

UDK-UDC 05:625;  
ISSN 0017-2774

LJUBLJANA,  
NOVEMBER-  
DECEMBER 1993

LETNIK XXXXII  
STR. 223-284

# GRADDBENI 11-12 VESTNIK



SLOVENSKI VLAKI  
NA POTI V EVROPO

**Glavni in odgovorni urednik:**

---

Franc ČAČOVIČ

**Lektor:**

---

Alenka RAIČ

**Tehnični urednik:**

---

Dane TUDJINA

**Uredniški odbor:**

---

Sergej BUBNOV, Vladimir ČADEŽ,  
Vojteh VLODYGA, Stane PAVLIN,  
Gorazd HUMAR, Ivan JECELJ,  
Jože BOŠTJANČIČ,  
Andrej KOMEL,  
Jože ŠČAVNIČAR, dr. Miran SAJE

Revijo izdaja Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon: 221-587. Žiro račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska Tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Naročnina za člane društev znaša 1260 SIT. Za študente in upokoјence velja polovična cena. Naročnina za gospodarske naročnike znaša 12.600 SIT, za inozemske naročnike 100 US \$. Revija izhaja ob finančni pomoči Ministrstva za znanost in tehnologijo, Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, Fakultete in arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani in TF, OG Gradbeništvo univerze v Mariboru. V naročnini je vštet prometni davek.

# GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

## LETNIK XXXXII-1993

Revija izdaja:

**ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV  
SLOVENIJE V LJUBLJANI**

Glavni in odgovorni urednik:

**FRANC ČAČOVIČ**

Lektor:

**ALENKA RAIČ**

Tehnični urednik:

**DANE TUDJINA**

Uredniški odbor:

**SERGEJ BUBNOV, VLADIMIR ČADEŽ, VOJTEH VLODYGA, STANE  
PAVLIN, GORAZD HUMAR, IVAN JECELJ, ANDREJ KOMEL, JOŽE  
ŠČAVNIČAR, JOŽE BOŠTJANČIČ, dr. MIRAN SAJE**

Tisk:

**TISKARNA TONE TOMŠIČ V LJUBLJANI**

LJUBLJANA, 1993

# KAZALO ZA LETNIK XXXXII, 1993

---

## ČLANKI, ŠTUDIJE, RAZPRAVE ARTICLES, STUDIES, PROCEEDINGS

---

ČERNE Blagomir: OSNOVNI GRADBENO-TEHNIČNI ELEMENTI PRIMESTNIH ŽE- LEZNIŠKIH PROG .....	240
BASIC CIVIL ENGINEERING-TECHNICAL ELEMENTS OF RAIL- WAY LINES FOR SUBURBAN TRAFFIC	
DJUROVIĆ Vasilije: UNIVERZALNI OBRAZEC IZBUGE ENERGIJE PRI STALNEM TOKU IN TURBULENTNEM REŽIMU V PREVODNIKU ENOTNEGA PREREZA .....	124
A UNIVERZAL FORMULA FOR HEAD LOSS IN STEADY FLOW AT TURBULENT REGIME IN A CONDUIT OF UNIFORM CROSS SECTION	
GRUM Bojan: TEORETIČNA IZHODIŠČA ZA IZRAČUN OPTIMALNEGA ŠTEVILA PRIVEZOV V LUKI .....	130
A THEORETICAL APPROACH TO CALCULATING THE OPTIMUM NUMBER OF SEAPORT BERTHS	
KOVAČIČ Cveta: POMEN INFORMACIJ PRI PRENOSU ZNANJA V GRADBENIŠTVU	162
KORDIN Božo: PROIZVODNJA IN RAZVOJ BETONSKIH PRAGOV V SVETU IN NA SŽ .....	238
PRODUCTION AND DEVELOPMENT OF RAILWAYS CONCRETE SLEEPERS	
LESJAK Ivan, STRNIŠA Gorazd: MEJNA NOSILNOST UVRTANEGA KOLA, DOLOČENA Z DINA- MIČNIM OBREMENILNIM TESTOM .....	12
BORED PILE ULTIMATE BEARING CAPACITY DETERMINATED BY DYNAMIC LOAD TEST	
LAPAJNE Svetko: ELASTIČNOST-PLASTIČNOST PRI PRERAČUNAVANJU IN DI- MENZIONIRANJU KONSTRUKCIJ IZ OJAČANEGA ALI PREDNA- PETEGA BETONA .....	172
ELASTICITY-PLASTICITY FOR THE CALCULATION AND DIMEN- SIONNING OF REINFORCED AND PRESTRESSED CONCRETE	
MARKELJ Viktor: MOST PREKO DRAVINJE V STUDENICAH, projektiranje in gradnja .....	57
THE BRIDGE OVER THE RIVER DRAVINJA AT STUDENICE, design and construction	

