



## REKONSTRUKCIJA ŽELJEZNIČKE PRUGE NA DIONICI ELEBI I– CAPLJINA (DRŽAVNA GRANICA)

Katja Rai, dipl. ing. građ. .  
Swietelsky d.o.o.

**Sažetak:** U ovom radu prikazat će se tehnologija izvršenja radova na projektu rekonstrukcija željezničke pruge dionice Elebi i– Capljina (drž. granica) koja se nalazi na dijelu pruge Sarajevo– Capljina.

Pruga Sarajevo– Capljina izgrađena je i puštena u promet 1966. godine kao jednokolosijna pruga. Navedena je pruga dio Paneuropskog koridora Vc, koji spaja Budimpeštu-Osijek-Sarajevo-Ploče. Pruga je bitna jer predstavlja glavni južni izlaz za izvoz iz BiH i uvoz u BiH. Elektrifikacija kontaktne mreže uvedena je 1969. godine s naponom od 25 kV i 50 Hz. Predviđeni redoviti ciklus za rekonstrukciju željezničke pruge iznosi 20-25 godina. Na spomenutoj dionici nije obavljena rekonstrukcija od datuma izgradnje.

**Cljučne riječi:** rekonstrukcija, željeznička pruga, gornji ustroj pruge, tehnologija izvršenja radova.

## TRACK OVERHAUL OF LINE SECTION CELEBICI – CAPLJINA (STATE BORDER)

**Abstract:** This article will show an overview of the used process technology for executed works on the track overhaul on the section Celebici-Capljina (St. Border) which is a part of the line Sarajevo-Ploče.

The single track railway line Sarajevo-Ploče was constructed in 1966. The line is part of Pan-European corridor Vc, which connects the cities Budapest-Osijek-Sarajevo-Ploče. The line is important from the aspect of international traffic as a transit line, it represents the main southern exit for export from B&H and for imports to B&H. The line was electrified in the year 1969 with the system 25 kV/50 Hz. The above mentioned section has not had a general overhaul since it was constructed.

**Key words:** overhaul, track line, superstructure, process technology.



## 1. UVOD

Projektom zadatkom predviđena je rekonstrukcija željezničke pruge na dionici elebi i- apljina (drž. granica) te da se predvidi gornji ustroj od suvremenih i kvalitetnih materijala.

## 2. ZATEČNO STANJE I PROJEKTIRANE ZNAČAJKE

Dionica elebi i-Mostar je duga 56,8 km i većim dijelom prolazi kroz brdoviti teren. Na dionici nalazi se 30 armiranobetonskih i čeličnih mostova ukupne duljine 2.8 km i 36 tunela ukupne duljine 14.3 km. Dionica Mostar- apljina-Državna Granica se nalazi na ravnoj arškom terenu sa 7 armiranobetonskih i čeličnih mostova, ukupne duljine 0.3 km i 7 tunela ukupne duljine 2.8 km.

Pruga je projektirana sa minimalnim radiusom  $R_{\min}=300\text{m}$  i  $i_{\max}=13,35\%$ . Postojeći kolosijek je od S-49 tračnica s krutim „K“ pri vršnim priborom na betonskim i drvenim pragovima. Zastorna prizma je od tucanika krečnja kog porijekla. Skretnice su S49-200-6° na drvenim pragovima. Maksimalna brzina je 70 km/h.



Slika 1. Kolosijek prije rekonstrukcije

Budući da trasa pruge prolazi djelomično kroz brdoviti teren, te zbog većeg broja mostova i tunela, projekt je sadržao postojeće parametre pruge  $R_{\min}=300\text{m}$  i  $i_{\max}=13,35\%$ . Iako novi predviđeni materijali gornjeg ustroja dozvoljavaju brzinu i od 250 km/h, zbog geometrije kolosijeka na navedenim dionicama projektirana brzina iznosi  $v_{\max}=90\text{ km/h}$  na dionici elebi i-Raštani, odnosno  $v_{\max}=100\text{ km/h}$  na dionici Raštani-Državna granica.

## 3. MATERIJALI NOVOG GORNJEG USTROJA

### 3.1. Tračnice

Tračnice su tipa UIC60, kvalitete R260 odnosno R350 HT s ojačanom glavom za krivine  $R<350\text{ m}$ . Mora se izvršiti zavarivanje u dugi trak tračnica (DTT). Nabavna dužina tračnica za ugrađivanje u kolosijek je  $L = 120\text{ m}$ . Tračnice moraju biti sa bušenom drugom rupom na oba kraja. Tračnice su uvezene iz Leobena, Austrija.



