

KOLOSIJECI NA ČVRSTOJ PODLOZI

SADRŽAJ:

1. Uvod	2
2. Osnovne tehničke karakteristike kolosijeka na čvrstoj podlozi	3
2.1 Prednosti kolosijeka na čvrstoj podlozi	3
2.2 Nedostaci kolosijeka na čvrstoj podlozi	4
3. Konstrukcijski elementi kolosijeka na čvrstoj podlozi	5
3.1 Gornji ustroj kolosijeka	5
3.1.1 Betonski nosivi sloj	5
3.1.2 Asfaltni nosivi sloj	5
3.1.3 Nosivi sloj stabiliziran hidrauličnim vezivom	6
3.2 Donji ustroj kolosijeka	6
3.2.1 Mehanički zbijeni nosivi sloj	6
3.2.2 Temeljno tlo - planum	7
4. Osnovni zahtjevi na kolosijeke izvedene na čvrstoj podlozi	7
4.1 Zaštita od buke	7
4.2 Prijelazi s kolosijeka bez na kolosijek sa tucaničkim zastorom	8
4.3 Kolosijeci u tunelima	9
4.4 Kolosijeci na otvorenom dijelu trase	10
4.5 Signalno-sigurnosni i elektro-tehnički zahtjevi	10
5. Tipovi kolosijeka na čvrstoj podlozi	11
5.1 Kolosijeci izvedeni postupkom ugrađivanja pragova	12
5.1.1 Sustav "RHEDA"	12
5.1.2 Sustav "Rheda-Berlin"	14
5.1.3 Sustav "Rheda 2000"	14
5.1.4 Sustav "Heitkamp"	18
5.1.5 Sustav "Züblin"	18
5.2 Kolosijeci izvedeni postupkom polaganja pragova	20
5.2.1 Sustav "SATO"	21
5.2.2 Sustav "FFYS"	22
5.2.3 Sustav "ATD"	22
5.2.4 Sustav "BTD"	23
5.2.5 Sustav "GETRAC"	23
5.3 Monolitni sustavi kolosijeka	24
5.3.1 Sustav "Lawn"	25
5.3.2 Sustav "FFC"	25
5.4 Montažni sustavi kolosijeka – pločasti kolosijeci	25
5.4.1 Sustav "Bögl"	26
5.4.2 Sustav "OBB-Porr"	28
5.4.3 Sustav "Shinkansen"	29
5.5 Kontinuirano oslonjene tračnice	30
5.5.1 Sustav "INFUNDO-EDILON"	30
5.5.2 Sustav "SFF"	31
5.5.3 Sustav "SAARGUMMI"	31
6. Tehničko-ekonomska valorizacija kolosijeka na čvrstoj podlozi	32
7. Zaključak	35
8. Literatura	37

1. UVOD

Iako većina sadašnjih željezničkih pruga još uvijek koristi klasične sustave kolosijeka sa zastornom prizmom, činjenica da je konvencionalni kolosiječni zastor dosegao svoj maksimum s obzirom na prometni kapacitet i brzinu prometovanja današnjih vlakova, otvorio se prostor za razvoj i sve veću primjenu novih konstrukcijskih rješenja u vidu kolosijeka na čvrstoj podlozi bez zastora. Kod kolosijeka bez zastorne prizme, zastor kao nosivi konstruktivni element zamijenjen je drugim stabilnijim materijalom poput betona ili asfalta.

U stranoj literaturi za ovakva vrstu kolosijeka primjenjuje se specifična terminologija. U Engleskoj za ovaj tip kolosiječne konstrukcije primjenjuje se termin "Slab Track" (pločasti kolosijeci), u Njemačkoj "Feste Fahrbahn" (kruti kolosijeci), a u Francuskoj "Voie sur dalle" (kolosijeci na pločama). Budući se radi o tehnologiji koja se još nije primjenjivala na prugama u Hrvatskoj (osim na nekoliko probnih dionica), termini "Kolosijeci na čvrstoj podlozi" bio bi najprimjereniji za primjenu. Radi pojednostavljenja u pisanju, u pojedinim dijelovima daljnjeg teksta primjenjivat će se i pojmovi "Kolosijeci bez tucaničkog zastora" ili "Pločasti kolosijeci", ovisno o tipu konstrukcije kolosijeka. Budući da nosivi sloj ne mora biti izrađen uvijek od pločastih nosača, termin "Pločasti kolosijeci" nije u cijelosti ispravan sve tipove kolosijeka bez zastora. Osnovne prednosti i glavne karakteristike kolosijeka na čvrstoj podlozi su:

- produženi životni vijek
- smanjeni troškovi održavanja tijekom
- mali zahtjevi za održavanjem
- visoka iskoristivost
- niža konstruktivna visina
- manja težina konstrukcije
- visoka horizontalna i vertikalna stabilnost kolosijeka
- nema problema sa uzdizanjem zastornih čestica kod velikih brzina

Razvoj kolosijeka na čvrstoj podlozi započeo je u Njemačkoj. Osnovni cilj je bio proizvesti kolosiječni sustav prikladan za budućnost, koji će zahtijevati minimalno održavanje, a odlikovat će se visokom pouzdanošću.

Eksperimentiranja sa različitim kolosiječnim sustavima započela su 1959. godine. U periodu između 1969. i 1971. u Njemačkoj su provedena opsežna istraživanja postojećih prometno opterećenih magistralnih kolosijeka na kojima se promet odvijao pri velikim brzinama. Rezultat tih istraživanja bila je tzv. "HSB studija" kojom su autori ukazali na tehnička i ekonomska ograničenja klasičnih zastornih kolosijeka s obzirom na novonastale potrebe. Tragom dobivenih rezultata, 1972. godine izvedeno je prvih 60 metara kolosijeka na betonskoj podlozi na željezničkom kolodvoru Rheda (Njemačka) kroz koji prolazi željeznička linija visokog kapaciteta između gradova Dortmunda i Hannovera. Tragom tog sustava, prozvanog "Rheda" kolosiječni sustav, proizvedene su mnogobrojne varijante različitih novih kolosiječnih sustava.

Važno je napomenuti da i nakon 30 godina upotrebe, pod uvjetima intenzivnog i teškog prometnog opterećenja (60 000 tona dnevno), uz velike brzine prometovanja (do 250 km/h) kolosijek sustava "Rheda" na kolodvoru Rheda ne pokazuje znakove dotrajivosti, a od održavanja vršeno je samo brušenje i zamjena istrošenih tračnica, [2].

Građevinske metode koje su prošle svoje testiranje desetljećima u cestogradnji uspješno su primijenjene kod kolosijeka čvrstoj podlozi. Unatoč kriterijima koje zahtijeva Željeznička administracija razvoj i princip projektiranja takvih kolosijeka većinom se i dan danas oslanja na pravilnike za projektiranje, dimenzioniranje i izvođenje kolničkih konstrukcija, te iskustva koja su stečena izgradnjom prometnica. Kolosijeci bez tucaničkog zastora pokazali su se kao jednostavni za izvođenje i funkcionalni u primjeni, što je dovelo do brojnih daljnjih razvojnih otkrića.

Odvijanje prometa pri velikim brzinama sa zadovoljavajućim radom željezničkih vozila i smanjenjem negativnih utjecaja na kolosijek zahtijeva:

- maksimalnu točnost uzdužnog i poprečnog niveliranja, te same trase
- sprečavanje ili smanjenje mogućeg slijeganja tla
- stalno i točno definiranje vertikalne elastičnosti kolosiječne konstrukcije pod djelovanjem osovinskog opterećenja.

U slučaju kolosijeka sa zastorom, ovi zahtjevi iziskuju veliki broj rekonstrukcijskih intervencija, i to je osnovni razlog za prihvaćanje tehnološki naprednijih sustava poput pločastih kolosijeka. Kolosijeci bez tucaničkog zastora omogućuju visoku razinu stabilnosti kolosijeka, što pruža mogućnost tihog kretanja vozila i visokog komfora tijekom putovanja. Potreba za održavanje je značajno umanjena, što uvelike doprinosi smanjenju troškova unutar životnog ciklusa, te većoj iskoristivosti. Eliminacijom najslabije karike gornjeg ustroja – tucaničkog zastora – pružena je izvjesna budućnost transportu pri velikim brzinama uz pomoć željeznice.

2. Osnovne tehničke karakteristike kolosijeka na čvrstoj podlozi

Bitan kriterij za međusobnu tehničku usporedbu kolosijeka je stabilnost geometrije kolosijeka. Kod zastornih kolosijeka (**Slika 1**) glavni zadatak zastora je osigurati vertikalnu i horizontalnu stabilnost kolosiječne rešetke na koju djeluju dinamička opterećenja tračničkih vozila i naprezanje uzrokovano temperaturnim promjenama u tračnicama. Glavni problem koji se pojavljuje kod zastornih kolosijeka je usporena degradacija zastornog materijala zbog prometnog opterećenja. Zastor se sastoji od zbijenog nevezanog zrnatog kamenog materijala. Zbog premještanja, trošenja i raspadanja zrna zastora dolazi i do poremećaja u geometriji kolosijeka, a ujedno dolazi i do zapunjavanja praznog prostora između krupnijih čestica zastorne posteljice sitnim česticama što uzrokuje drenažne probleme (zablačivanje zastora). Iz tih razloga neophodno je redovito održavanje kako bi se s vremena na vrijeme obnovila trasa kolosijeka. Kod klasičnih kolosiječnih konstrukcija, tračnica je oslonjena na pragove koji su ugrađeni u zastornu prizmu i nalaze se na razmacima od 60 do 80 cm.

U slučaju kolosijeka na čvrstoj podlozi (**Slika 2**) podupore tračnica ili pridržanja tračnica fiksno su pozicionirana. Upravo iz razloga veće poprečne i uzdužne stabilnosti, smanjene devijacije trase kolosijeka, takvi kolosijeci pokazuju veliku prednost u odnosu na kolosijeke sa zastorom.



Slika 1. Klasična kolosiječna konstrukcija



Slika 2. Kolosijek na čvrstoj podlozi

2.1 Prednosti kolosijeka na čvrstoj podlozi

Jedna od najznačajnijih prednosti kolosijeka na čvrstoj podlozi u odnosu na klasične kolosiječne konstrukcije očituje se kroz smanjenje troškova održavanja trase i sukladno tome, smanjenju troškova koji nastaju kao posljedica zatvora pruge u periodu održavanja. Pri tome je i dalje neophodno stalno održavanje u vidu brušenja tračnica, zamjene tračnica, te uklanjanja vegetacije sa rubova posteljice. Očekivani životni vijek kolosijeka na čvrstoj podlozi (50 do 60 godina) puno je dulji od životnog vijeka klasičnih zastornih kolosiječnih konstrukcija (30 do 40 godina), [1]. Prilikom projektiranja nove trase kolosijeci bez tucaničkog zastora pružaju mogućnost rentabilnijeg trasiranja. Međutim prijelaz sa klasičnog kolosijeka na kolosiječnu konstrukciju na čvrstoj podlozi za vrijeme njegove rekonstrukcije po tom pitanju neće biti financijski interesantan, budući da je trasa već definirana.

Pri brzinama većim od 275 km/h (ponekad i pri brzini od 160 km/h) kod klasičnih zastornih kolosijeka dolazi do vrtložnog uzdizanja krutih čestica zastora uzrokovanih pojavom zračnih turbulencija između podvozja vlaka i zastorne površine, pri čemu može doći do oštećenja pojedinih dijelova vlaka, poput pogonskog sustava ili sustava za kočenje, a isto tako može doći i do oštećenja glave tračnice ukoliko se

takva čestica nađe između kotača i tračnice. Kod kolosijeka na čvrstoj podlozi ovi problemi su isključeni, [2].

Primjenom kolosiječnih konstrukcija bez tucaničkog zastora možemo uvelike smanjiti poprečni profil pruge u tunelima. U slučaju elektrifikacije ili povećanja slobodnog profila postojeće pruge, moguće je izbjeći skupe troškove spuštanja postojeće nivelete kolosiječne konstrukcije. Kolosijeci bez tucaničkog zastora omogućuju korištenje pune širine trase od strane cestovnih vozila. U tunnelskim situacijama to se može iskoristiti u svrhu sigurnosti i spašavanja.

2.2 Nedostaci kolosijeka na čvrstoj podlozi

Pojedine željezničke uprave dobivaju od strane države određene financijske subvencije za ulaganje u infrastrukturu, dok se održavanje te infrastrukture plaća kroz operativno djelovanje iste. Stoga je razumljiv trend ulaganja u kolosijeka bez tucaničkog zastora, jer s jedne strane, ta ulaganja su financijski subvencionirana, dok s druge strane, očekuju se samo manji naknadni troškovi od održavanja. Naravno, to rješenje ne pruža optimum konačnog troška, nego samo minimum potrebna za infrastrukturno-operativnu organizaciju.

Kolosijeci na betonskoj podlozi sadrže krute nosive elemente (betonske ploče), koji mogu puknuti nakon što je dosegnuta njihova trajna čvrstoća (to se može usporediti sa puknućem tračnice). Propadanje geometrije kolosijeka u ovom slučaju događa se neočekivano i odjednom. Pretpostavljeni životni vijek kolosijeka na čvrstoj podlozi je 50 do 60 godina. Međutim, dugoročne procjene stvarnog životnog ciklusa takvih kolosijeka još ne postoje u odgovarajućoj mjeri. Kolosijeci bez tucaničkog zastora zahtijevaju podlogu kod koje ne dolazi do slijeganja. Klasični zastorni kolosijeci zahtijevaju nasipe kod kojih maksimalno dopušteno slijeganje iznosi 2 cm na dužini kolosijeka od 10 metara. Valovitost pružne površine koja može nastati slijeganjem, vrlo lako se može ispraviti primjenom sofisticirane mehanizacije. Međutim, ti kriteriji su preslabi za kolosijeka na čvrstoj podlozi, što dovodi do dodatnog povećanja troškova izvođenja, [1].

Kolosijeci bez tucaničkog zastora ne mogu biti izvedeni u pojedinim geološkim okolnostima, kao što su duboki iskopi u glinenim tlima, nasipi u mekim slojevima treseta ili u trusnim područjima. Obavezna ugradnja mehanički zbijenog sloja (tampona) koji služi kao sloj za zaštitu od smrzavanja, čija minimalna debljina iznosi 70 cm, također se smatra nedostatkom. Budući da se životni ciklus kolosijeka na čvrstoj podlozi smatra produženim, debljina stabiliziranog nosivog sloja teško se može smanjiti. Građevina mora biti osigurana mnogo opsežnijim građevinskim zahvatima (iskop tla, nasipavanje tla ili snižavanje razine podzemne vode) nego li je to uobičajeno kod klasičnih zastornih kolosijeka. Za usporedbu, kod izrade podloge za klasičnu kolosiječnu konstrukciju, potreban je iskop do dubine od 0,5 metara ispod tamponskog sloja, dok kod izrade podloge za kolosijek na čvrstoj podlozi potreban je iskop nekada i do dubine od 2,5 metara ispod nosive ploče, [1].

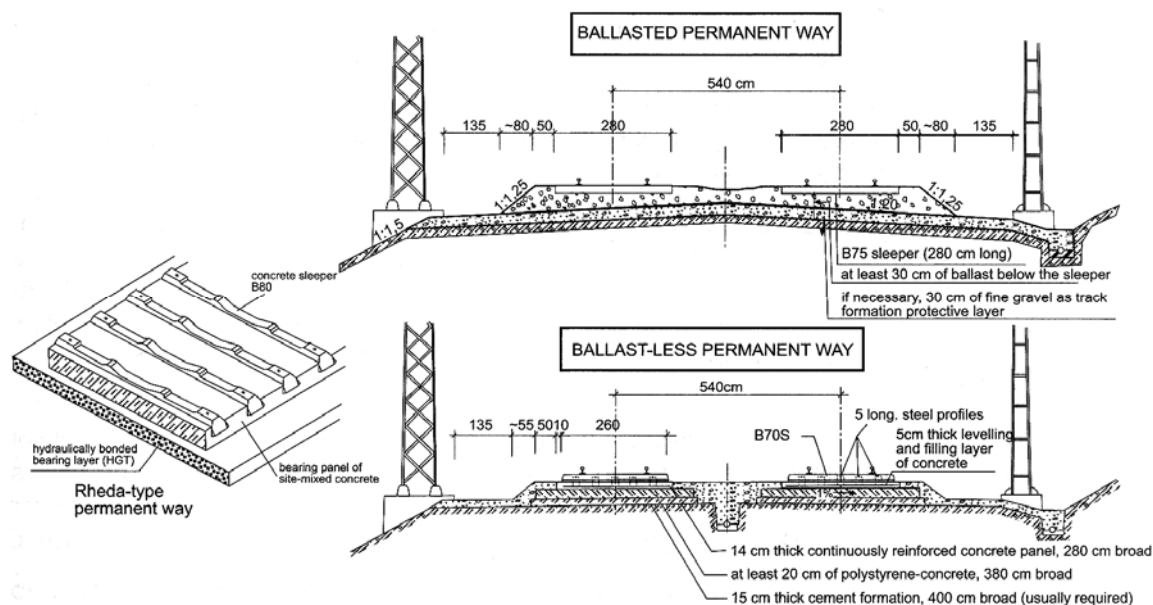
Trenutno postoji samo nekoliko sigurnih metoda koje dugoročno procjenjuju moguće pojave zaostalih slijeganja. Životni ciklus kolosijeka na čvrstoj podlozi još uvijek je prekratak da bi se mogli zauzeti jasni stavovi glede toga. Iskustva u cestogradnji su pokazala da veća slijeganja viših nasipa ne mogu biti zanemarena. Ukoliko slijeganja prekorače svoju dozvoljenu maksimalnu vrijednost unutar svog životnog vijeka, to može stvoriti veliki problem sljedećim generacijama inženjera na željeznici. Jedan od potencijalnih nedostataka kolosijeka na čvrstoj podlozi je i nedovoljna automatizacija procesa izgradnje i održavanja. Kruta struktura kolosijeka na čvrstoj podlozi dopušta samo neznatna poboljšanja u budućnosti. Prilagođavanje na promijenjene uvijete, kao što je promjena u geometriji kolosijeka, može biti realizirano jedino uz poteškoće i visoke troškove što predstavlja ozbiljan nedostatak.

