,81 \text{ m/s}^2$

α kot nagiba vozišča

f faktor trenja pri kotalnem uporju izražen kot % vzdolžnega nagiba /100

4.2.5 Blažilnik naleta

Blažilnik energije je lociran na točkovni nevarnosti kot je cestni razcep. Blažilnik naleta je sistem za prevzem in uničenje naletne energije vozila. Sestavljen je iz jeklene varnostne ograje in modulov z zračnimi blazinami. Ob naletu se cestni blažilnik naleta deformira, zračne blazine se zaletijo ena v drugo in prevzamejo energijo trka.

Blažilnik naleta je potreben na razcepu prometnice z zasilnim izvozom. Uporaba blažilnika naleta je smiselna tudi na koncu zasilnega izvoza, če je dolžina zasilnega izvoza omejena. Pogosto se uporablja na koncu zasilnega izvoza s koritastim prečnim profilom, katerih dolžina je najkrajša izmed vseh zasilnih izvozov. Poznane so tudi vodne blazine, ki ob trku počijo in tako prevzamejo kinetično energijo vozila.



Blažilnik naleta z zračnimi blazinami TAU in vodni blažilniki naleta (Petrič)

4.2.6 Ograje

V nasipnih delih zasilnega izvoza se namesti jeklene varnostne ograje, v primeru zaustavnega bazena z agregatom enake zrnivosti lahko tudi betonske varnostne ograje (*New Jersey*), da se prepreči raztros agregata. Na zasilnem izvozu na Črnem Kalu je problem raztrosa agregata še posebej očiteno, ker je zasilni izvoz urejen na relativno ozki površini med cesto in pobočjem (slika 18).

Jeklene varnostne ograje za zaustavitev težkih tovornih vozil morajo imeti zelo veliko sposobnost zadrževanja H4a ali H4b za tovorna vozila, težja od 30 ton oz. 38 ton. Za take jeklene varnostne ograje je običajna delovna širina ograje W7 ali W8 (do 2,5 m oz. 3,5 m deformacije glede na prečni prerez zasilnega izvoza), kar pomeni, da bi moral zasilni izvoz na

nasipu imeti 4 m široko bermo. Racionalnejša je uporaba betonskih varnostnih ograj, ki so bolj toge. V uporabi so tudi jeklene varnostne ograje, sposobnosti zadrževanja H4, v obliki betonskih varnostnih ograj, pritrjene z vijaki v betonsko podlago, z delavno širino W4 (do 1,3 m). (Oznake H4a, H4b oz. H4 in W4, W6, W7 po SIST EN 1317.)

V primeru, da je zasilni izvoz v sklopu avtoceste ali hitre ceste, mora biti, po slovenskem Pravilniku, ograjena z ograjo proti divjadi.



Slika 18: Betonska varnostna ograja za varovanje in preprečevanje raztrosa agregata na Črnem Kalu

4.3 Vzdrževanje

Osnovna naloga vzdrževalcev je predvsem izvleka zaustavljenih tovornih vozil iz zaustavnega bazena ter ohranjanje kvalitete zasilnega izvoza. Vzdrževanje mora biti izvršeno hitro, da se zmanjša možnost naleta pobeglega vozila na zasilni izvoz v času zadrževanja vzdrževalcev na objektu.

Izvlek zaustavljenega vozila se običajno izvaja vzvratno tj. po isti poti kot je vozilo prevozilo v zaustavljanju. Če je servisna pot na koncu zasilnega izvoza razširjena, je mogoče vozilo izvleči iz zaustavnega bazena tudi naprej.

Servisno vozilo mora biti opremljeno z najmanj enim vitlom zadostne moči. Moč vitla je odvisna od vzdolžnega nagiba in zaustavnega medija ter karakteristične mase tovornega vozila (40 ton). Zaželeno je avtodvigalo z vitlom za težja tovorna vozila. Izvlečno vozilo se priveže na sidro (glej 4.2.3), da prihrani na potrebni masi, ki mora nasprotovati potrebni sili izvleka tovornega vozila. Z namestitvijo ustreznega vitla se lahko opremi univerzalna servisna cestna vozila, ki so v Sloveniji že dobro uveljavljena.



Univerzalno servisno vozilo z možnostjo različnih priključkov (MB Unimog)

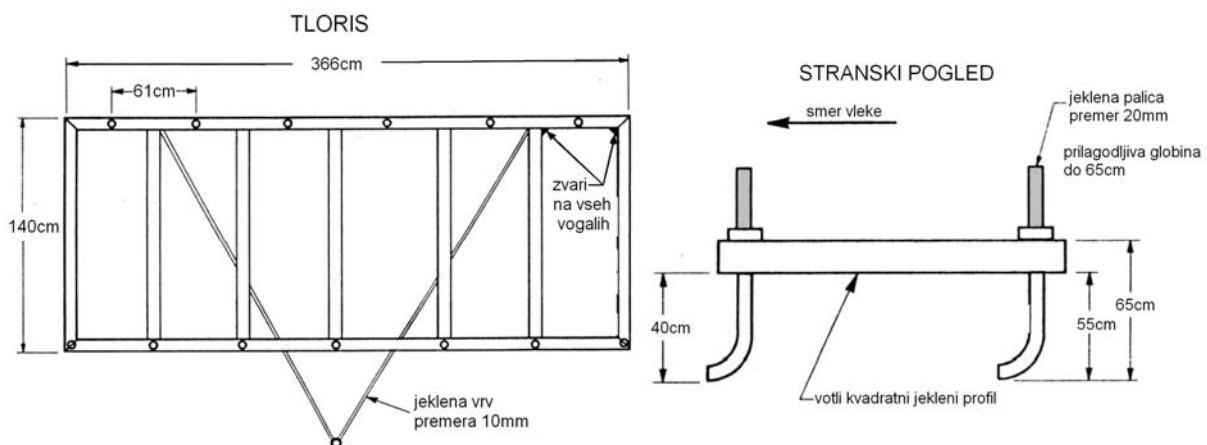
Vitel na servisnem vozilu lahko služi tudi rahljanju zaustavnega medija z brano. Zaželjena je namestitev priročnega škripca na koncu zasilnega izvoza za lažje manevriranje z brano.

Ocenjen strošek asistenc prisilno ustavljenega vozila znaša do 400 € in je odvisna od velikosti, teže, konstrukcije vozila in izvlečne dolžine. V to ceno je vključeno tudi rahljanje in planiranje gramoz ali peska v zaustavnem bazenu po vsakokratni uporabi. Pri vožnji tovornega vozila po kolesnicah v zaustavnem bazenu iz drobne frakcije gramoz je zaustavna razdalja do 20 % daljša, zato je nujno vzpostaviti prvotno stanje zaustavnega bazena.

Zaustavni medij se s časom skonsolidira in ne služi več dobro svojemu namenu (kotalni upor ni zadosten). Dež, sneg in led drastično spremenijo sposobnost absorpcije kinetične energije vozila v zaustavnem mediju. Zato je nujno gramozno nasutje v zaustavnem bazenu rahljati minimalno enkrat jeseni pred začetkom zmrzali in drugič konec aprila po spomladanskem deževju. Peščeno nasutje je potrebno rahljati minimalno štirikrat letno, predvsem po večjih padavinah. Rahljati je potrebno do globine vsaj 60 cm. Ob nastanku ledene skorje na zaustavnem bazenu, je le-to potrebno odstraniti oz. jo soliti, da se stali. Sol je zaželena tudi v primeru odjuge, ko se staljen sneg oz. dež drenira v še zmrznjene dele nasipa, kjer bi se lahko tvorila plast ledu. V primeru zablatenja agregata je le tega potrebno zamenjati ali očistiti.

V primeru nasipov na zaustavnem bazenu je potrebno najprej odstraniti nasipe, razrahljati zaustavni medij in namestit nasipe nazaj na prvotna mesta.

Potrebni so stalni periodični ogledi zasilnega izvoza in pripadajoče opreme ter redno čistiti oljni lovilc. Poškodovane dele ali naprave je potrebno popraviti ali zamenjati.



Slika 19: Shema brane za rahljanje zaustavnega bazena z gramoznim nasutjem

5 VARNOST NA CESTI

Varnost na cesti predstavlja ključen faktor pri projektiranju cest. Odvisna je od fizikalnih zakonov (oz. delovanja sil na vozilo na vozni podlagi), voznikovega zaznavanja in pravočasnega sprejemanja informacij s cestišča, vključno z obcestno signalizacijo ter od reševanja v kritičnih razmerah kot je npr. prometna nesreča, odpoved zavor in podobno.

Za povečanje varnosti se je treba poleg fizikalnih zakonitosti osredotočiti še na:

- psihofizične lastnosti voznikov
- delež težkih tovornih vozil
- obcestne nevarnosti
- učinek prometnih nesreč na voznike
- izkušnost voznikov

Potrebno je razumeti razmerje med velikostjo vozil (težo) in resnost poškodb ob trčenju. Jasno je, da se pri trčenju dveh vozil običajno manj poškoduje oseba v večjem vozilu.

Izkušeni vozniki se lažje izognejo nepričakovanim dogodkom kot so okoljske nevšečnosti ali lažja okvara vozila. Verjetnost smrtnega izida pri prometni nesreči z osebnim vozilom je tridesetkrat večja kot s tovornim vozilom. Upoštevati moramo tudi dejstvo, da se v osebni vozilu vozi povprečno več potnikov kot v tovornem vozilu in da je tovornega prometa na cesti le desetina (podatek iz tuje literature; v Sloveniji je povprečni delež tovornega prometa za leto 2007 14%). Dejstvo je, da so novejša tovorna vozila zmogljivejša in zakonske omejitve dopuščajo načeloma vedno težja in daljša tovorna vozila (Pravilnik o merah in masah vozil v cestnem prometu, UL RS št. 138/2006 z dne 28. 12. 2006, najdaljše tovorno vozilo dolžine – 22 m, najtežje tovorno vozilo – 44 ton). Novejša vozila imajo zaradi vedno boljše tehnologije tudi boljše, a bolj kompleksne zaviralne sisteme. Postavlja se vprašanje vzdrževanja vozil. Potrebno bi bilo povišati kakovost in zahteve tehničnih pregledov tovornih vozil.

Najbolj tvegana skupina voznikov so mladi vozniki in vozniki, ki daljše obdobje niso upravljali z vozilom. Take voznike imenujemo neizkušeni vozniki. Vozniki tovornih vozil naj bi bili izkušeni vozniki oz. šoferji, saj se jih večina s to dejavnostjo preživlja. Med njimi so tudi začetniki, ki pa že imajo izkušnje z osebnimi vozili. Postavlja se vprašanje o zahtevnosti testov cestnoprometnih predpisov, zato bi bilo treba povišati kakovost in zahteve tehničnih pregledov tovornih vozil.

Verjetnost utrujenosti šoferja tovornega vozila je večja kot tista pri vozniku osebnega vozila. Veliko tovornega prometa je namreč daljinskega. Po drugi strani pa je delež osebnih vozil bistveno večji in zato verjetnost utrujenosti tudi pri njih večja.

Varnost na cesti in prometne nesreče sta neposredno odvisna pojma pri označevanju konfliktnih situacij na cestnem telesu. Prometne nesreče lahko po vzrokih delimo na človeški faktor (š), ki »zakrivi« več kot 50% nesreč, vozilo (v) in okolje (o) (cestni in obcestni prostor ter vremenske značilnosti).

Prometno nesrečo lahko analiziramo tudi časovno in to glede na vzrok in njeno posledico na čas pred nesrečo, zaradi katere je ta nastala, dogodek same nesreče in na čas po nesreči (pre-crash, crash, post-crash).

- Čas pred nesrečo:
 - š: prekratka varnostna razdalja oz. prevelika hitrost, voznik zaspil (psihična ali mentalna izmučenost), stres, neprištevnost, bolezen, neuporaba pripomočkov za korekcijo vida, alkoholiziranost (najpogostejši vzrok) ...
 - v: odpoved zavor, obrabljene gume ...
 - o: drsna ali spolzka vozna površina (mokra, poledenela, slabi ali slabo vgrajeni in obrabljeni materiali), slabo projektiran odsek ...
- Trenutek nesreče:
 - š: neuporaba varnostnega pasu
 - v: konstrukcija vozila (zmečkljive cone, opremljenost z zračnimi vrečami, teža)
 - o: toga vertikalna signalizacija blizu vozišča
- Čas po nesreči:
 - š: nepravilna, nepravočasna prva pomoč in nepoučenost ljudi na kraju dogodka
 - v: nepopolna oprema (prva pomoč, gasilni aparati ...)
 - o: neopremljenost infrastrukture s klicem v sili (od časa množične uporabe mobilne tehnologije je posrednega pomena; prednost je le v tem, da uporabniku klica v sili ni potrebno posredovati kraja nesreče, ker lokacijo posreduje sam aparat)

Prometne nesreče so kompleksni dogodki, katerim botrujeta vsaj dva ali trije faktorji, npr.: obrabljene gume, spolzko vozišče in prevelika hitrost. Ni nujno, da več hkrati delujočih faktorjev povzroči prometno nesrečo. Četudi je voznik v vinjenem stanju, lahko v dežju

(mokro vozišče) s poškodovanimi brisalci vetrobranskega stekla sredi noči pripelje na cilj brez prometne nesreče. Problem alkoholiziranosti je v izrednem povečanju reakcijskega časa voznika in pri nekaterih tudi močno povečane agresivnosti.

Tipični faktorji za prometne nesreče: alkoholiziranost voznika, mokro vozišče v povezavi z neprilagojeno hitrostjo, manjkajoča, nepravna ali uničena prometna signalizacija, zaglajena ali uničena obrabna plast vozišča.

Zelo redke so napake v oblikovanju ali kakovosti vozil velikoserijske izdelave. Navadno le en dejavnik, kot je napaka na vozilu, še ne privede do prometne nesreče. Velikokrat je za napako na vozilu posredni krivec uporabnik oz. voznik, saj so nereden servis, neprilagojena vožnja pri pregretju zavor in neredna menjava pnevmatik pogosto faktorji za prometno nesrečo.

Dejavnik za prometno nesrečo iz okolja je običajno v povezavi s človeškim in/ali faktorjem na vozilu. Kljub temu je lahko vzrok nesreče le okolje v primerih naravnih nesreč kot so potres, orkani, zimske razmere (sneg, led). Taki izredni dogodki so zelo redki, v krajih z rednimi zimskimi snežnimi padavinami pa slednje tudi pričakovane.

Človeški procesi zaznavanja, ki vplivajo na varnost v cestnem prometu:

- vizualni – vid posreduje 90 % prejetih podatkov
- kinematični in ravnotežni – informacije posredovane na človeško telo zaradi sile gravitacije ob različnih manevrih, kot so pospeševanje, zaviranje, zavijanje, razne vibracije, stabilnost vozila ...
- slušni – opozarjanje ob specifičnih zvokih, kot so zvoki drsenja pnevmatik po vozni površini, hupanje, zvoki različnih velikosti vozil ...
- vohalni – vonj pregretih zavor ali motorne sklopke
-

Konkretni predlogi za zmanjšanje prometnih nesreč:

- izgradnja zasilnih izvozov na primernih lokacijah
- povečanje števila postajališč in parkirnih prostorov na obstoječih postajališčih za tovorna vozila in možnost osvežila za voznike
- ustanovitev cestno-varnostne revizije ali vsaj smernic, ki naj bi izboljšale varnost bodoče ceste že v času projektiranja
- večja prisotnost inteligentnih sistemov za nadzor prometa

- postavitve signalizacije za priporočeno hitrost tovornih vozil
- uporaba vseh utripalk na težkem tovornem vozilu za obveščanje soudeležencev v prometu o počasni vožnji po klancu navzdol
- prepoved uporabe prehitevalnih pasov za tovorna vozila na vzponih zaradi pretočnosti prometa in na spustih zaradi pregretja zavor
- sinhronizacija semaforjev na pomembnejših prometnicah (zeleni val). Tako bi zmanjšali možnost naleta in obrabo vozne površine
- uporaba narebrenih robnih in sredinskih talnih označb in svetlobnih odsevnikov v vozišču. Ob vožnji po narebreni podlagi pnevmatika posreduje vibracije in zvok vozniku in ga opomni o nepravilnem položaju vozila na cestišču. Zaradi klimatskih razmer v Sloveniji so narebrene talne označbe, razen v tunelih, slabo uveljavljene, saj se s pluzenjem snega hitro odluščijo. Potrebno bi bilo freziranje cestišča za debelino in širino nanosa narebrene črte ali za črto.



Prečno rezkan robni pas v opomin vozniku o nepravilnem položaju vozila (PIARC, str. 430)

6 TEHNIČNO-DINAMIČNE LASTNOSTI VOZIL IN VOZIŠČA

To poglavje na prvi pogled nima veliko skupnega z zasilnimi izvozi, pomaga pa pri razumevanju kritičnih situacij, v katerih se lahko znajde voznik tovornega vozila. Poglavitno vlogo pri tem igrajo hitrost, sile in trenje, ki so med seboj povezane. Ena od kritičnih situacij je tudi odpoved zavor, ki je glavni razlog gradnje zasilnih izvozov.

6.1 Sile

Sile, ki delujejo na vozilo in določajo njegovo spremembo hitrosti so:

1. Tangencialne ali longitudinalne sile:
 - sila motorja vozila oz. vrtilni moment
 - sila zaviranja motorja oz. retarderja
 - sila zaviranja zavor
 - sila kotalnega upora
 - sila trenja v mehanizmu prenosa vrtilnega momenta od motorja do koles
 - sila gravitacije (vzdolžni nagib vozišča $\neq 0$)
 - zaviralna sila zračnega upora
 - sila vetra
2. Bočne ali radialne sile:
 - centrifugalna sila
 - sila prečnega nagiba vozišča
 - sila kotalnega upora pri zavijanju
 - sila vetra

Pri računanju potrebne dolžine zasilnega izvoza oz. njegovega zaustavnega bazena se lahko zanemari zaviralno silo pregretyh zavor, motorne zavore, retarderja in silo zračnega upora.

Tako računamo dolžino rampe na najneugodnejše možne razmere, kot so:

- popolna odpoved zavor
- vozilo se pri menjavanju prestavnega razmerja znajde v prostem teku
- močan veter v smeri vožnje

Če so na predvideni lokaciji zasilnega izvoza prisotni stalni vetrovi, jih je treba upoštevati tako pri računu dolžine zasilnega izvoza oz. računa dolžine spusta za potrebo zasilnega izvoza, kot tudi za povečan rizik prevrnitve vozila v horizontalni krivini (če je zasilni izvoz pred horizontalno krivino).

6.2 Interakcija pnevmatika – vozišče

Vozni potencial določenega vozila proti zdrsu na vozišču ocenjujemo glede na kvaliteto pnevmatik vozila, cestno geometrijo in vozno površino.