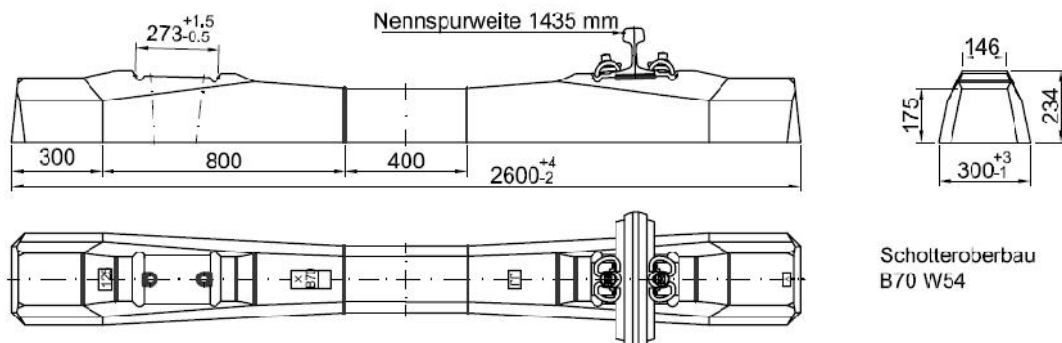
Slika 2. Tračnice UIC 60

### 3.2 Pragovi

Pragovi moraju biti jednodijelni, prednapregnuti betonski, dužine 2,60 m, težine oko 300 kg, naležne površine oko  $6.800 \text{ cm}^2$ , izrađeni postupkom sidrenja od agregata eruptivnog porijekla po standardima UIC-a i lokalnim propisima. Betonske pragove proizvodio je Prominvest, Salakovac.

Kao izuzetak na mostovima, vijaduktima ugrađuju se hrastovi oštrobridni pragovi, koji su uvezeni iz Hrvatske.

Pragovi se ugrađuju na razmaku od 60 cm.



Slika 3. Betonski pragovi B70

### 3.3. Pri vrsni pribor

Pri vrsni pribor mora biti elastičan i prilagođen odobrenom prednapetom betonskom pragu. Pri vrsni pribor se ugrađuje sa elastičnom (gumenom) tračnikom, podloškom i odgovarajućom elastičnom oprugom. Predviđen je tip pri vrsnog pribora SKL 14 za betonske pragove i SKL 12 za drvene pragove.



Slika 4. Elastični pri vršni pribor SKL 14 i SKL 12

### 3.4. Zastorni material

Vršiti će se kompletna zamjena starog zastornog materijala od vapnenca novim, proizveden u kamenolomu u Jablanici od lomljenog kamena eruptivnog porijekla. Debljina tucanika ispod praga mora iznositi 30 cm, a od čela praga 40 cm. Izbačeni stari zastorni materijal neće se koristiti za proširenja nasipa, gdje nasip nije u direktnom dodiru sa rijekom ili jezerom, te za nadopuno zastorne prizme na dionicama gdje je to potrebno.

### 3.5. Skretnice

Predviđeni su tip skretnica UIC60-300-6° i UIC60-200-6° na drvenim oštrobriđnim hrastovim pragovima sa elastičnim pri vršnim priborom. Skretnice su uvezene iz Buzau, Rumunija. Skretnice moraju biti zavarene u dugi trak tračnica i osigurane spravama protiv podužnog pomicanja.



Slika 5. Predmontirana skretnica

### 3.6. Ostali elementi gornjeg ustroja

Uporaba sprava protiv uzdužnog pomicanja tračnica i protiv bočnog izbacivanja kolosijeka prema važećim propisima i standardima za kolosijek tipa UIC60.

### 3.7. Donji ustroj pruge

Projektirani planum pruge će biti širine 6,0 m osim na mjestima gdje je to zbog ekonomskih razloga neopravdano ili teško izvedivo zbog fizičkih prepreka.



Da bi tucani kao zastorna prizma držala u projektiranom obliku na pojedinim dijelovima je predviđeno proširenje planuma ili ako je to teško izvedivo zbog visine nasipa, tada se se izvodi nadzidavanje krune obložnog zida ili ugrađivanje gabiona.