Emisija buke kod kolosijeka na čvrstoj podlozi mnogo je viša od emisije buke kod klasičnih zastornih kolosijeka sa drvenim pragovima (+5 dB). Iz tog razloga kod pločastih kolosijeka neophodna je provedba adekvatnih, najčešće skupih mjera vezanih za zaštitu od buke, [1]. Bilo koji defekt u kvaliteti ugrađenih materijala ili izvođenju kolosijeka na čvrstoj podlozi narušio bi cijeli životni ciklus istih (50 do 60 godina), te bi mogao biti eliminiran tek uz odgovarajuće skupocjene mjere. Iz tog razloga dugoročna kvaliteta mora biti zagarantirana. Mjera koje osiguravaju visok stupanj dugoročne kvalitete stvaraju dodatne troškove i produljuju vrijeme izvođenja.

U ovom trenutku ne postoji niti jedan opravdan ili samo vrlo skupi koncept obnove kojim bi se otklonila šteta nastala izbacivanjem kolosijeka ili djelovanjem okoline (velika zaostala slijeganja). Budući da

stvrđnjavanje i otvrdnjavanje betona traje određeni vremenski period, u slučaju ozbiljne nezgode došlo bi do totalnog zatvora pruge što bi imalo za posljedicu stvaranje velikih operativnih smetnji i dodatnih troškova. Ekonomska razmatranja najčešće ne uzimaju u obzir trošak visokih rekonstrukcijskih mjera koje se očekuju nakon što kolosijeci bez tucaničkog zastora dosegnu kraj svog životnog ciklusa. Postojanje velikog broja različitih tipova kolosijeka, koji se izvode na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora, danas na tržištu također se može smatrati nedostatkom jer sprječava postepeno poboljšanje pojedinih tipova. Optimalno rješenje očito je ograničavanje na jedan ili dva standardizirana dizajna.

3. Konstrukcijski elementi kolosijeka na čvrstoj podlozi



Slika 3. Karakteristični poprečni presjek klasičnog kolosijeka i kolosijeka na čvrstoj podlozi, [1].

3.1 Gornji ustroj kolosijeka

3.1.1 Betonski nosivi sloj

Odstupanje od definiranog profila nosivog betonskog sloja ne smije biti veće od ± 2 mm. Kvaliteta mora korespondirati sa kvalitetom betona B35. Primijenjeni beton mora biti visoko otporan na smrzavanje. Udio cementa u betonu mora biti između 350 i 370 kg/m³, [1]. Udio armature u odnosu na poprečni presjek betona iznosi 0,8 do 0,9%. Armatura u betonskom nosivom sloju nema konstruktivni karakter. Uloga armature je osiguranje ravnomjernog širenja pukotina, ali i sprječavanje i/ili ograničavanje daljnjeg širenja istih. Maksimalna dozvoljena širina pukotine iznosi 0,5 mm, [1]. Najčešća ukupna debljina betonskog sloja iznosi 200 mm. U slučaju izvođenja kolosijeka bez pragova, betonski sloj je potrebno dilatirati na razmacima od 2 metra, kako bi se dodatno osiguralo kontrolirano stvaranje pukotina, [1]. Betonski sloj može biti opterećen tek nakon što beton očvrstne, te dosegne minimalnu otpornost na pritisak od 12 N/mm². Povećanje debljine betonskog sloja vodi ka većem opterećenju na savijanje, [1].

3.1.2 Asfaltni nosivi sloj

Asfaltni nosivi sloj primjenjuje se u 4 sloja sa u potpunosti standardiziranom ukupnom debljinom od 300 mm. Maksimalno dozvoljeno odstupanje kod izvedenog sloja iznosi ± 2 mm. Ovi zahtjevi su puno stroži od zahtjeva u cestogradnji, [1]. Kretanje na asfaltnom nosivom sloju je dozvoljeno, kada je odgovarajuća temperatura asfalta ispod 50°C. Asfalt je osjetljiv na UV zrake, stoga njegova površina mora biti prekrivena sa kamenom, šljunkom ili sličnim materijalom, [1].

Analizirajući uvjete opterećenja asfaltnog nosivog sloja ispod pločastog praga potrebno je uzeti u obzir viskozno-elastično ponašanje asfalta pri različitim temperaturama:

- Kod umjerenih temperatura, negdje oko 20 °C, pri kratkoročnom opterećenju asfaltni materijal se ponaša skoro pa elastično. Za asfaltni sloj može se uzeti reprezentativni modul elastičnosti pod utjecajem sile savijanja, a koji je uziman do sada prilikom dimenzioniranja, od 5000 N/mm². Maksimalno dozvoljeno naprezanje na savijanja iznosi 0,8 N/mm², [2].
- Kod temperatura većih od 20 °C, uz prisutnost dugoročnog opterećenja, može doći do pojave deformacija, a naročito u gornjih 15 cm asfaltnog sloja. Na to se može utjecati optimizacijom asfaltne mješavine, te dobrim međusobnim povezivanjem slojeva, a od velikog je značaja i mali kontaktni pritisak. Navedeno se može postići primjenom pragova velike priležne površine (GETRAC sustav) i pričvrsnog pribora velike elastičnosti, [2].

Budući da asfalt tijekom svog životnog vijeka prolazi proces starenja, što se dodatno intenzivira nedostatkom efekta valjanja kotačima vozila, primjenom visoko vezivnih sastojaka, te primjenom veziva sa visokim stupnjem plastičnosti, poput PMB bitumena (polimer modificiranog bitumena), u gornjim asfaltnim slojevima to se može ublažiti. Zahtijevani uvjeti za izvedenom površinom i točnom konačnom visinom čine karakteristike asfaltnih mješavina bitnima. Kako što je bitna kvaliteta asfaltne mješavine, tako je i bitna kvaliteta ugradnje. Da bi se što kvalitetnije izvela asfaltna površina potrebno je primjenjivati pločaste vibratore visokih performansi. Samo manje površinske nepravilnosti mogu biti uklonjene statičkim valjcima.

U usporedbi sa kolničkim asfaltnim konstrukcijama gdje je specifična debljina asfalta u najvišem konstrukcijskom razredu 34 cm, u gornji ustroj pruge ugrađuje se asfaltni sloj debljine do 40 cm. U cestogradnji očekivani životni vijek kolničke konstrukcije najčešće iznosi 30 godina, dok se kod ovakvih kolosijeka zahtijeva životni vijek od 60 godina, [2]. Kad se pločasti prag namjerava ugraditi na asfaltni sloj u tunelu, određena praktična saznanja moraju se uzeti u obzir prilikom faze izvođenja: izjednačavanje nepravilnosti i minimalna debljina sloja. Trenutna iskustva ukazuju na činjenicu da je 15 cm debeli asfaltni sloj u tunelu dovoljan, [2]. Postavlja se pitanje da li se led može formirati u šupljinama asfaltnog sloja u periodu hladnih vremenskih uvjeta, te da li pumpanje vode uz pomoć pragova prilikom prolaska tračničkih vozila može erozivno djelovati na površinu asfaltnog sloja. Opsežna laboratorijska ispitivanja pokazala su da se takvi negativni procesi ne događaju. Primjena geotekstila se pokazala kao dobar način za eliminaciju hidrauličkog tlaka. Izdizanje mraza nije moguće, [2].

3.1.3 Nosivi sloj stabiliziran hidrauličnim vezivom

Nosivi sloj stabiliziran hidrauličnim vezivom ugrađuje se ispod betonskog ili asfaltnog nosivog sloja. Uobičajena debljina sloja je 300 mm. Proizvedena stabilizacijska mješavina sastoji se od mineralnog agregata (mješavina prirodnih sedimentnih stijena, drobljenog pijeska i tucanika) granulirane zrnate strukture (maksimalna veličina zrna do 32 mm) i hidrauličnog veznog sredstva. Kao vezno sredstvo koristi se "Portland" cement. Udio veznog sredstva iznosi oko 110 kg/m³, [1]. Minimalna širina nosivi sloja stabiliziranog hidrauličnim vezivom iznosi 3,8 m. Krutost, koja raste od vrha prema dnu kolosiječne konstrukcije, povećavajući na taj način sveukupni kapacitet nosivosti cjelokupnog sustava gornjeg ustroja, postepeno je uspostavljena uz pomoć stabiliziranog sloja. Cjelokupni sustav zajedno sa nosivi slojem stabiliziranim hidrauličnim vezivom konstruiran je na način kako bi osigurao modul elastičnosti od $E_{v2} \geq 120 \text{ N/mm}^2$ na površini tamponskog sloja (sloj za zaštitu od smrzavanja), [1]. Nosivi sloj stabiliziran hidrauličnim vezivom ugrađuje se uz pomoć cestovnog finišera.

3.2 Donji ustroj kolosijeka

3.2.1 Mehanički zbijeni nosivi sloj

Glavna uloga mehanički zbijenog nosivog sloja (tampona) je sprječavanje kapilarnog uzdizanje vode iz temeljnog tla, te konstantna odvodnja površinske vode. Tamponski sloj također služi i kako bi kompenzirao razlike u krutosti pojedinih slojeva u smjeru posteljice. Tamponski sloj sastoji se od čistog šljunka koji je otporan na trošenje i mraz. Iz tog razloga njegova propusnost mora biti između 1×10^{-5} do 1×10^{-4} . Zahtijevani modul elastičnosti za novi kolosijek iznosi $E_{v2} \geq 120 \text{ N/mm}^2$, dok za nadogradnju $E_{v2} \geq 100 \text{ N/mm}^2$, [1].

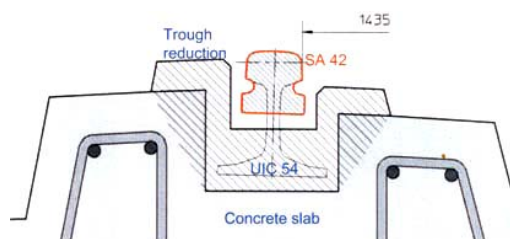
3.2.2 Temeljno tlo - planum

Prije izvođenja kolosijeka na čvrstoj podlozi na zemljanom tlu potrebno je sprovesti opsežnu analizu temeljnog tla. Iz tog razloga ispitivanje temeljnog tla izvode se svakih 50 m do dubine od 6 m, [1]. Modul elastičnosti na površini temeljnog tla prilikom izgradnje novog kolosijeka mora iznositi $E_{v2} \geq 60 \text{ N/mm}^2$, dok kod nadogradnje postojećeg, modul elastičnosti mora iznositi $E_{v2} \geq 45 \text{ N/mm}^2$. Ovi parametri kapaciteta nosivosti postignuti su konsolidacijom podtla, primjenjujući vapno ili cement kako bi ga se stabiliziralo, [1].

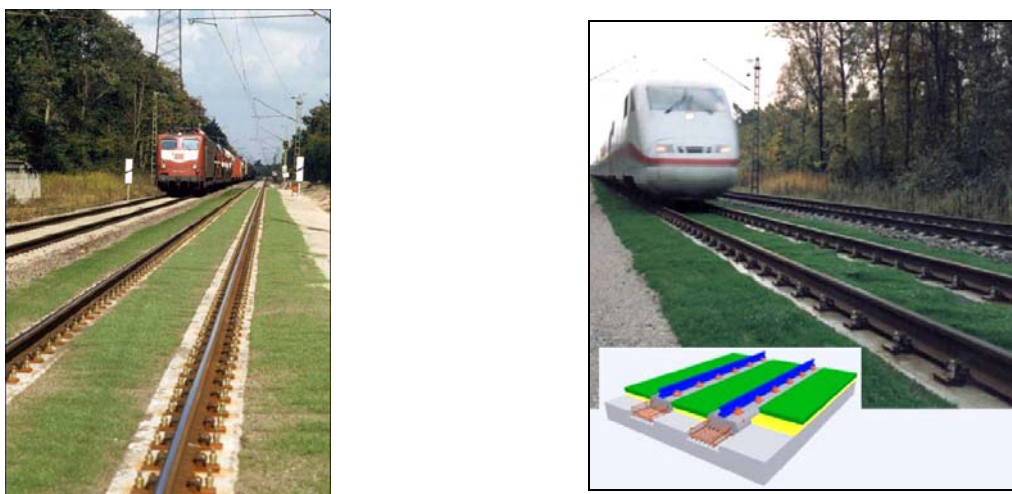
4. Osnovni zahtjevi na kolosijeke izvedene na čvrstoj podlozi

4.1 Zaštita od buke

Kao referentna vrijednost buke uzima se vrijednost buke izmjerena kod kolosijeka sa klasičnim gornjim ustrojem sa drvenim pragovima. S obzirom na referentnu vrijednost, izvedeni su koeficijenti korekcije za ostale različite tipove gornjeg ustroja. Korekcijska vrijednost za kolosijeke bez tucaničkog zastora iznosi +5 dB. Kao što vidimo, širenje buke kod kolosijeka na čvrstoj podlozi poprilično je veće u odnosu na klasične kolosijeke. Razlog tome leži u nepovezivanju tračnica visoko-elastičnim pričvrstnim priborom, te nedovoljna apsorpcija buke od strane konstrukcije kolosijeka, [1]. Vrijednosti emisije buke klasičnog zastornog kolosijeka mogu biti postignute samo uz primjenu opsežnih mjera zaštite od buke (oblaganje kolosijeka materijalom za apsorpciju buke, izvođenjem barijera za zaštitu od buke, itd.) (*Slika 4, 5 i 6*). Najjednostavnijom metodom se pokazalo ugrađivanje rastresitog apsorbirajućeg materijala na kolosijek uz naknadno zbijanje površine. Moguća je i ugradnja pločastog kolosijeka (kolosijek na betonskoj ploči) konfiguriranog kao masivni opružni sustava, što se naročito primjenjuje kod podzemnih željeznica, radi ublažavanja transmisije negativnih vibracija na okolne objekte koje moraju biti unutar dopuštenih granica. Primjena podloženih pragova omogućuje drastičnog smanjenja razine buke, [2]. Provedeno je mnogo eksperimenata sa raznovrsnim apsorbirajućim materijalima. Mnogi od njih nisu zadovoljili potrebnu vremensku stabilnost ili su jednostavno bili preskupi za primjenu, [1]. Za razliku od pločastih kolosijeka, rasprostiranje zvuka od kotača željezničkih vozila značajnije je na zastornim kolosijecima.



Slika 4. Oblaganje tračnica u svrhu smanjenja buke i vibracija, [11]



Slika 5. Oblaganje kolosijeka zatravljanjem, [5]



Slika 6. Različiti tipovi apsorbirajućih obloga, [5]

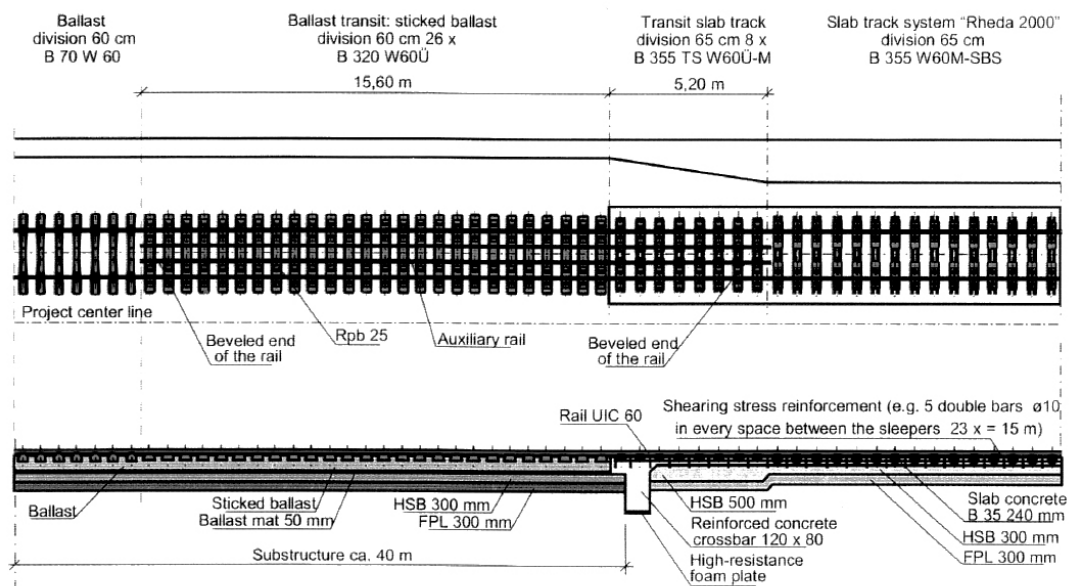
4.2 Prijelazi s kolosijeka bez zastora na kolosijek sa zastorom

Prijelazna područja između mostova, umjetnih i zemljanih građevina, kao i između kolosijeka sa i bez zastora su izuzetno problematična. Primjenjuju se specijalne građevinske mjere, kao što su dodatne tračnice (**Slika 7**), radi što bolje distribucije prometnog opterećenja, i/ili lijepljenje čestica zastora u prijelaznim područjima, [1]. Standardno rješenje za prijelazno područje između mosta i zemljane građevine predviđa umetanje hidraulički vezanog klina, te ako je potrebno, ugradnja prijelazne ploče iza upornjaka mosta.



Slika 7. Prijelaz sa kolosijeka na čvrstoj podlozi na klasični zastorni kolosijek, [10]

Na **Slici 8** prikazano je moguće rješenje prijelaza između klasičnog zastornog kolosijeka i kolosijeka na čvrstoj podlozi tipa "Rheda 2000".



Slika 8. Prijelaz sa kolosijeka na čvrstoj podlozi tipa "Rheda 2000" na klasični zastorni kolosijek, [4]

4.3 Kolosijeci u tunelima

Prvi konkretni koraci kod zamjene konvencionalnih zastornih kolosijeka sa kolosijecima na čvrstoj podlozi (kolosijeci bez tucaničkog zastora) započeli su 1960. godine planiranjem velikih tunela u Švicarskoj ("Bötzberg" tunel -1966. i "Heitersberg" tunel – 1973.) te "Channel" tunela između Engleske i Francuske. Interes za kolosijecima na čvrstoj podlozi potaknut je promatranjem zastorne prizme na betonskoj ploči. Promatranjem je utvrđeno da zastor ugrađen na krutu betonsku podlogu brže propada, u usporedbi sa istim ugrađenim na zemljanom tlu. Ujedno je utvrđeno da su radovi na održavanju zastora u tunelima puno teži, [2]. Kratka izdržljivost zastornih kolosijeka na betonskoj podlozi potvrđena je i iskustvima iz Japana: na 515 km pruge Tokaido (Tokyo – Osaka), koja je puštena u promet 1964. godine, a od koje se 50% trase nalazi na objektima, u periodu eksploatacije od 30 godina, bilo je potrebno dva puta zamijeniti zastornu prizmu na 75% trase, [2].