6.2.1 Trenje in kotalni upor

Trenje je odpor gibanju med dvema površinama v stiku. Učinkovitost trenja je izražena s koeficientom trenja f (μ je oznaka za trenje v bočni smeri), ki predstavlja razmerje dveh sil. Ena sila je vzporedna površini stika in nasprotna smeri gibanja, druga pa pravokotna na površino stika, imenovana normalna sila. Ko se stikajoči se telesi gibljeta ena ob drugi, se trenje med njima iz kinetične energije pretvarja v toplotno energijo, majhen del energije pa lahko tudi v magnetno ali/in zvočno.

V kontekstu cestnega prometa je kontaktna površina površina pnevmatike, ki nalega na vozno podlago. Normalna sila je sila teže, ki odpade na kolo.

Koeficient dinamičnega trenja se lahko izračuna po naslednji enačbi:

$$f_t = 0,2 \left(\frac{V}{100} \right)^2 - 0,629 \left(\frac{V}{100} \right) + 0,637; \quad (\text{TSC } 03.200, 2003)$$

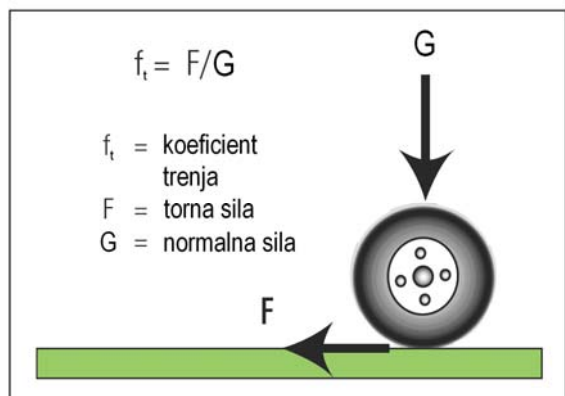
f koeficient dinamičnega trenja izražen kot % vzdolžnega nagiba /100

Vhitrost vozila [km / h]

Formula za koeficient dinamičnega trenja je odvisna le od hitrosti vozila. Je pa koeficient trenja odvisen tudi od stanja vozišča in kvalitete, vrste, dimenzij in tlaka v pnevmatikah ter vzmetenja vozila.

Razpon koeficienta trenja sega od skoraj nič na poledeneli podlagi, do 1,0 na najkvalitetnejši suhi vozni površini in pri kvalitetni pnevmatiki in usklajenem vzmetenju. Pri večini suhih materialov je koeficient trenja med 0,3 in 0,6. Koeficient trenja teflona je le 0,04. Guma ima v kontaktu z drugimi površinami koeficient trenja od 1,0 do 2,0. Kotalno trenje je oblika trenja pri kotaljenju krožnega objekta po podlagi. Tipični koeficient kotalnega trenja za vozilo na

ravnem cestišču znaša cca. 0,02, zato je ta oblika premikanja po podlagi relativno racionalna. Tono težko vozilo porabi silo 200 N za premikanje po ravni podlagi.



Slika 20: Trenje 2D (PIARC, str. 406)

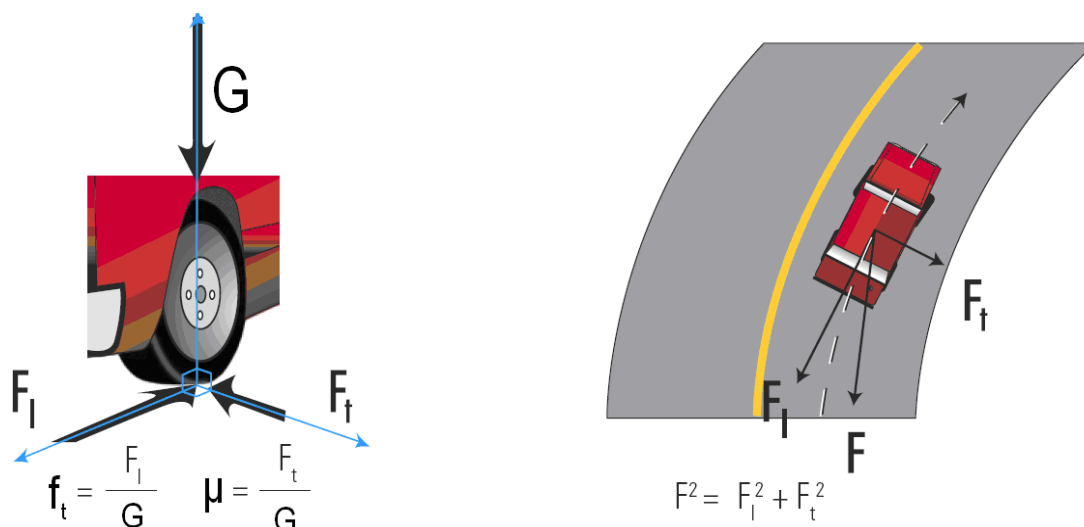
Trenje pnevmatike z vozno podlago si lahko predstavljamo kot kotalno trenje oz. upor pri kotaljenju, ki je v splošnem nezaželeno, razen ob zaviranju, in trenje ob močnem zaviranju, ko pnevmatika zdrsni po vozni podlagi (drsenje).

Lepenje ali statično trenje (tudi oprijemanje ali sojemanje) je vrsta trenja, pri katerem se stikajoči se telesi ne gibljeta ena ob drugi, ampak mirujeta. Koeficient lepenja na isti podlagi je glede na velikost vlečne sile pred zdrsom večji od koeficienta dinamičnega trenja. Pri kotaljenju pnevmatike po podlagi gre za vrsto lepenja, kjer se stični površini stalno menjata. Lepenje se določi kot kvocient največjih zavornih sil brez blokiranja koles in ustrezne dinamične obremenitve na zaviralni osi.

Vlečne sile pri lepenju so sila zaviranja in sila pospeševanja v potovalni smeri ter centrifugalna sila v bočni smeri. Za nekatere avtomobile so na voljo elektronska pomagala, ki preprečujejo, da bi prišlo do klasičnega (dinamičnega) trenja, imenovanega tudi kinematičnega trenja, kot so za premočno pospeševanje ASC, premočno zaviranje ABS in proti bočnemu drsenju ESP. Pri kotalnem uporu gre za lepenje, saj se kolo kotali po vozni podlagi, menja stično površino, vendar ne drsi. Če pnevmatike vozila drsijo po vozni površini gre za kotalni upor kinematičnega trenja. Del energije kotalnega upora, poleg energije trenja, predstavlja tudi energija deformiranja pnevmatike na neravnem vozišču. Pri kotalnem uporu se večino energije pretvori v toplotno in izgubi v ozračje. Povišana temperatura tekalnega dela pnevmatike zvišuje koeficient trenja med pnevmatiko in voziščem, zato si vozniki dirkalnih vozil pred startom dirke ogrevajo pnevmatike.

Zaradi fine nagubanosti vozne podlage pri kinematičnem trenju pnevmatike z voziščem (ni stika po celotni stični površini) lahko pride do hladnega varjenja pnevmatike z voziščem. V takih primerih pnevmatika na vozni površini pusti sledi. Poleg toplotne se sprošča tudi zvočna energija v obliki cviljenja. Zvočno energijo oddajajo pnevmatike tudi pri višjih hitrostih pri kotalnem trenju. Zvočna energija nastaja zaradi kompresije in dekompresije zraka pod pnevmatikami.

Vzdolžno ali longitudinalno trenje je dvakrat do trikrat večje od bočnega ali transversalnega trenja (PIARC, str. 418), odvisno predvsem od dimenzij in kvalitete pnevmatik in vzmetenja.



Slika 21: Vz dolžno in bočno trenje pnevmatike ob vozno površino 3D (PIARC, str. 407)

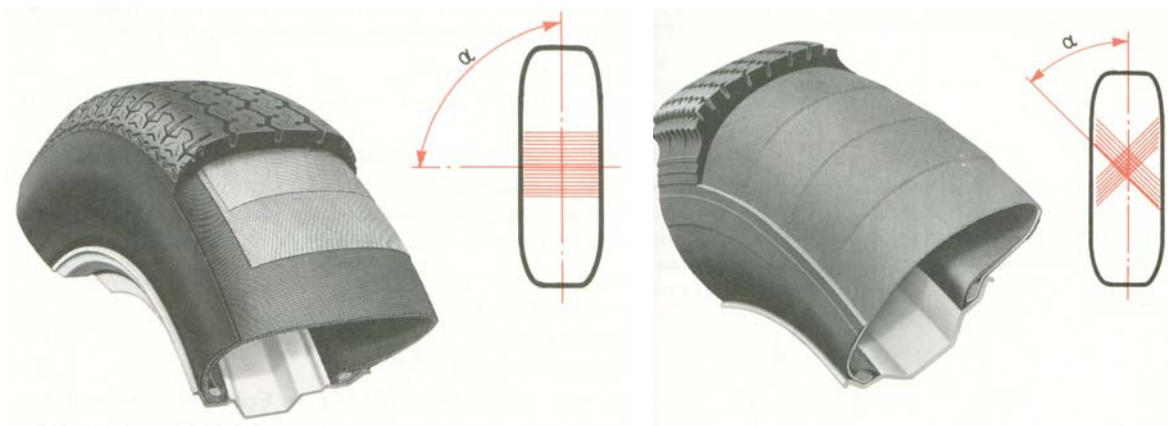
Vrednosti koeficientov trenja vozne površine s pnevmatiko se razlikujejo po nacionalnih predpisih. Razlikujejo se predvsem zaradi različne obravnave stopnje ekonomičnosti pri gradnji cest in različnih klimatskih razmer v posamezni državi.

V zaustavnih bazenih ali na ploščadih zasilnih izvozov pa tudi na zasilnih izvozih z nasipom absorpcijski material predstavlja veliko izgubo energije vozil zaradi kotalnega upora. Površina pnevmatik je v stiku z vozno podlago zelo velika v primerjavi z asfaltnim ali betonskim voziščem. Kinetična energija se preko pnevmatik prenese v absorpcijski material, v katerem se zaradi trenja med delci absorpcijskega materiala razprši (disipira).

6.2.2 Pnevmatike

V osnovi pnevmatike ločimo glede na zgradbo oz. tehnologijo izdelave, na radialne in diagonalne. Prednost radialne pnevmatike je v tem, da je bočnica relativno prožna glede na

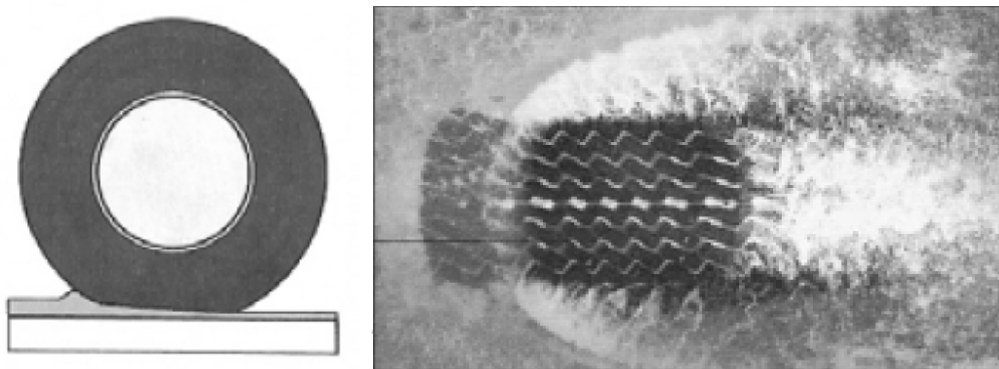
tekalno površino, pri diagonalni pnevmatiki je pa tekalna površina enako odporna kot bočnica. V cestnem prometu se diagonalne pnevmatike ne uporabljajo več.



Zgradba radialne pnevmatike in diagonalne pnevmatike (Strojna šola Ptuj)

Pnevmatike lahko ločimo (glede na letni čas) na letne in zimske pnevmatike. Med seboj se ločijo po globini profila, številu in vrsti lamel ter sestavi glede na temperaturo delovanja oprijema (letne so trše in zimske mehkejše). Velik pomen pri oprijemljivosti imata oblika in strukturiranost profila. Pri letnih pnevmatikah je ta prirejena za dreniranje vode, ki se nahaja na vozni površini in preprečuje stik pnevmatike z voziščem, t. i. zaklinjenje vode pred pnevmatiko ali akvaplaning (*aquaplaning*), pri zimskih pnevmatikah pa čim boljši oprijem na poledenelem in zasneženem vozišču. Obstajajo tudi pnevmatike brez profila, ki pa v cestnem prometu niso dovoljene in so v uporabi le na dirkalnih stezah.

Še dovoljene globine utorov v pnevmatiki pri nas so: letne 1,6 mm in zimske 3,0 mm (UL RS, št. 17/2000).



Akvaplaning (Strojna šola Ptuj)

Pnevmatike se ločijo tudi glede na obremenjenost, kraj in namen uporabe ter hrupnost (zaprti krajni del profila pnevmatike za tovorna vozila, namenjena daljinskemu transportu).

Neprimerne so obrabljene pnevmatike in tudi stare, čeprav nerabljene. Obrabljene pnevmatike so pnevmatike z zmanjšano globino profila, kjer je tekstura vozne površine trša kot pri novi pnevmatiki in zato ne zadostuje več za zadosten oprijem s cestiščem. Umetni kavčuk, iz katerega dandanes izdelujejo pnevmatike, je relativno neodporen na staranje. Nerabljena pnevmatika, stara več kot tri leta, je neprimerna za vožnjo, saj se kvaliteta materiala v tem času zaradi nerabe (ni gnetena) drastično poslabša.

Osnovne zahteve in naloge pnevmatike:

- prenos teže vozila na vozno podlago (preko obes z vzmetenjem do koles na pnevmatike)
- blaženje manjših udarcev z vozne podlage
- majhna kotalna upornost (majhno notranje trenje oz. segrevanje) in hkrati dober oprijem z vozno površino v vseh razmerah
- zadovoljiva življenska doba in odpornost
- kotaljenje brez ropota in tresljajev
- omogočanje zadovoljivega gibanja in krmiljenja vozila oz. prenos pogonskih, zavornih (tangencialnih) sil in bočnih (centrifugalnih) sil na vozišče

Zagotoviti morajo varno, udobno in gospodarno vožnjo. Pomembna je uskladitev elastično-dušilnih lastnosti pnevmatike z lastnostmi sistema obes vozila ter lastnostmi oprijemanja pnevmatike z vozno površino z lastnostmi zavornega in pogonskega sistema. Pnevmatike morajo biti pravih dimenzij glede na delež teže vozila, ki jo prenašajo. Glede na težo in stično površino z voziščem mora biti pravi tlak v pnevmatiki, da se zagotovi racionalni kotalni upor. S tem se zmanjša obraba pnevmatik in poraba goriva.

6.2.3 Cestna geometrija

Pojem cestna geometrija določajo:

- nagibi vozišča (vzdolžni nagibi nivelete in prečni nagibi)
- krivine (vertikalni polmeri, horizontalni polmeri, prehodne krivine)

Nagibi vozišča in horizontalne krivine so odvisne predvsem od vrste ceste in topografskih razmer pa tudi od količine prometa na cesti (projektna hitrost). Dimenzije posameznih elementov so določene v Pravilniku za projektiranje cest. Za projektiranje zasilnih izvozov so omenjene v poglavju 3.4.

6.2.4 Vozna površina

Na vozni površini opazujemo:

- ravnost (kolesnice, neravnost zaradi krpanja vozne površine)
- aderenza – zlepljenost
- tekstura

Prve ocene stanja vozišča se izvajajo vizualno. Vizualno ocenjevanje stanja se uporablja za gospodarjenje z vozišči, pripravo planov vzdrževanja in oceno potrebnih sanacijskih sredstev.

Možnost prometne nesreče narašča, ko pada odpor proti drsenju oz. torna sposobnost (nižji koeficient trenja). Torna sposobnost vozne površine je določena predvsem s kakovostjo kamnitih zrn, sestavo asfaltne zmesi in njeno vgradnjo. Na mokrem vozišču je odpor proti drsenju močno zmanjšan, ker je stik med pnevmatiko in voziščem okrnjen. Posebej izpostavljena so območja križišč, horizontalne krivine in strmi spusti, kjer je potreben velik koeficient trenja. Obstajajo večje in manjše aparature za meritev tornih lastnosti. Periodično merjenje torne sposobnosti nam napove čas potrebne menjave obrabnega sloja.

Smiselna je vgradnja drenažnega asfalta za hitrejše odvajanje vode iz vozišča. Važna je tudi sama sestava obrabnega sloja. Uporaba silikatnega agregata izboljša trenjske sposobnosti vozne površine. Silikatni agregat v vgrajeni bitumenski zmesi se ne gladi kot karbonatni agregat, ampak kruši in ohranja visok koeficient trenja in s tem dobro oprijemljivost pnevmatike na vozišču. Težava nastane le pri umazanem oz. mastnem vozišču. Vezivo, posebej pri asfaltnih mešanica, ima velik pomen, saj zagotavlja sprijetost zrn. Poznamo več vrst bitumenskega veziva glede na trdoto. Trši je bolj primeren za večje obremenitve in toplejše podnebje. Ob preveliki koncentraciji ali premehkem bitumenskem vezivu v mešanici povzroči segregacijo agregata in na obrabni površini ostane zaglajena bitumenska masa, katere koeficient trenja je izredno majhen v mokrem in umazanem stanju.

Kvaliteto vozne površine se določa vizualno z obhodom.

6.3 Dinamika vozila

Navedene enačbe in dejstva o hitrosti, energiji in moči so namenjene lažjemu razumevanju delovanja zavor in zavorne sile oz. moči, potrebne za zaustavitev vozila. Pa tudi, kako lahko vozilo, ob premajhnem koeficientu trenja med pnevmatikami in voziščem oz. preveliki hitrosti, začne zanašati ali prevračati. Ponazoriti, kaj pomeni, pokazati, kaj se zgodi, če težko tovorno vozilo ostane brez uporabnih zavor in kako nujni so lahko zasilni izvozi.

6.3.1 Hitrost, sila teže in energija

Hitrost in teža vplivata na moč zaviranja in dolžino, potrebno za zaustavitev vozila.

$$W = F * s, \text{ na ravni podlagi; } W = E_k = \frac{v^2 m}{2}, P = \frac{W}{t} \quad (\text{Wikipedia}).$$

Za konstantno moč zaviranja; $P = \frac{F s}{t} = \frac{v^2 m}{2t}$ (7). Če podvojimo skupno težo vozila, se zavorna moč za ustavitev vozila podvoji. Če podvojimo hitrost vozila, se zavorna moč četverji, saj se hitrost spreminja s kvadratom.