#### **4. FAZE RADA I TEHNOLOGIJA IZVOĐENJA RADOVA**

- 4.1. Geodetsko mjerenje
- 4.2. Pripremni radovi
- 4.3. Zamjena tucanika
- 4.4. Zamjena tračnica i pragova
- 4.5. Uređivanje, podbivanje i stabilizacija pruge
- 4.6. Zavarivanje u dugi trak tračnica (DTT)
- 4.7. Mjerenje parametara pruge

##### **4.1 Geodetsko mjerenje**

Geodetsko mjerenje pruge vrši se sa totalnom stanicom. Snimaju se podaci o postojećem stanju pruge, tj. uspostavlja se operativni poligon i o projektiranom stanju pruge. Podaci o visini i smjeru kolosijeka, gornji rub tračnice (GRT) i udaljenost osovine kolosijeka označavaju se na točkama poligona (npr. stupovi kontaktne mreže). Snimljeni podaci moraju biti dostupni za cijelo vrijeme rekonstrukcije, a i po završetku izvođenja radova u svrhu održavanja pruge.

Podaci o postojećem i projektiranom položaju pruge služe kao osnova za rad strojeva.

##### **4.2. Pripremni radovi**

Pripremni radovi na donjem ustroju uključuju radove koji se izvode prije obnove kolosijeka, kako bi se osigurao neometan trup pruge za glavne radove. Vrši se provjera mogućnosti prolaska predviđenih strojeva, tj. slobodni profil. Navedeni pripremni radovi podrazumijevaju rezanje grmlja, iskop usjeka za proširenje nasipa i izrada gabiona, te postavljanje gabiona, iskop i uređivanje bankina do nivoa podloge, iskop postojećih betonskih i zemljanih kanala te propusta, dodavanje betona na postojeće kanale i nadzidke.

##### **4.3 Zamjena tucanika**

Zamjena tucanika vrši se sa strojem PM-200-1. Stroj PM-200-1 vrši potpuni iskop postojećih zastornih prizmi, te ugradnju nove zastorne prizme, podbivanje i reguliranje kolosijeka. PM-200 je opremljena sa lancem za iskop, koji se ugradi ispod kolosijekne rešetke.





Slika 6. Strojni iskop starog tucanika

Stari tucanik se uklanja pomoću lanca i preko transportnih traka koje se nalaze na stroju istovara u specijalne vagoni MFS, koji se nalaze ispred stroja. Vagoni MFS na sebi također imaju ugrađene transportne trake.



Slika 7. Specijalni vagoni MFS

Ugradnja novog tucanika se vrši na stražnjem dijelu stroja. Novi tucanik se nalazi u kibel vagonima iza samog radnog vlaka i koji se pomoću portalnih kranova prenose do transportnih traka na stroju koji vode do mjesta ugradnje tucanika u kolosijek.



Slika 8. Kibel vagoni za novi tucanik

Precizno doziranje osigurava se kosim kanalom za ispušt.



Slika 9. Ugradnja novog tucanika

Korištenjem integrirane podbijačice sa satelitom, PM-200-1 može da garantira podlogu kolosijeka koja osigurava mogućnost za promet brzinom od 70 km/h.

#### 4.4 Zamjena tračnice i pragova

Podizanje stare tračnice i starih pragova, te ugradnja nove tračnice i novih pragova vrši se sa strojem SMD – 80. Postupak polaganja novog kolosijeka sa SMD 80 je sljedeći:





- Nove tračnice moraju biti istovarene sa strane novog kolosijeka duž pruge.
- Grupa radnika vrši oslobađanje stare tračnice od pri vrsnog pribora, koji se stavlja u sredinu kolosijeka. Na stroju se nalazi elektro magnetna jedinica koja ubacuje stari pri vrsni pribor u vagon na stroju.
- Stari pragovi se demontiraju posebnom jedinicom za podizanje.



Slika 10. Jedinica za uklanjanje starih pragova

- Stari pragovi se prevoze transportnim trakama na prednji dio SMD 80. Tu se stari pragovi preuzimaju portalnim kranom i polažu na vagone koji su ispred stroja.