Povećani stupanj degradacije zastora na krutoj betonskoj podlozi objašnjen je sljedećim pretpostavkama:

- kruti donji ustroj ograničava prostor na kojem tračnice raspodjeljuju opterećenja, tako da veća opterećenja djeluju direktno ispod praga na kvazi-statičkoj podlozi,
- kod povećanih brzina, osjeća se veće parcijalno ubrzanje: vrijednost vertikalnih gibanja sa donje strane pragova se udvostručuju kako brzina vlaka ubrzava sa 160 km/h na 250 km/h - ovaj efekt se umanjuje proporcionalno većoj elastičnosti kolosiječne konstrukcije,
- harmonična pobuda, npr. kao rezultat sekundarnog savijanja na mjestima između pridržanja tračnica, smanjuje se povećanjem elastičnosti kolosijeka, [2].

Iz gore navedenih razloga pokazalo se da je za tunele najjednostavnije rješenje izvođenje kolosijeka na čvrstoj podlozi (**Slika 9**). Asfaltni ili betonski nosivi sloj može biti ugrađen direktno na tunelsku podlogu i, pod uvjetom da odgovarajuće kalkulacije budu dokazane, njegova debljina može biti reducirana, u usporedbi sa debljinom slojeva kolosiječne konstrukcije izvan tunela.



Slika 9. Primjena kolosijeka na čvrstoj podlozi u tunelima, [12, 10]

4.4 Kolosijeci na otvorenom dijelu trase

Kolosijeci bez tucaničkog zastora na otvorenom dijelu trase zahtijevaju posebnu pažnju s obzirom na moguću pojavu slijeganja. Iz konstruktivnih razloga razliku u visini uzrokovanu slijeganjem moguće je kompenzirati jedino uz pomoć pričvrstnog pribora na mjestima pridržanja tračnica (u rasponu od +26 i -4 mm). Iz tih razloga poznavanje zaostalih slijeganja od velike je važnosti, [1]. Pojava slijeganja mora biti konstantno i temeljito nadzirana, prije samog izvođenja kolosijeka. Nakon što se izvede nasip, potrebno je odrediti geodetske mjerne točke preko kojih se mjerenjem nadzire slijeganje. Mjerenja se vrše u kontinuiranim intervalima, najmanje jednom mjesečno. Potrebno je izraditi graf koji prikazuje veličinu slijeganja kroz promatrani vremenski period, iz kojeg je moguća zatim iščitati pojavu mogućih zaostalih slijeganja. Šupljine nastale slijeganjem tla dovode do vertikalnog međudjelovanja između tračnice i kotača, što ponekad može uzrokovati nedopustivu reakciju vozila. Maksimalna vrijednost zaostalih slijeganja ne smije biti jedini kriterij koji će se primjenjivati kod ocjenjivanja. Na dionicama gdje je položaj trase definiran primjenom graničnih elemenata čak i zanemariva zaostala slijeganja mogu dovesti do nedopustivih radijusa vertikalne krivine i nagiba.

4.5 Signalno-sigurnosni i elektro-tehnički zahtjevi

Za razliku od kolosijeka sa zastornom prizmom, u ovom slučaju odgovarajući slobodni prostor namijenjen montaži signalnih uređaja mora biti unaprijed predviđen. To znači da montaža signalne opreme mora biti završena prije početka izgradnje kolosijeka na čvrstoj podlozi.

Potrebni slobodni prostor za elektrotehničke instalacije mora biti osiguran. Njihovo planiranje i ugradnja također mora biti dovršena prije izvođenja samog kolosijeka. Vozila na električni pogon na standardnoj željeznici opskrbljivana su strujom putem kontaktne mreže. Operativni vodovi se moraju provesti kroz tračnice (**Slika 10**), i djelomice paralelno (**Slika 11**), kroz zemlju.



Slika 10. Instalacije uz samu tračnicu, [13]



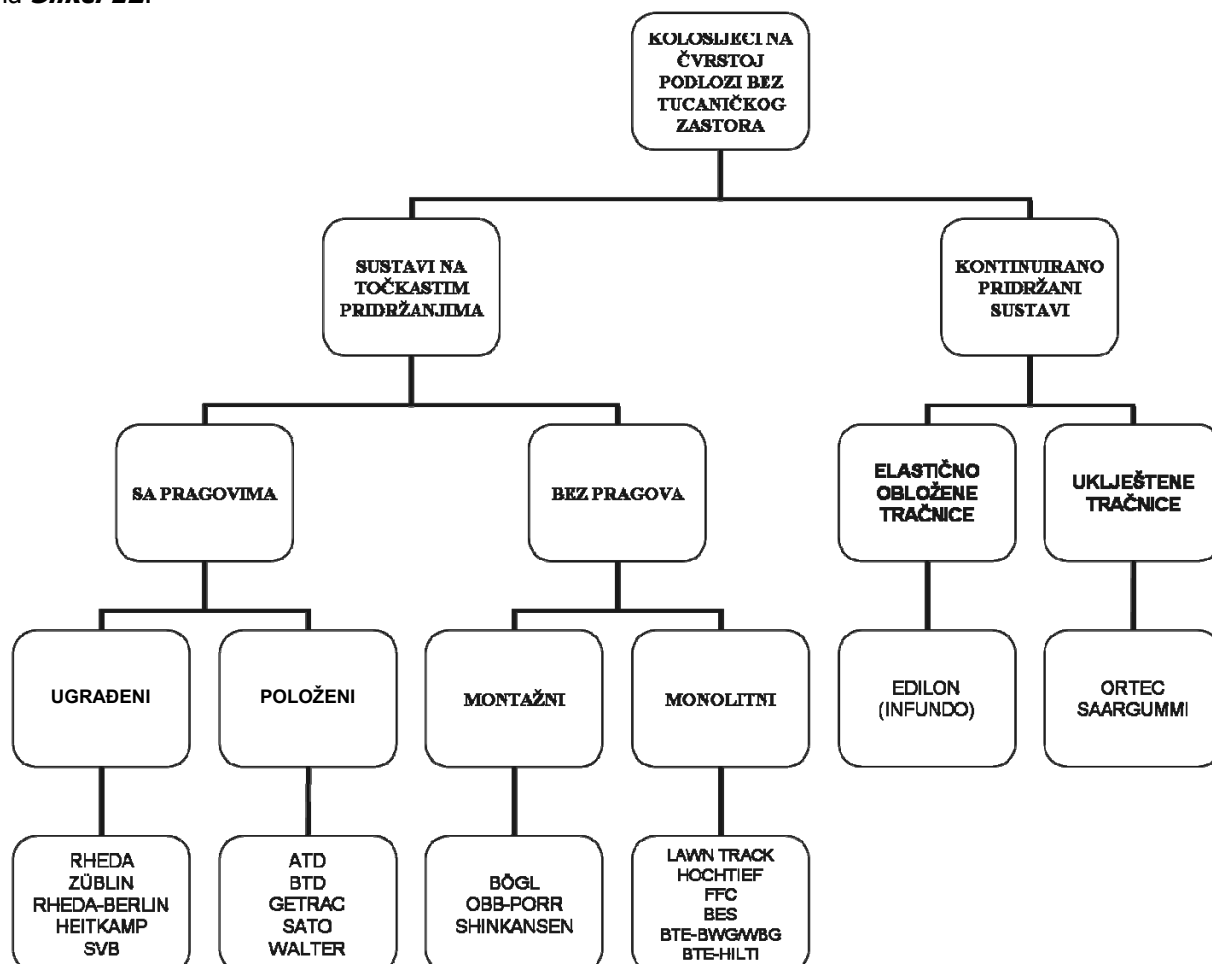
Slika 11. Poprečno vođenje instalacija, [10]

Naponska razlika između okolne zemlje i tračnice ne smije premašivati napon opasan po čovjeka, što znači da cilj mora biti niži difuzijski otpor. Svi armirani dijelovi i ostali elementi sa metalnim dijelovima kao

npr. stupovi, ograda na mostovima i sami mostovi, moraju biti uzemljeni. Sa druge strane, za signalnu opremu je poželjan visoki otpor izolacijskih umetaka između tračnica. Ta dva kontradiktorna zahtjeva moraju biti međusobno usklađena u izgradnji. Izolacijske umeci za tračnice i plastične kutne usmjeravajuće pločice umeću se ispod tračnica. Posebna značajka, u usporedbi sa zastornim kolosijecima je ta da armirani dijelovi, ako postoje, moraju biti dobro međusobno strujno povezani kako bi se spriječila pojava naponskih razlika. Dakle, armatura pločastog kolosijeka mora imati takve dimenzije kako bi sigurno odvodila izmjeničnu struju i kratke spojeve, bez da se pritom uništava ili oštećuje građevina. Dijelovi armature moraju biti uzemljeni kod svakog razvodnog stupa. Svaki pločasti kolosijek predstavlja visoki otpor iz perspektive provođenja struje. Spojevi svih dovoda najčešće su položeni u zemlju paralelno sa prugom.

5. Tipovi kolosijeka na čvrstoj podlozi

Prije nekoliko godina na kolosijeka bez tucaničkog zastora se gledalo u Europi kao na rizično i vjerojatno vrlo skupo rješenje za iznimno teške okolnosti u željezničkoj infrastrukturi. Razlog tome djelomično je ležao u ograničenom iskustvu vezanom za izvođenje takvih kolosijeka, ali isto tako i u manjku optimalizacije procesa izgradnje istih, budući da se gotovo svaki projekt činio kao eksperimentalni zadatak. Međutim od tada je razvijen cijeli opus tipova bezzastornih kolosijeka, koji su dokazivali svoju vrijednost u svakodnevnom željezničkom djelovanju. Detaljan pregled kolosijeka na čvrstoj podlozi dan je na **Slici 12**.

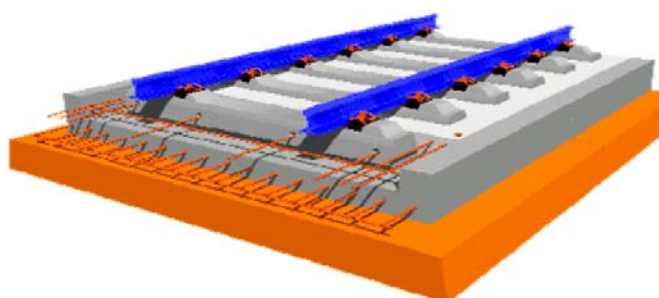


Slika 12. Pregled različitih tipova kolosijeka na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora, [1]

5.1 Kolosijeci izvedeni postupkom ugrađivanja pragova

5.1.1 Sustav "RHEDA"

Ime "Rheda" potječe od prvog bezzastornog kolosijeka koji je izveden 1972. godine na Rheda-Wiedenbrück željezničkoj stanici (**Slika 13**). Prilikom izvođenja eksperimentalne dionice, korištena je kontinuirano armirana ploča (lijevana – bez razdjelnica) debljine svega 14 cm. Pragovi su se prethodno precizno namjestili horizontalno i visinski (uz pomoć klinastih podmetača uzdignuti za 4 cm), nakon čega su zabetonirani. Unatoč posteljici u lošem stanju, koja danas sigurno ne bi zadovoljila potrebne tehničke uvijete, ugrađeni "Rheda" sustav i danas nakon 35 godina besprijekorno funkcionira. Osim brušenja tračnica, ostali radovi na održavanju nisu bili potrebni. Rheda sustav je iz tih razloga danas prototip za sve današnje kolosijeke bez tucaničkog zastora, [2]. Kako je sustav "Rheda" oslobođen od bilo kakvog patentnog prava, tijekom proteklih godina razvijeno je mnoštvo konstrukcijskih varijanti navedenog sustava od strane različitih proizvođača.



Slika 13. Rheda-Wiedenbrück željeznička stanica sa "Rheda" kolosiječnom konstrukcijom, [5]

Kod ovakvih sustava betonski pragovi su trajno fiksirani za betonsku ploču. Prednost toga očituje se u očuvanja točne širine i nadvišenja kolosijeka. Pokušaji rekonstrukcije, suprotno pozitivnim iskustvima tijekom operativnog djelovanja, nisu bili uvjerljivi. Popravci zahtijevaju dugotrajni zatvor kolosijeka. Korigiranje visine većih razmjera može biti teško izvediva. U praksi, pragovi se ne mogu individualno zamijenjeni zbog postojanja uzdužne armature. Betonski nosač u obliku korita na koji se postavlja kolosiječna rešetka ne može se koristiti za ugradnju materijala namijenjenog apsorpciji zvuka.

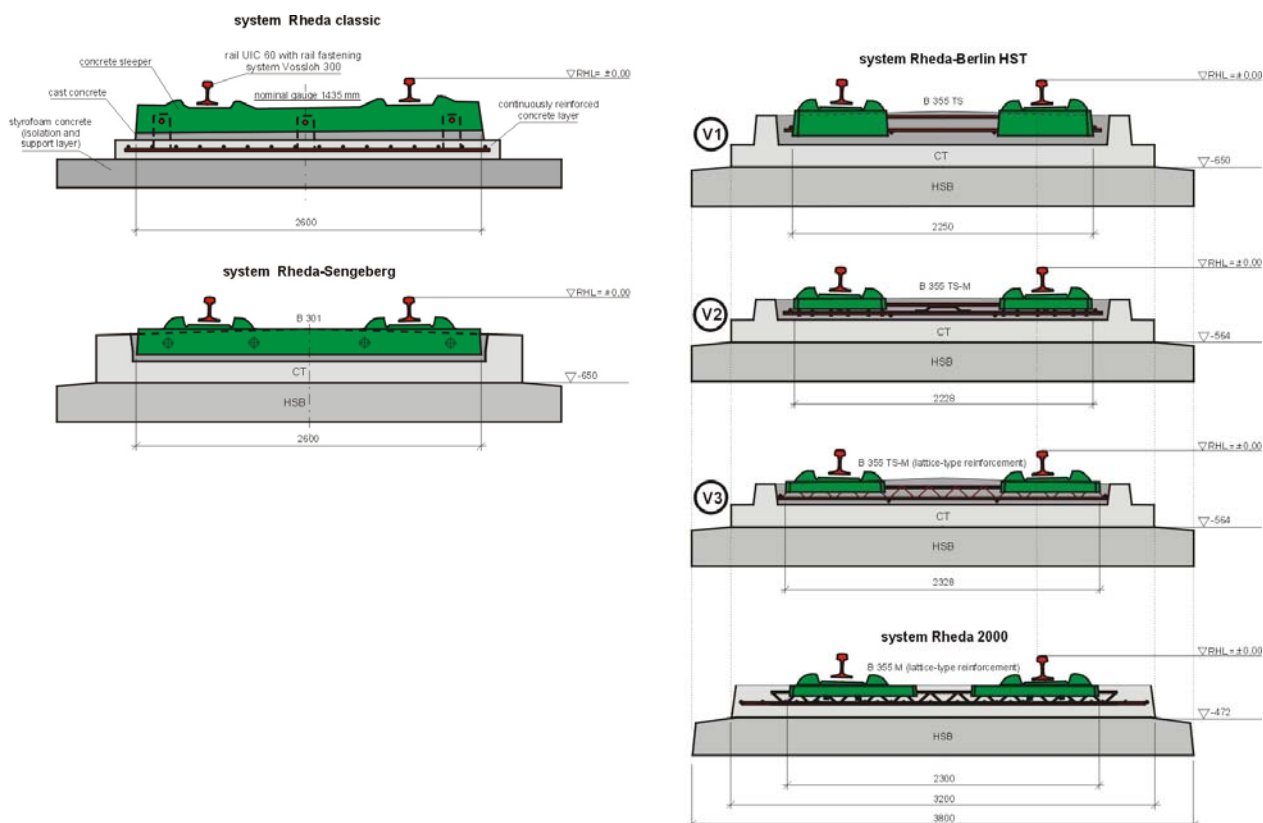
Zajednička karakteristika svih "Rheda" kolosiječnih sustava je način izrade. Prag duljine 2,60 metara umeće se na betonski nosivi sloj koji zauzima oblik korita. Svrha bočnih „zidova“ je omogućiti lakše poprečno namještanje pragova. Zahtijevana preciznost polaganja trase postignuta je vertikalnom i horizontalnim namještanjem (uz pomoć vijka za regulaciju - **Slika 14**). Nakon namještanja, pozicija praga se fiksira ugradnjom betona. U namjeri da se spriječi moguće pomicanje praga iz definiranog položaja tijekom stvrdnjavanja betona zbog temperaturnih utjecaja, potrebno je prethodno otpustiti pričvrсни pribor. Tijekom ispunjavanja korita betonom, kolosijek se ne smije koristiti. Stoga se beton mora ugrađivati sa bočne strane, tj. sa susjednog kolosijeka, ili ako to nije moguće, u osi kolosijeka uz pomoć betonske pumpe (**Slika 15**). Ukupna visina različitih tipova "Rheda" sustava varira između 830 i 961 mm računajući od vrha tračnice do vrha tamponskog sloja (**Slika 16**).



Slika 14. Vijci za vertikalnu regulaciju pragova



Slika 15. Betoniranje "Rheda" pločastih kolosijeka



Slika 16. Različiti oblici sustava "Rheda", [7].

5.1.2 Sustav "Rheda-Berlin"

Osnovni elementi ovog oblikovnog rješenja modelirani su prema prvobitnom "Rheda" sustavu. Razlike u usporedbi sa prvobitnim "Rheda" sustavom su sljedeće:

- primjenjuje se dvodijelni pragovi duljine samo 2,25 m sa upuštenom armaturom
- širina betonske nosive ploče koritastog oblika smanjena je na 2,87 metara
- uzdužna armatura postavlja se sa strane na armaturu koja izlazi iz betonskih pragova
- ciljana pozicija kolosijeka namješta se pomoću okvira koji bočno podupiru beton, [1].