PIPENBAHER Marjan: SANACIJA IN OJAČITEV NAD 60 LET STAREGA LOČNEGA MOSTU PREKO REKE IDRIJCE V SPODNJI IDRIJI .....	50
REPAIR AND STRENGTHENING THE MORE THEN 60 YEARS OLD ARCH BRIDGE OVER THE RIVER IDRIJCA AT SPODNJA IDRIJA	
PŠUNDER Mirko, POVŠE Žarko:- RAČUNALNIŠKO PODPRT IZRAČUN USPEŠNOSTI POSLOVA- NJA GRADBIŠČ .....	62
COMPUTER AIDED CALCULATION OF BUSINESS EFFICIENCY OF SITES	
REKAR Marjan: SLOVENSKE ŽELEZNICE SE PRESTRUKTURIRAJO PO ZGLEDU EVROPSKIH .....	230
THE SLOVENIAN RAILWAYS FOLLOW THE EXAMPLE OF EURO- PEAN RAILWAYS RESTRUCTURING	
ŠUMIĆ Vidosava: PRIMERENOST UPORABE KONSTRUKCIJSKIH JEKEL PO JUS ZA KONSTRUKCIJE, IZPOSTAVLJENE NIZKIM TEMPERATURAM ..	166
ŠTURM Janez, FAJFAR Dušan, ZGONC Bogdan: GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEM SLOVENSКИH ŽELEZ- NIC .....	261
SLOVENIAN RAILWAY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM	
TRAUNER Ludvik, ŽLENDER Bojan: PROTOTIP PLITVEGA TEMELJENJA NA SLABO NOSILNIH TLEH	66
PROTOTYPE OF SHALLOW FOUNDATION ON LAW-BEARRING CAPACITY SOILS	
TRAUNER Amalija: ONESNAŽENOST MALIH VODOTOKOV IN GRADNJA MALIH ČISTILNIH NAPRAV .....	176
VERLIČ Peter: KARAKTERISTIKE OMREŽJA EVROPSKIH HITRIH PROG .....	2
CHARACTERISTICS OF EUROPEAN FAST RAILROADS NET- WORK	
VOJVODIČ-GVARDJANČIČ Jelena, LUŠIČIĆ Dubrovko, TUMA Ma- tija: POŠODOBITEV KONDENZATORJA V JEDRSKI ELEKTRARNI KRŠKO .....	134
MODIFICATION OF CONDENSER IN THE NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO	
VERLIČ Peter: PREVOZ IZREDNIH POŠILJK PO ŽELEZNICI GLEDE NA KARAK- TERISTIKE PROFILOV PROG .....	254
TRANSPORT OF THE SPECIAL CONSIGNMENTS BY RAIL CON- CERNING THE RAILWAY GAUGES CHARACTERISTICS	
ZGONC Bogdan: SMERI RAZVOJA ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE V EVROPI IN V SLOVENIJI .....	232
RAILWAY INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT DIRECTIONS IN EUROPE AND IN SLOVENIA	
ZGONC Bogdan, ŽERAK Ljubo: SODOBNA ŽELEZNIŠKA POVEZAVA LJUBLJANA-MARIBOR- GRADEČ-DUNAJ .....	246
UT-TO-DATE RAILWAY CONECTION LJUBLJANA-MARIBOR- GRAZ-VIENNA	