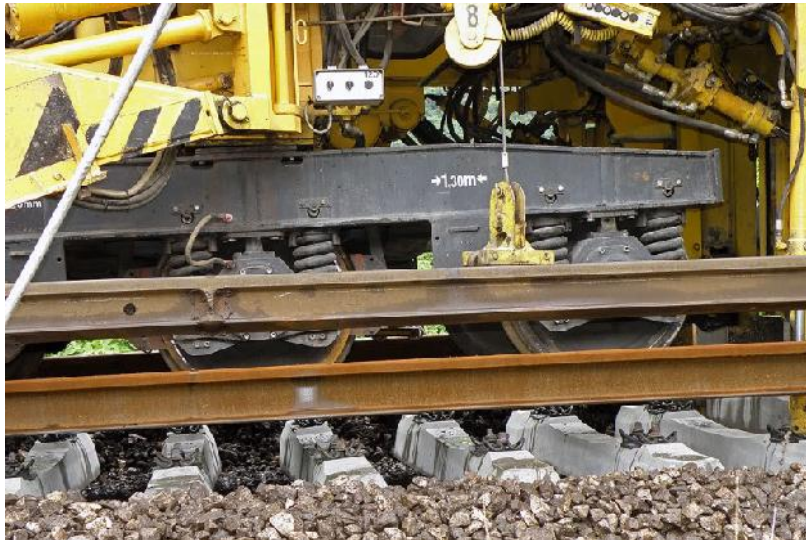


Slika 11. Transportne trake na stroju za nove i stare pragove





- Da bi se izbjeglo stvaranje prašine, SMD 80 ima instalacije za rasprskavanje vode pod tlakom sa spremnikom od oko 20.000 litara.
- Novi pragovi se predmontiraju pri vršnim priborom SKL 14 odnosno SKL 12 se postavljaju sa specijalnom jedinicom na SMD 80 stroju, s obzirom na predviđeni razmak pragova, tj. 60 cm.



Slika 12. Polaganje novih pragova; razmjena stare i nove tračnice

- Nove tračnice polažu se pomoću SMD 80 mašine.



Slika 13. Regulacija nove tračnice

- Zatezanje pri vršnom priboru vrši grupa radnika s tirfonjerkama.



Zbog velikog prometnog opterećenja i eksploatacije u Austriji, brzi radni vlak za polaganje kolosijeka je razvijen kao dvostruki sistem, konstrukcija stroja omogućava rekonstrukciju željeznih tračnica sa malim radijusima krivina bez utjecaja na susjedne kolosijeke.

#### 4.5 Uređivanje, podbivanje i stabilizacija kolosijeka

Propisani oblik zastorne prizme je 40 cm od željezne praga, što se postiže sa radom pluga. Sustav senzora koji se nalazi na stroju vrši uklanjanje tucanika s gornje površine praga i s kolosiječnog pribora.



Slika 14. Plug za oblikovanje zastorne prizme

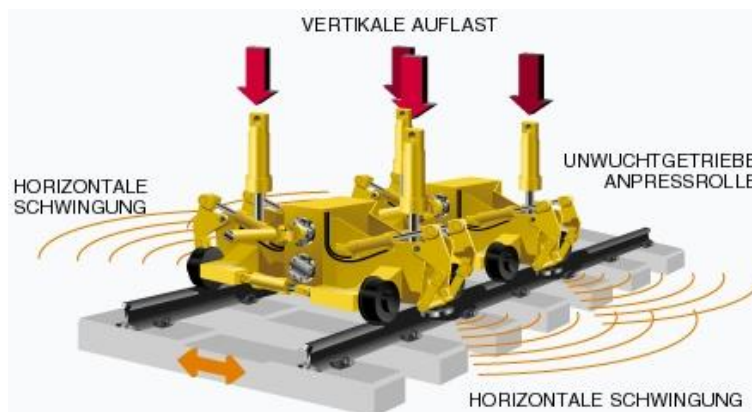
Nakon što je izvršena ugradnja novog tucanika i polaganje novog kolosijeka potrebno je kolosijek dovesti u položaj prema projektu tj. po smjeru i visini. Reguliranje kolosijeka po smjeru i visini vrši se s podbivačem. Podbivač ima vlastito računalo ALC, u koji se učitavaju podaci o projektiranom položaju pruge. ALC sistem nadzire sve radne aktivnosti stroja. Putem vibrirajućih podbivača vrši se podbivanje tucanika, te pomoću jedinice na stroju regulacija po smjeru i visini kolosijeka.