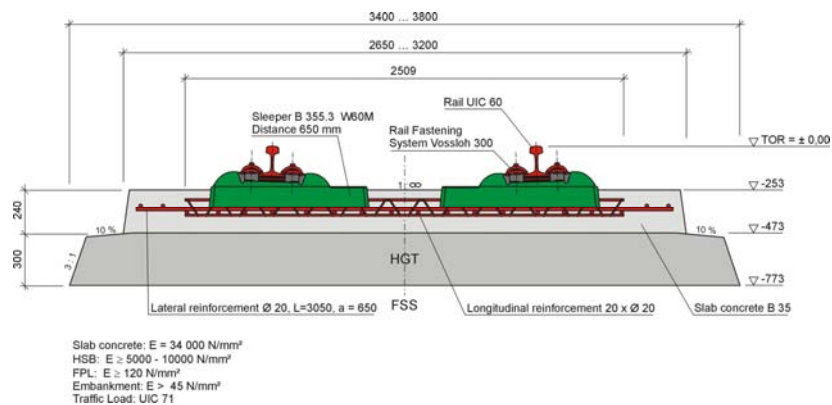
Na **Slici 16** prikazani su poprečni presjeci različitih podvrsta ovog sustava (V1, V2, V3). **Slika 17** kronološki prikazuje tehnologiju izvođenja: izrada cementom stabiliziranog nosivog sloja, postavljanje armaturne mreže za betonsku ploču, betoniranje betonske ploče, postavljanje pragova na betonsku ploču, horizontalno i vertikalno namještanje kolosijeka i međusobno povezivanje pragova lijevanim betonom.



Slika 17. Kronološki prikaz izvođenja sustava "Rheda-Berlin"

5.1.3 Sustav "Rheda 2000"

Kolosiječni sustav "Rheda 2000" koristi modificirane dvodijelne pragove sa upuštenom rešetkastom armaturom (**Slika 18**). Kod ovog "Rheda" sustava napušteno je koritasto oblikovno rješenje betonske nosive ploče. Cilj dvodijelnih pragova ovog tipa je uspostava bolje povezanosti između armature betonske ploče i samih pragova. Uzdužna armatura betonske ploče umetnuta je u rešetkastu armaturu dvodijelnog praga. Armaturna rešetka praga prolazi donjom površinom cjelokupnog sustava pragova, te stoga može držati armaturu nosive betonske ploče. Svi elementi su zaliveni betonom u jednom komadu bez dilatacije. To je prednost u usporedbi sa prethodnim "Rheda" oblikovnim tipovima, gdje su se mogli stvoriti nepoželjni procjepi između lijevanog betona i nosive betonske ploče. Druga prednost je mala ukupna visina konstrukcije (**Slika 19**).



Slika 18. Poprečni presjek sustava "Rheda 2000", [7]

Kada se prostor oko i između pragova ispuni betonom, potrebno je kolosijek privremeno zaštititi prekrivanjem, kako na sazrijevanje betona ne bi utjecali eventualni nepovoljni vremenski uvjeti. Prije prekrivanja, površinu betona potrebo je pažljivo ručno zagladiti. Proces potpunog stvrdnjavanja betona traje 4 tjedna. Tijekom tog perioda, beton može podnijeti određeni kontrolirani teret. Nakon što beton očvrstne, uklanja se oplata, te se skidaju privremene konstruktivne tračnice (duljine 15 m), kako bi se mogao ugraditi dugi trak tračnica (duljine 120 m). Gornji ustroj kolosijeka zahtijeva podlogu kod koje neće doći do slijeganja budući da ugrađena armatura u centralnom dijelu pločastog kolosijeka ima zadatak samo da regulira formiranje i širenje pukotina, te prenosi poprečne sile, a ne i da osigurava međusobnu povezanost betonske ploče. "Rheda 2000" povezuje visoku razinu sigurnosti i besprijekornu stabilnost kolosijeka kroz dugi vremenski period sa povoljnom cijenom izgradnje i niskim troškovima održavanja. Ovaj sustav zadovoljava sve zahtjeve koji su potrebni za odvijanje teškog željezničkog prometa pri velikim brzinama. To je potvrdila i RAMS analiza koja je provedena po međunarodnim standardima, [10].



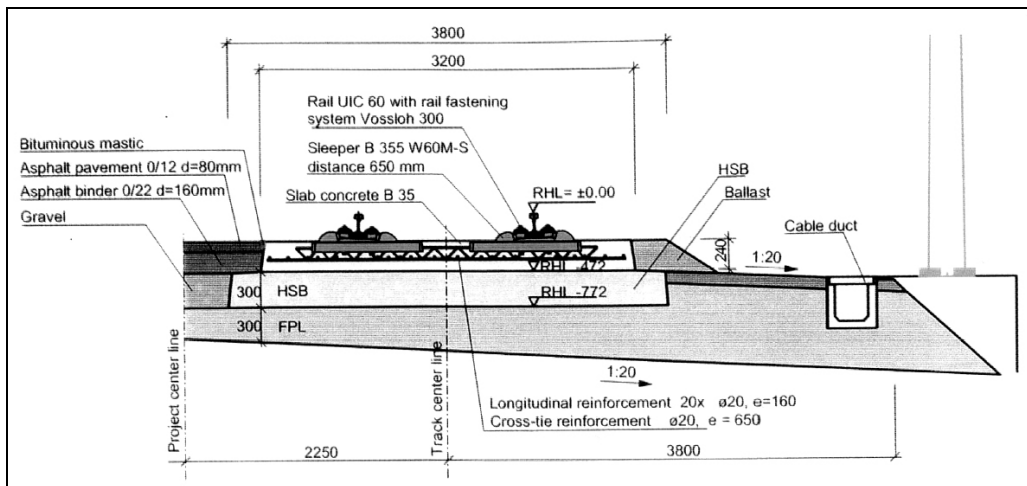


Slika 19. Kronološki prikaza izvođenja kolosiječnog sustava "Rheda 2000"

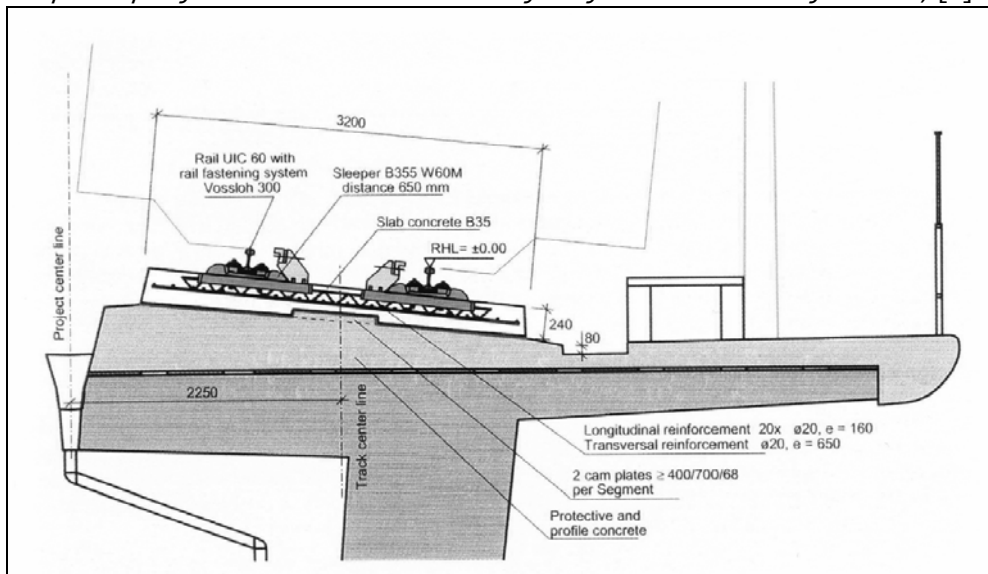
Sustav Rheda 2000 omogućuje sljedeće:

- optimalizaciju monolitne kvalitete kolosijeka unutar cjelokupnog poprečnog presjeka
- jedinstveni nosivi sloj kolosijeka konstruktivne visine svega 240 mm
- veliki broj mehaniziranih procesa izvođenja
- smanjenje vremena izvođenja (rezultat lagane konstrukcije) sa mogućnošću primjene predgotovljenih elemenata
- uniformirani modularni sustav za primjenu na nasipima, u tunelima i na mostovima
- oblikovno dimenzioniranje kolosijeka pridržavajući se osnovnih načela brzih željeznica i teškog teretnog prometa

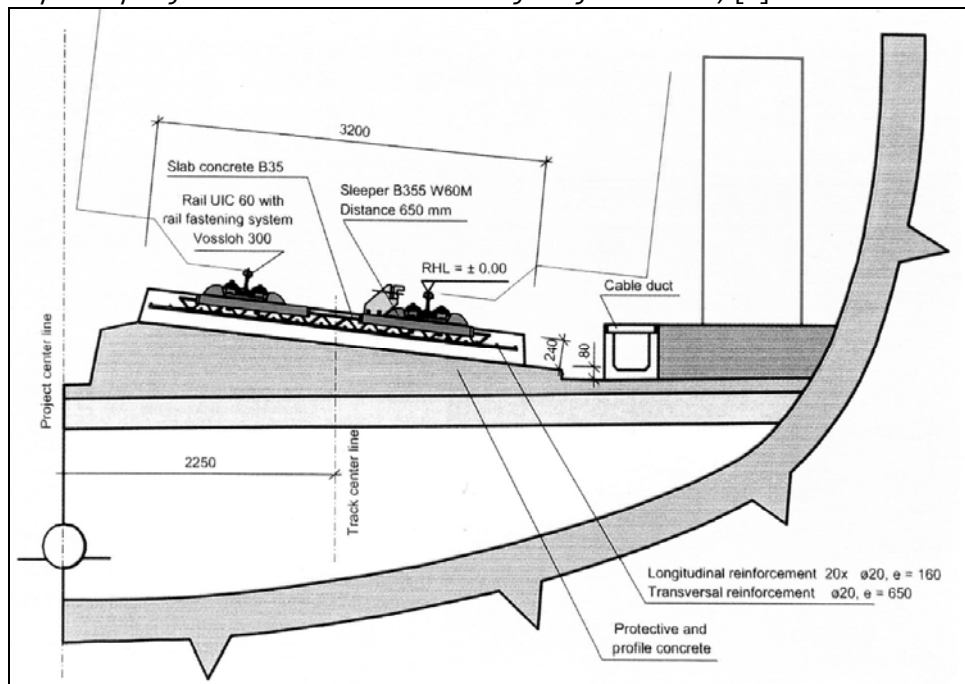
Zbog rentabilnosti u planiranju, projektiranju i dimenzioniranju, kolosiječni sustav "Rheda 2000" sadržava nekoliko rješenja koja udovoljavaju različitim oblicima trasiranja s kojima se u praksi susrećemo. Razrađeni su posebni sustavi za trasiranje na nasipima, na dugim i kratkim mostovima, u bušenim tunelima ili tunelima izvedenim metodom "cut & cover". **Slike 20, 21 i 22** prikazuju primjere poprečnih presjeka razrađenih posebnih kolosiječnih sustava.



Slika 20. Poprečni presjek sustava "Rheda 2000" – rješenje na otvorenom dijelu trase, [4]



Slika 21. Poprečni presjek sustava "Rheda 2000" – rješenje na mostu, [4]



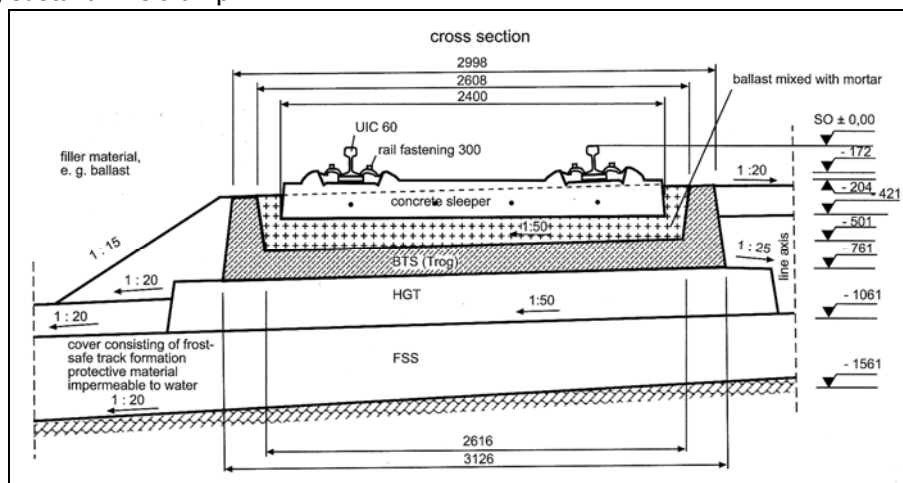
Slika 22. Poprečni presjek "Rheda 2000" sustava – rješenje u tunelu, [4]

Za pozicioniranje pragova razvijena su dva različita procesa, sa visoko prilagodljivim vijcima i poprečnim mehaniziranim lokatorima, ili uz pomoć linijskih i visinskih klinova razvijenih od strane tvrtke "Rhombert". Konkretno prednosti kolosiječnog sustava "Rheda 2000" su:

- velika preciznost nagiba kolosiječnih tračnica i geometrije kolosijeka zahvaljujući pragovima
- nema nepotrebne primjene rezervi naknadne podešljivosti kod pričvrstnog pribora koja se primjenjuje za ispravljanje pogrešaka u geometriji kolosijeka
- nema periodičnih, vertikalnih ili horizontalnih formiranja valova u tračnicama
- nema dodatnih zahtjeva za potrebnu toleranciju pojedinih komponenti kolosijeka
- nije više potrebno osigurati uzdužne spojeve u betonskom sloju kolosijeka budući se je napustilo rješenje sa koritastom formom betonske ploče.
- dobre osobine betona
- mogućnost boljeg dnevnog učinka prilikom izvođenja
- smanjenje udjela armature u betonskom nosivom sloju koji se nalazi u tunelu

5.1.4 Sustav "Heitkamp"

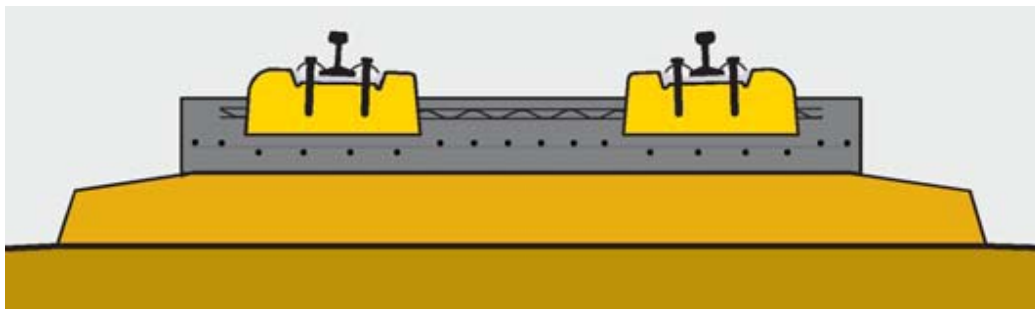
Kolosiječni sustav "Heitkamp" u velikoj mjeri nalikuje na osnovni "Rheda" sustav sa betonskom nosivom pločom u obliku korita. Ovaj sustav, za razliku od „Rheda“ sustava, koristi šljunak kao materijal za ispunu umjesto betona. To pruža određenu prednost s obzirom na mogućnost primjene postojeće uobičajene mehanizacije prilikom održavanja kolosijeka, poput stroja za zbijanje zastora koji se koristi prilikom obnavljanja geometrije kolosijeka. Nakon što je projektirana pozicija kolosijeka uspostavljena, praznine u zastornom materijalu zalijevaju se cementnom emulzijom, [1]. Na **slici 23** prikazan je poprečni presjek kolosiječnog sustava "Heitkamp".



Slika 23. Poprečni presjek pločastog kolosijeka tipa "Heitkamp", [1]

5.1.5 Sustav "Züblin"

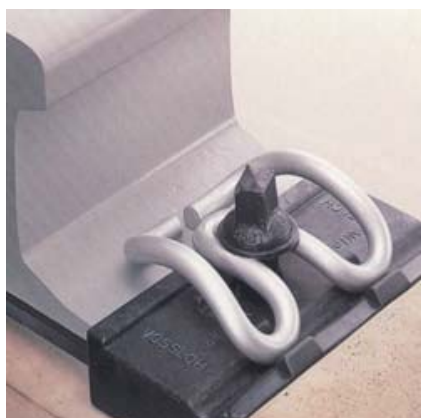
Züblin kompanija započela je sa razvojem kolosijeka na čvrstoj podlozi sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Züblin je bila prva kompanija koja je početkom 1990. unaprijedila postojeći "Rheda" sustav u monolitni sustav bez spojeva primijenivši dvodijelne pragove. Sa tom inovacijom Züblin je postavio temelje za standardizaciju današnje tehnologije kolosijeka na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora. Poprečni presjek kolosiječnog sustava Züblin prikazan je na **Slici 24**.



Slika 24. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "Züblin", [12]

Kod oblikovnog rješenja "Züblin" pragovi nisu zaliveni betonom kako bi sa betonskom podlogom činili monolitnu strukturu. Koristi se mobilni uređaj koji uz pomoć vibratora postavlja pragove u neukrućeni beton nosivog sloja. Konzistencija betona betonskog nosivog sloja mora biti odabrana na način da se s jedne strane bude dovoljno 'mekan' da se može umetnuti prag uz pomoć vibracija, te s druge strane da bude dovoljno čvrst da ne dođe do izmicanja pragova. Koriste se i jednodijelni i dvodijelni betonski pragovi. Izbočine koje su postavljene sa donje strane obiju vrsta pragova umeću se u beton zajedno sa pragovima, [1]. Osnovna ideja "Züblin" proizvodnog sustava je podjela proizvodnje u nekoliko odvojenih proizvodnih faza kako bi se optimizirali pojedini dijelovi proizvodnog procesa. Postupci proizvodnje elemenata i izgradnje kolosijeka s ovim sustavom, kronološki su prikazane na **Slici 25**. Osnovne faze izgradnje kolosiječne konstrukcije su:

- priprema i izgradnja donjeg nosivog sloja i veznog sloja,
- armiranje, betoniranje i zbijanje betonskog nosivog sloja bez ugradnje pragova,
- precizno namještanje pragova sa montiranim pričvrsnim priborom za tračnice uz pomoć vibracija u kompaktan ali ne i ukrućeni beton nosive betonske ploče.