GODNOV Janez: TRENDI PROTIPOŽARNE ZAŠČITE .....	140
JEČELJ Ivan: GRADBENO-FIZIKALNE KARAKTERISTIKE PROTOTIPNEGA OBJEKTA MARLES 2000 IN ZASNOVA ENERGIJSKO VARČEVAL- NIH UKREPOV ZA SONČNO VAS .....	78
BUILDING-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF A PROTOTYPE MARLES 2000 FAMILY HOUSE AND THE CONCEPT OF ENERGY SAVING MEASUREMENTS IN THE SOLAR VILLAGE	
JEČELJ Ivan: IZ ŽIVLJENJA DRUŠTVA GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV MARIBOR .....	99
JAGODIČ Bojan: GRADNJA BENCINSKEGA SERVISA V SP. DUPLEKU .....	96
KRAVANJA Stojan, BEDENIK Branko, KRIŽANIČ Miroslav: JEKLENI ZAKLOPNI JEZ BOU HANIFIA V ALŽIRIJI .....	87
STEEL TILTING DAM BOU HANIFIA IN ALGERIA	
KOSI Peter: GRADBENI SEJEM-SLIKA NAŠE PANOGE? .....	98
LAPAJNE Svetko: PERONSKI NADSTREŠKI KOLODVORA V LJUBLJANI .....	147
LAPAJNE Svetko: IZREDNE OBTEŽBE (POTRES, SNEG) ODKRIVAJO NAPAKE KONSTRUKCIJ .....	196
MILFELNER Rudi: ANALIZA IN SELEKCIJA TRŽIŠČ ZA PLASMAN SISTEMA MAR- LES HIŠ .....	74
ANALYSIS AND SELECTION OF MARKETS FOR SELLING MAR- LES HOUSE SYSTEM	
PREVC Edo: RAZVOJ TEHNIČNE REGULATIVE NA IZHODIŠČIH NAVODILA O GRADBENIH IZDELKIH .....	197
SOVINC Ivan: INFORMACIJA V ZVEZI Z USTANOVITVIJO SLOVENSKEGA GEOTEHNIČNEGA DRUŠTVA .....	27
SEDONJA Ludvik MARLES HIŠA V EVROPI .....	70
THE MARLES HOUSE IN EUROPE	
S. BEDENIK Branko: UVAJANJE CAD V FIRMO MARLES HIŠE, d.o.o. ....	82
CAD IMPLEMENTATION IN MARLES HIŠE, d.o.o.	
SEDONJA Ludvik: LAHKA INDUSTRIJSKA GRADNJA MARLES .....	93
SOVINC Ivan: Predstavitev dela SLOVENSKEGA GEOTEHNIČNEGA DRUŠTVA za obdobje 1992 (ustanovitev) do leta 1993 .....	265
ZATLER-ZUPANČIČ Branka: STANDARDI ZA ZAKLJUČNA DELA V GRADBENIŠTVU .....	145

---

## IN MEMORIAM

---

GOSTIČ Borut: MARJAN FERJAN, dipl. inž. ....	101
---	-----

---

## JUBILEJ

---

BLEIWEIS Janko: 80 LET JOŽETA VITKA, dipl. inž. ....	108
---	-----

---

## DISKUSIJA – DISCUSSION

---

**POROČILA  
FAKULTETE ZA  
ARHITEKTURO,  
GRADBENIŠTVO IN  
GEODEZIJO**

**PROCEEDINGS OF  
THE DEPARTMENT  
OF CIVIL  
ENGINEERING  
UNIVERSITY IN  
LJUBLJANA**

---

BEG Darko, HLADNIK Leon: ZAOŠTALE NAPETOSTI PRI MIKROLEGIRANIH JEKLIH VISOKE TRDNOSTI .....	267
RESIDUAL STRESSES AT HIGH-STRENGTH MICRO-ALLOYED STEELS	
ČERTANC Niko: SISTEM RAZISKOVANJA PROMETNIH NESREČ S POMOČJO GEOGRAFSKEGA INFORMACIJSKEGA SISTEMA .....	103
THE SYSTEM OF RESEARCHING TRAFFIC ACCIDENTS USING THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM	
SRPČIČ Stane: RAČUN TEMPERATUR OKOLJA IN KONSTRUKCIJE MED POŽA- ROM .....	33
THE COMPUTATION OF FIRE COMPUTATION AND STRUCTURE TEMPERATURES IN FIRE	
SRDIČ Aleksander, ZUPANČIČ Dušan: RAČUNALNIŠKO PODPRT SISTEM VZDRŽEVANJA STANO- VANJSKIH ZGRADB »PAV« (planiranje in analiza vzdrževanja) ...	149
COMPUTER SUPPORTED HOUSING MAINTENANCE SYSTEM »PAV« (Planning and Analyse of Housing Mintenance)	
ŠIRCA Andrej, RAJAR Rudi: UPORABA METODE SLEDENJA DELCEV PRI MODELIRANJU TRANSPORTA POLUTANTOV .....	205
USE OF THE PARTICLE-TRACKING METHOD FOR MODELLING OF THE TRANSPORT OF POLLUTANTS	