Slika 15. Vibrirajuća i podbijača

Konačna stabilizacija kolosijeka postiže se radom DGS-a (dinamička stabilnost kolosijeka), ovaj radni vlak prenosi vertikalno opterećenje na kolosijek i horizontalne oscilacije. Ovo ima za posljedicu stvaranje više dodirnih površina između zrna tucanika i tucanika i praga umjesto dodirnih točaka. Također se postiže veći otpor na bočno izbacivanje kolosijeka i uzdužne pomake tračnica.



Slika 16. Princip rada dinamičke stabilizacije kolosijeka

#### 4.6 Zavarivanje u dugi trak tračnica

Za vrijeme izvođenja radova tračnice su se spajale vezicama, tj. klasični kolosijek sa sastavima.





Slika 17. Klasični sastav

Sastavi su najslabija mjesta na pruzi, te za posljedicu imaju nemirnu i neugodnu vožnju. Uslijed dinamičkih udara na sastavima, kada vlak prelazi sa jedne tračnice na drugu dolazi do oštećenja sastava, te habanja tračnice i kotača na vozilima. Da bi se svi ovi negativni učinci izbjegli vrši se zavarivanje u dugi trak tračnice (DTT).

Postupak zavarivanja tračnice vršen je u svemu prema napatku 330. Tračnice su se najprije zavarivale u međudjelove od 360 m na temperaturi od 5°C do 40°C. Nakon što su tračnice zavarivane u međudjelove vrši se oslobađanje tračnice unutrašnjih naprezanja.

Tračnice se oslobađaju pri vrsnog pribora i podižu na specijalne valjke, koji se postavljaju između tračnice i pragova. Valjke treba postavljati na rastojanjima dovoljnim za odvajanje tračnice od pragova na istovoj dužini, na taj način je tračnici omogućen uzdužni pomak.



Slika 18. Oslobađanje tračnice od naprezanja

Da bi se tračnice oslobodile eventualno preostalih naprezanja, treba ih još udarati po glavi specijalnim drvenim maljevima, što čine dvije grupe od po dva radnika, polaze i istovremeno od krajeva prema sredini odsjeka koji se zavaruje. Na taj se način omogućuje slobodna promjena dužine tračnice (produženje/skraćenje). Zatim se vrši spuštanje tračnice, te se odmah pristupa pritezanju pribora.

Završno zavarivanje mora se obaviti pri *potrebnoj temperaturi*:

$$t_p = t_{sr} + 5^{\circ}\text{C}$$

$t_{sr}$  – srednja temperatura klimatskog područja u kojem se vrši zavarivanje u DTT



Treba nastojati završno zavarivanje vršiti pri konstantnoj temperaturi ili prema temperaturi u porastu.

Postoji više na ina zavarivanja tračnica. Na ovom projektu izvodilo se elektrootporno zavarivanje i aluminotermijski postupak.

#### 4.6.1. Elektrootporno zavarivanje

Elektrootporno zavarivanje je jedno od najkvalitetnijih postupaka zavarivanja. Kod elektrootpornog zavarivanja se krajevi tračnica vrsto stegnu u stroju za zavarivanje. Elektrode za dovod struje su međusobno udaljene 12 – 16 cm. Zavarivanje se vrši izmjeničnim stezanjem i otpuštanjem krajeva tračnica kroz koje se propušta električna struja 25000 A i napona 6-15 V. Pri prijelazu struje između krajeva tračnica nastaje varnica i razvija se toplina. Stroj sukcesivno pomjera tračnice jednu ka drugoj i odmiče ih, pri čemu sagorijevaju i odijeljuje i krajevi tračnica se dovode na temperaturi topljenja. Sada se pristupa sabijanju tračnica pod pritiskom te dolazi do njihovog skraćivanja i stvaranja opiljaka metala na mjestu zavara. Oni se istovremeno i zavar izbrusi, tako da se profili tračnica savršeno poklapaju. Vrijeme izvršenja jednog zavara iznosi cca 3 minute.