Slika 25. Kronološki prikaza izvođenja "Züblin" kolosječnog sustava, [12]

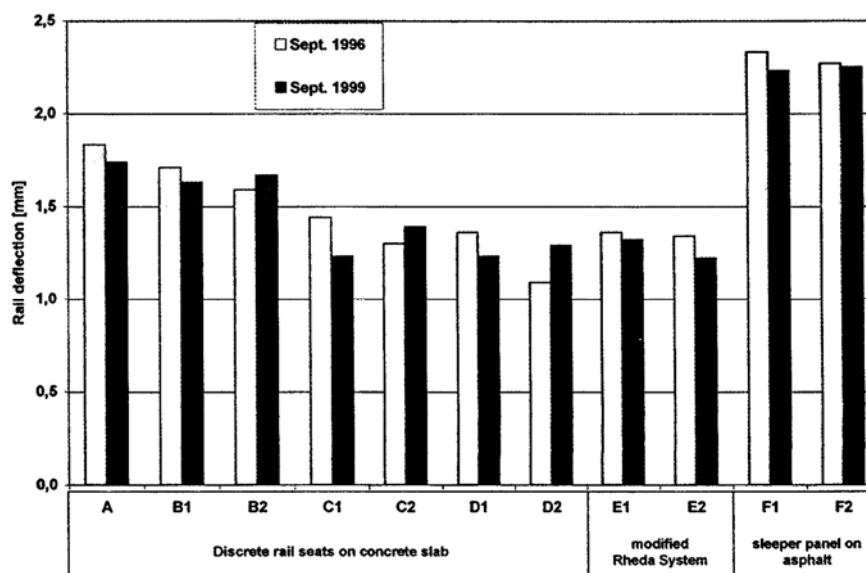
Trošak postavljanja "Züblin" pragova u tunelima iznosi oko 570 €/m', bez uključenih troškova tračnica i dostave pragova. Pretpostavlja se da bi troškovi dostave pragova i nabave pričvrsnog pribora iznosili oko 285 €/m' trase, a ista cijena bi bila i za sklapanje pričvrsnih sklopova. Troškovi zaštite od buke procjenjuju se na oko 60 €/m' trase. Osigurano je dovoljno mjesta za unos materijala potrebnog za zaštitu od buke. Nedostatak ovih pragova je kompliciranost zamijene istih u fazi popravaka, [1].

5.2 Kolosijeci izvedeni postupkom polaganja pragova

Kod pričvršćenih sustava kolosijeka kolosiječna rešetka nije vezana za nosivi sloj. Individualne točke pridržanja, zbog pitanja čvrstoće, nije moguće usidriti u asfaltnom nosivom sloju. Iz tog razloga kod kolosijeka na čvrstoj podlozi sa asfaltnim nosivim slojem mogu se koristiti jedino pričvršćeni kolosiječni sustavi. Moguće odstupanje visine asfaltnog ili betonskog nosivog sloja ne smije prekoračiti ± 2 mm. Na izvedeni nosivi sloj pričvršćuje se kolosiječna rešetka. Donju površinu betonskog sloja potrebno je obložiti sa geotekstilom radi zaštite nosivog sloja od mogućih oštećenja, [1].

Od svih sila koje djeluju na kolosiječnu rešetku, samo se poprečne sile prenose na nosivi sloj. Osobitu pažnju potrebno je posvetiti dugotrajnoj stabilnosti sustava zbog plastičnog ponašanja građevnih materijala na bazi bitumena koji je podložan promjeni svojih osobina zbog temperaturnih utjecaja. Budući da je nosivi sloj izveden vrlo precizno, nema potrebe za dodatnim vertikalnim namještanjima. Tolerancija, koja postoji zahvaljujući proizvodnom procesu, može se kompenzirati jedino namještanjem pričvrsnog pribora. Prednost pričvršćenih sustava leži u činjenici da se horizontalno namještanje trase može postići uz pomoć klasičnog stroja za nabijanje. Radna željeznička vozila mogu koristiti prugu odmah nakon pričvršćenja tračnica. U većini slučajeva primjenjuje se asfaltni nosivi sloj. Jedan od razloga je što asfalt omogućuje lakše postizanje točne visine, tj. moguće je njegovo 'frezanje'. Posteljica za pragove ispunjava se šljunkom.

Mane pričvršćenih sustava leže u opasnosti od drobljenja, te penetraciji vode između podložnog nosivog sloja i asfaltnog nosivog sloja što ima za posljedicu moguća naknadna oštećenja od smrzavanja. Na slici 26 prikazana je veličina kvazi-statičkih progiba tračnice uslijed opterećenja od 200 kN/osovini, za 7 različitih pločastih kolosiječnih sustava, na eksperimentalnoj dionici u Waghäuselu. Iskazane vrijednosti predstavljaju rezultate mjerenja dobivenih neposredno nakon puštanja kolosijeka u promet, te rezultate mjerenja nakon 3 godine eksploatacije. Ukupni teretni promet iznosio je oko 60 milijuna bruto tona. Mala razlika između ovih mjerenja predstavlja izvanredan rezultat, naročito za sustave F1 i F2 koji su koristili pragove na asfaltnom nosivom sloju, što je demonstriralo nepromijenjene karakteristike podloge. Poželjna vrijednost progiba tračnice iznosi između 1.5 mm i maksimalnih 2 mm, što je uspješno zadovoljeno na testiranom kolosijeku sa sustavom čiji se pragove postavlja na asfaltni sloj. Također treba imati na umu da na dobivene vrijednosti veliki utjecaj ima elastičnost pričvrsnog pribora, [2].



Slika 26. Vrijednosti progiba tračnice kod različitih sustava kolosijeka (Waghäusel), [2]

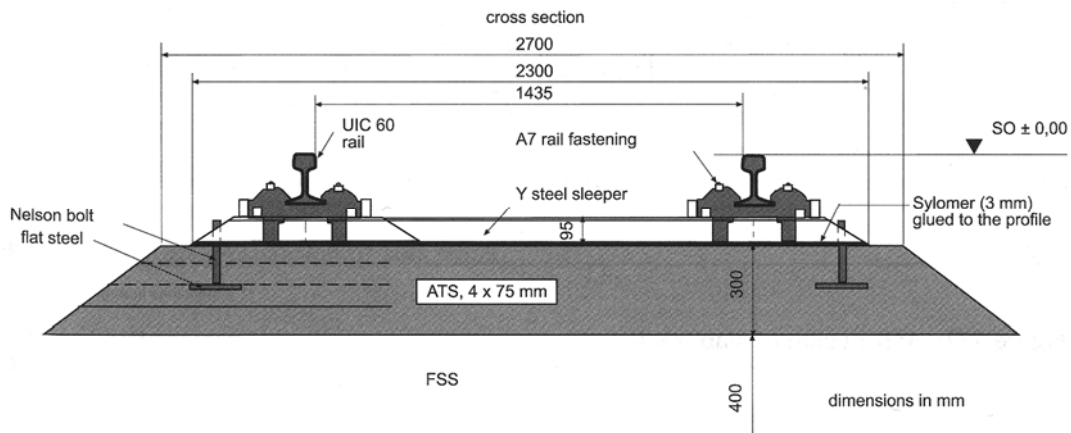
Različiti sustav kolosijeka na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora koji su primijenjeni u Waghäuselu imaju veći osovinski razmak između ugrađenih pragova od uobičajenih 65 cm, što nije kompenzirano sa dvostrukim podupiranjem tračnica. Razmak između pragova veći od 65 cm ne bi se smio primjenjivati kod kolosijeka namijenjenih prometovanju pri velikim brzinama jer iskustvo je pokazalo da se u protivnome harmonijski pobuđuju tračnice između pragova, što se mora izbjeći, [2]. Deformacija asfaltnog sloja iznosila je oko 0,3 mm, što je usporedivo sa kolničkim konstrukcijama, [2]. S obzirom na krivulju izvijanja kolosijeka, može doći do pojave i vrlo malog izdizanja standardnog praga od asfaltnog sloja. Široki pragovi imaju veću težinu što rezultira boljim osobinama nalijeganja.

Prilikom prolaska vlaka (kratkotrajno opterećenje) unutar samog kolosijeka ne pojavljuju se veći progibi zahvaljujući krutosti elastičnih podmetača, na mjestima pridržanja tračnica, i karakteristikama asfaltnog sloja. Prelazak na kolosijek sa zastorom zahtijeva posebnu građevinu, npr. specijalni odsjek bezzastornog kolosijeka u duljini od 15 m sa betonskim pločastim nosačem na koji se fiksira pomoćna tračnica u dužini od 20 m, [2]. U tunelima, proces izvođenja je pojednostavljen, budući da asfaltni sloj u tom slučaju nema nosivu ulogu, što ujedno omogućuje izvođenje temeljnog sloja debljine 15 cm, [2].

Takmičenje između betonskog i asfaltnog sloja kao nosivog dijela kolosiječne konstrukcije bez tucaničkog zastora od velikog je značaja. Kao i kod cestogradnje, to ima za posljedicu kontinuirano poboljšanje tehnologije izvođenja, veću kvalitetu izvedenog i poboljšanu ekonomičnost.

5.2.1 Sustav "SATO"

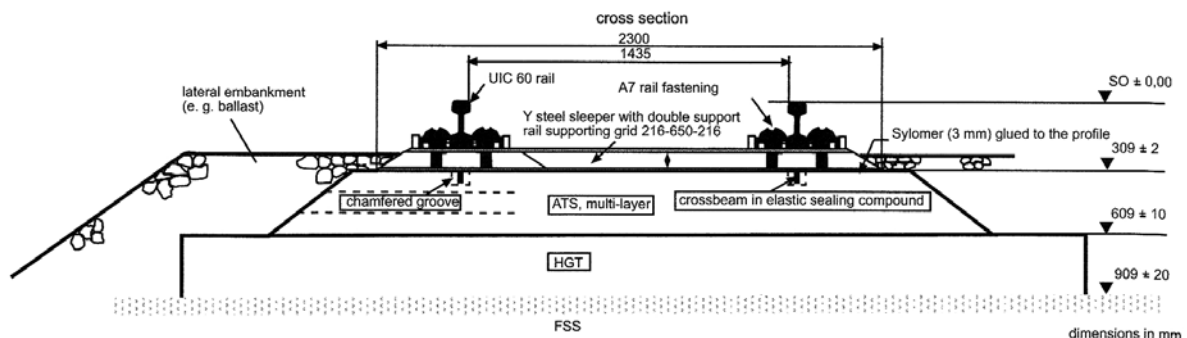
Kod kolosiječnog sustava "SATO" (Studiengesellschaft Asphalt-Oberbau) Y-čelični pragovi postavljaju se na asfaltni nosivi sloj, (Slika 27). Čelični pragovi su zakovani za ravnu čeličnu traku usmjerenu u uzdužnom smjeru trase, koristeći "Nelson" zakovice (zakovice za pragove). Ravna čelična traka zajedno sa zakovicama za pragove ugrađuje se u asfaltni nosivi sloj. U ovoj skupoj građevini Y-čelični pragovi fiksiraju se i u horizontalnom i u vertikalnom smjeru, [1].



Slika 27. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "SATO", [1]

5.2.2 Sustav "FFYS"

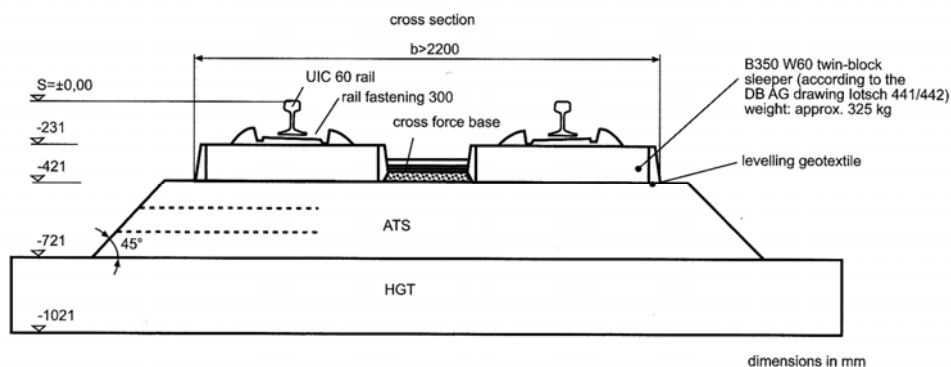
Kolosiječni sustav "FFYS" (**F**este **F**ahrbahn **Y**-**S**tahl**S**chwelle) predstavlja unaprijeđeni "SATO" sustav (**Slika 28**). Dvije trakaste ploče postavljene ispod pragova (poprečna greda) spojene su u "izglodanom" utoru u asfaltnom nosivom sloju, te su povezane sa njime uz pomoć ljepljive smjese. To omogućava prenošenje poprečnih sila, [1].



Slika 28. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "FFYS", [1]

5.2.3 Sustav "ATD"

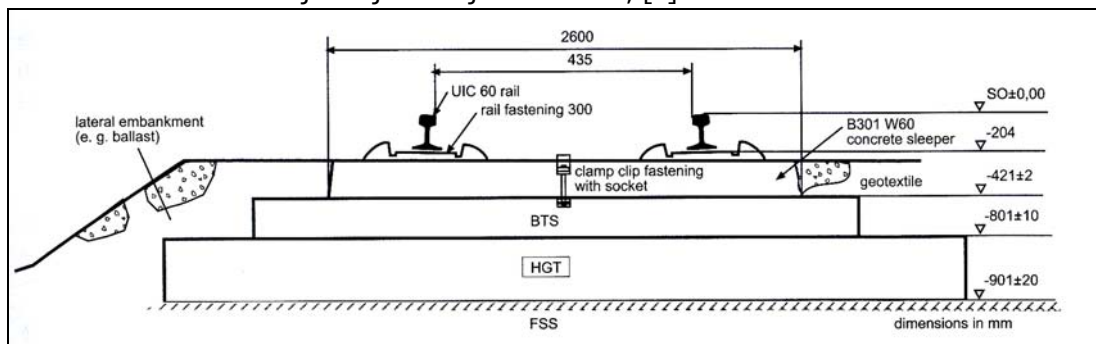
Kolosiječni sustav "ATD" (**A**sphalt**t**ragschicht mit **D**irekta**u**flagerung) sadrži uporište za preuzimanje poprečnih sila u središtu kolosijeka (**Slika 29**). Nakon što je kolosiječna rešetka horizontalno namještena, slobodni prostor između uporišta za poprečne sile i pragova zaljeva se sintetičkim materijalom. Koriste se i jednodijelni i dvodijelni pragovi. Dvodijelni pragovi su opremljeni sa svoje donje strane utorom na koji se veže uporište za poprečne sile, [1].



Slika 29. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "ATD", [1]

5.2.4 Sustav "BTD"

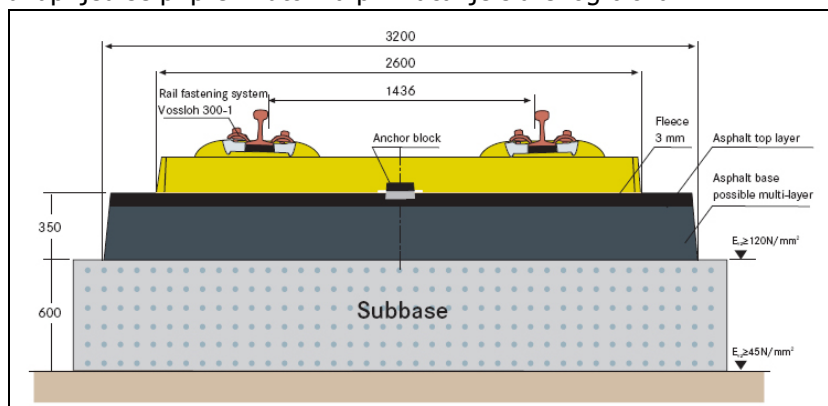
Kolosiječni sustav "BTD" (**B**etontragschicht mit **D**irektaufagerung) koristi samo jednodijelne pragove (**Slika 30**). Svaki drugi prag ima u svom središnjem dijelu rupu kroz koju se umeće čelični klip. Čelični klip ugrađuje se u bušotinu u betonskom nosivom sloju i na taj način prenosi naprezanja iz praga. Bušotina se izvodi nakon namještanja kolosiječne rešetke, [1].



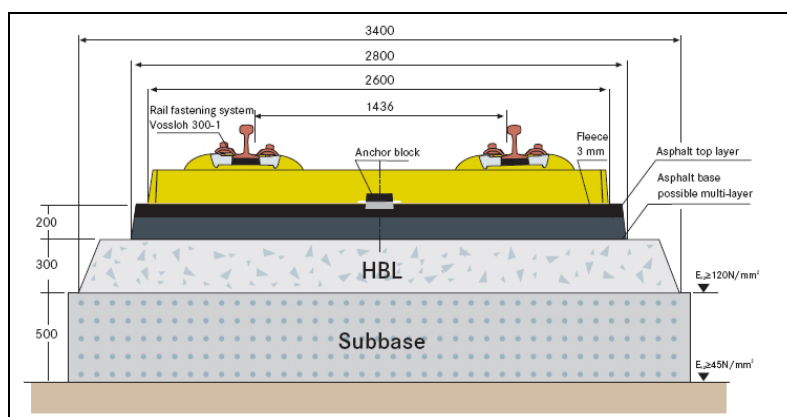
Slika 30. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "BTD", [1]

5.2.5 Sustav "GETRAC"

Sustav kolosijeka na čvrstoj podlozi "GETRAC" (**G**erman **T**rack **C**orporation) u potpunosti koristi prednosti koje su proizašle primjenom asfaltnog materijala s obzirom na to da jedino karakteristike asfaltnog materijala omogućuju neprekidno obnavljanje geometrije kolosijeka tijekom perioda eksploatacije. "GETRAC" sustav (**Slika 31 i 32**) sastoji se od prednapetih betonskih pragova koji se trajno i elastično pričvršćuju za asfaltni nosivi sloj uz pomoć tzv. sidrenih blokova koji su načinjeni od betona visoke čvrstoće. Sidreni blokovi su oblikovani na način da prenose uzdužna i poprečna, prometom uzrokovana, opterećenja na asfaltni nosivi sloj, bez mogućnosti pomaka geometrije kolosijeka. U asfaltnom sloju unaprijed se pripremi utor za prihvaćanje sidrenog bloka.