Račun velja za vozilo na ravni podlagi. Če upoštevamo še višinsko razliko, moramo prišteti še potencialno energijo $E_p = m g h$ (Wikipedia).

$$\text{Moč zaviranja je sedaj: } P = \frac{F s}{t} = \frac{v^2 m}{2t} + \frac{m g h}{t} \quad (8)$$

W skupna energija [$J = \frac{kg m^2}{s^2} = Nm = Ws$]

F sila [N]

s pot [m]

E_k kinetična energija [J]

E_p potencialna energija [J]

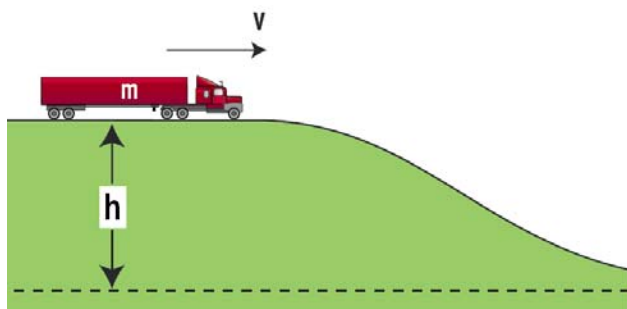
v hitrost [m/s]

m masa vozila [kg]

t čas [s]

g gravitacijski zemeljski pospešek ($9,81 m/s^2$)

h višina potenciala vozila [m]



Vozilo s kinetično in potencialno energijo (PIARC, str. 375)

Za vožnjo v klanec so v nekaterih deželah zakonsko omejili minimalno moč motorja na skupno dovoljeno maso vozila na 7,5 kW/t, v Avstraliji le 5 kW/t (*truck trains*). Mnenja pa smo, da ima prestavno razmerje oz. število prestav vsaj toliko vloge kot minimalna moč motorja, saj vpliva pa na pretočnost prometa. Težko si je predstavljati 20 tonsko vozilo na naših cestah s 100 kW močnim motorjem.

Iz enačb energije izhajajo tudi enačbe za izračun zaviralnih dolžin, dolžin in vzdolžnih nagibov spustov pred zasilnimi izvozi, ter dolžin in vzdolžnih nagibov zasilnih izvozov.

6.3.2 Račun dolžine glede na nagib spusta pred zasilnim izvozom

Formula za račun dolžine spusta izhaja iz energijske enačbe. Upošteva kinematično in potencialno energijo.

Natančnost izračuna lahko zaokrožimo na 500 m, saj je za račun dolžine spusta pred odcepom za potrebni zasilni izvoz veliko faktorjev, ki se lahko močno spreminjajo. Prvi problem je določiti začetno hitrost v namišljenem trenutku popolne odpovedi zavor (predpostavimo, da v tem trenutku zavore delujejo še s tretjinsko močjo). Končna hitrost naj bi bila hitrost ob vstopu vozila na zasilni izvoz. V enačbi posredno, preko koeficientov, upoštevamo silo pospeška zaradi nagiba nivelete, kotalnega upora notranjega upora in zračnega upora. Večji problem predstavljajo določitve koeficientov uporov. Koeficienti kotalnega, notranjega in zračnega upora ter nagiba spusta so izraženi v $kg/1000kg$ (kilogramih na tono teže vozila) oz. v $N/1000N$, prav tako koeficient nagiba nivelete, če zaokrožimo gravitacijski zemeljski pospešek na $10 m/s^2$, oz v % nagiba/100.

Koeficient kotalnega upora privzamemo iz preglednice (Vrednosti kotalnega upora na različnih materialih, poglavje 4.1.2.2). Za asfaltno vozišče je predpostavljen 0,012.

Koeficient notranjega upora je ocenjen na 0,100, kar pa pomeni, da pri notranjem uporu sodeluje tudi motorna zavora in retarder (privzeto nepravilno prestavno razmerje). Predpostavimo, da vozilu že slabo delujejo zavore, hitrost narašča in vozilo v poskusu prestavljanja v nižje prestavno razmerje ostane v prostem teku. V tem primeru je koeficient notranjega upora znatno manjši. Koeficient notranjega upora v prostem teku vozila je ocenjen na 0,010.

Silo zračnega upora za različne hitrosti ocenimo iz povprečne hitrosti pobeglega tovornega

$$\text{vozila: } F_{zu} = \frac{1}{2} c_v \rho A v^2 \xrightarrow{\rho=1,25} F_{zu} = 0,048 c_v A V^2 \cong 4000 N$$

(Wright, H., Dixon, K., 119 str.)

$$A = \check{s} * h = 8,75 m^2 \quad (9)$$

F_{zu} sila zračnega upora [N]

c_v koeficient zračnega upora glede na obliko vozila (za velika tovorna vozila ocenjen na 0,8) (bgsoflex – drag coefficient)

ρ gostota zraka [kg / m³]; povprečna $\rho = 1,25 \text{ kg / m}^3$ (Wikipedia)

v povprečna hitrost spusta od odpovedi zavor [m / s], ocenjena na $v = 30,56 \text{ m / s} \Rightarrow V = 110 \text{ km / h}$

A čelna površina težkega tovornega vozila [m²]

\check{s} referenčna širina težkega tovornega vozila [m]; $\check{s} = 2,5 \text{ m}$

h referenčna višina težkega tovornega vozila [m]; $h = 3,5 \text{ m}$

Predpostavimo težo tovornega vozila 40 ton (Pravilnik o projektiranju cest), ki zaradi gravitacije povzroča silo 400 kN.

Koeficient zračnega upora za enačbo dolžine spusta: $u_z = 4000 N / 400000 N = 0,010$. Pri koeficientu zračnega upora je predpostavljeno brezveterje.

Formula dolžine spusta pred zasilnim izvozom glede na nagib nivelete prometnice:

$$l_{spust} = \frac{V_k^2 - V_z^2}{254(s/100 - f - u_n - u_z)} \quad (10)$$

Enačba (10) – izpeljana iz AASHTO-ve enačbe za dolžino zasilnega izvoza

l_{spust} dolžina spusta glede na nagib vozišča [m]

V_k končna hitrost spusta [km / h]; $V_k = 140 \text{ km / h}$

V_z začetna hitrost spusta [km / h]; $V_z = 90 \text{ km / h}$

$s/100$ koeficient vzdolžnega nagiba prometnice (s [%])

f koeficient kotalnega upora

u_n koeficient notranjega upora vozila

u_z koeficient zračnega upora

Račun je preprost, če je nagib nivelele prometnice konstanten. V primeru odsekov z različnimi nagibi je račun težji in poteka v več zaporednih korakih. Za vsak odsek je potrebno izračunati hitrost na robu odseka. Računa se lotimo na predvideni lokaciji zasilnega izvoza. Dolžina prvega odseka je znana. Izračunamo spremembo hitrosti in jo odštejemo od končne hitrosti ob zasilnem izvozu. V naslednjem koraku vzamemo dolžino drugega odseka in izračunamo spremembo hitrosti. Drugo spremembo hitrosti odštejemo od hitrosti ob koncu prvega odseka. Račun ponavljamo, dokler ni hitrost manjša od začetne.

Za primer konstantnega vzdolžnega nagiba 5 % in predpostavljene začetne in končne hitrosti, je dolžina spusta 2500 m. Tej dolžini je potrebno prišteti še dolžino spusta, na kateri se zavore pregrejejo. Skupna dolžina spusta pred zasilnim izvozom ocenjujem na dvokratno dolžino l_{spust} . V primeru zasilnega izvoza na vipavski hitri cesti je predvidena lokacija zasilnega izvoza na začetku petega kilometra spusta (glej poglavje 9).

Avstralski predpis (RPDM) priporoča skupne dolžine spustov pred zasilnimi izvozi:

- 6 – 10% vzdolžnega nagiba \Rightarrow 3 km skupnega spusta
- 10 – 12% vzdolžnega nagiba \Rightarrow 2,5 km skupnega spusta
- 12 – 15% vzdolžnega nagiba \Rightarrow 2 km skupnega spusta
- 15 – 17% vzdolžnega nagiba \Rightarrow 1,5 km skupnega spusta
- več kot 17% vzdolžnega nagiba \Rightarrow 1 km skupnega spusta

Ob tem pripisuje, da morajo biti odseki z vzdolžnim nagibom več kot 12 % posebej odobreni s strani pristojne službe. Zasilne izvoze predvidevajo na spustih, kjer povprečni letni dnevni promet tovornih vozil presega 150 vozil. Drugi predpisi ne določajo okvirnih dolžin spustov pred zasilnimi izvozi.



Zaporedna zasilna izvoza na razdalji 2,7 km, s povprečnim vzdolžnim nagibom -6 %, Wolf Laurel, I26, ZDA (Google Earth)



Zaporedna zasilna izvoza na razdalji 1,9 km s povprečnim nagibom -8,6 %, Monteagle mountain, I24, ZDA (Google Earth)

Drugi zasilni izvoz na Monteagle mauntain je bil zgrajen leta 1975 na nekdanji prometnici (U. S. 41) za 153000 \$. Prva polovica zaustavnega bazena je dolga 170 m, široka 15 m, z vzdolžnim nagibom 9 %, nato se niveleta poravna. Skupna dolžina zasilnega izvoza je 500 m. V prvih petnajstih mesecih po odprtju je 132-krat služila svojemu namenu.

6.3.3 Učinek žepnega noža (*Jack-knifing*)

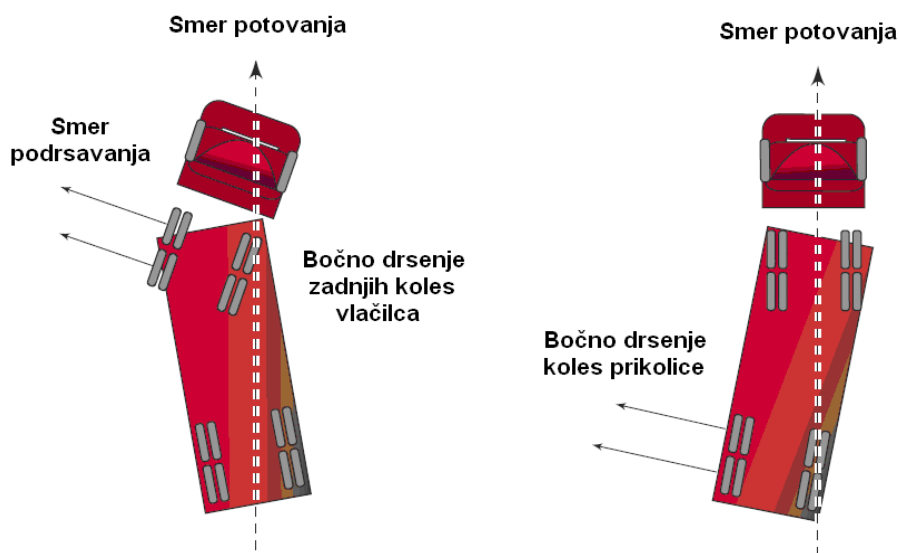
Do zanašanja parov koles na vozilu pride zaradi različnih razlogov, kot so različna obremenjenost osi oz. koles, na različnih kolesih različne zavorne sile, različne kvalitete pnevmatik in vozne podlage. Pri vseh primerih pa gre za pomanjkanje trenja med pnevmatiko (-ami) na določenem paru (-ih) koles v horizontalni krivini.

Pri vozilu s togo konfiguracijo (vozilo ima pogonski motor in tovorni prostor na istem podvozju) lahko del sil, ki odpadejo na drsajoča kolesa, prevzamejo kolesa z oprijemom. Kolesa niso v drsenju, če velja $F_t \leq \mu F_n$. Pri sestavljenih konfiguracijah kot sta tovorno vozilo s prikolico in vlačilec s prikolico zanašanje parov koles iz vozne linije lahko vodi do

rotiranja togih delov vozila okoli osi vpetja. Pri vlačilcu s prikolico najhitreje pride do zdrsa pogonskih koles vlačilca. V ovinku pogonska kolesa bočno zdrsnejo, prikolica ima vedno večji moment na vlačilec, naposled se dela vozila zagozdita med seboj (prva risba slike). Do zagozdenja lahko pride tudi, ko začnejo bočno drset kolesa prikolice (druga risba slike). Do učinka žepnega noža pride pri vožnji naprej le na voziščih s spuščajočim nagibom.

Na gravitacijskem zasilnem izvozu lahko pride do učinka žepnega noža pri vzvratni vožnji, ko voznik nima nadzora nad hitrostjo vozila, saj je zavorni sistem okvarjen. V tem primeru ne gre za podrsavanje koles po vozni podlagi.

Pri zagozdenju je pri večjih hitrostih nevarnost prevračanja dela ali celega vozila.



Bočno drsenje (zanašanje) vozila sestavljene konfiguracije (PIARC, str. 334)

6.3.4 Bočno prevračanje vozila

Zasilni izvoz je smiselno locirati na strmih spustih cest pred ostrimi horizontalnimi krivinami. V orientaciji, kaj pomenijo ostre horizontalne krivine za povišane hitrosti pobeglih težkih tovornih vozil, navajam naslednja dejstva.

Ob zelo dobrem oprijemu pnevmatik z voziščem v horizontalni ravnini (bočni torni koeficient μ je blizu vrednosti 1,00) se lahko vozila prevrnejo preden pride do bočnega drsenja. V tem primeru sta sila trenja in centrifugalna sila večji kot pri bočnem drsenju. Potrebni sili za prevračanje sta odvisni tudi od teže in težišča vozila. Včasih je vzrok za bočno prevrnjeno vozilo lahko le močan bočni veter. V Sloveniji imamo težavo predvsem na primorskem z burjo.

Momentni pogoj, da se tovorno vozilo ne prevrne:

$$n * F_v * h_v + p * F_c * h \leq W * t/2 \quad (11)$$

$$F_c = mV^2 / (3,6)^2 R \quad (12)$$

$$n + p = 1, \quad 0 \leq (n, p) \leq 1 \quad (13)$$

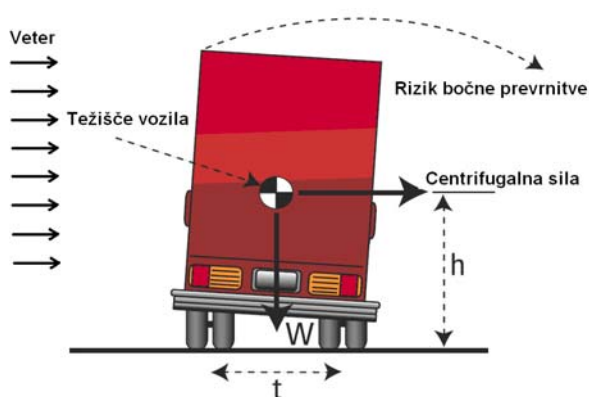
Pogoj za hitrost, da se vozilo ne prevrne:

$$V \leq \sqrt{127 R (e + \mu)}; \quad \mu = t/2h \quad (14)$$

Formula velja za brezveterje. Učinek vetra načeloma ni odvisen od hitrosti vozila.

F_c	centrifugalna sila [N]	R	radij horizontalne krivine [m]
h	ročica centrifugalne sile [m]	e	prečni nagib vozišča [%/100]
F_v	sila vetra (tlak + srk) [N]	μ	bočni torni koeficient [%/100]
h_v	ročica sile vetra [m]	m	masa vozila [kg]
W	sila teže vozila [N]	n	delež momenta vetra [%/100]
t	širina vozila do točke obračanja [m]	p	delež momenta centrifugalne sile [%/100]
V	hitrost vozila [km/h]		

Silo trenja si statično zamislimo v točki in trenutku obračanja kot togo podporo brez omejitve momenta.



Bočno prevračanje vozila (PIARC, str. 335)

6.4 Zavore

Zavore so osnovni parameter zagotavljanja cestne varnosti.

Zavorna naprava ali zavorni sistem je kombinacija delov, katerih naloga je, da postopoma zmanjšujejo hitrost premikajočega se vozila, ga ustavijo ali ga ohranijo v mirujočem stanju.

Sestavljena je iz naprave za upravljanje zavor, prenosnega mehanizma in same zavore.

Naprava za upravljanje je del zavorne naprave, ki jo neposredno aktivira voznik.

Zavora je del zavornega sistema oz. naprave, v katerem se razvijajo sile, ki delujejo v smeri, nasprotni gibanju vozila. Zavora spremeni večino izgubljene energije v povišanje temperature zaradi trenja med zavornimi oblogami in kovino (disk ali boben), majhen del lahko v zvočno energijo. V novejših avtomobilskih tehnologijah se energija, sproščena pri zaviranju, shranjuje kot električna energija v baterijah avtomobila za kasnejšo izrabo. Intenzivno in dolgotrajno zaviranje povzroči pregrevanje zavor, ki drastično zmanjša njihovo učinkovitost. Pregrevanje zavor je odvisno od vzdolžnega nagiba prometnice, hitrosti, kompresije motorja in retarderja ter teže vozila. Pozorni moramo biti tudi na začetno temperaturo zavor, stanje zavornega sistema, prometne razmere, stanje vozišča, površine za kontrolo zavor, odstavnih niš, zasilnih izvozov, voznih navad ipd.

Naloge zavor:

- Zaviranje (zmanjšanje hitrosti)
- Ustavljanje (končna hitrost = 0)
- Preprečevanje premikanja ustavljenega vozila

Zahteve:

- Učinkovitost
- Zanesljivost vseh delov zavornega sistema
- Sinhronizirano zmanjševanje vrtilnega momenta na vseh zavorah vozila
- Hitra reakcija sistema
- Zavorni moment na posameznem kolesu mora biti sorazmeren z obremenitvijo kolesa
- Učinkovit odvod toplotne energije sproščene pri zaviranju
- Stabilen kvocient trenja v vseh razmerah
- Zaščita proti zamastitvi in vlagi
- Tiho delovanje

Zavore so naprave za pretvarjanje kinetične (gibalne) energije s trenjem v notranjo energijo (toploto), zanemarljiv del lahko tudi v zvočno ali celo energijo magnetnega polja.

Predstavljajmo si tovorno vozilo težko 35 ton, s pogonskim motorjem moči 300 kW (400 hp, tj. konjskih sil), ki pospeši vozilo do hitrosti 40 km/h na 250 m. Zavore tega tovornega vozila morajo ustaviti vozilo pri isti hitrosti na razdalji 25 m (povprečni pojemek med $1,8 \text{ m/s}^2$ in $2,0 \text{ m/s}^2$). Potrebna je desetkratna moč pogonskega motorja za zaustavitev vozila (3000kW). Pri pojemku $4,0 \text{ m/s}^2$ bi morala zaviralna moč znašati najmanj 6000kW. S tem želim poudariti pomembnost funkcije in moči zavor.

Poleg dobrih zavor je pomembno imeti tudi dobre pnevmatike, saj zavorna sila pride do učinka šele ob trenju pnevmatike z voziščem.