---

**NOVOŠTI – GRADBENIŠTVO  
TEHNIŠKA FAKULTETA  
UNIVERZA V MARIBORU**

**I Engineering News  
University in Maribor**

---

JECELJ Ivan: NOVA VARIANTA STIROPOR BETONOV »EPS-R« BETONI .....	277
A NEW TYPE OF STYROPOR CONCRETE THE »EPS-R« CON- CRETE	
PŠUNDER Mirko, POVŠE Žarko. RAČUNALNIŠKO PODPRT IZRAČUN USPEŠNOSTI POSLOVA- NJA GRADBIŠČ .....	41
COMPUTER AIDED CALCULATION OF BUSINESS EFFICIENCY OF SITES	
PŠUNDER Mirko: RAČUNALNIŠKO PODPRTA IZDELAVA TEHNOLOŠKIH GRAD- BENIH NAČRTOV S POUČENJEM NA OPAŽNIH NAČRTIH .....	110
COMPUTER AIDED ELABORATION OF TECHNOLOGICAL CONS- TRUCTION DRAWINGS WITH EMPHASIS ON DRAWINGS OF FORMS, MOULDS, PLANKING SAND CRADLINGS	
TRAUNER Ludvik, ZORIČ Zdenko: VREDNOTENJE DOPUSTNE OBREMENITVE TEMELJNIH TAL NA VERJETNOSTNI OSNOVI .....	157
PROBABILITY BASED BEARING CAPACITY OF BASEMENT GROUND	
ŽLENDER Bojan, TRAUNER Ludvik, ŠKRABL Stanislav: EDOMETER S KONTINUIRNIM OBREMENJEVANJEM .....	213
OEDOMETER WITH CONTINUOUS LOADING	

**INFORMACIJE  
ZAVODA ZA  
RAZISKAVO  
MATERIALA IN  
KONSTRUKCIJ  
V LJUBLJANI**

**PROCEEDINGS OF  
THE INSTITUTE FOR  
MATERIAL AND  
STRUCTURES  
RESEARCH  
LJUBLJANA**

ČERNE Gojmir: PREDSTAVITEV NOVE ORGANIZIRANOSTI ZAVODA ZA RAZ- ISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA .....	281
TOMAŽEVIČ Miha, APIH Vera: OJAČEVANJE KAMNITEGA ZIDOVJA Z ZIDOVJU PRIJAZNIM INJEKTIRANJEM .....	45
THE STRENGTHENING OF STONE-MASONRY WALLS WITH MASONRY-FRIENDLY GROUTING	
TOMAŽEVIČ Miha, APIH Vera: OJAČEVANJE KAMNITEGA ZIDOVJA Z ZIDOVJU PRIJAZNIM INJEKTIRANJEM .....	115
THE STRENGTHENING OF STONE-MASONRY WALLS WITH MASONRY-FRIENDLY GROUTING	
TOMAŽEVIČ Miha, LUTMAN Marjana, VALECHOVSKY Tomaž: PROTIPOTRESNA OJAČITEV STARIH KAMNITIH HIŠ: JE ZAME- NJAVA LESENIH STROPOV Z MASIVNIMI PLOŠČAMI RES VEDNO POTREBNA? .....	161
ANTIEARTHQUAKE REINFORCEMENT OF OLD STONE HOU- SES: IS THE CHANGE OF WOOD FLOOR BEAMS WITH MASSIVE SLAB ALWAYS NECESSARY?	
ZATLER-ZUPANČIČ Branka, MLADENOVIČ Ana, RAMOVŠ Anton, VESEL Jožef, AVGUŠTIN Cene: ANDEZITNI TUF V SLOVENIJI – KULTURNA DEDIŠČINA NA GORENJSKEM .....	215
ANDESITE TUFF IN SLOVENIA – PART OF THE CULTURAL HERITAGE OF GORENJSKA	



# GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE  
ŠT. 11-12 • LETNIK 42 • 1993 • ISSN 0017-2774

## VSEBINA-CONTENTS

Članki, študije, razprave Articles studies, proceedings	Marjan Rekar: SLOVENSKE ŽELEZNICE SE PRESTRUKTURIRAJO PO ZGLEDU EVROPSKIH THE SLOVENIAN RAILWAYS FOLLOW THE EXAMPLE OF EUROPEAN RAIL- WAYS RESTRUCTURING	230
	Bogdan Zgonc: SMERI RAZVOJA ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE V EVROPI IN V SLOVENIJI RAILWAY INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT DIRECTIONS IN EUROPE AND IN SLOVENIA	232
	Božo Kordin: PROIZVODNJA IN RAZVOJ BETONSKIH PRAGOV V SVETU IN NA SŽ ..... PRODUCTION AND DEVELOPMENT OF RAILWAYS CONCRETE SLEEPERS	238
	Blagomir Černe: OSNOVNI GRADBENO-TEHNIČNI ELEMENTI PRIMESTNIH ŽELEZNIŠKIH PROG ..... BASIC CIVIL ENGINEERING-TECHNICAL ELEMENTS OF RAILWAY LINES FOR SUBURBAN TRAFFIC	240
	Bogdan Zgonc, Ljubo Žerak: SODOBNA ŽELEZNIŠKA POVEZAVA LJUBLJANA-MARIBOR-GRADEC-DUNAJ UP-TO-DATE RAILWAY CONNECTION LJUBLJANA-MARIBOR-GRAZ-VIENNA	246
	Peter Verlič: PREVOZ IZREDNIH POŠILJK PO ŽELEZNICI GLEDE NA KARAKTERISTIKE PROFILOV PROG ..... TRANSPORT OF THE SPECIAL CONSIGNMENTS BY RAIL CONCERNING THE RAILWAY GAUGES CHARACTERISTICS	254
	Janez Šturm, Dušan Fajfar, Bogdan Zgonc: GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEM SLOVENSКИH ŽELEZNIC ..... SLOVENIAN RAILWAY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM	261
Poročila - Informacije Reports - Information	Ivan Sovinc: PREDSTAVITEV DELA SLOVENSKEGA GEOTEHNIČNEGA DRUŠTVA ZA OB- DOBJE 1992 (ustanovitev) DO LETA 1993 .....	265
Poročila Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani Proceedings of the Department of Civil Engineering University, Ljubljana	Darko Beg, Leon Hladnik: ZAOŠTALE NAPETOSTI PRI MIKROLEGIRANIH JEKLIH VISOKE TRDNOSTI .. RESIDUAL STRESSES AT HIGH-STRENGTH MICRO-ALLOYED STEELS	267
Novosti - Gradbeništvo Tehniška fakulteta Univerza v Mariboru Civil Engineering News University in Maribor	Ivan Jecelj: NOVA VARIANTA STIROPOR BETONOV »EPS-R« BETONI ..... A NEW TYPE OF STYROPOR CONCRETE THE "EPS-R" CONCRETE	277
Informacije Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana Institute for testing and research in materials and structures Ljubljana	Gojmir Černe: PREDSTAVITEV NOVE ORGANIZIRANOSTI ZAVODA ZA RAZISKAVO MATE- RIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA .....	281