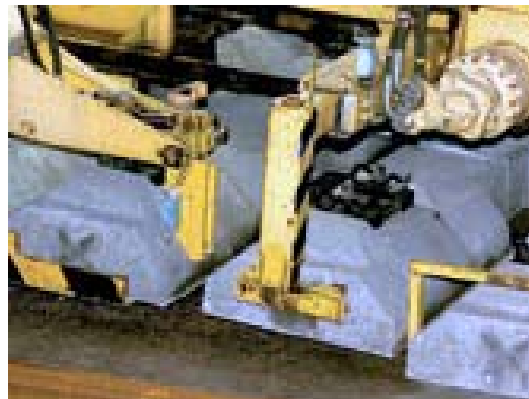
Slika 31. Poprečni presjek "GETRAC" sustava bez hidraulički stabiliziranog sloja, [13]



Slika 32. Poprečni presjek „GETRAC" sustava sa hidraulički stabiliziranim slojem, [13]

Nakon što se izvede hidraulički stabilizirani nosivi sloj, ukoliko je on potreban, na temeljnoj podlozi, slijedi izvođenje asfaltnog nosivog sloja u nekoliko slojeva uz pomoć automatski kontroliranog finišera visokih performansi koji se navodi kontrolnim kablom. Završni, najviši asfaltni sloj, izvodi se od finog asfalt-betona. Maksimalno moguće odstupanje izvedene debljine sloja iznosi ± 2 mm.

Ugradnja kolosiječnih ploča (pragova) vrši se uz pomoć uobičajene građevinske opreme. "GETRAC" pragovi se mogu ugrađivati individualno, ali i kao montažni kolosiječni segmenti (kako bi se smanjilo vrijeme izvođenja). **Slika 33** prikazuje pojedine faze izvođenja ovog kolosiječnog sustava.



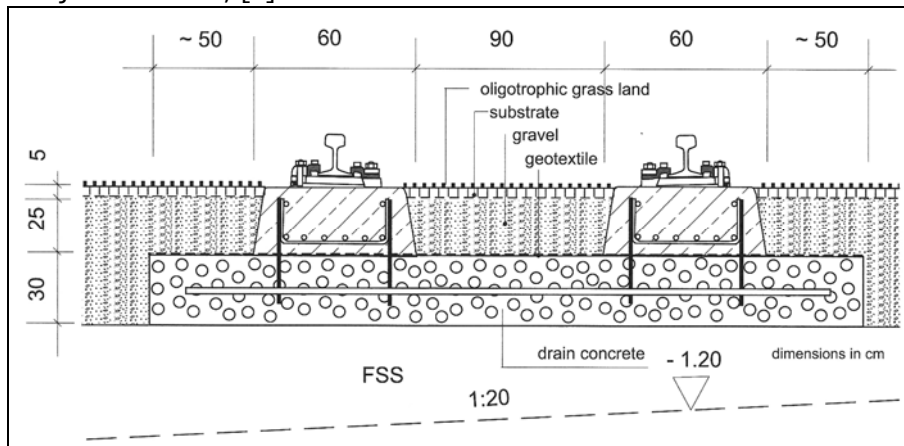
Slika 33. Pojedine faze izvođenja "GETRAC" sustava i konačni izgled kolosijeka

5.3 Monolitni sustav kolosijeka

Kod sustava bez pragova točke pridržanja tračnice integrirane su u betonski nosivi sloj. U ovakvim sustavima primjenjuju se isključivo betonski nosivi slojevi. Betonski nosivi sloj izvodi se ili kao monolitni sloj izveden „in situ“ ili od predgotovljenih montažnih elementa. Kod ovakvih sustava pozornost se naročito mora usmjeriti na stvaranje pukotina u betonskom nosivom sloju. Sukladno tome potrebno je poduzeti prikladne mjere kako bi se spriječilo nastajanje pukotina uzrokovano pričvršćenjem tračnica. Monolitni nosivi betonski sloj najčešće se izvodi uz pomoć finišera sa kliznom oplatom. Moguće visinsko odstupanje izvedenog nosivog betonskog sloja mora biti u granicama od ± 2 mm, [1].

5.3.1 Sustav "Lawn"

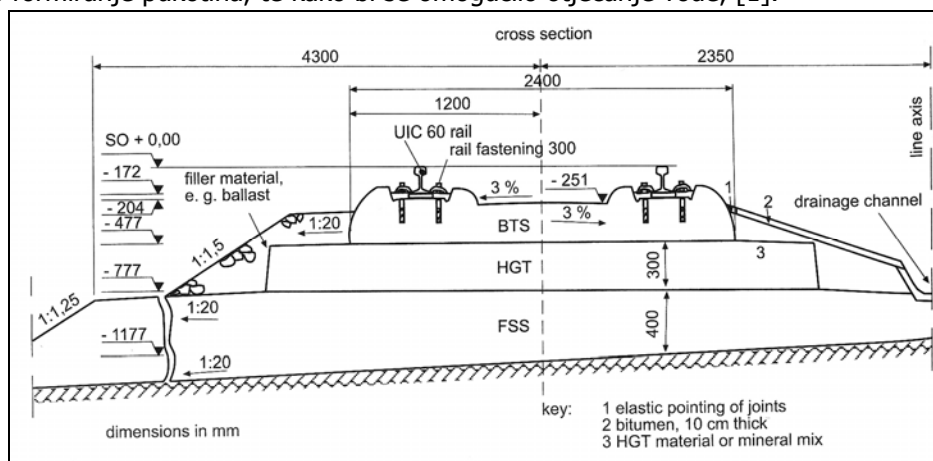
Nosivi sloj sastoji se od armiranog poroznog betona debljine 30 cm koji je propustan za vodu. Armirane uzdužne betonske grede betonom su vezane za nosivi sloj čime je ispunjena funkcija pridržanja i stabilnosti kolosijeka. Pričvrtni pribor je, uz pomoć čeličnih spojnika koje su umetnute u prethodno izbušene rupe, montiran za uzdužne grede. Prostor između uzdužnih betonskih greda i vanjskog područja ispunjen je supstancom na čiju površinu se najčešće sije oligotropna trava. Poprečni presjek ovog sustava prikazan je na **Slici 34**, [1].



Slika 34. Poprečni presjek monolitnog kolosiječnog sustava "Lawn", [1]

5.3.2 Sustav "FFC"

Kolosiječni sustav "FFC" (**Feste Fahrbahn Crailsheim**) ima tvornički ugrađena pridržanja za pričvrtni pribor na pragovima (**Slika 35**). Pragovi se ugrađuju na betonski nosivi sloj neograničene duljine. Moždanci koji povezuju prag i pričvrtni pribor umeću se u još neukrućeni beton praga uz pomoć vibratora. Nakon svake treće točke pridržanja potrebno je izraditi dilatacijski rez koji služi kako bi se kontroliralo formiranje pukotina, te kako bi se omogućilo otjecanje vode, [1].



Slika 35. Poprečni presjek monolitnog kolosiječnog sustava "FFC", [1]

5.4 Montažni sustavi kolosijeka – pločasti kolosijeci

Predgotovljene betonske jedinice mogu biti ugrađene na betonsku ili asfaltnu podlogu uz pomoć lijevanog morta. S obzirom na tvorničke uvjete proizvodnje, položaj pragova, širina kolosijeka i nagib tračnica precizno su namješteni. Primjenom predgotovljenih elemenata smanjuje se potrebno vrijeme izvođenja (npr. smanjen je utjecaj nepovoljnih vremenskih prilika koji negativno mogu djelovati na vrijeme izvođenja). Prva iskustva sa tom formom kolosiječnih sustava stečena su na probnoj dionici u Hirschaidu 1967. godine, na kojoj su se uočili nedostaci poddimenzioniranih nosivih slojeva i neadekvatne odvodnje. Iskustvo je potvrdilo važnost efikasnog drenažnog sustava za dugotrajnu izdržljivost kolosijeka, [2].

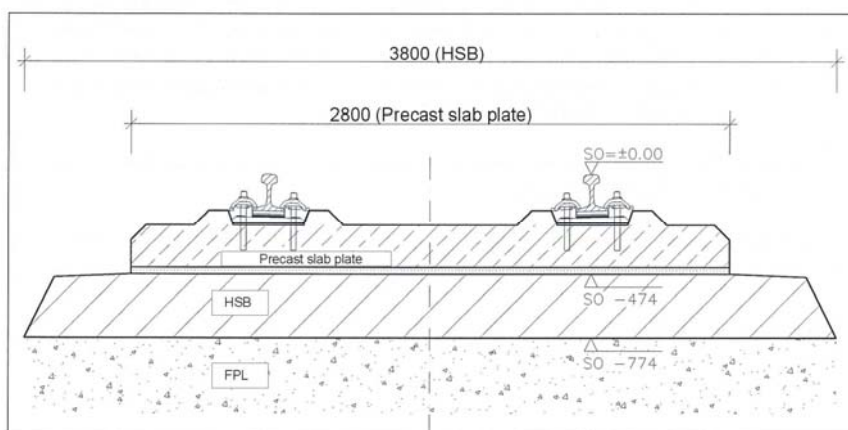
Dodatne spoznaje odnosile su se na armiranje spojeva predgotovljenih jedinica. Preklapanjem uzdužne armature na spojevima poboljšao se kapacitet nosivosti, a ujedno je i umanjen negativni efekt pumpanja. Prilikom izvođenja 430 m probne dionice kod Karlsfelda primijenjeni su predgotovljeni elementi duljine 4,76 m koji su bili poprečno prednapeti. Točke pridržanja tračnica nalazile su se na razmaku od 60 cm, dilatirane 4 cm duboko u poprečnom smjeru, a međusobno su bile povezane u uzdužnom smjeru, [2]. Kao i kod Hirschaida, uzdužna armatura izvedena je kontinuirano uz pomoć zavarivanja ("Thermit" proces zavarivanja – obrađeni spoj poprima trapezni oblik). Termičko skupljanje vodi do nekih prednapinjanja, pri čemu na mjestima spojeva koji su izvedeni mortom ili cementnim tijestom dolazi do prevelikih naprezanja. Iz toga proizlazi da su kritični uvjeti prometnog opterećenja "slobodnih spojeva", sa dvostrukim naprezanjem od savijanja i progibom uvećanim 3,5 do 4 puta, u usporedbi sa opterećenjem unutrašnjosti sandučaste ploče, spriječeni. Poprečno zarezivanje ploča kontrolira formiranje pukotina na površini, kao i kod "Rheda" sustava, [2].

Tvrtna "Bögl" je daljnjim razvijanjem sustava iz Karlsfelda, koji je pokazao sjajne dugoročne karakteristike, razvila montažni pločasti kolosiječni sustav koji se sastoji od elemenata dimenzija 2,80×6,45×0,2 m. Ploče su dilatirane poprečno na razmacima od 65 cm. Kontinuiranost armature na mjestima spojeva postignuta je sa specijalnim vlačnim moždanicima - šest kontinuiranih "Gevi"-vijka promjera 20 mm. Stoga, kao i kod sustava sa spregnutim širokim pragovima, poprečna prednapetost proračunava se iz najgorih uvjeta podupiranja pragova na zastoru pri opterećenju od 150 kN, [2].

Vrlo je važno da individualne točke pridržanja predgotovljenih ploča budu izvedene veće od potrebnih, kako bi se naknadno izbrusile do pravilnih dimenzija uz toleranciju od 0,5 mm koristeći CNC kontroliranu mašinu za brušenje. Ovom metodom se izbjegavaju pogreške u niveliranju točaka pridržanja na zakrivljenim mjestima trase. Ove ploče imaju otvore kroz koje prihvaćaju bitumenizirani cementni mort male viskoznosti ali velike otpornosti na erozivna djelovanja. On se ugrađuje u sloju debljine 3 cm. Velike varijacije u debljini sloja ugrađenog morta izbjegnute su izvođenjem cementom stabiliziranog sloja sa maksimalnim mogućim odstupanjima od ±5 mm što je mnogo rigoroznije u usporedbi sa uvjetima u cestogradnji, [2]. Troškovi ovakvih sustava koji su i do 4 puta viši od troškova kolosijeka sa zastorom predstavljaju značajan, a možda i jedini odlučujući nedostatak, [1].

5.4.1 Sustav "Bögl"

Bögl sustav koristi montažne betonske ploče načinjene od betona sa čeličnim vlaknima C45/55 (B55). Dimenzije ploča su: 2.55 m (širina) × 6.5 (duljina) × 0.2 (debljina), **Slika 36**. Karakteristične osobine ovih montažnih ploča su prekidne točke raspoređene između točaka pridržanja (zarezane svakih 0,65 cm). One sprječavaju proizvoljno formiranje pukotina. S obzirom na karakteristično razvijanje pukotina, ploče su pretvorene u sustav širokih pragova međusobno povezanih u uzdužnom smjeru, [1]. Nakon preliminarnih izmjera kolosijeka proračunava se najučinkovitija krivulja brušenja ploča. Nakon izrade svakog pojedinog bloka on je spreman za primjenu na unaprijed određenom mjestu: u pravcu, u krivini ili na prijelaznici.



Slika 36. Poprečni presjek pločastog kolosijeka tipa "Bögl", [7]

Projektirani čelični elementi montažnih ploča međusobno su povezani u uzdužnom smjeru sa stezaljkama na navoj. Točna visina i položaj određuje se uz pomoć uređaja za namještanje integriranog u sklopive ploče. Nakon namještanja, bitumenizirani cementni mort ulijeva se u prostor ispod sklopivih ploča. Nakon stvrdnjavanja, praznine između ploča ispunjavaju se lijevanim betonom. Nakon što se šupljine ispune i lijevani beton očvrstne, pritežu se stezaljke između izvedenih blokova čime se postiže monolitna karakteristika kolosijeka. Tek nakon toga se ispunjavaju široki rascjepi između blokova cementnim mortom. Takva konstrukcija garantira dugotrajnu izdržljivost bez oštećenja zbog mogućih temperaturnih utjecaja ili razlika u vlažnosti između pojedinih slojeva kolosiječne konstrukcije, kao i zbog mogućeg povećanja bočnih i uzdužnih sila otpora. Konačna konstrukcija ponaša se kao kontinuirani pločasti kolnik. Tračnice se postavljaju tek kada mort u spojevima dosegne dovoljnu čvrstoću.

Slijeganje trase veće od 26 mm može biti kompenzirano uz pomoć tračničkog pričvrsnog pribora. Podešavanje se provodi uz pomoć integriranih osovina. Pritom dobivene šupljine ponovno se ispunjavaju ulijevanjem bitumeniziranog cementnog morta, [1]. Ako se pojave veća slijeganja, uzrokovana poremećajima u posteljici, ispiranjem, iskakanjem ili seizmičkim aktivnostima, montirane ploče mogu biti lako izdvojene uz pomoć pile sa čeličnom sajlom s kojom se prepili kolosiječna konstrukcija na problematičnom dijelu. Nakon zamjene ili rekonstrukcije problematičnog dijela kolosijeka, betonski blokovi se sa lakoćom ponovno postavljaju na željenu poziciju, fiksiraju, zabrtve i zacementiraju, kao što je to prethodno navedeno. Nakon 3 sata očvršćivanja cementnog morta, kolosijek je opet spreman za uporabu. Težina ploče bez tračničkog pričvrsnog pribora i tračnica iznosi oko 9 tona. Do 3 bloka moguće je transportirati jednim kamionom do gradilišta, [14]. Kronološki prikaz proizvodnje i ugradnje ovog montažnog sustava prikazan je na **Slika 37**.

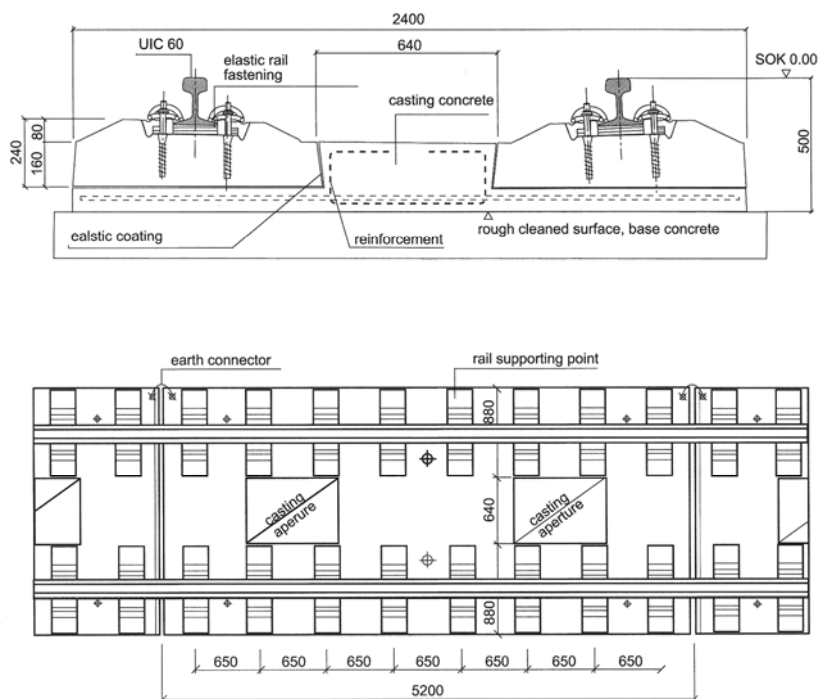




Slika 37. Pojedine faze izvođenja "Bögl" montažnog sustava i konačni izgled kolosijeka, [14]

5.4.2 Sustav "OBB-Porr"

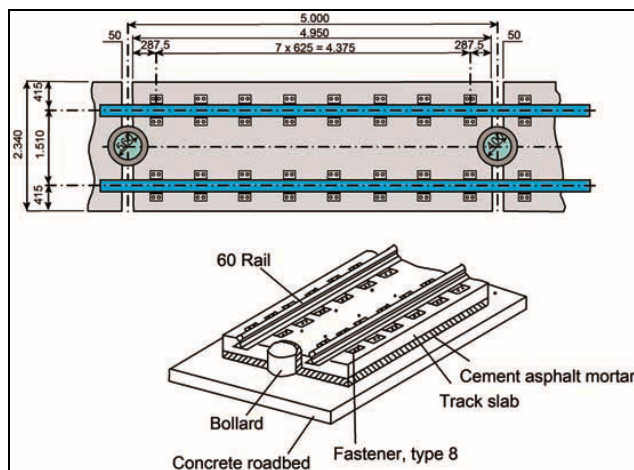
Pločasti kolosijek tipa "OBB-Porr" sastoji se od nosivih kolosiječnih ploča koje su postavljene na elastične nosače (**Slika 38**). Montažne ploče, izrađene od armiranog betona, nakon postavljanja na donji ustroj, uz pomoć vretena namještaju se na zahtijevanu poziciju, te se zatim fiksiraju betonom. Iz tog razloga montažne ploče sadrže dvije velike ukalupljene stožaste rupe koje funkcioniraju kao moždanici između montažnih ploča i betona za brtvljenje. Sve površine ploča koje su u kontaktu sa betonom za brtvljenje premazane su sa 2,5 do 3 mm debelim slojem mješavine gume i ljepila. To s jedne strane osigurava da su ploče oslobođene vibracija, a s druge strane služi za međusobno razdvajanje ploča i betona za brtvljenje. Iz tog razloga pojedine ploče se, ukoliko su oštećene, sa lakoćom mogu zamijeniti. U praksi, ovaj sustav se najčešće primjenjuje u tunelima. Ovaj sustav se ujedno može smatrati i lakim opružnim sustavom, [1].