6.4.1 Vrste zavor

V osnovi ločimo dve vrsti zavor. V enem primeru se proces zaviranja prične s pritiskom na vzvod zavornega sistema, ki aktivira zavoro. Zavora mora biti instalirana na vsakem kolesu, ki opravlja funkcijo kotaljenja. Zavorna sila se preko pnevmatike prenese na vozno površino. V drugem načinu zaviranja se zavorna sila prenaša iz motorja in/ali retarderja preko pogonskih osi, diferenciala, polosi do koles in pnevmatik na vozišče. Ta zavorna sila se lahko prenaša le preko pogonskih koles. Zavorna sila se aktivira zaradi kompresije v motorju, ko spustimo stopalko za gorivo in/ali ob aktiviranju retarderja s strani šoferja.

Zavore delimo tudi na:

- Glavna (delovna) zavora
- Pomožna zavora
- Ročna zavora
- Parkirna zavora
- Trajna zavora

Delovna zavora se uporablja za zmanjševanje hitrosti in zaustavitev vozila. Upravlja jo voznik s pritiskom na vzvod (stopalko) zavorne naprave. Delovna zavora mora delovati na vsa kolesa vozila, ki so v stiku z vozno površino.

Pomožno zavoro se uporablja pri pojavu motenj v delovni zavori. Je zasilna zavora in ni nujno, da deluje z enakim učinkom kot delovna zavora. Pomožna zavora zavira preko pogonske gredi na pogonska kolesa.

Ročna zavora mora zagotavljati mirovanje že mirujočega vozila, ne glede na obremenitev in nagib podlage. Delovna, pomožna in ročna zavora se lahko kombinirajo, ne smejo pa biti vse združene v eni zavori.

Parkirna zavora je naprava za mehansko blokiranje batnice zavornega bata. Parkirna zavora je lahko tudi ročna zavora.

Trajna zavora mora pri vožnji navzdol vzdrževati hitrost vozila na konstantni vrednosti.

Trajna zavora zavira preko pogonske gredi na pogonska kolesa.

Sestavni deli zavornega sistema:

- Zavorni mehanizem oz. zavora, ki je nameščena v kolesu
- Naprave za prenos zavorne sile
- Naprave za upravljanje in krmiljenje
- Naprave za energetska napajanje

6.4.1.1 Zaviranje preko trenja na zavorah

Uveljavljeni sta dve obliki zavor:

- Kolutne (disk) zavora
- Bobnaste zavora

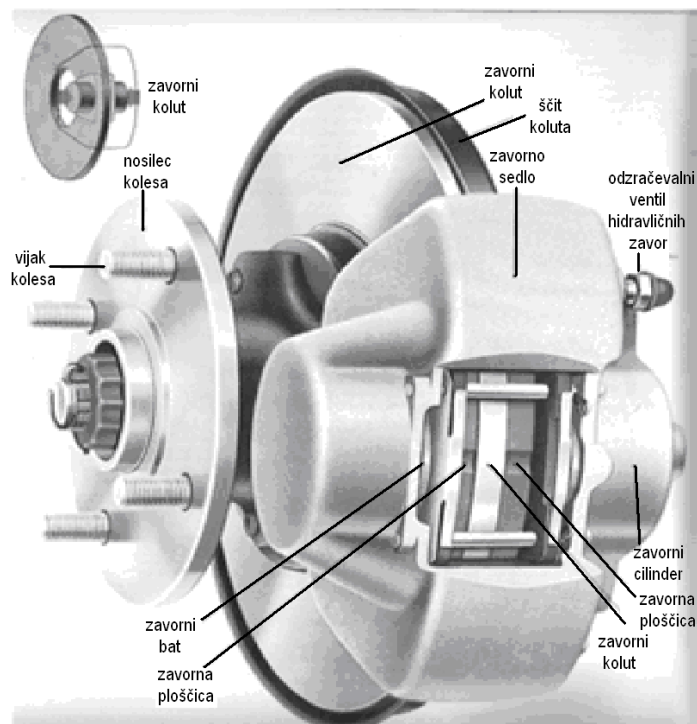
a) Kolutna zavora

Z zavorno oblogo obloženi zavorni ploščici z obeh strani pritiskata na kovinski kolut, ki se vrti skupaj s kolesom.

Lastnosti:

- Ni samozavornega učinka zaradi ravnih površin, zato lažja odmera potrebne sile na vzvodu delavne zavora
- Kolut je izpostavljen nesnagi
- Zapletena namestitvev ročne zavora
- Krajša življenska doba zavornih ploščic v primerjavi z zavornimi čeljustmi
- Velikost in učinkovitost zavora ni povsem omejena z velikostjo kolesa
- Enostavno vzdrževanje in menjava zavornih oblog
- Dobro odvajanje toplote
- Dobre samočistilne lastnosti

Ločimo kolutne zavore s trdnim sedlom in s pomičnim sedlom. Kolutna zavora s trdnim sedlom ima dva zavorna bata s cilindroma, ki pritiskata na zavorno ploščico. Pri pomičnem sedlu je ena ploščica pritrjena na sedlo, na drugo pa pritiska zavorni bat.



Slika 22: Kolutne zavore

b) Bobnasta zavora

S posebno zavorno oblogo obložene polkrožne zavorne čeljusti enakomerno pritiskajo ob notranjost zavornega bobna. Zavorni boben se vrti skupaj s kolesom in je hkrati nosilec kolesa. Zavorni čeljusti in naprave za ustvarjanje natezne sile so nameščeni na nosilec zavore, ki je pritrjena na premi. Preko krmilnega mehanizma se sproži vzvod različne naprave, ki razširi vodila v različni napravi. Vodila pritisnejo na zavorno čeljust. Čeljust pa z zavornima oblogama pritiska na zavorni boben. V primeru, da se avto giblje, pride do strižnih napetosti. Trenje med zavornima oblogama in zavornim bobnom povzroči segrevanje zavornega bobna in oblog.

Lastnosti:

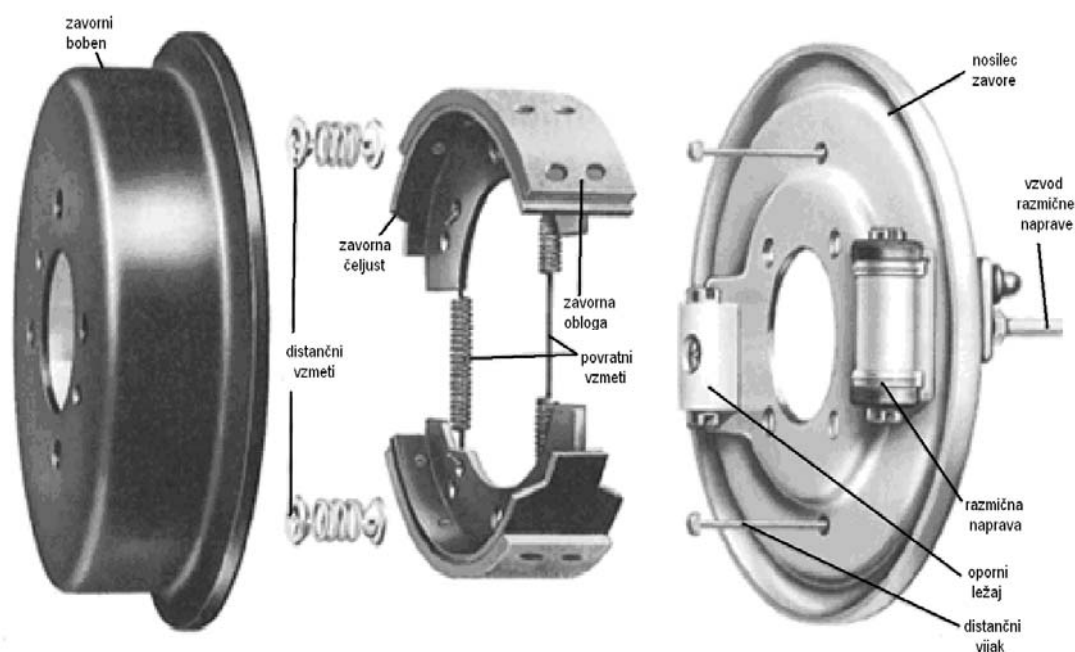
- Velikost zavore je omejena na velikost kolesa
- Zahtevna menjava zvočnih oblog in vzdrževanje
- Slabo odvajanje toplote

- Slabe samočistilne lastnosti
- Velika masa glede na učinkovitost
- Samozavorni učinek (trenje ustvari moment, ki naletno čeljust pritegne k bobnu, zavorni učinek odrivne čeljusti se zmanjša)
- Čeljust zaščitena pred nesnago
- Enostavna namestitev ročne zavore
- Dolga življenska doba zavornih oblog

Bobnaste zavore so primernejše za nizke šasijske vozila v gradbeništvu, ker so robustne in zaščitene pred umazanijo in vlago.

Poznamo več izvedb:

- SIMPLEX: Najenostavnejša izvedba z eno naletno in drugo odrivno čeljustjo in je skoraj brez samozavornega učinka;
- DUPLEX: Ima dve naletni čeljusti, zato tudi dve napravi za razmikanje. Pri vzvratni vožnji čeljusti delujeta kot odrivni čeljusti;
- DVO-SERVO: Izkoriščen je samozavorni učinek ene zavorne čeljusti, vendar sta obe naletni in je zavorni učinek enak v obe smeri vožnje. Od drugih izvedenk je bolj občutljiva na nesnago. Za upravljanje je zadostna že majhna sila. Pogosto se uporablja kot zavorni mehanizem ročne zavore.



Slika 23: Bobnasta zavora

c) Temperatura zavor

Optimalno delovanje zavor je zagotovljeno pri temperaturi 250°C. Do temperature 400°C zavore delujejo z zadostno močjo. Pri 600°C kovina (kolut ali boben) preide v plastično stanje in zavorni učinek je minimalen. Kmalu za tem lahko pride do samovžiga. Zavorne obloge normalno delujejo do temperature 800°C. Zavore so običajno prisilno hlajene, tj. hlajene z zrakom.

d) Zavorne obloge

Zavorne obloge so narejene iz organskih snovi. Zavorna obloga je kompozit sestavljen iz ogljikovih vlaken z infiltriranim silicijem, ki je narejen s postopkom karbonizacije, sintranimi kovinskimi (železo, baker) ali siliciranimi materiali ter tekoče fenol-formaldehidne smole z dodatkom prahu grafita ali koksa.

Zavorne obloge so lepljene na jeklene zavorne ploščice pri kolutnih zavorah. Pri bobnastih zavorah so lahko lepljene ali kovičene na zavorno čeljust.

Zavorne obloge morajo zagotavljati dolgo življensko dobo, stisljivost in strižno odpornost. Biti morajo toplotno odporne, imeti morajo konstanten koeficient trenja na celem toplotnem razponu (od -50°C do 800°C) in drsni hitrosti. Koeficient trenja zavornih oblog je 0,4.

e) Zavorna kolut, boben

Zavorna kolut in boben morata imeti visoko odpornost na obrabo in morata dobro odvajati toploto.

Zavorna kolut je navadno iz jekla z veliko vsebnostjo aluminija z dodanimi keramičnimi delci (silicij). V športnih avtomobilih visokega razreda in v vrhunskem avto-moto športu so v uporabi tudi keramične zavorne kolute, ki prenesejo veliko višje temperature. Hlajenje je izključno zračno. Zavorna kolut je, za boljše hlajenje, lahko naluknjana ali sestavljena iz dveh koluti z vmesnim prostorom (dvokrožne kolutne zavore).

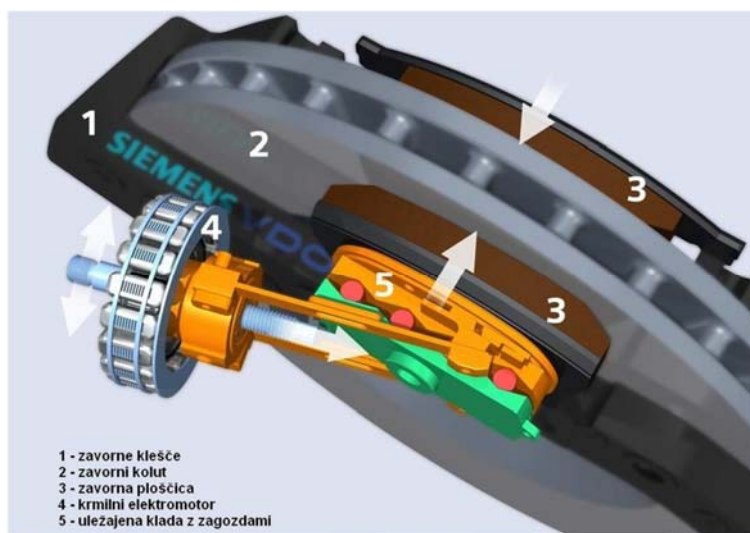
Zavorni boben je iz sive litine ali sive litine z grafitnimi zrnci.

f) Naprave za prenos zavorne sile

Zavorna sila se lahko prenaša:

- **Mehansko:** Upravljanje so preko jeklene žice. Običajno so to ročne zavore pri osebnih avtomobilih ali delovne zavore na biciklu ali motornem kolesu.

- **Hidravlično:** Medij za prenos sile je zavorna tekočina, ki je nestisljiva. Tekočina je v zavornem tokokrogu, na začetku katerega je glavni zavorni valj, na katerega učinkuje zavorna sila voznika. Ob povečanem pritisku zavorna tekočina učinkuje na zavorne valje (cilindre) na vsaki od zavornih naprav na kolesih.
- **Pnevmatsko:** Delujejo lahko na stisnjen zrak. Zavorno silo ustvarja zunanja sila, ki je konzervirana v posodi. Voznik z delavno zavoro aktivira ventil konzervirne posode. Tovrstno vzmetenje je v uporabi pri težkih tovornih vozilih (nad 16 ton skupne teže). Na isti pnevmatski vod so lahko priključene tudi druge naprave, kot so valji za upravljanje motorne zavore ali zračno vzmetenje.
- **Električno:** Ukaz o zaviranju pride od voznika preko električne žice do krmilnega elektromotorja, ki električni impulz spremeni v potisno silo. V odvisnosti od izmerjenih vrednosti o sili na zavori, ki se odčitajo več stokrat na sekundo, položaju zagozde in vrtenju posameznega kolesa, potisne elektromotor zagozdo v željeno lego, ki posledično pritisne na zavorno klado. Električni prenos zavorne sile še ni uveljavljen v avtomobilski industriji, razen električnega prenosa zavorne sile v bobnastih zavorah. Električne bobnaste zavore so rezervirane predvsem za prikolice. Prvič so sistem uporabili leta 1998 na vojaškem letalu F-16.



Električne zavore (Avtomobilizem.com)

- **Kombinirano:** Uporabljajo se na vozilih teže od 8 ton do 15 ton. Največkrat je to kombinacija hidravličnih in zračnih zavornih prenosov. Za manjše delavne stroje tudi kombinacija mehanskih in hidravličnih zavornih prenosov.

Servo ojačevalnik zavorne sile je naprava, ki poveča potisno silo noge voznika pri hidravličnem ali pnevmatskem prenosu zavorne sile.

g) Zavorni sistemi na vozilih brez lastnega pogona (prikolicah)

Tudi kolesa priklopnikov in polpriklopnikov morajo imeti vgrajene zavorne mehanizme. Za vlečena vozila (prikolice) težkih tovornih vozil je racionalna uporaba pnevmatskih zavornih naprav za prenos zavorne sile, saj lahko delujejo preko centralne konzervirne posode na vlečnem vozilu (traktor).

Prikolice so lahko opremljene tudi s hidravličnim prenosom zavorne sile, ki morajo biti prav tako povezane prek ventila z vlečnim vozilom.

Razen pri osebnih vozilih in vlečnih tovornih vozilih je električni prenos zavorne sile relativno dobro uveljavljen pri prikolicah. Gre le za bobnaste električne zavore.

Pri prikolicah z osjo (-mi) za težiščem, ki se pripnejo na vlečno kljuko (imenovane tandem prikolice), se lahko uporablja naletni zavorni sistem. Gre za vzmetne zavore, katerim energijo, potrebno za zaviranje, dobavlja ena ali več vzmeti, ki delujejo kot akumulator energije. Naletna naprava je sklop sestavnih delov za upravljanje zavore, vključno z vlečno glavo. Ko vlečno vozilo zavre, se sproži naletni mehanizem v naletni napravi, ki mehansko ali preko hidravlike sproži zavorne (-i) naprave (-i) v kolesih prikolice. Prikolice morajo biti opremljene tudi s parkirno zavoro.

Pomembno je, da so tako osi vlečnega vozila, kot tudi osi prikolice enakomerno obremenjene. Z enakomerno obremenitvijo zmanjšamo možnost zdrsa kolesa na spolzki podlagi.

V slučaju, da se prikolica odpne od vlečnega vozila, mora takoj začeti samodejno zavirati.



Slika 24: Mehanski naletni zavorni sistem za tandem prikolice

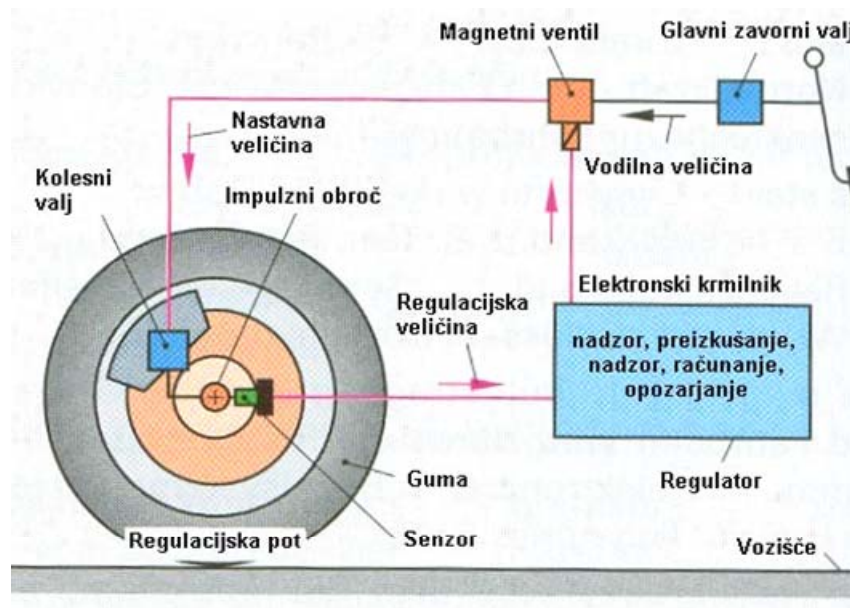
h) Elektronski sistem nadzora zdrsa koles

Inteligentni sistemi v vozilih so nam lahko v veliko pomoč pri nadzoru delovanja vozila. Sistemi zaznavajo nepravilnosti preko senzorjev. V kritičnih trenutkih sistem posreduje preko zavor in/ali omeji dotok goriva v pogonski motor.