Slika 19. Elektrootporno zavarivanje na gradilištu

#### 4.6.2. Aluminotermijsko (AT) zavarivanja

Postupak aluminotermijskog zavarivanja sastoji se u tome, što se mješavina željeznog oksida i aluminijuma u prahu (termit) dovodi u kalupu na temperaturi topljenja od 1300°C, pri čemu dolazi do kemijske reakcije i pretvaranja termita u aluminijum oksid i željezo:



Istopljeni termit se i popunjava dilatacioni otvor između tračnica i stapa sa termitom dvije tračnice i vrstu vezu. Pri kemijskoj reakciji termita stvara se temperatura od 1950°C do 2450°C. Krajevi tračnica koji se zavaruju prethodno se također zagriju na temperaturi od 1000°C do 1200°C. Poslije nekoliko minuta skida se vatrostalni kalup i obrađuje zavar.



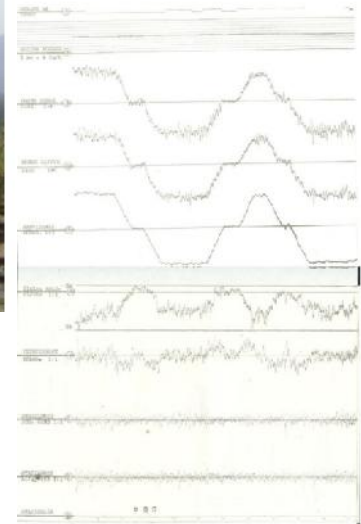
Slika 20. AT postupak

#### 4.7 Mjerenje geometrijskih parametara pruge

Svi elementi kolosijeka po svom sastavu i ugrađenom materijalu treba da osiguraju sigurnu i udobnu vožnju. Mjerenje parametara geometrije kolosijeka vrši se prema pravilniku br. 331, koji predviđa kontrolu kolosijeka i njegovih parametara s elektronskim mjernim kolima firme Plasser & Theurer tipa EM-80 L. U mjerna kola EM-80 L ugrađen je računalo - analizator u koji se prije početka svake mjerne vožnje unose podaci raznih parametara, a u svrhu pravilnog rada programa (pravac kretanja, poželjna stacionaža rasta ili opadajuća, datum mjerne vožnje, maksimalna brzina na pruzi, podužna razmjera, granice vrijednosti pojedinih parametara i dr.) Sve analize se vrše za usvojenu dužinu od 1000 m, iako postoji mogućnost izbora drugih dužina. Izmjereni podaci pojedinih parametara registriraju se putem računala na 410 mm široku providnu papirnu traku, sljedećim redoslijedom: objekti, smjer, širina, stabilnost, brzina.



Slika 21. Mjerna kola EM 80 i grafički prikaz geometrijskih parametara pruge



### 5. Primopredaja željezničke pruge Investitoru

Nakon što su svi radovi izvedeni prema važećim propisima i projektu, mjerna vožnja izvršena, te izmjerene vrijednosti geometrijskih parametara pruge zadovoljavaju vrijednostima predviđenim u nalogu 331. za rekonstrukciju željezničke pruge pristupa se primopredaji željezničke pruge investitoru.





Izvođač radova predaje kompletnu dokumentaciju, certifikate o ugrađenom materijalu, projekt izvedenog stanja, te rezultate mjerne vožnje Investitoru. Vršiti se vizualni pregled pruge i probna vožnja. Željeznice preuzimaju prugu i uvode projektiranu brzinu.



Slika 22. Željeznička pruga poslije rekonstrukcije

## LITERATURA

1. Pravilnik 314 ZJŽ - Pravilnik o održavanju gornjeg stroja pruga Jugoslovenskih željeznica, 1989 Beograd
2. Pravilnik 315 ZJŽ - Pravilnik o održavanju donjeg stroja pruge Jugoslovenskih željeznica, 1989 Beograd
3. Uputstvo 330 ZJŽ - Uputstvo o ugrađivanju i održavanju šina i skretnica u dugačkim trakovima, 1990 Beograd
4. Uputstvo 339 ZJŽ - Uputstvo o jedinstvenim kriterijama za kontrolu stanja pruga na mreži JŽ, 1988 Beograd
5. Gornji ustroj željeznica; Dušan Maruši, 2009 Mostar
6. Grundlagen des Schienenverkehrs - Gleisbau und Trassierung; Prof. Dr. Ing. Haldor E. Jochim, 2005
7. Fotografije iz brošure "Swietelsky Railway Machines Brochure" i archive izvođača