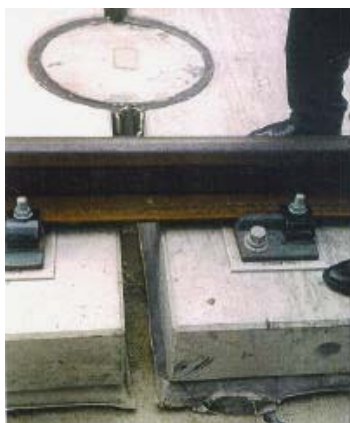
Slika 38. Poprečni presjek pločastog kolosijeka tipa "OBB-Porr", [1]

5.4.3 Sustav "Shinkansen"

Pločasti kolosijeci su se u Japanu primjenjivali već 1972 godine na brzom liniji Shinkansen (između Tokya i Osake). Primijenile su se montažne ploče duljine 5 m, širine 2,3 m i debljine 19 cm sa laganim prednapinjanjem u uzdužnom i poprečnom smjeru, koje su postavljene na cementom stabiliziranu podlogu (**Slika 39**). Pojedina betonska ploča teži oko 5 tona, [4]. Kružni betonski cilindar koji je kruto spojen sa betonskom konstrukcijom nosive ploče čuva ploču od horizontalnih i poprečnih pomaka (**Slika 40**). Ploče su ugrađene u 40 cm debeli specijalni bitumensko-cementni mort. U naseljenim stambenim područjima ispod betonskih ploča ugrađuju se gumeni podmetači kojima se smanjuje razina buke i negativno djelovanje vibracija. Ova kolosiječna konstrukcija najčešće se primjenjuje u tunelima, na mostovima i vijaduktima, dok se na ostalom dijelu trase primjenjuju klasične konstrukcije (**Slika 41**). Potrebno održavanje kolosijeka na dijelu sa pločastim kolosijekom bez tucaničkog zastora iznosi 18-33% potrebnog održavanja na kolosijeku sa klasičnim zastorom. Iskustvo je pokazalo da nedostatak ovakve kolosiječne konstrukcije leži u sloju bitumensko-cementnog morta koji je nedovoljno otporan na smrzavanje. U tunelima je primijećeno savijanje ploča na području spoja. Uz navedene nedostatke zabilježeni su i povećani problemi sa pričvršnim priborom za tračnice, [1].



Slika 39. Poprečni presjek pločastog kolosijeka tipa "Shinkansen", [4]



Slika 40. Cilindrični betonski 'stoper', [6]



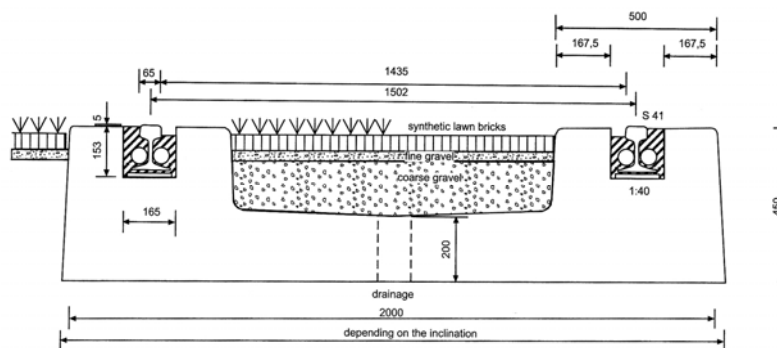
Slika 41. "Shinkansen" sustav na mostu, [6].

5.5 Kontinuirano oslonjene tračnice

5.5.1 Sustav "INFUNDO"

Kod ovog kolosiječnog sustava ugrađene tračnice su kontinuirano pridržane. Tračnice se ugrađuju u utore koji se nakon namještanja kolosijeka po smjeru i visini ispunjavaju sa elastičnim materijalom. Materijal se ugrađuje lijevanjem u utore ili žljebove. Nakon oblaganja tračnicama sa elastičnim materijalom, više se ne može uređivati geometrija kolosijeka.

Kod "INFUNDO" kolosiječnog sustava (*Infundo je latinski izraz za ulijevanje*) tračnice su zabrtvljene sintetičkim materijalom (**Slika 42**). U usporedbi sa klasičnim pričvrstnim priborom za tračnice ovaj sustav ima sedam puta veći otpor klizanja. Nosivi sloj načinjen je od betona. "INFUNDO" sustav je isti sustav pločastih kolosijeka kao i "EDILON" (**Slika 43**).



Slika 42. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "INFUNDO", [1]

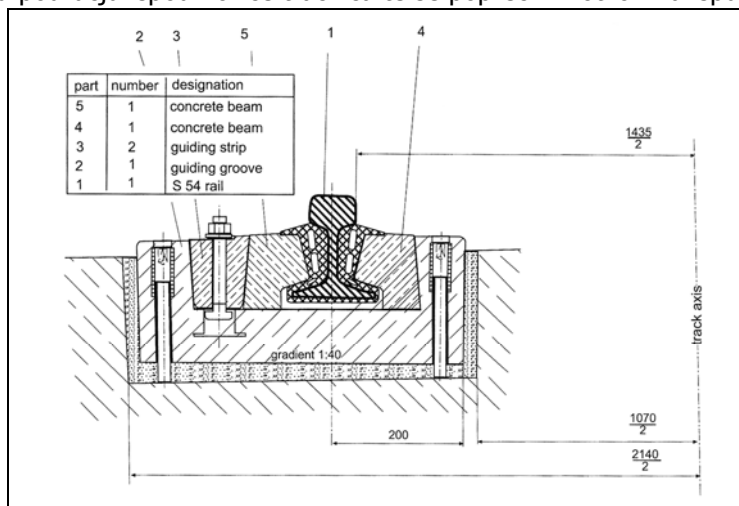


Slika 43. Kolosiječni sustav "EDILON"



5.5.2 Sustav "SFF"

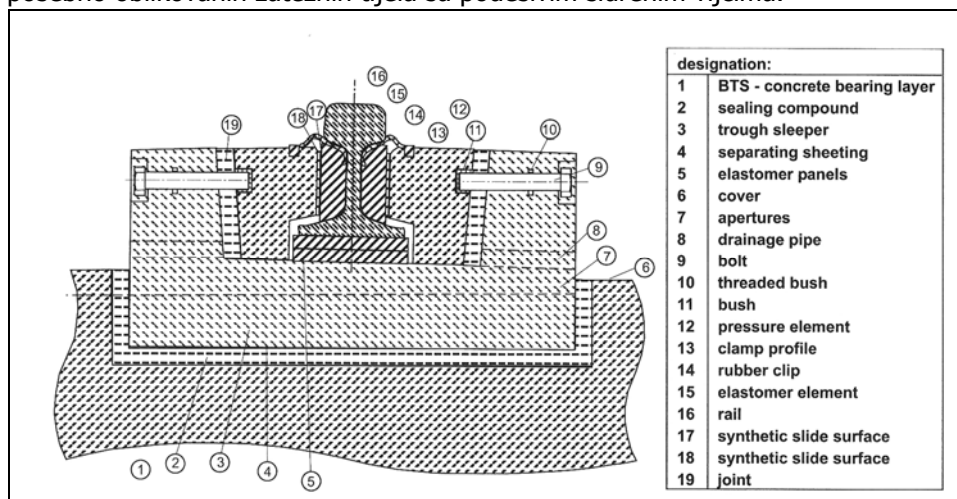
"SFF" sustav kolosijeka (**S**chwingungsgedämpfte **F**este **F**ahrbahn – kruti kolosijeci sa prigušenim vibracijama) sastoji se od profiliranih koritastih pragova koji su ugrađeni na betonski nosivi sloj kao uzdužni pragovi (**Slika 44**). Tračnica je obložena sa gumenim brtvilima koji su pritegnuti za tračnicu uz pomoć oblikovanog betonskog montažnog elementa koji je vijkom povezan sa betonskim koritom. Pridržanje tračnice vrši se preko vrata tračnice, dok nožica tračnice slobodno visi iznad betonske podloge. Gumeni profil pranja uz tračnicu i betonski element te djeluje kao brtvilo. Voda koja penetrira u ovaj sustav sakuplja se u području ispod nožice tračnica te se poprečnim otvorima ispušta u okolni teren.



Slika 44. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "SFF", [1]

5.5.3 Sustav "SAARGUMMI"

"SAARGUMMI" kolosiječni sustav koristi uzdužne betonske pragove koritastog oblika (**Slika 45**). Betonski pragovi mogu biti postavljeni na betonsku podlogu ili ugrađeni u nju. Vrat tračnice elastično je pridržan uz pomoć posebno oblikovanih zateznih tijela sa podesivim sidrenim vijcima.



Slika 45. Poprečni presjek kolosiječnog sustava "SAARGUMMI", [1]

6. Tehničko-ekonomska valorizacija kolosijeka na čvrstoj podlozi

Na sveukupnu ekonomsku procjenu utječu sljedeći kriteriji:

- troškovi investicije
- troškovi dugoročnog održavanja
- njihovog boljeg uklapanja u okolinu prilikom trasiranja: skraćivanje duljine trase
- prednosti prilikom izvođenja zbog proširenih parametara trasiranja
- potencijalne prednosti kolosijeka na čvrstoj podlozi zbog smanjenja visine kolosiječne konstrukcije
- utjecaj lakše/teže dostupnosti trase na troškove
- relevantnost kriterija vezanih za komfor i kvalitetu putovanja
- zagađenje okoline bukom – dodatni troškovi mjera zaštite

Studije izvedivosti koje stavljaju odgovarajući naglasak na uloženi kapital potreban za izvođenje željezničke infrastrukture pokazale su da su kolosijeci bez tucaničkog zastora u usporedbi sa klasičnim zastornim kolosijecima, uz odgovarajuće održavanje, profitabilni samo ako troškovi izgradnje ne premašuju 30% troškova izgradnje klasičnih zastornih kolosijeka. To se ne odnosi na primjenu „RHEDA“ bezzastornih kolosijeka, koji se danas najčešće primjenjuje zbog dugogodišnjeg iskustva u njihovoj primjeni, a kod kojih troškovi izgradnje i danas iznose 1,5 puta više (koji puta i puno više) od troškova izvođenja klasičnih zastornih kolosijeka, [1]. Posljednji razvojni troškovi pokazuju, da se prilikom izgradnje kolosijeka na čvrstoj podlozi moraju očekivati značajno viši troškovi od procijenjenih. Dokaz tome je npr. razlika u očekivanim i stvarnim troškovima pri izgradnji prestižne pruge za velike brzine na liniji Köln/Rhein-Main, gdje je očekivani trošak iznosio 4,6 milijuna €, a stvarni trošak 6 milijuna €. To korespondira sa povećanjem troškova od 30%. Očekivani period amortizacije za takve linije je 100 godina za tunelske građevine i 40 godina za otvoreni dio trase. Pažnja mora biti usmjerena na činjenicu da visoka početna ulaganja uključuju značajni kapitalni trošak, [1].

Godišnji trošak linije proračunava se iz kapitalnog troška (kamata i amortizacija) i operativnog troška. Operativni trošak se sastoji od troškova operativnog rada i troškova održavanja. Cjelokupna vrijednost operativnih troškova, kao i troškova održavanja, moraju biti zarađeni od strane željeznice. Izgradnja kolosijeka na čvrstoj podlozi puno je skuplja od izgradnje tradicionalnog zastornog kolosijeka. Cijena 1 m' klasičnog zastornog kolosijeka iznosi oko 350 €, dok najjeftiniji 1 m' kolosijeka na čvrstoj podlozi iznosi oko 500 €. Cijena većine sustava kolosijeka na čvrstoj podlozi kreće se između 750 i 1100 €/m'. Najnovije studije izvedivosti pokazuju da se trošak kolosijeka na čvrstoj podlozi smanjuje povećanjem duljine trase. Faktor cijene od 1,5 do 2,0 će unatoč tome ostati, čak i ako su građevinske metode optimizirane, a duljina trase produžena, [1].

Ekonomska efikasnost kolosijeka na čvrstoj podlozi u usporedbi sa klasičnim kolosijekom može biti proračunata samo ako se uzmu u obzir povećani troškovi od održavanja. Održavanje klasičnih kolosijeka danas je u velikoj mjeri mehanizirano i automatizirano, te jeftino u usporedbi sa operativnim troškovima. Razvojem mehanizacije namijenjene održavanju gornjeg ustroja zastornih kolosijeka, te poboljšanjem njihove preciznosti i performansi postiže se sve veća izdržljivost zastornog kolosijeka. Kolosijeci bez tucaničkog zastora do određene mjere također zahtijevaju održavanje. Ako se sljedeća generacija željezničkih inženjera susretne sa značajnim oštećenjima kolosijeka bez zastora, ekonomska efikasnost istih u usporedbi sa klasičnim kolosijecima izgledati će nepovoljno. Radovi na održavanju kolosijeka na čvrstoj podlozi su komplicirani, troškovno intenzivni i dugotrajni. Operativni troškovi u slučaju duljeg zatvaranja pruge s obzirom na oštećenje takvih kolosijeka vrlo su visoki i danas se mogu vrlo teško proračunati ili predvidjeti. Kod kolosijeka sa zastorom postoji mehanizirana i automatizirana mehanizacija za održavanje gornjeg ustroja, tako da se u slučaju ozbiljnijih oštećenja rekonstrukcija može izvesti u kratkom vremenskom periodu. Defektna linija može u nekoliko sati biti ponovno otvorena za promet.

Gornji ustroj kolosijeka na čvrstoj podlozi u usporedbi sa gornjim ustrojem klasičnog kolosijeka ekonomski je efikasan u tunelima i u stabilnim okolnostima gdje nisu potrebne dodatne građevinske mjere prilikom oblikovanja donjeg ustroja. Na otvorenoj i zemljanoj strukturi, kolosijeci na čvrstoj podlozi najčešće nisu ekonomski efikasni, u usporedbi sa klasičnim kolosijecima. Kako bi se ograničila zaostala slijeganja donjeg ustroja na otvorenom dijelu trase nužni su dodatni troškovi ukoliko želimo primijeniti kolosijek na čvrstoj podlozi. Ti troškovi veći su za 2 do 2,5 puta u usporedbi sa klasičnim kolosijekom, [1]. U Japanu, gdje se kolosijeci bez tucaničkog zastora koriste već 30 godina, nedavni konstruktivni troškovi

pri izgradnji pločastih kolosijeka bili su 30 do 50% veći od troškova ukoliko bi se primijenila klasična kolosiječna konstrukcija. Međutim, troškovi održavanja pločastih kolosijeka smanjili su se za 75% u odnosu na troškove održavanja kolosijeka, [9].

Troškovna efikasnost kolosijeka na čvrstoj podlozi u usporedbi sa klasičnim kolosijecima, s obzirom na novo i realnije sagledavanje uspoređenoga, a koje uključuje troškove životnog vijeka, dobiva na značaju i sve je više prihvaćena. Porast alternativnih oblika financiranja i infrastrukturnih prometnih projekata značajno je doprinijelo dosadašnjem razvoju u kojem životni vijek građevine značajno utječe na proces odlučivanja.

U sveobuhvatnim, dugoročnim, holistički orijentiranim analizama troška za realizaciju novih kapitalnih željezničkih infrastrukturnih projekata, pristaše tehnologije kolosijeka na čvrstoj podlozi više se ne moraju bojati usporedbe sa klasičnim kolosiječnim sustavima:

- Usporedba troška ulaganja sa troškom održavanja: Dugoročno orijentirane studije životnog vijeka izvedene za period od 15 do 30 godina otkrivaju da, u slučaju teškog teretnog prometa, početni trošak uložen u izgradnju kolosiječnog sustava bez tucaničkog zastora je više nego amortiziran tijekom vremena eksploatacije istoga, [2].
- Efekt sveukupnog troška za novu konstrukciju glavne trase: Iskustvo je pokazalo da udio troška za sami kolosijek danas iznosi manje od 10% cjelokupne investicije. Čak do 65 % kapitalnog troška otpada na klasične zemljane radove i izgradnju infrastrukturnih objekata kao što su tuneli i mostovi. Negdje oko 25 % investicije potrebna je za elektrifikaciju sustava i signalizaciju. U konačnoj analizi, kraći tuneli i niži mostovi (zahvaljujući nižoj visini konstrukcije) rezultiraju manjim troškovima izgradnje. Dodatna razlika u troškovima između izgradnje kolosijeka na čvrstoj podlozi i klasičnih zastornih kolosijeka kompenzira se uštedama nastalim samom primjenom takvog sustava. U nekim slučajevima samo te uštede mogu i više nego nadoknaditi veći prvotni trošak investicije, [2].
- Različito sagledavanje početnog kapitalnog troška: Kod neopredijeljenog sagledavanja početnog kapitalnog troška, neke studije otkrivaju da kolosijeci sa zastornom prizmom često nisu optimalno rješenje za kolosijeke za velike brzine. U mnogim slučajevima, potrebna su posebna projektna rješenja da bi klasični kolosijeci zadovoljili zahtjeve što automatski poskupljuje konstrukciju. Takvi specijalni zahvati na klasične kolosijeke potrebni za izvođenje na mostovima, mogu pri nekim uvjetima rezultirati većim troškom u usporedbi sa primjenom kolosijeka na čvrstoj podlozi. U tunelima i na nasipima također su često potrebne skupe posebne mjere ukoliko koristimo klasične kolosijeke.