Za nadzor stabilnosti vozila nam pomagajo:

- protiblokirni zavorni sistem – ABS (*Anti-lock Braking Sistem*)

Senzor vrtilne frekvence meri hitrost koles in podatke pošiljajo elektronski krmilni enoti, ki neprestano določa referenčno hitrost (hitrost pri najboljšem oprijemu) in jo primerja z kolesno hitrostjo in tako določa pospeške in pojemke koles ter izračunava spodrsavanje. Ob nevarnosti večjega spodrsavanja magnetni ventil regulira zavorno silo na vrednosti, ki še zagotavlja kotaljenje kolesa. Krmilni proces se ponovi od 6 do 10-krat na sekundo.



Princip delovanja protiblokirnega zavornega sistema (Strojna šola Ptuj)

- sistem proti zdrsu pogonskih koles – ASC (*Automatic Stability Control*)
Sistem preprečuje zdrs pogonskih koles pri naglem pospeševanju.
- elektronski nadzor stabilnosti vozila – ESC (*Electronic Stability Control*), tudi DSC (*Dynamic Stability Control*), VSA (*Vehicle Stability Assist*), VSC (*Vehicle Stability Control*). Sistem z elektronskim poseganjem v zavore in delovanje motorja zmanjšuje nevarnost bočnega zdrsa vozila.

6.4.1.2 Zaviranje preko pogonske osi

Zaviranje preko pogonske osi imenujemo trajna zavora. Trajno zavoro predstavljata retarder in motorni pojemek zaradi kompresije motorja. Motor samodejno zavira, če ni odprt dovod goriva v delovni prostor motorja. Zaradi večje kompresije je to bolj očitno pri dizelskih motorjih. Motorna zavora je učinkovitejša pri višjih obratih motorja (pri enaki hitrosti je potrebna nižja prestava). Motorna zavora 16-litrskega V8 dizel motorja zmore lahko tudi 300 kW (do 90 % moči motorja) pri 2300 obratov na minuto (visoki obrati za motor tovornega vozila). Poraba goriva se zaradi višjih obratov motorja ne poveča, saj takrat vbrizgalna glava dizelskega motorja ne vbrizgava goriva. Motorne zavore so, zaradi visokih obratov motorja, zelo glasne.

Pravo prestavno razmerje na spustu za tovorno vozilo je tisto, s katerim zvozi spust brez uporabe zavor. Zavira le preko pogonskih koles, tj. z motorjem ali/in retarderjem. Če hitrost še vseeno narašča, je potrebno močneje zavreti vozilo z delavno zavoro, da vozilo izgubi hitrost za 10 km/h do 15 km/h. Nato je potrebno prestaviti v nižjo prestavo (višje prestavno razmerje). Ker so zavore obremenjene le kratek čas in za manjšo razliko hitrosti, še ni bojazni za pregretje zavor.

Zavorna moč retarderja znaša lahko tudi dvojno moč pogonskega motorja. Retarder zavira preko pogonskega mehanizma motorja do pogonskih koles vozila, ki s trenjem prenaša zavorno silo na vozno podlago. Ker zaviralna sila retarderja deluje le na pogonska kolesa, lahko pride do pomanjkanja kotalnega trenja in posledično do učinka žepnega noža pri vlačilcih s priklopnikom. Z retarderjem in motorjem se lahko izvede 80 % vseh zaviranj.

Glede na način pridobivanja zavorne sile lahko retarderje delimo na:

- Izpušna zavora
- Hidravlični
- Elektromagnetni

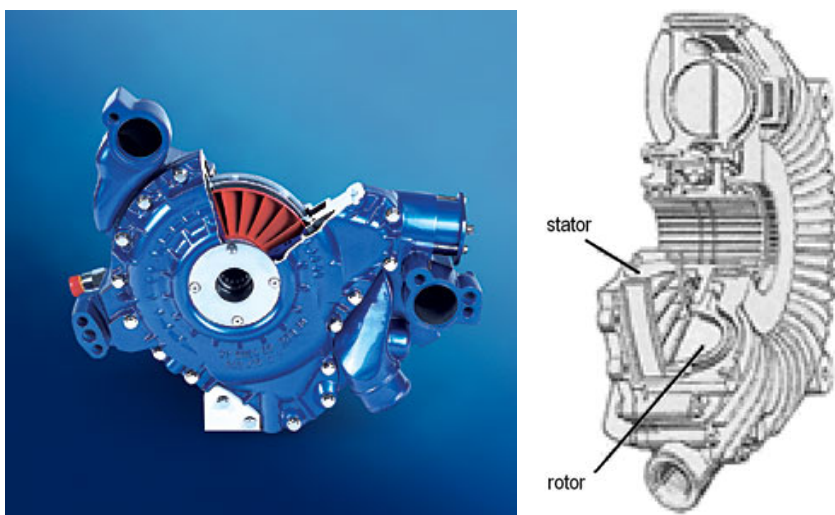
a) Izpušna zavora

Starejši sistem retarderske zavore, ki pri zaviranju zapre izpušni sistem pogonskega motorja. Retarder v tem primeru je sam pogonski motor, ki deluje kot kompresor. V pogonskem motorju nastanejo veliki tlaki, ki zavirajo tovorno vozilo. Izpušna zavora dolgoročno škoduje pogonskemu motorju, zaradi velikih tlakov se hitreje obrabljajo vitalni deli motorja, hkrati se v delavnem prostoru pogonskega motorja zadržujejo izpušni plini, ki zaradi velikih tlakov

lahko preidejo v stik z motornim oljem in ga kontaminirajo. Moč tovrstnega zaviranja je manjši od drugih retarderskih sistemov.

b) Hidravlični ali turbo retarder

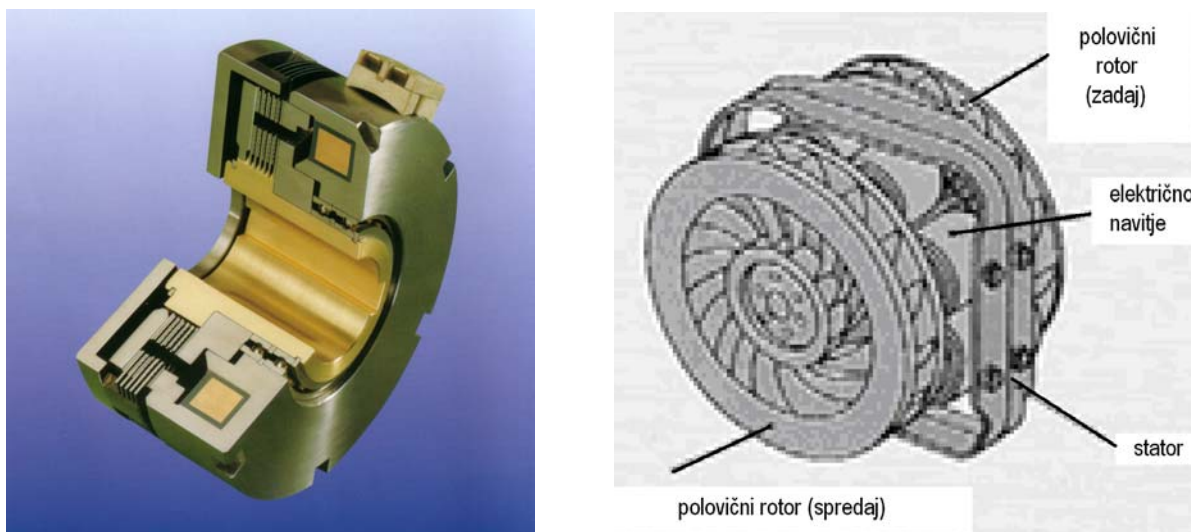
Retarder lahko zaviralno silo pridobi z viskoznim tekočinskim trenjem med statorjem in rotorjem v samem retarderju. Rotor, ki ga poganja kardanska gred, pospešuje gibanje tekočine, ki pa je v statorju zadrževanja. Zaradi vrtnčenja tekočine se zavira vrtenje rotorja in posledično se preko trenja koles z voziščem zmanjšuje hitrost vozila. Poznamo več vrst hidravličnih retarderjev. Torna tekočina je lahko olje ali voda, ki se v tokokrogu zaradi pregrevanja hladi preko hladilnega sistema. Hidravlični retarder je lahko vgrajen v sklop motorja ali menjalnika. Hidravlični retarderji so izredno tihe in močne naprave.



Slika 25: Hidravlični retarder

c) Elektromagnetni retarder

S pomočjo elektromagnetne indukcije ustvarja silo zaviranja. Vgraditi ga je mogoče na pogonski motor, menjalnik ali kjerkoli na pogonski osi. Elektromagnetni retarder nima stičnih površin, tudi ne torne tekočine. Rotor ali dva polovična rotorja se vrtita v elektromagnetnem polju, ki je krmiljen preko električnega navitja, napajanega iz baterije vozila. Nastali vrtnčni tokovi zavirajo rotor oz. polovična rotorja.



Slika 26: Elektromagnetni retarder z rotorjem in elektromagnetni retarder z dvema polovičnima rotorjema

6.4.2 Zavorne razdalje in časi

Pregledna razdalja je razdalja, ki mora biti zagotovljena na vsakem delu cestnega odseka, ki je vidna vozniku iz voznega položaja.

Za ustavljanje vozila na poledenelem ali zasneženem vozišču je potrebno le rahlo pritiskanje delovne zavore. Torej z majhno zavorno silo. Tako preprečimo zdrsa koles na cestišču. Nadziranje zdrsa koles nam omogočajo tudi elektronski sistemi v vozilu, kot so ABS, ASC in ESP. Uporaba zimskih pnevmatik v zimskem času in na poledenelem cestišču, ter snežnih verig na zasneženem cestišču pripomore h krajši zavorni razdalji. Z uporabo pravilno izbranih pnevmatik zvišamo koeficient trenja z voziščem. Na zasneženem vozišču so zelo koristne še snežne verige, zlasti za premagovanje vzponov. Na normalno prevoznem vozišču pa verige poslabšajo situacijo.

6.4.2.1 Stop pregledna razdalja (*Stopping Sight Distance*)

Za zaustavitev vozila mora voznik zaznati, pomisliti, ukrepati, zavirati. V času, ki je potreben za te procese, vozilo prepotuje razdaljo, ki je odvisna od hitrosti vozila.

Stop pregledna razdalja (*Stopping Sight Distance*), tudi skupna zavorna razdalja ali zaustavitvena razdalja, je razdalja, ki jo vozilo prevozi pri projektni hitrosti od trenutka, ko voznik zazna tveganje, pomisli in se odloči za zaviranje, prestavi nogo na stopalko delovne zavore ter pritiska nanjo dokler se vozilo ne ustavi.

Pravilnik za projektiranje cest definira zaustavno razdaljo kot najkrajšo dolžino, na kateri lahko voznik na mokrem in čistem vozišču zaustavi vozilo. Odvisna je od vozne hitrosti, reakcijskega časa voznika, vzdolžnega nagiba ceste in funkcijsko odvisne dopustne vrednosti koeficienta drsnega trenja ter zračnega upora.

Zaustavno razdaljo lahko tudi izrazimo s časom, ki je potreben za vse procese ustavljanja.

Skupni zavorni čas ali zaustavni čas je čas, ki je potreben za zaznavanje, dojetje, odločanje, reagiranje oz. aktiviranje zavornega mehanizma. Šele nato začne vozilo zavirati. Povprečen voznik porabi za zaznavanje, dojetje in odločanje 0,75 sekunde in prav toliko za reagiranje. Ta čas lahko imenujemo **reakcijski čas** (*Perception-Reaction Time*). Realni časi do pritiska na stopalko zavore znašajo od 0,60 (rally vozniki) do 3,00 sekunde (starejši in/ali utrujeni vozniki). Po zadnjih raziskavah je ta čas 1,90 sekunde. Na velikost reakcijskega časa vpliva tudi zgoščenost prometa na cesti, čeprav se tega parametra pri načrtovanju cest ne upošteva.

Reakcijskemu času pripada **vidna razdalja** (*Sight Distance*), ki si jo lahko predstavljamo kot varnostno razdaljo med vozili v koloni. Voznik, ki je opozorjen na nevarnost, ima za tretjino krajši čas do zaviranja. Čas, potreben za ustavitev vozila od aktivacije zavor, je odvisen od hitrosti in pojemka vozila, posredno pa tudi od sistema zaviranja (ABS), geometrije vozišča, stanja vozišča (suho, mokro, mastno, uničeno, zglajeno ...). Računski pojemek osebnih vozil je ocenjen na $3,4 \text{ m/s}^2$ (brez ABS in na mokrem čistem vozišču, imenovan tudi normalni pojemek), izredni pojemek $4,5 \text{ m/s}^2$, maksimalen tudi do $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Formula povprečnega polnega pojemka:
$$a_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92(\Delta L_e - \Delta L_b)} - \frac{g s}{100} \quad (\text{TSV} - 301, \text{ str. } 8)$$

a_m povprečni polni pojemek [m/s^2]

V_1 začetna hitrost vozila, tik pred aktivacijo zavore [km/h]

V_b hitrost $0,8 V_1$ [km/h]

V_e hitrost $0,1 V_1$ [km/h]

ΔL_b razdalja prevožena med V_1 in V_b [m]

ΔL_e razdalja prevožena med V_1 in V_e [m]

g gravitacijski pospešek [9.81 m/s^2]

s vzdolžni nagib cestišča [%]

S povprečnim polnim pojemkom oz. na zavorni poti se meri učinek, ki je predpisan za posamezne zavorne sisteme.

Tovorna vozila lahko zavirajo z maksimalnim pojemkom do $7,0 \text{ m/s}^2$, čeprav so večja in težja od osebnih vozil. Povprečni pojemek pri aktivnem zaviranju je lahko tudi pol manjši kot pri osebnih vozilih. Možne so težave s tovorom in učinkom žepnega noža (glej poglavje 6.3.3) pri sestavljenih konfiguracijah, zato je povprečni pojemek tovornega vozila manjši od osebnih vozil. Zaradi manjšega pojemka bi morala biti stop pregledna razdalja za tovorna vozila daljša (do 5 sekund), vendar se deloma kompenzira z boljšo preglednostjo voznika tovornega vozila, horizontalna preglednost pa nemalokrat ostaja ista kot za osebna vozila (strme brežine, zidovi, stavbe). Predpostavlja se, da so šoferji tovornih vozil bolj izkušeni vozniki od povprečnega voznika osebnega vozila in zato hitreje zaznajo potencialno nevarnost.

Pri vozilih z zračnimi zavorami (gre predvsem za tovorna vozila in avtobuse) pride do dodatnega časovnega zamika v sistemu zaviranja (*Brake Lag Time*), ocenjenega na 0.40 sekunde. Do časovnega zamika pride od časa, ko voznik pritisne na stopalko delovne zavore, do pričetka trenja na zavori (kolut ali boben).

Formule za izračun stop pregledne razdalje (L_{SPR}):

1. Na osnovi trenjskega faktorja pri kotaljenju koles oz. kotalnega upora:

$$L_{SPR} = 0,278 V t + \frac{V^2}{254 f} \quad (\text{Bureau of Local Roads \& Streets, Ch. 28, Sight Distance})$$

Vzačetna hitrost vozila [km/h]

t čas [s]

f faktor trenja pri kotalnem uporu izražen kot % vzdolžnega nagiba /100

Formula velja za izračun zavorne dolžine samo v primeru, da je pojemek manjši kot ga omogoča trenjski koeficient. V nekoliko drugačni obliki je napisana v poglavju 6.4.2.5, ki je povzeta po AASHTO in se tudi uporablja za izračun dolžine zasilnega izvoza.

2. Na osnovi pojemka a :

$$L_{SPR} = 0,278 V t + \frac{0,039 V^2}{a} \quad (15)$$

a pojemek [m/s^2]

Preglednica 4: Stop pregledna razdalja izračunana na osnovi pojemka ($t = 2,5s$, $a = 3,4m/s^2$, $s = \pm 0$ (AASHTO))

projektna hitrost (km/h)	vidna razdalja (m)	zavorna razdalja (m)	projektna stop pregledna razdalja (m)
30	20.9	10.3	35
40	27.8	18.4	50
50	34.8	28.7	65
60	41.7	41.3	85
70	48.7	56.2	105
80	55.6	73.4	130
90	62.6	92.9	160
100	69.5	114.7	185
110	76.5	138.9	220
120	83.4	165.2	250

3. Z upoštevanim vzdolžnim nagibom:

$$L_{SPR} = 0,278 V t + \frac{V^2}{254(x \pm s/100)}$$

s vzdolžni nagib vozišča [%]

x spremenljivka: - za račun s faktorjem trenja: $x = f$

- za račun s pojemkom: $x = \left(\frac{a}{g}\right)$

g gravitacijski zemeljski pospešek = $9,81 \text{ m/s}^2$

4. Z upoštevanjem horizontalnih krivin:

$$L_{SPR} = 0,278 V t + \frac{V^2}{254 \left[\sqrt{x^2 - \left(\frac{V^2}{127R} - \frac{q}{100}\right)^2} \pm \frac{s}{100} \right]} \quad (16)$$

R radij horizontalne krivine [m]

q prečni nagib vozišča [%]

Prvi del enačbe predstavlja vidna razdalja oz. razdalja prevožena pred začetkom zaviranja, drugi del pa razdalja, potrebna za zaviranje. V prvi in drugi enačbi ni upoštevan vzdolžni nagib vozišča oz. je enak nič. Pojemek se računa na vzdolžnem nagibu enakem nič.

Pregledna razdalja iz Pravilnika o projektiranju cest z upoštevanimi vzdolžnimi nagibi vozišča glede na dopustno velikost koeficienta trenja

nagib nivelete %	projektna hitrost [km/h]										
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	stop pregledna ali zaustavitvena razdalja [m]										
-12	25	37	55	75	110	140	180	240	287	345	420
-8	23	35	50	68	97	125	165	210	257	310	390
-4	21	32	47	63	87	113	145	185	230	280	350
±0	20	30	45	60	80	105	130	165	205	250	315
4	20	29	43	57	76	100	122	156	195	235	285
8	19	28	40	53	71	96	112	144	180	225	260
12	17	27	37	49	64	87	100	130	160	215	240

6.4.2.2 Odločitvena pregledna razdalja (*Decision Sight Distance*)

Odločitvena pregledna razdalja je razdalja, potrebna, da voznik zazna neobičajen pojav, prepozna njegovo nevarnost in se z manevrom varno in uspešno izogne tveganju. Določena je z velikostjo ovire in višino voznikovega očesa, podobno kot stop pregledna razdalja.