---

# SLOVENSKE ŽELEZNICE SE PRESTRUKTURIRAJO PO ZGLEDU EVROPSKIH

---

Razvitejše evropske države so potrebo po prestrukturiranju svojih železnic zaznale že v 80. letih, ko so zaradi vse večje konkurence cestnih in zračnih prevoznikov začele železnice izgubljati svoj delež na transportnem trgu ter zaradi vse večjih finančnih bremen v državnih proračunih. Zaradi naraščajočih transportnih problemov na drugi strani (veliki prometni zastoji, neustrezno zadovoljevanje potreb potnikov in gospodarstva, negotovanje javnosti zaradi onesnaževanja okolja s strupenimi snovmi in hrupom, visoko število nesreč v cestnem prometu) v teh deželah, je Evropska skupnost sprejela strategijo razvoja prometa, ki temelji na kontrolirani liberalizaciji in harmonizaciji transportnega trga. V skladu z njo je leta 1991 izdala dokument Odredba 440/91, ki naj bi bistveno vplival na organizacijo evropskega transportnega trga, železnicam pa dal temelj za oblikovanje skupne železniške transportne politike in za njihovo preobrazbo v tržno usmerjen subjekt.

Slovenske železnice že nekaj let doživljajo svojo krizo tako na tržnem kot na finančnem področju. Posledica slednjega je tudi neustrezen tehnično-tehnološki razvoj, kar jim zmanjšuje konkurenčne možnosti in vključevanje v prometni sistem Evrope.

Stanje na transportnem trgu, povezanost Slovenskih železnic z evropskim sistemom, pri čemer je treba omeniti, da Slovenske železnice ustvarijo kar 80 odstotkov prometa na mednarodnem trgu, ter omejene proračunske možnosti zahtevajo reorganizacijo in sanacijo tega velikega sistema v skladu z usmeritvami Evropske skupnosti.

Pri oblikovanju nove, učinkovitejše organizacije Slovenskih železnic so upoštevane smernice Evropske skupnosti, koncepti ter izkušnje razvitejših železniških uprav, prav tako pa tudi specifična slovenskega prostora, v katerem delujejo.

Z novim zakonom o železnicah, ki ga je slovenska skupščina sprejela decembra letos, bodo Slovenske železnice postale delniška družba. Poslovale bodo po tržnih načelih, država bo prevzela odgovornost za financiranje vzdrževanja in razvoja železniške infrastrukture ter za sofinanciranje prometnih storitev, ki so v javnem interesu, vendar so nedonosne. Z zakonom bo zagotovljena tudi sanacija dosedanje finančne strukture, s čimer bo vzpostavljena normalizacija poslovanja, ki bo Slovenskim železnicam omogočila poslovati po tržnih načelih. V organizacijski strukturi Slovenskih železnic bosta dve poslovni področji, promet in infrastruktura, vendar bo to le obračunska delitev, ki bo prispevala k večji preglednosti in omogočila nadzor nad strukturo stroškov.

Ne samo nova organizacija in tržna usmerjenost Slovenskih železnic, temveč tudi razvoj njihove infrastrukture in prilagoditev evropskim razvojnim načrtom so pogoj za vključitev v evropske prometne tokove.

Nacionalni program razvoja slovenske železniške infrastrukture kot del evropskega prometnega sistema vsebuje obnovo obstoječih prog, s katero bo dosežena višja raven tehnične usposobljenosti in s tem zagotavljanje čim večje varnosti, zanesljivosti in racionalnosti obratovanja. Z dograditvijo obstoječih prog bodo povečane zmogljivosti, dosežena bo večja stopnja posodobitve, s programom gradnje prog za višje in visoke hitrosti pa se Slovenske železnice vključujejo v program evropske mreže hitrih in povezovalnih prog.

Slovenskim železnicam se kot okolju najprijaznejšemu načinu transporta odpirajo nove možnosti za uveljavitev na trgu transportnih storitev, hkrati pa to od samih železničarjev terja tudi spremembo miselnosti, veliko truda in inventivnosti.

---

Marjan Rekar  
Generalni direktor Slovenskih železnic

---



Inv. št. 20 862

---

# THE SLOVENIAN RAILWAYS FOLLOW THE EXAMPLE OF EUROPEAN RAILWAYS RESTRUCTURING

---

The developed European countries became aware of the necessity for restructuring their railways as early as in the eighties, when the share of the railways in the transport market started to decline due to the increasing competition of road and air carriers, as well as the rising burden of state budgets. However, the constantly mounting transport problems (traffic jams, passenger and goods transport demands can not be met at an appropriate level, discontent of the public aroused by the pollution of the environment with poisonous substances and noise, a high number of road traffic accidents) in these countries led the European Community to adopt the traffic development strategy which is based on controlled liberalization and harmonization of the transport market. Following this strategy the EC issued 440/91 Directive, which should have a substantial influence on the European transport market organization, while for the railways it should represent a basis for creating a common railway transport policy and for their restructuring into a market oriented entity.