Debljine pojedinih slojeva različitih tipova kolosiječnih konstrukcija na čvrstoj podlozi, kao i ukupna visina svakog pojedinog tipa konstrukcije, prikazane su u **Tablici 1**.

Tablica 1. Usporedba debljina slojeva i ukupne visine pojedinih kolosiječnih konstrukcija, [1]

Tip konstrukcije	h	betonski nosivi sloj	asfaltni nosivi sloj	hidraulički stabilizirani nosivi sloj	H
Rheda	67	360		300	759
Rheda - Berlin	47	400		300	779
Heitkamp	26	531		300	889
Züblin	114	280		300	727
SATO	214		300	300	857
FFYS	95		300	300	737
ATD	217		300	300	849
BTD	225	200		300	757
GETRAC	217		300	300	849
Lawn Track		300		300	635
FFC		273		300	605
INFUNDO		200		300	522

Dimenzije su u mm

h ... visina između pridržanja tračnice i betonskog/asfaltnog nosivog sloja

H ... visina gornjeg ustroja od donje plohe tračnice do tamponskog sloja

Budući da razvoj kolosijeka na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora bilježi kratku prošlost, nedostatak dugoročnog iskustva otežava ocjenjivanje pojedinih tipova konstrukcija. Pouzdano saznanje može se očekivati tek za nekoliko godina. Prikazani troškovi pojedinih tipova kolosijeka na čvrstoj podlozi (**Tablica 2**) ne uzimaju u obzir troškove zemljanih radova koji su kod takvih sustava kolosijeka veći u usporedbi sa troškovima istih kod tradicionalnih zastornih kolosijeka. Iz tablice je vidljivo da "RHEDA" sustav postiže bolje rezultate u usporedbi s ostalima, budući je taj sustav bolje razvijen. Međutim, razvoj sustava bez pragova i pričvršćenih sustava na dobrom je putu da dosegne te rezultate. Budućnost će pokazati da li će takvi sustavi doživjeti širu primjenu. U današnje vrijeme, u usporedbi sa kolosijecima bez tucaničkog zastora, očekivani trošak izgradnje zastornih kolosijeka iznosi 350 €/m. Tipična Q-vrijednost za klasične kolosijeke (kolosijeci sa zastornom prizmom) kreće se u rasponu vrijednosti između 20 i 30, [1].

Tablica 2. Tehnička i ekonomska usporedba pojedinih tipova kolosijeka na čvrstoj podlozi, [1]

Tip	God. izgradnje	Brzina (km/h)	H (cm)	Ocjena buke	Q	Ocjena vrijednosti Q	Trošak (€/metru tračnice)	Dnevna učinkovitost (m)	Ocjena obnove
Rheda	1972	300	63	2	15	1	1198	172	3
Rheda Berlin	1997	300	67	3	6	1	630	170	3
Züblin sa pragovima	1988	300	60	2	30	3	550	200	2
Züblin BTE	1996	300	44	1	25	2	475	200	1
FTR	1988	-	-	-	-	-	1750	-	3
ATD	1993	300	70	2	25	2	600	200	2
BTD	1994	300	63	2	14	1	-	350	2
Getrac	1995	300	72	2	20	2	625	270	2
SATO,FFYS	1984	200	61	2	35	3	600	350	1
lawn track	1998	160	80	2	28	3	-	-	-
Heikamp	1998	160	78	3	5	1	-	200	3
FFC	1998	300	48	1	30	3	470	200	1
INFUNDO	1995	160	-	1	-	-	470	200	1
Saargummi	-	160	-	2	-	-	-	-	-

Ocjene: 1 = preporuča se, 2 = zadovoljava, 3 = potrebno usavršiti sustav

Troškovi izgradnje: obuhvaćaju kolosiječnu konstrukciju od gornjeg ruba hidraulički stabiliziranog nosivog sloja, ili podnožja tunela, ili podkonstrukcije mosta

H: visina gornjeg ustroja, od gornjeg ruba hidraulički stabiliziranog nosivog sloja do gornjeg ruba tračnica

Dnevna učinkovitost: podrazumijeva 8 satno radno vrijeme

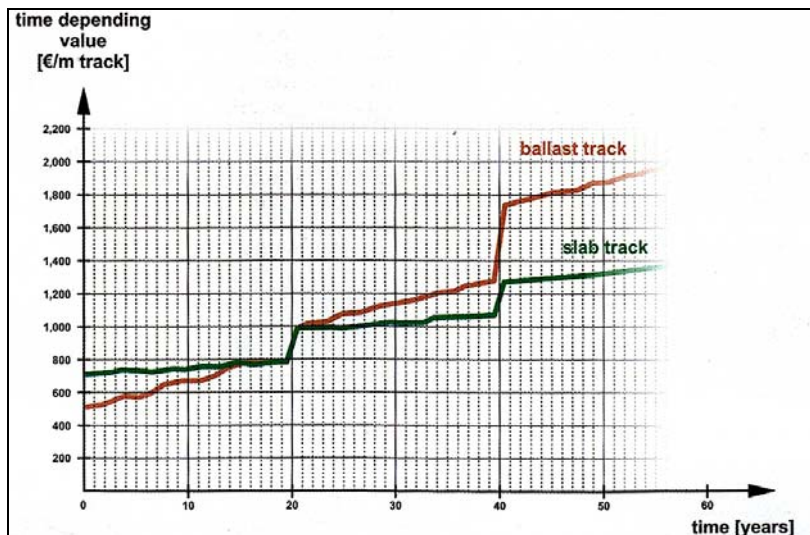
Iako su tehnički aspekti kolosijeka na čvrstoj podlozi optimizirani, trošak stvarnog izvođenja jedva da je smanjen. Isto tako, nisu smanjeni niti troškovi materijala, a ni rada. To je rezultiralo ograničenjem primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi samo na pruge za velike brzine. U samim počecima primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi odlučujući faktor za donošenje odluke o njihovoj ugradnji odnosio se na zahtjev za glatkom vožnjom vlakova. Međutim sa vremenom su i drugi faktori, kao što su visoka dostupnost, terenski uvjeti, kao i sva ostala pitanja vezana uz sam kolosijek, sve više i više dobivala na značaju. Tako su se kolosijeci bez tucaničkog zastora sve više i više počeli ugrađivati na područjima sa otežanim pristupom, kao npr. u tunelima, pa čak i na prugama koje nisu namijenjene velikim brzinama. To nije samo slučaj kod nove izgradnje, već sve više i kod velikih rekonstrukcija postojećih pruga sa zastornim kolosijekom.

U Austriji, standardi za projektiranje pruga za velika prometna opterećenja zahtijevaju obaveznu ugradnju kolosijeka na čvrstoj podlozi u tunelima, na nisko ležećim dijelovima trase i na mostovima koji su duži od 500 metara. Također i u Švicarskoj, kolosijeci na čvrstoj podlozi primjenjuju se u mnogim prilikama. Njihova primjena nije utemeljena na tehničkim prednostima, već na analizi troškova koja ne uzima u obzir samo kapitalni trošak, nego i troškove operativnog djelovanja i održavanja trase kroz njezin životni vijek, [3]. Sve veći zahtjevi koji se postavljaju pred nove i nadograđene pruge zahtijevaju doživotnu analizu troškova željezničke infrastrukture. U tzv. javno-privatnim partnerstvima izvođač radova mora garantirati funkcionalnost tijekom dugog vremenskog perioda; i u velikoj mjeri njegov profit ovisi o postignutoj razini dostupnosti infrastrukture. Sukladno tome ne samo troškovi izvođenja, nego i ekonomsko održavanje infrastrukture tijekom eksploatacije mora biti precizno procijenjeno (**Slika 46**).

Iz tog je razloga sve više i više korištena RAMS analiza (reliability-pouzdanost, availability – dostupnost, maintainability – održivost, safety – sigurnost). Glavni izvođači moraju sačiniti sve svoje specifikacije u skladu sa RAMS fazama od 1 do 14 po standardu EN 50126, noseći se sa dugoročnim operativnim

održavanjem sustava: to se odnosi na životni vijek (koncept, izvođenje, testiranje, stavljanje izvan pogona), [3].

Za cjelovitu ekonomsku procjenu različitih tipova kolosiječne konstrukcije troškovi životnog vijeka imaju određenu vrijednost. Kolosijeci na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora zbog vrlo malih troškova održavanja koje iziskuju, imaju prednost pred klasičnim zastornim kolosijecima, što se dugo vremena podrazumijevalo, ali tek nedavno je zaista uzeta u obzir.



Slika 46. Ovisnost vrijednosti kolosijeka o vremenu – usporedba klasičnog i pločastog kolosijeka, [3]

Da li će se kolosijek na čvrstoj podlozi pokazati kao takav da ne zahtijeva skoro nikakve troškove održavanja, i da li će se zaista pokazati njegove financijske prednosti, ovisi o nekoliko faktora. Najčešće postavljeno pitanje u ovom kontekstu jeste koji tip kolosijeka na čvrstoj podlozi je najbolji za određene okolnosti. Posebice je u Njemačkoj tijekom proteklih 15 godina došlo do velikog razvoja različitih tipova kolosijeka na čvrstoj podlozi. Kao što je u prethodnim poglavljima napomenuto, prevladale su različite varijante sa predgotovljenim pločama ili pragovima ugrađenim u još neukrućenu betonsku ploču, kao i korištenje individualnih pridržanja tračnice. Drugi tipovi su bili korišteni ili u vrlo malom opsegu ili uopće nisu bili korišteni. Razlozi tome nisu toliko funkcionalnost ili struktura određenog tipa kolosijeka već brzina i kvaliteta izvedbe. Mnogi projektirani tipovi kolosijeka koji su se činili obećavajućima u svojoj osnovnoj ideji, nisu zaživjeli zbog loše kvalitete izvedbe i troškova održavanja koji iz toga proizlaze. Povrh toga, postoji još dovoljno veliki prostor za grešku u fazi ugradnje već provjerenih, etabliranih sustava što vrlo lako može negirati cilj nultog održavanja, potkopavajući u isto vrijeme planirane pogodne troškovne projekcije. Odabir modela sa sobom ne povlači samo kvalitetu ugradnje nego i iz toga proizlazeće zahtjeve za održavanjem, tako da se ističu pitanja kao npr. lakoća zamjene, mogućnost popravka. Jednako važna su i pitanja vezana uz kapacitet nosivosti i deformacije posteljnice, s obzirom da kolosijek na čvrstoj podlozi ima vrlo ograničene mogućnosti za vertikalne prilagodbe.

Procesi prilikom izvođenja kolosijeka na čvrstoj podlozi kao što su postavljanje, ugradnja i naknadna dorada betona moraju imati vrlo strogi nadzor budući da ponovni rad zbog ispravljanja moguće greške može biti vrlo skup i otežan.

8. Zaključak

Objektivne studije područja dosadašnje primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora u željezničkoj prometnoj infrastrukturi nužno će dovesti do zaključka da je ova tehnologija primarno bila korištena samo za:

- specijalna izvođenja kao što su tuneli i mostovi
- kod izgradnje novih pruga za velike brzine

Područja primjene kod kojih prednost te tehnologije još nije iskorištena su sljedeća:

- izgradnja novih glavnih željezničkih linija ograničenih na brzinu do 230 km/h,

- nadogradnja i modernizacija već postojećih željezničkih linija sa klasičnim zastornim kolosijekom,
- razvoj željezničkih linija za teški teretni vučeni promet.

Upravo su ta infrastrukturna područja ona koja predstavljaju znatni tržišni potencijal za budućnost u visoko razvijenim ekonomskim zemljama poput Njemačke i ostatku Zapadne Europe, ali i u razvijajućim zemljama Istočne Europe i Azije. Iskorištavanje tih tržišnih potencijala za uvođenje tehnologije kolosijeka na čvrstoj podlozi možemo smatrati jednim od najvećih tehnoloških i ekonomskih izazova u području željeznica.

Argumenti koji se i dalje znaju čuti protiv korištenja tehnologije bezzastornih kolosijeka kao zamjenske opcije za klasične zastorne sustave za brzine ne veće od 230 km/h, u osnovi leže na većem trošku početne investicije za implementaciju kolosiječnih bezzastornih sustava: npr. oko 20 do 40% veće nego kod klasičnih zastornih kolosijeka. Ti argumenti igraju odlučujuću ulogu posebice u sustavima koji imaju godišnje proračune ili kratko-srednjoročno financijsko planiranje. Takav pristup međutim ne uzima u obzir činjenicu da je životni vijek kolosiječnog sustava na čvrstoj podlozi produžen, da su troškovi održavanja smanjeni, kao i da će sveukupni troškovi novosagrađene željezničke linije već danas polučiti pozitivni učinak, što znači da kolosijeci na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora ustvari ekonomski predstavljaju razumniju i privlačniju opciju, [2].

Veliko tehnološko prihvaćanje i neosporiv uspjeh tehnologije kolosijeka na čvrstoj podlozi primarno se zasniva na 4 tehničke i ekonomske prednosti sustava:

- **Stabilnost, preciznost i udobnost u vožnji:** Primjena tehnologije izvođenja kolosiječnih sustava bez tucaničkog zastora osigurava stabilno pozicioniranje kolosiječne rešetke kroz dugi vremenski period. Ona osigurava visoku razinu kvalitete, funkcionalnosti i sigurnosti tijekom perioda eksploatacije unatoč svakodnevnom povećanju prometnog opterećenja i brzine prometovanja. Namještanje kolosijeka, točno sve u milimetar, tijekom izvođenja, osnova je za visoku razinu udobnosti vožnje i za smanjeno djelovanje opterećenja na samo pružno vozilo.
- **Dugi životni vijek i naročito niska razina održavanja:** Kao rezultat životnog vijeka od najmanje 60 godina, sa malo ili bez preventivnih i korektivnih servisiranja, kolosijeci na čvrstoj podlozi pružaju veliku iskoristivost i nepobjedivu troškovnu učinkovitost za operativno djelovanje pri velikim brzinama.
- **Fleksibilnost od početka do kraja izvođenja:** Mogućnost izvođenja kolosijeka na čvrstoj podlozi uz pomoć izoliranog konstrukcijskog moda (tj. u suprotnosti sa pojedinačnom, linearnom ugradnjom), koji omogućuje veliki stupanj fleksibilnosti pri trasiranju trase, kao i značajan dnevni progres u izgradnji trase – čak i kad su na pojedinim dijelovima trase u tijeku pripremni građevinski radovi. Sa svojom relativno niskom visinom konstrukcije i sa mogućnošću postizanja optimalne geometrije trase, kolosijeci bez tucaničkog zastora na korijenima "RHEDA" sustava imaju zavidnu listu postignuća kao "end-to-end" inženjerski sustav.
- **Osnova za optimalno trasiranje:** Tehnologija kolosijeka na čvrstoj podlozi omogućuje prisnije prilagođavanje trase geomorfološkim karakteristikama terena, za razliku od klasičnih zastornih kolosijeka. Ove mogućnosti omogućuju smanjenje troškova izgradnje.

Visoko razvijena tehnologija izgradnje, kao i sofisticirana „just-in-time“ logistika za dostavu na gradilište – zajedno sa visoko efikasnim projektnim menadžmentom- ključni su preduvjet za ubranu izgradnju kolosijeka sa integriranom garancijom kvalitete. Kolosijeci na čvrstoj podlozi bez tucaničkog zastora primjenjuju se u sve većem broju kao preferirani oblik kolosijeka za novogradnju i za opsežnije rekonstrukcije postojećih kolosijeka. Njegov početni trošak je generalno viši nego kod klasičnih zastornih kolosijeka, ali RAMS analiza pokazuje da postoje ekonomske prednosti korištenja kolosijeka na čvrstoj podlozi, pod uvjetom da se troškovi održavanja nalaze na vrlo maloj razini zahvaljujući visokoj kvaliteti izgrađene konstrukcije kolosijeka.

Literatura

- [1] Lichtberger, Bernhard: Track Compendium, Eurailpress, Hamburg, 2005., str. 309.-332.
- [2] RTR Special - Slab track, Eurailpress, Hamburg, 2006.
- [3] RTR Special – Maintenance & Renewal, Eurailpress, Hamburg, 2007., str. 76.-78.
- [4] Esveld, Coenraad: Modern railway track, TU Delft, Netherlands, 2001., str. 231.-253.
- [5] Siegmann, Jürgen: Feste Fahrbahn:Weg zu einer wirtschaftlicheren Bahn?, Braunschweig, 2005
- [6] Esveld, Coenraad: SLAB TRACK: A Competitive Solution, TU Delft, Netherlands, 1999.
- [7] Bachmann, Hans: Modern Track Technologies State-of-the-Art, The European Railway Review Conference, Manchester, 2003.
- [8] UIC Infrastructure Commission Civil Engineering Support Grup: Feasibility study „ballastless track“, 2002.
- [9] Bilow, David N.;Randich, Gene M., Slab track for the next 100 years, Portland Cement Association, 2000.
- [10] RHEDA 2000 – The ballastless track with concrete supporting layer, RAIL.ONE GmbH Pfeleiderer track systems, Neumarkt, Germany, www.railone.com
- [11] Esveld, Coenraad: Recent developments in slab track, European railway review, 2003, str. 81.-85.
- [12] On the track with Züblin, Ed. Züblin AG, Stuttgart, Germany, www.zueblin.de
- [13] GETRAC – The ballastless track system on asphalt, RAIL.ONE GmbH Pfeleiderer track systems, Neumarkt, Germany, www.railone.com
- [14] FF BÖGL – Progress is built on ideas, Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co KG, Neumarkt, Germany, www.max-boegl.de