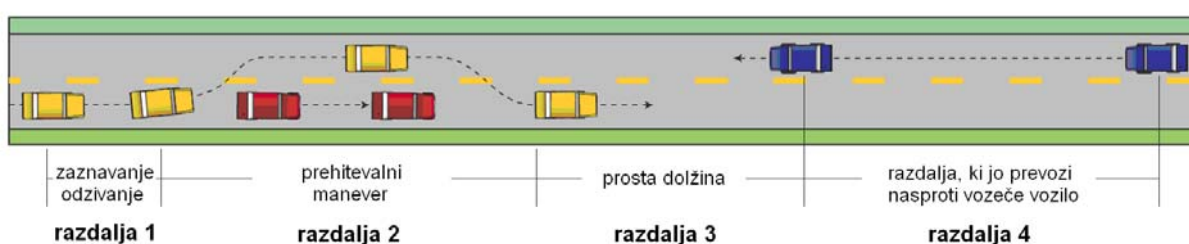
Včasih v prometu pride do nepredvidenega ali neobičajnega dogodka, za katerega za odločitev o ukrepu voznik rabi dalj časa. Neobičajen dogodek je lahko zaustavitev ali izogib na prometnici zaradi nenadne zgojitve prometa na mestnih vpadnicah ali spremljanje prometnih znakov in manevriranje na ustrezni vozni pas. Razpon odločitvenega časa se giblje od 3 do 15 sekund.

6.4.2.3 Prehitevalna vidna razdalja (*Passing Sight Distance*)

O prehitevalni vidni razdalji je smiselno govoriti za dvopasovne ceste z nasprotnim prometom. Na takih cestah eno vozilo prehti drugo le po voznem pasu z nasprotnim prometom. Prehitevalna vidna razdalja je sestavljen iz štirih razdalj:

- Razdalja, potrebna za zaznavanje in odziv (gledanje, odločitev, reagiranje – morebitno prestavljanje v nižjo prestavo in pritiskanje stopalke za gorivo)

- Razdalja, potrebna za vožnjo mimo prehitevanega vozila (manevriranje na nasprotni vozni pas, sočasno pospeševanje, manevriranje na desni vozni pas – pravilni pas za smer vožnje)
- Prosta dolžina je razdalja med prehitevalnim vozilom, ki zapelje na desni vozni pas in vozilom, ki pelje nasproti po svojem voznem pasu. Teoretično je lahko prosta dolžina enaka nič.
- Razdalja, ki jo prevozi nasproti vozeče vozilo od časa začetka razdalje za zaznavanje in odzivanje.



Shema dolžine prehitevalne vidne razdalje (PIARC, str. 396)

Razdalje so odvisne od hitrosti vseh treh vozil, pospeška prehitevalnega vozila in časa za zaznavanje in odzivanje. Dolžina prehitevalne vidne razdalje je odvisna od višine oči voznika. Višina voznikovih oči v osebnem vozilu je 108 cm (po Pravilniku za projektiranje cest za vertikalno preglednost 100 cm) ter 233 cm za težka tovorna vozila. Za tako višino mora biti zagotovljena preglednost vsake prometnice. Na območjih možnega prehitevanja po nasprotnem voznem pasu pa prehitevalna vidna razdalja, ki je določena iz vidne višine voznika do višine osebnega vozila, ki je ocenjen na isto višino 108 cm (100 cm po Pravilniku za projektiranje cest).

Preglednica 5: Prehitevalna vidna razdalja

projektna hitrost (km/h)	prehitevalna vidna razdalja (m) po PIARC	prehitevalna vidna razdalja (m) po SLO Pravilniku
30	200	-
40	270	-
50	345	330
60	410	380
70	485	450
80	540	520
90	615	600
100	670	680

6.4.2.4 Pregledno polje pri uvozu v križišče (*Intersection Sight Distance*)

Pregledna polja predstavljajo namišljeni trikotniki na območjih križanja prometnic, na katerih mora biti zagotovljena preglednost za varno vključevanje na drugo prometnico.

6.4.2.5 Zaustavna razdalja pobeglega tovornega vozila

Zaustavna razdalja na zasilnem izvozu ni odvisna od šoferja vozila, če predpostavimo, da ni možna nikakršna aktivacija zaviralne sile. Naloga voznika je, da izbere zasilni izvoz oz. ga poskuša ustaviti v obcestnem prostoru (trenje ob obcestne zidove, jeklene varnostne ograje, ipd.). Na zasilnem izvozu je zaustavna razdalja odvisna predvsem od hitrosti vozila, vzdolžnega nagiba, dolžine in vozne podlage zasilnega izvoza oz. zaustavnega bazena.

Če je zasilni izvoz v premii, velja naslednja formula za zaustavno razdaljo zasilnega izvoza:

$$L = \frac{V^2}{254(x \pm s/100)} \quad (\text{AASHTO str. 226})$$

Ldolžina zasilnega izvoza oz. zaustavnega bazena [m]

Vhitrost vozila ob vstopu na zasilni izvoz s konstantnim vzdolžnim nagibom oz. zaustavni bazen [km/h]

svzdolžni nagib vozišča [%]

x spremenljivka: - za račun s faktorjem trenja: $x = f$

- za račun s pojemkom: $x = \left(\frac{a}{g} \right)$

g gravitacijski zemeljski pospešek = $9,81 \text{ m/s}^2$

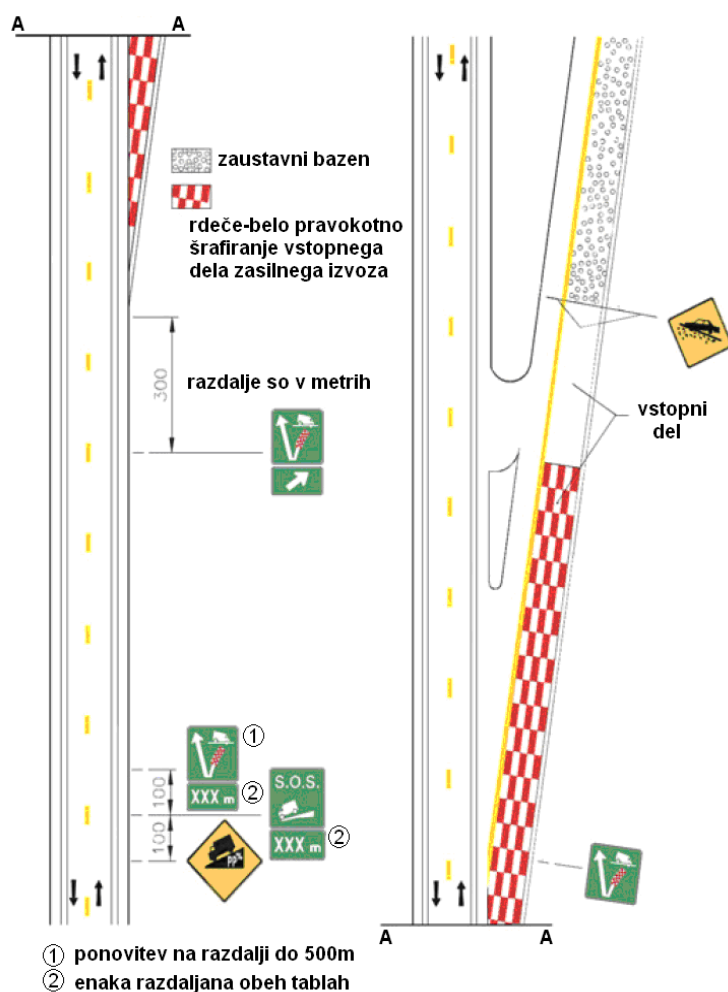
Faktor trenja in pojemek sta odvisna od vozne površine. Pojemek se računa na vzdolžnem nagibu enakem nič.

7 NAPRAVE ZA UPRAVLJANJE PROMETA

Med naprave za upravljanje prometa spadajo vertikalna, horizontalna signalizacija in inteligentni sistemi, ki so del cestnega inventarja ali pa vgrajeni v vozilo. Kvalitetna signalizacija za zasilni izvoz je bistvenega pomena za varno in pravočasno informiranje morebitnih uporabnikov zasilnega izvoza.

7.1 Horizontalna signalizacija

V izogib nenamenski uporabi zasilnega izvoza (parkiranje, počivanje ...) je zaželeno asfaltirani del zasilnega izvoza šrafirati. Zaželeno je tudi šrafura zaustavnega bazena, vendar material za šrafiranje ne sme poslabšati karakteristik zaustavnega medija. Smiselna bi bila vgradnja rdečih svetilnih teles v asfalt, kot vodilo na zasilni izvoz, v primeru prehitre vožnje tovornega vozila, ki bi jo zaznal statični radar vezan na ITS.



Primer označitve zasilnega izvoza (PIARC, str. 364)

7.2 Vertikalna signalizacija

Z vertikalno signalizacijo obveščamo potencialne uporabnike na možnost uporabe zasilnega izvoza, ko že imajo težave z zaviranjem, jih seznaniti s potekom trase, strmimi spusti in nevarnostjo pregretja zavor. Obvestiti je potrebno tudi druge udeležence v prometu o namenu objekta in nevarnosti oz. prepovedi zadrževanja na objektu.

7.2.1 Prometni znaki in table

Znamenja in napisi na signalizaciji morajo biti jasni in nedvoumni. Prevelika količina prometnih znakov ali tabel lahko prezaposli ali zmede voznike. Posebne table, z manjšimi napisi in natančnejšimi opisi, se nahajajo na odstavnem pasu za preverjanje zavor, kjer si šofer vzame več časa, da se pouči o poteku in nagibu trase. Podobna tabla je nameščena tudi na samem zasilnem izvozu. Ta tabla vsebuje okvirna navodila za varen izvlek zaustavljenega vozila.

7.2.1.1 Slike prometnih znakov in tabel uporabljenih v tujini



Slika 27: Prometne table za obveščanje o odstavnem pasu za preverjanje zavor



Slika 28: Prometne table za seznanjanje šoferjev tovornih vozil o poteku in nagibu trase



Slika 29: Prometne table in znaki za priporočanje in omejevanje hitrosti pred strmimi spusti



Slika 30: Prometni znaki za nevaren klanec navzdol



Slika 31: Obveščanje voznikov o nagibu in dolžini spusta



Slika 32: Obveščanje voznikov o zasilnem izvozu



Slika 33: Obveščanje udeležencev v prometu o možnosti naleta tovornega vozila



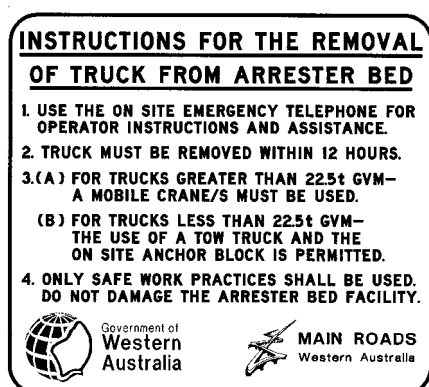
Slika 34: Prometne table na lokaciji zasilnega izvoza



Slika 35: Znak za prepovedano ustavljanje in parkiranje na območju uvoza na zasilni izvoz.



Slika 36: Dopolnilne table o vrsti zaustavnega bazena (pesek, gramoz, asfalt oz. beton)

Tabla za navodili za odstranjevanje ustavljenega vozila (ob servisni poti zasilnega izvoza)
(RPDM, Ch.15)

7.2.2 Varnostne ograje in smerniki (oprema za vodenje prometa)

Varnostne ograje in smerniki služijo za optično vodenje vozil in omogočajo vozniku boljši pregled nad robom cestišča ter nakazujejo smer poteka ceste. Smerniki, jeklene varnostne ograje in betonske varnostne ograje so opremljeni s svetlobnimi odsevniki. Odsevniki so rdeče barve na desni strani cestišča in bele na levi strani vozišča. Ameriški predpis za zasilne izvoze določa rdeče odsevnike na obeh straneh zasilnega izvoza.

Varnostne ograje preprečujejo zlet vozila iz ceste ali prehod vozila na nasprotno smerno vozišče oz. zadržijo vozila, ki nenadzorovano spremenijo smer vožnje iz smeri vozišča in jih obdržijo na smernem vozišču. S tem preprečujejo oz. zmanjšujejo poškodbe potnikov oz. oseb in objektov ob vozišču.

Smerniki v vertikalni smeri označujejo promet z odsevniki. Smernik ima funkcijo nosilca odsevnika (-ov), hkrati je obarvan s kontrastnima barvama (bel steber s črno kapo) za dobro dnevno vidnost. Na kratki razdalji omogočajo boljši pregled nad robom ceste, na večji oddaljenosti pa nakazujejo smer poteka ceste. Uporabljajo se tipski smerniki. Postavitev smernikov oz. odsevnikov na varnostnih ograjah je določena v Pravilniku o prometni signalizaciji in prometni opremi na javnih cestah. Razdalje med smerniki oz. odsevniki v slovenskem Pravilniku niso določene, zato je v uporabi še dodatek JUS standardu, ki določa razdalje med odsevniki. Razdalje so odvisne od horizontalnega in vertikalnega radija trase in od pogostosti megle. Razdalje se gibljejo od 4 m do 48 m. Ameriške smernice določajo razdaljo odsevnikov na zasilnem izvozu na 15 m, da je jasno viden uvoz. Vzdolž zasilnega izvoza lahko tudi na 30 m, odvisno od dolžine zasilnega izvoza. Menim, da bi bilo potrebno razdalje med odsevniki uskladiti z razdaljami odsevnikov na prometnici postopoma, da ne bi odsevniki na zasilnem izvozu zavajali uporabnike prometnice o njenem poteku.

Za boljšo preglednost ameriške smernice omenjajo tudi osvetljevanje zasilnega izvoza v nočnem času. Zasilni izvozi naj bi bili osvetljeni z usmerjenimi snopi svetlobe iz klasičnih uličnih svetilk. Osvetljen zasilni izvoz lahko zavaja voznike o poteku trase ceste, zato je potrebno ob osvetljenem zasilnem izvozu osvetliti tudi del prometnice ob zasilnem izvozu.

7.3 Inteligentni transportni sistemi in storitve

Napredne sisteme za obveščanje, nadzor in alarmiranje v cestnem prometu imenujemo tudi ITS (*intelligent transport systems and services*) oz. inteligentni transportni sistemi. Cilj ITS je predvsem boljša obveščenost voznikov. ITS je predvsem omejen na cestno telo in nadzorno

postajo, kjer z njim osebje upravlja. Informacijo iz nadzorne postaje navadno upravljavec posreduje na cestni portal. Poznamo pa tudi drugačne načine obveščanja npr.: preko radijskih valov, interneta, telefona, GPS navigacije. Tudi pri slednjih je lahko posrednik informacij ITS, vendar je njegova primarna naloga obveščanje preko cestnih portalov in svetlobne signalizacije (semaforji, prometnimi znaki s spremenljivo vsebino).

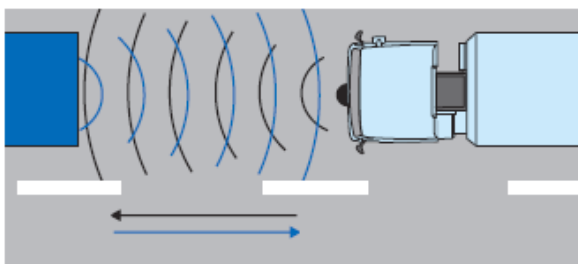
Inteligentni transportni sistemi preko obveščanja posredno povečuje varnost in prepustnost prometa na cesti.

Sistemi za posredovanje priporočenih hitrosti so del ITS-a, ki obveščajo šoferja tovornega vozila preko cestnega portala ali prometnega znaka s spremenljivo vsebino. Sistem zazna hitrost vozila preko videodetekcijskih kamer ali indukcijskih zank v asfaltu vozišča in težo preko povoznih tehtnic. Odzove se na posamezno tovorno vozilo. Upošteva več parametrov, kot so hitrost, pojemek, teža, krivine trase, prečni nagib vozišča in ugotavlja primernost hitrosti vozila. Sistem procesira podatke in vizualno alarmira voznika, če vozi prehitro. Voznike tovornih vozil obvešča o hitrosti, nujnosti uporabe oz. zasedenosti zasilnega izvoza. Analiza podatkov treh nevarnih odsekov v ZDA, kjer so sistem testirali, je pokazala povprečno zmanjšanje hitrosti tovornih vozil za 13 km/h ter znatno zmanjšanje števila prometnih nesreč in uporabe zasilnih izvozov. Sistem bi lahko nadgradili tudi z občestnimi senzorji pregretih zavor.

Inteligentni sistemi v vozilu imajo še veliko potenciala za razvoj. Predstavljajo veliko možnosti za izboljšanje varnosti in pretočnosti v cestnem prometu.

Možnosti za izboljšanje varnosti tovornega prometa in drugih udeležencev:

- Protinaletni sistem: Osnova so senzorji za merjenje razdalje, ki časovno merijo oddaljenost od vozila spredaj. Senzorji delujejo na principu ultrazvočnega ali elektromagnetnega valovanja. Prehitro približevanje objektu sproži alarm ali pa začne samodejno zavirati. V kombinaciji s tempomatom (radarski tempomat) predstavlja olajšanje šoferskemu delu. Protinaletni sistem je že na voljo kot dodatna oprema v boljših tovornjakih in osebnih vozilih višjega cenovnega razreda.



Protinaletni sistem (MAN TGX brochure)

- Sistem za prepoznavanje utrujenosti voznika: Sistem nadzira premikanje zenic in vek v kombinaciji z obračanjem krmila.
- Sistem za nadzor temperature zavor (vgrajen v vozilo ali kot del cestnega ITS-a).



Zaznavanje pregetosti zavor s pomočjo infrared termalne kamere (FLIR)

- Elektronski tahografi povezani preko GPS: omogoča nadzor šoferja pooblaščenim preko spleta.
- E-klic: Samodejno obveščanje klicnega centra v primeru prometne nesreče ali okvare vozila.
- Avtomatsko branje tabel za omejitve hitrosti in samodejno prilagajanje hitrosti.
- Prilagajanje hitrosti vožnje glede na podatke o zavitosti in nagiba trase iz GPS-a.
- Prilagodljivi žarometi: Svetijo v smeri vožnje, hkrati pa svetilnost prilagajajo načinu in hitrosti vožnje.
- Prilagodljivo vzmetenje: Glede na centrifugalno silo v horizontalni krivini prilagaja tlak vzmetenja na levi in desni strani vozila in tako vzdržuje stalni prečni nagib vozila. Prilagodljivo vzmetenje izboljša stabilnost vozila v ovinku.

- Sistem krmiljenja triosnih prikolic za vlačilce (vse tri osi za težiščem prikolice): Sistem obrača kolesa prikolice okoli vertikalne osi (podobno kot prvi kolesni par vozila). Sistem glede na manevriranje celotnega vozila prilagaja kot obrata vsake osi prikolice. Sistem močno zmanjša obrabo pnevmatik prikolice in poveča oprijemljivost s cestiščem.
- Drugi varnostni sistemi: Sistemi v razvoju in dopolnjevanju v razvojnih oddelkih tovarn vozil. Možnosti za izpopolnitev nadzora izrabljenosti pnevmatik, zavornih sistemov in drugih kritičnih sklopov vozila. Tovrstni sistemi naj bi obvestili voznika pred odpovedjo vitalnega dela vozila. Prav tako se dopolnjujejo že dobro uveljavljene varnostne naprave, kot so sistemi za zaviranje (ABS), sistem proti zdrsni pogonskih koles (ASC), nadzor stabilnosti (ESC), nadzor tlaka v pnevmatikah ...

Beleženje podatkov o uporabi klasičnega gravitacijskega zasilnega izvoza je težje brez video detekcije in/ali senzorjev, ker se lahko voznik tovornega vozila po uporabi izvoza brez tuje pomoči vrne na cesto in po ohladitvi zavor nadaljuje vožnjo.

Potreba po video detekciji se pojavi tudi na vseh drugih zasilnih izvozih, saj bi sistem lahko avtomatsko alarmiral servisno službo in vozniku ne bi bilo potrebno klicati pomoči. Tako bi skrajšali čas zasedenosti zasilnega izvoza za morebitno naslednjo uporabo in zadrževanje vozila in šoferja.

8 PRIMERI ZASILNIH IZVOZOV

8.1 Zasilni izvoz Črni Kal

Prvi in za enkrat še edini zasilni izvoz v Sloveniji je bil odprt z viaduktom Črni Kal leta 2004. Zasilni izvoz je gravitacijski, z zaustavnim bazenom iz grobe separacije gramoza. Celotni zasilni izvoz je dolg 300 m, od tega je cca. 150 m gravitacijskega dela, tlakovanega z asfaltom in 30 m ravnega zaustavnega bazena. Širina zasilnega izvoza je 4 m.

Zasilni izvoz je relativno strm in asfaltiran, zato je nevarnost vzratnega zaklinjanja tovornih vozil s prikolico. Na stiku jeklene varnostne ograje avtoceste in betonske varnostne ograje zasilnega izvoza (Slika 36) bi bilo zaželeno namestiti vsaj usmerjevalni valj, če že ne blažilnik naleta. Tabla pokončne zapore sredi vozišča zasilnega izvoza daje vtis zaprtosti zasilnega izvoza. Zasilni izvoz je determiniran z lokacijo pred viaduktom in neugodnimi terenskimi razmerami.



Slika 37: Odcep iz primorske avtoceste za zasilni izvoz



Slika 38: Zaustavni bazen iz grobe separacije prodca



Slika 39: Vzorno speljana os odcepa zasilnega izvoza

Prometna signalizacija zasilnega izvoza Črni Kal. Po povpraševanju šoferjev težkih tovornih vozil jih večina ni vedela, čemu služi klanec (zasilni izvoz) pred viaduktom Črni Kal. Potrebna bi bila še tabla za prepoved parkiranja vozil na območju zasilnega izvoza.



Slika 40: Zaporedje prometnih tabel za označevanje zasilnega izvoza na Črnem Kalu

8.2 Zasilni izvoz na spustu iz Korenskega Sedla na avstrijsko stran

Zasilni izvoz na avstrijski strani ceste čez prelaz Korensko Sedlo je gravitacijski zasilni izvoz. Prvih 50 m zasilnega izvoza je asfaltiranega, z jekleno varnostno ograjo levo, nato se nadaljuje v gozdno pot. Širina zasilnega izvoza je cca 2,5 m. Zasilni izvoz zelo hitro (brez ustrezne vertikalne zaokrožitve) preide v zelo strm klanec, ocenjen na 25 %. Zasilni izvoz ni primeren za težka tovorna vozila. Tudi cesta čez prelaz zaradi svojega ekstremnega nagiba

(do 20 %) ni primerna za težka tovorna vozila. Zasilni izvoz v zimskih mesecih uporabljajo lahko tudi vozniki osebnih vozil. Vozilom naraste hitrost zaradi poledenelega vozišča in zaradi ohranitve smeri vožnje vozniki ne smejo zavirati. Zasilni izvoz je na kraju samem ustrezno označen, ne pa tudi na samem spustu. Prometni znak za nevaren klanec navzdol je ustrezno nameščen, prav tako prometni znak za prepovedano ustavljanje in parkiranje. Prisotna je nevarnost trčenja pobeglega vozila in vozila, ki vozi v klanec, saj pobeglo vozilo dvakrat preči cesto.



Slika 41: Neugodno speljan "odcep" za zasilni izvoz in nepravilno parkiran osebni avtomobil



Slika 42: Skromne dimenzije zasilnega izvoza



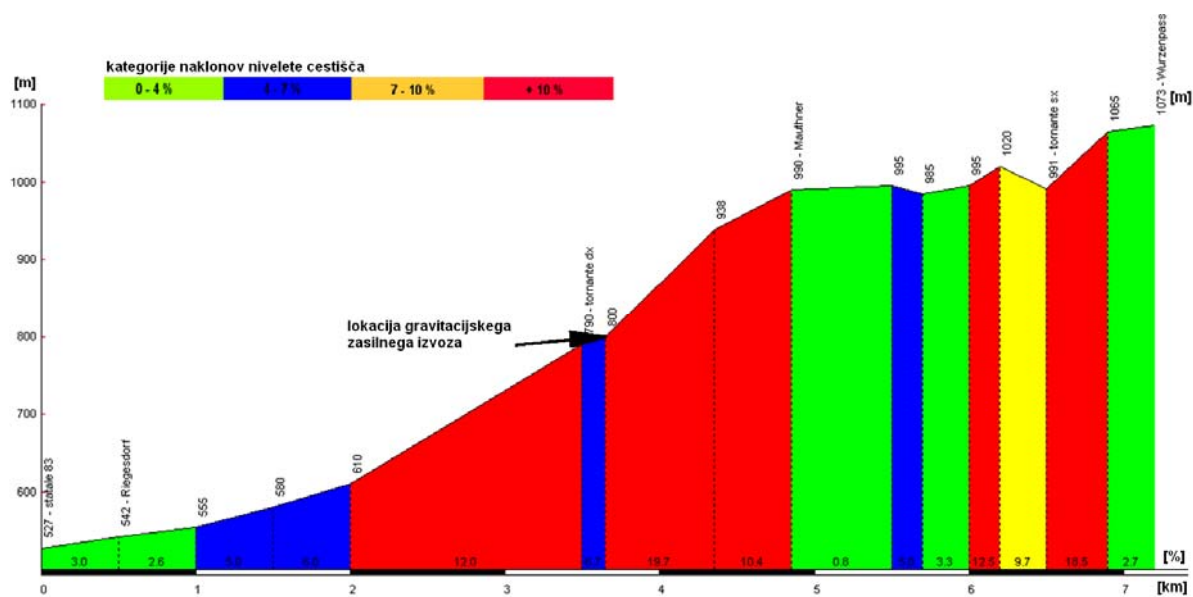
Slika 43: Tabla za nevarnost zadrževanja na območju zasilnega izvoza



Slika 44: Razširitev vozišča rezerviranega za pobegla vozila s prometnim znakom za prepovedano ustavljanje in parkiranje



Slika 45: Blažilnik naleta iz pnevmatik in jeklene varnostne ograje



Grafikon 1: Vzdolžni profil ceste na Korensko sedlo iz avstrijske smeri (Cycling information...)

9 ZASILNI IZVOZ NA VIPAVSKI HITRI CESTI

Zasilni izvoz na vipavski hitri cesti je predviden na stacionaži 4.0 km, za viaduktom Šumljak. Zaradi neugodnih geoloških razmer je zaznamovana s kamnitimi zložbami in blagim nagibom izkopov. (Nasipi iz bolj stabilne zemljine.) Zaradi zasilnega izvoza bo potrebno spremeniti traso bližnje gozdne poti, ki se devira ob zaustavnem bazenu zasilnega izvoza in se tako uporabi za servisno pot.

9.1 Tehnično poročilo

9.1.1 Splošno

Zaradi okvare upravljalnega mehanizma je naročilo investitorja, da se na odseku Rebernic predvidi zaustavljanje (izločitev iz prometnega pasu vozil in tovornjakov) z namenom zagotoviti prometno varnost ostalih udeležencev v prometu. Glede na predvideni, projektirani, vzdolžni nagib vozišča (5 do 6 %) je smiselno preučiti potrebo po zasilnem izvozu za vozila, udeležence v prometu, katerih vozniki zaradi višje sile izgubijo nadzor nad upravljanjem vozila. Vozniki s tem gradbenim ukrepom, v kolikor ga pravočasno zaznajo, lahko izločijo vozilo iz prometnega toka in tako zagotovijo varnost ostalim udeležencem v prometu.

9.1.2 Vodnogospodarski pogoji in ureditve

Vhodni podatki so prevzeti iz študij in raziskav, katere so bile izdelane za izdelavo projektne dokumentacije za PZI načrte obravnavanega odseka.

9.1.3 Geologija in geomehanika

Geološko poročilo je podano v projektu Hitra cesta od km 1,075 do km 6,2 z deviacijami cest, komunalnimi vodi in vodnogospodarskimi ter ostalimi ureditvami. Vsi izsledki teh raziskav so smiselno upoštevani v predloženem načrtu.

9.1.4 Dimenzioniranje voziščne konstrukcije

Zgornji ustroj za zasilni izvoz je prevzet po projektu Hitre ceste, z izkustvenimi normativi za skledo in ostale ureditve po navedeni projektni dokumentaciji.

9.1.5 Tehnični podatki

9.1.5.1 Zasilni izvoz

Zasilni izvoz je predviden za vozila, pri katerih zaradi okvare ni možen nadzor voznika pri nadaljnjem poteku vožnje (pri tem je potrebno upoštevati predvsem nadzor nad vozilom, katerim odpovedo zavore).

9.1.5.2 Trasirni elementi

Izhodišča za projektiranje projektnih rešitev smo prevzeli iz zgrajenih objektov na slovenskem cestnem omrežju (zasilni izvoz na Črnem Kalu). Po pregledu zgrajenih objektov in razpoložljive dokumentacije, katera obravnava tovrstne rešitve, smo se odločili, da prevzamemo ameriško/evropski normativ iz katerega sledi:

Za vožnjo po zasilnem izvozu so potrebne izjemne razmere, kot je odpoved zavor, zato tudi ni potrebe, da se upoštevajo pri projektiranju zasilnega izvoza pogoji udobja vožnje in posledično so trasirni elementi manjši od sicer zahtevanih za rang ceste od katere se zasilni izvoz odcepi.

V našem primeru se zasilni izvoz odcepi od hitre ceste, ki ima v osi desnega voznega pasu levi horizontalni radij - $R_h = 1006 m$, z desnim horizontalnim radijem - $R_h = 800 m$ brez prehodnice, nadaljuje se brez prehodnice, na začetek zaustavnega bazena, v premo do konca zasilnega izvoza.

Vzdolžni nagib se iz -5,9 %, na hitri cesti, preko vertikalnega radija - $R_v = 1000 m$, spremeni v 10 %.

Prečni nagib asfaltiranega dela zasilnega izvoza je -2,5 %, dno bazena pa -2 %.

- pregledne berme

Predvidena lokacija zasilnega izvoza je zaradi zelo razpotegnjene trase lokacijsko in prometno varnostno locirana tako, da pregledne berme niso potrebne.

- vodenje nivelete

Niveleta je vodena v osi zasilnega izvoza, odceplja pa se iz nivelete robnega pasu hitre ceste, kar je razvidno iz priloženih grafičnih prilog.

- prečni profil

Prečni profil asfaltiranega dela zasilnega izvoza:

vozišče	8.00 =	8.00 m
<u>bankine</u>	<u>2 * 1.00 =</u>	<u>2.00 m</u>
skupaj		10.00 m

Prečni profil gozdne poti:

vozišče	1 x 3.00 =	3.00 m
<u>bankine</u>	<u>2 x 0.50 =</u>	<u>1.00 m</u>
skupaj		4.00 m

9.1.5.3 Opis konstrukcijskih elementov

Konstrukcijski elementi zasilnega izvoza do zaustavnega bazena so razvidni iz grafičnih prilog in so usklajeni s konstrukcijskimi elementi hitre ceste.

- zgornji ustroj**zasilni izvoz**

drobir z bitum. mastiksom - DBM 8s (vezivo PmB III)	4 cm
bituminizirani drobljenec BD 22s (vezivo PmB II)	2 * 7 cm
<u>drobljenec D 32</u>	<u>48 cm</u>
skupaj	66 cm

Pod tamponskim slojem drobljenca je predvidena plast kamnitega nasipnega materiala v debelini 40 cm.

9.1.5.4 Odvodnjavanje

Odvod meteorne vode s cestišča gozdne ceste (dev 1-7/1) je predviden s prečnim nagibom (-4%) le-tega, ter se steka v betonsko muldo, kanaletu in prepustom premera 60 cm ali po brežinah v odprte tlakovane jarke in nato s cevnim prepustom premera 120 cm skozi nasip zasilnega izvoza po tlakovanih jarkih v obstoječi ploščati prepust 3-2A/1. Od 24. profila zasilnega izvoza se voda steka po betonski muldi med nasipom zasilnega izvoza in gozdne ceste v tlakovan jarek, kjer se priključi na tlakovan jarek, ki odvaja vodo skozi cevni propust premera 80 cm pod gozdno cesto iz zaledja nasipa gozdne ceste. Preko tega jarka se voda

odvaja skozi obstoječi ploščati prepust 3-2B/1. Voda iz zaustavnega bazena se drenira v drenažno-kanalizacijsko cev premera 200 mm (DK 200) v zaustavnem bazenu in nato v jašek in vzdolž zasilnega izvoza čez niz vtočnih jaškov do sredine hitre ceste preko obstoječe kanalizacije v zadrževalnik 11b. Pravtako preko vtočnih jaškov voda iz asfaltiranega dela zasilnega izvoza.

Za odvodnjavanje planuma spodnjega ustroja je predviden 4 % prečni nagib le-tega.

Detajlne tehnične rešitve so razvidne iz priloženih grafičnih prilog.

9.1.5.5 Objekti in zidovi

Za izgradnjo zasilnega izvoza so predvidene:

- kamnite zložbe
- armiranobetonski zaustavni bazen
- betonska sidra namenjena privezu izvlečnega vozila.

Kamnite zložbe;

V območju vkopa zasilnega izvoza za vzporedno gozdno cesto (dev 1-7/1) je predvidena serija treh kamnitih zložb višin od 3 m do 6 m z vmesnimi bermami. Obstoječo kamnito zložbo višine 3 m od profila P22 + 2 gozdne ceste (dev 1-7/1) nadaljujemo z linearnim dvigovanjem na 6 m višine do P23 gozdne ceste. Višino 6 m vzdržujemo vse do P30 + 1 gozdne ceste oz. P23 + 1 zasilnega izvoza.

Druga linija se prične v P23 + 15,7 m gozdne ceste z višino 4 m do P26 gozdne ceste (P19 zasilnega izvoza) in linearno narašča na višino 5 m do profila P27 gozdne ceste (P20 zasilnega izvoza), višino 5 m do P28 + 1 gozdne ceste (P21 + 1 m zasilnega izvoza). Od tu se linearno spusti na višino 4 m do P29 + 1 m gozdne ceste (P22 + 1 m zasilnega izvoza) in linearno do izteka z višino 0 m v profilu P30 + 1 m gozdne ceste (P23 + 1 m zasilnega izvoza).

Tretja linija se prične v P23 + 15,7 m gozdne ceste z višino 4 m in se konča z isto višino v P29 + 1 m gozdne ceste (P22 + 1 m zasilnega izvoza).

Med prvo in drugo ter drugo in tretjo kamnito zložbo sta bermi širine 3 m + 1 m krone spodnje kamnite zložbe, v prečnem nagibu -4 % , kot tudi gozdna pot.

Račun dimenzij zaustavnega bazena;

Zaradi geoloških značilnosti terena je potrebno izkopne brežine narediti v nagibu 1: 2, za nasipe je potrebno zagotoviti stabilnejši material, da se brežine lahko izvedejo v nagibu 2: 3.

Z ozirom na opredelitev vhodnih podatkov za izračun zasilnega izvoza po izsledkih raziskav ameriške neodvisne, neprofitne organizacije AASHTO, smo prevzeli naslednja izhodišča:

Širina zasilnega izvoza, kot tudi zaustavnega bazena, je privzeta, minimalna 8 m. Ta širina je opravičljiva z možnostjo naleta drugega vozila, medtem ko je prvo še ujeto v zaustavni bazen oz. je v fazi odstranjevanja.

Lokacija dolžine zaustavnega bazena je omejena s topografskimi značilnostmi terena. Tako ima zasilni izvoz vzdolžni naraščajoči nagib 10 % in dolžino bazena 180 m.

Za zapolnitev zaustavnega bazena je predviden gramoz frakcije od 4 mm do 8 mm (4/8). Z enakim materialom se zgradijo nasipi. Potreba po takem gramozu se pojavi zaradi najugodnejšega kotalnega upora in ne uničujočega vpliva na vozilo. Gramoz je potrebno minimalno dvakrat letno (pomladi in jeseni) rahljat vsaj 60 cm globoko vključno z in pod nasipi ter po vsakokratnem naletu vozila.

Zaželena vstopna hitrost za projektiranje zasilnega izvoza je med 130 km/h in 140 km/h. Čeprav voznik tovornega vozila še kontrolira smer vozila tudi pri višjih hitrostih, je nesmiselno projektirati zasilni izvoz za višje hitrosti, saj je malo verjetno, da varno pripelje na objekt, ne da bi pred tem naletel na počasnejša vozila.

Izračun dolžine zaustavnega bazena:

$$L = \frac{V^2}{254(f + s/100)} \Rightarrow V_{\max} = \sqrt{254L_{\text{razp}}(f + s/100)}, \text{ kjer je;}$$

- L dolžina zaustavnega bazena [m]
- L_{razp} razpoložljiva dolžina zaustavnega bazena [m]
- V vstopna hitrost v zaustavni bazen [km/h]
- V_{\max} maksimalna hitrost glede na L_{razp} [km/h]
- V_{proj} projektna hitrost glede na L_{razp} in zaustavnimi nasipi [km/h]
- f zaustavni delež kotalnega upora izražen v (% vzdolžnega nagiba / 100)
- s zaustavni delež vzdolžnega nagiba (%)

Račun zanemari aerodinamični upor, ki se zdi zanemarljiv, a nas postavi na varno stran.

Lrazp = 180 m, $R = 0,25$ - ekvivalent kotalnega upora vzdolžnemu nagibu za frakcijo gramoza 4/8,

$s/100 = 0,10$ – vzdolžni naraščajoč nagib 10 %.

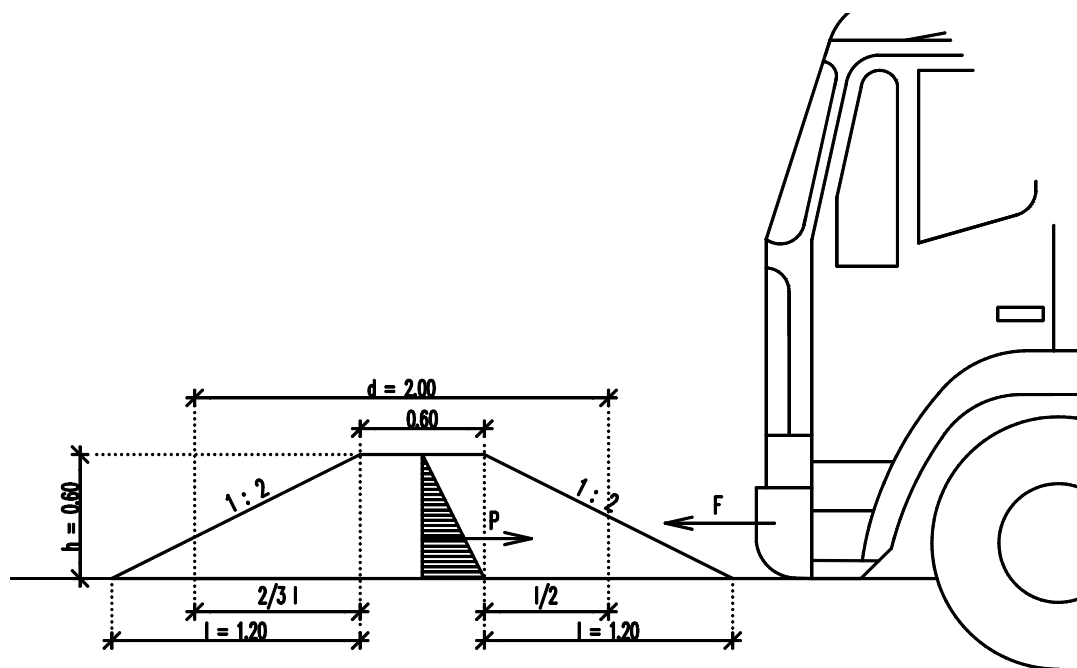
Zato; $V_{\max} = \sqrt{180 * 254 * (0,25 + 0,10)} = \sqrt{16002} = 126,5 \text{ km/h}$

Maksimalna vstopna hitrost v zaustavni bazen ne zadošča želeni projektni hitrosti. Zato so proti koncu zasilnega izvoza predpostavljeni štirje nasipi iz istega materiala kot je zapolnjen bazen.

Račun odpora nasipa na vozilo:

Račun temelji na fizikalnih aksiomih in z naslednjimi predpostavkami:

- masa vozila - $m = 40000 \text{ kg}$
(največja dovoljena masa iz Pravilnika o projektiranju cest)
- nasip se upira vozilu s pasivnim zemeljskim pritiskom (kohezija - $c = 0$, strižni kot - $\varphi = 33^\circ$, specifična teža nasipa - $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$)
- pasivni zemeljski pritisk deluje na dolžini $d = 2,00 \text{ m}$ in višini nasipa $h = 0,60 \text{ m}$ (nasip je relativno širok glede na širino vozila in vozilo nariva material nasipa) (slika 45.)
- vozilo je do odbijača pogreznjeno v zaustavnem bazenu in je široko - $\check{s} = 2,5 \text{ m}$ (slika 45.)



Slika 46: Nasip

Pasivni zemeljski pritisk; $p'_p = \gamma h k_p + 2c\sqrt{k_p} \xrightarrow{c=0, \text{ ni vodnih pritiskov}} p_p = \gamma h k_p$

Koeficient pasivnega zemeljskega pritiska; $k_p = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) = \operatorname{tg}^2 61,5^\circ = 3,39$

$$p_p = 18 \text{ kN} / \text{m}^3 * 0,6 \text{ m} * 3,39 = 36,63 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Sila pasivnega odpora nasipa;

$$P = \frac{1}{2} p_p h \check{s} = \frac{1}{2} * 36,63 \text{ kN} / \text{m}^2 * 0,6 \text{ m} * 2,5 \text{ m} = 27,5 \text{ kN} = 27500 \text{ N}$$

(Enačbe za izračun zemeljskih pritiskov in odporov iz predavanj Majes B.)

Sila vozila; $F = \frac{m v}{t}$ (17); hitrost - $v = Lt$ [m/s] \Rightarrow čas - $t = \frac{L}{v}$ [s]

Sprememba hitrosti na nasipu; $\Delta v = \frac{Pt}{m}$ (18)

Določimo projektno vstopno hitrost vozila v zaustavni bazen, za katero trdimo, da se bo izničila na zaustavnem bazenu s štirimi nasipi (zaporedni proces računa).

Ob uporabi integralnega računa bi bil rezultat natančnejši. Sledeči račun je preprostejši, na varni strani in v okviru napake predpostavk.

Projektna hitrost; $V_{proj} = 135 \text{ km} / \text{h}$

Izračun potrdi zaustavitev projektnega vozila za projektno hitrost.

Debeline in nagibi sten in dna bazena ter armatura se izvede v skladu z detajlom zaustavnega bazena (Priloga 4.). Uporablja se jeklo trdnosti S235.

Na vsake 13 m dolžine zaustavnega bazena je potrebno izvesti dilatacijo z dilatacijsko pasto, ki tesni bazen ne glede na letne čase ali vremenske nepravilike ob morebitnem razlitju olj, dizelskega goriva, hladilnih tekočin, bencina ...

9.1.5.6 Ureditev in zaščita brežin

Za zaščito brežin je predvideno humiziranje le-teh.

9.1.6 Opis projektних rešitev

- opis in utemeljitev horizontalnega poteka trase

Na izbiro lokacije zasilnega izvoza je vplivalo več dejavnikov. Med staconazo 3,950 km in 4,130 km ni nobenega objekta na desni strani; pobočje je na tem mestu nekoliko odmaknjeno

od hitre ceste, tako da se zasilni izvoz ne vkoplje tako zelo v brežino; locirana je po dolgem objektu (Viadukt Šumlajk); trasa hitre ceste je na tem mestu zelo iztegnjena ($R = 1000 \text{ m}$).

- opis in utemeljitev vertikalnega poteka trase

Niveleta zasilnega izvoza je na začetnem delu prilagojena obstoječi hitri cesti. Ko se odcepi od hitre ceste, se zasilni izvoz vzdigne z nagibom 10 %.

- deviacije cest

Zaradi izgradnje zasilnega izvoza bo potrebno na novo zgraditi 397 m deviacije gozdne poti 1-7/1.

- regulacije

Pri predstavitvi deviacije bo potrebno na novo zgraditi cevni propust in del jarka, ki odvaja zaledne vode v ploščati prepust 3-2B/1.

9.1.7 Preureditev komunalnih vodov

Na zasilnem izvozu je predviden kontroliran odvod meteorne vode. Voda iz bazena in vozišča je speljana v kanalizacijski sistem meteorne vode hitre ceste.

9.1.8 Poseg na zemljišče, prestavitev in porušitev objektov

Od prečnega profila 22. + 2 m gozdne ceste se ruši kamnita zložba na desni strani.

Za navezavo kanalizacije na jašek sredi hitre ceste iz zaustavnega bazena in asfaltiranega dela zasilnega izvoza je potrebno prekopati desno polovico hitre ceste in vzpostaviti prvotno stanje.

V profilu 32 + 7 m se zasuje obstoječ prepust in stara gozdna pot (stara dev 1-7/1) zaradi nasipa konca zasilnega izvoza. Večji del tlakovanega jarka (34 m) pod staro gozdno potjo se uporabi za odvodnjavanje zaledne vode za gozdno potjo in vode med nasipoma zasilnega izvoza in gozdne poti.

Obdrži se tlakovan jarek od profila 36. gozdne poti naprej (54 m). Ostali tlakovani jarki stare gozdne poti se zasujejo. (Stara gozdna pot je del dev 1-7/1, katere trasa se spremeni zaradi zasilnega izvoza.)

9.1.9 Pogoji in tehnologija

Vsa dela morajo biti izvedena v skladu s splošnimi tehničnimi pogoji, katere je izdala Skupnost za ceste Slovenije (zelena knjiga) in tehničnimi specifikacijami za ceste, ki jih je izdala Direkcija Republike Slovenije za ceste.

9.2 Grafične priloge

Grafika je priložena na koncu diplomske naloge.

10 ZAKLJUČEK

Glede na 40-letne svetovne izkušnje o projektiranju in izgradnji zasilnih izvozov so ti objekti postali zelo učinkoviti pri varovanju človeških življenj in zmanjševanju materialne škode, tako na cestnih in obcestnih objektih in napravah, kot tudi na samih vozilih.

Zasilni izvozi posredno pomagajo varovati okolje. V prometnih nesrečah s prevrnjenimi tovornimi vozili pogosto pride do izlitja goriva, olj, hladilnih tekočin v okolje. Ob morebitni prevrnitvi cisterne lahko pride do ekološke katastrofe.

Poročila in študije obstoječih zasilnih izvozov kažejo na njihovo uporabnost. Zagotavljajo sprejemljive pojemke in nudijo zadovoljivo vodljivost vozil med ustavljanjem.

Vsekakor je še vedno zaželeno upoštevati staro šofersko pravilo: »Iz klanca vozi v isti prestavi kot v klanec.«

11 VIRI

AASHTO's (American Association of State Highway Officials), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, (str.: 268-276), 1995, (str.: 259-269), Fourth edition, 2001.

<http://www.fhwa.dot.gov/programadmin/y2kgb.ppt> (16. 4. 2008).

Aerospaceweb, Reducing Landing System

<http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/q0181.shtml> (8. 5. 2008)

Bobnaste in kolutne zavore

www.ozs.si/ASPDatoteka.asp?ID=2417 (18. 4. 2008).

Boeing, Types of Aircraft Arresting Systems

http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_13/runway_story.html#types (18. 4. 2008).

British Columbia, Ministry of Transportation, Road Runner, Summer 2004

<http://www.th.gov.bc.ca/publications/roadrunners/> (15. 5. 2008)

Cestni blažilniki in jeklene varnostne ograje Petrič

http://www.petric.si/cestni_blazilnik_prometa_tau.php (16. 4. 2008).

Cycling information on mountains and cols to climb by bike

<http://www.climbbybike.com/climb.asp?Col=Wurzenpass&qryMountainID=1294> (15. 8. 2008)

Colorado Department of Transportation

<http://www.dot.state.co.us/> (15. 4. 2008).

Encyklopedie Energie, Lytag agregat

http://www.simopt.cz/energyweb/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.6.7&PHPSESSID=bf5fa27a1ecb45c7faa5d38ba0cfbed9 (8. 5. 2008)

Entwistleco, Runaway Truck Ramp

http://www.entwistleco.com/defense/images/dragnet_success_story.pdf (25. 4. 2008).

Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges, 1989

<http://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol6/section3/ta5787.pdf> (15. 4. 2008).

ICBC, Heavy Vehicle Braking

http://www.icbc.com/licensing/pdfs-commveh/Driving_Commercial_Vehicles_Heavy_Vehicle_Braking_MV2677.pdf (15. 4. 2008).

Illinois Department of Transportation, Bureau of Local Roads & Streets, Chapter Twenty-eight, Sight Distance
<http://www.dot.state.il.us/blr/manuals/Chapter%2028.pdf> (8. 5. 2008)

Infrardeče termalne kamere
<http://www.goinfrared.com/> (16. 5. 2008)

Intelligent Transportation Systems (ITS)
<http://www.itsa.org/> (8. 5. 2008)

International Civil Aviation Organization (ICAO), Runaway Safety Area Improvements in The United States, 2007.
<http://www.icao.int/nacc/meetings/2007/9CCARDCA/9CCARDCAip07.pdf> (8. 5. 2008)

Koeficient zračnega odpora oblike vozil
<http://bgsoflex.com/airdragchart.html> (8. 9. 2008)

Lamm, R., et al., How to make Two-Lane Rural Roads Safer, 2007.

Mannering, Fred L., Kilareski, Walter P., Washburn, Scott S., Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, third edition, 2004.

MAN TGX brochure
http://www.man-mn.com/datapool/mediapool/109/TGX_engl_2008.pdf (8. 5. 2008)

Mercedes-Benz Unimog
http://www2.mercedes-benz.co.uk/content/unitedkingdom/mpc/mpc_unitedkingdom_website/en/home_mpc/unimog.html (8. 5. 2008)

Ministerstvo za promet, Temeljni pogoji za določanje cestnih elementov..., TSC 03.200 (predlog, okt. 2003)
http://www.fg.uni-mb.si/promet/Gradiva/Cestna%20infrastruktura/TSC-03-200_predlog.doc (25. 4. 2008).

Ontario Ministry of Transportation, Road Talk, Summer 2007, Vol 13., Issue 2.
<http://www.mto.gov.on.ca/english/transtek/roadtalk/rt13-2/rt13-2.pdf> (15. 4. 2008).

Pojasnjevanje pojmov
<http://www.answers.com>

Poklicna in tehniška strojna šola Ptuj
http://strojna.scptuj.si/index.php?option=com_content&task=view&id=95&Itemid=29 (18. 4. 2008).

Pravilnik o projektiranju cest, UL RS št.91/05: 3896.

Pretvornik merskih enot

<http://www.asknumbers.com/>

Roads to The Future (fotografije)

<http://www.roadstothefuture.com/> (25. 4. 2008).

Rocky Mountain News

<http://www.rockymountainnews.com/news/2007/Jul/12/the-gory-lore-of-dead-mans-curve/>
(20. 4. 2008).

Runaway-Vehicle Safety Provisions

<http://www.ott.wrcc.osmre.gov/library/hbmanual/haulroad/section5.pdf> (15. 4. 2008).

Queensland Government, Department of Main Roads, Road Planning and Design Manual, Ch 15., April 2002.

[http://www.mainroads.qld.gov.au/web/AttachStore.nsf/allobjects/Road%20Planning%20and%20Design%20Manual%20-%20Chapter%2015/\\$file/RPDM_Chapter15.pdf](http://www.mainroads.qld.gov.au/web/AttachStore.nsf/allobjects/Road%20Planning%20and%20Design%20Manual%20-%20Chapter%2015/$file/RPDM_Chapter15.pdf) (15. 4. 2008).

Siemens VDO zavora z zagozdo

http://www.avtomobilizem.com/modules/articles/?art_id=1234 (25. 4. 2008).

South Dakota Department of Transportation, Road Design Manual, Chapter 6.

<http://www.sddot.com/pe/roaddesign/docs/rdmanual/rdmch06.pdf> (15. 4. 2008).

Spletni prevajalnik

<http://presis.amebis.si/prevajanje/index.asp?jezik=sl>

Stadler, Z., Zavorne ploščice iz karboniziranega materiala za zavorne diske iz kompozitov C/C-SiC,

<http://ctklj.ctlk.uni-lj.si/kovine/izvodi/mit0134/stadler.pdf> (25. 4. 2008).

State of Arizona, Department of Transportation, Full-Scale Arrester Bed Testing Leads to More Cost-Effective Design.

<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trnews/rpo/rpo.trn166.pdf> (8. 5. 2008)

Šolski center Novo mesto

<http://www.sc-nm.com/scnm/> (16. 4. 2008).

Tehnična Specifikacija o zaviranju motornih in priklopnih vozil, UL RS, št. 59/99, 31/00 in 54/00

http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/pdf_datoteke/TSV/TSV_109-00.pdf
(16. 4. 2008).

Tehnična specifikacija o zavornih sistemih dvo- in trikolesnih motornih vozil, TSV – 301, UL RS, št. 99/04

http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/pdf_datoteke/TSV/TSV_301-01.pdf
(15. 5. 2008)

Tehnični normativi za projektiranje in opremo mestnih prometnih površin (TSC), Prvi del, 1991, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Prometnotehniški inštitut, XVII-41.

The Indiana Design Manual, Chapter 42

<http://www.in.gov/dot/div/contracts/standards/dm/Part%205%20Vol.%201/Ch%2042/Ch42.pdf> (18. 4. 2008).

The Kiewit Center for Infrastructure and Transportation

Oregon State University Corvallis, Stopping Sight Distance and Decision Sight Distance, 2004.

http://kiewit.oregonstate.edu/access/dp8a_2004.pdf (16. 4. 2008).

Vehicle Lightweight Arresting Device (VLAD)

https://www.jnlwp.com/misc/fact_sheets/VLAD%20Oct%202006.pdf (8. 5. 2008)

Voith retarderji

<http://viaint.si/> (25. 4. 2008).

Washington State Department of Transportation, Design Manual, Chapter 1010, Chapter 940, Design Manual Supplement,

<http://www.wsdot.wa.gov/> (15. 4. 2008).

Wikipedia

<http://en.wikipedia.org/> (16. 4. 2008).

Williams, Earl C., Horne, C. Franklin, ITE Journal, Runaway Truck Ramps are saving lives and reducing damage, 1979

http://www.ncdot.org/doh/preconstruct/traffic/tepl/Topics/T-49/T-49_ite.pdf (16. 4. 2008).

World Road Association (PIARC), Road Safety Manual, 2003.

World Intellectual Property Organization (WIPO), Vehicle Arresting Bed Systems

<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?WO=1998%2F35099&IA=WO1998%2F35099&DISPLAY=DESC> (18. 4. 2008).

Wright, Paul H., Dixon, Karen K., Highway Engineering, international, seventh edition, 2004.

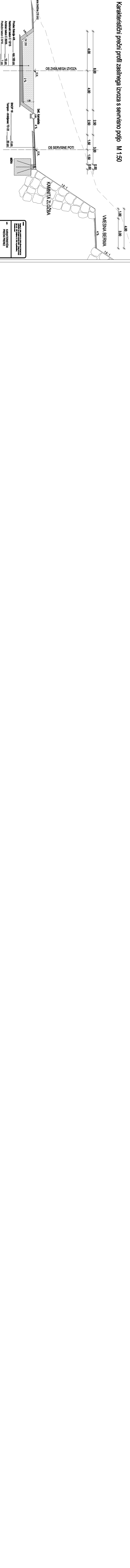
Wright, Paul H., Paquette, Randor J., Highway Engineering, fifth edition, 1987.

Zodiac - Aerosafety systems, ESCO, EMAS arresting system

<http://www.esco.zodiac.com/> (18. 4. 2008).

12 PRILOGE

Karakteristični prečni profil zasilnega izvoza s servisno pojo M 1:50



Skizma: **KARAKTERISTIČNI PREČNI PREREZ**
 Projekt: **KARAKTERISTIČNI PREČNI PREREZ**
 Stran: 3