The Slovenian Railways have been experiencing their crisis in the market as well as in the financial field for years. The consequences of this are evident also in their inadequate technological development, which reduces their opportunities and integration into the European transport system.

The transport market conditions, the connectedness of the Slovenian Railways with the European system – it should be mentioned here, that 80% of their total transport is international transport – and the limited budget resources call for the restructuring and rehabilitation of this giant system in accordance with the EC guidelines.

In forming a new, more effective organization of the Slovenia Railways, the EC guidelines, the concepts and experiences of more developed railway administrations as well as the specifics of the Slovenian space, where they operate, need to be considered.

By the new Railway Law, passed by the Slovenian Parliament in December this year, the Slovenian Railways will become a joint-stock company. They will operate according to market principles. The state will take over only the responsibility for financing the railway infrastructure maintenance and development, as well as cofinancing of unprofitable public transport services. Likewise, the Law provides for the current financial structure rehabilitation, which should normalize the operation of the Slovenian Railways and enable them to adapt their business to market principles. The Slovenian Railways organisational structure should be divided into two business areas, transport and infrastructure. However, this means only a separation in the accounting system, which should contribute to a better transparency and control over costs.

However, the pre-condition for the integration into the European traffic flows are not only the new organisation and market-oriented operation of the Slovenian Railways, but also the development of their infrastructure and its adaptation to the European development plans.

The national programme of the Slovenian Railways infrastructure development as part of the European transport system included the renewal of the existing railway lines, which should improve the level of technical adequacy of the lines and with this a higher level of traffic safety, reliability and rationality of railway operation. The supplementary construction of the existing lines should increase their capacity and a higher level of modernization should be achieved. With the programme of high speed lines construction the Slovenian Railways are integrated into the programme of the European network of high speed and connecting lines.

The Slovenia Railways as the most environment friendly transport means envisage new opportunities in the transport service market. At the same time this requires a change of the railwaymen's mentality, a lot of effort and inventiveness.

# SMERI RAZVOJA ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE V EVROPI IN V SLOVENIJI

UDK 625.11(4+497.12)

BOGDAN ZGONC

## POVZETEK

Članek Smeri razvoja železniške infrastrukture v Evropi in v Sloveniji podaja v zgoščeni obliki opis osnovnih evropskih dokumentov in tehniških parametrov, ki so trenutno v veljavi in ki tudi narekujejo smeri razvoja železniške infrastrukture.

Slovenija in njena železnica ima glede na svoj geografski položaj ugodno tranzitno lego v smeri vzhod-zahod.

Ta svoj položaj bodo Slovenske železnice ohranile le ob predpostavki, da bodo pri modernizaciji svojih prog upoštevale evropske tehniške parametre in standarde. To je še toliko bolj pomembno, ker se kot tranzitne države vse bolj pojavljajo tudi njene sosede: Italija, Avstrija, Hrvaška. Imperativ je torej, da se morajo Slovenske železnice modernizirati vsaj tako hitro kot njene sosede.

Ta odločitev bo vsekakor vplivala na vse nadaljnje investicije v slovensko železniško infrastrukturo.

Pri svoji modernizaciji se bodo Slovenske železnice opirale na znano strategijo razvoja železniške infrastrukture v Evropi. Ta strategija sloni na investicijah v naslednjih sklopih:

- obnova obstoječih prog obsega remonte zgornjega ustroja tirov, obnovo vozne mreže, obnovo signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav;
- dograditev obstoječih prog: gradnja drugega tira, gradnja modernih sistemov signalnih in telekomunikacijskih naprav, gradnja nove proge ...;
- gradnja prog za višje in visoke hitrosti naj bi zagotovila vključitev Slovenije v sistem evropske mreže hitrih prog.

## RAILWAY INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT DIRECTIONS IN EUROPE AND IN SLOVENIA

## SUMMARY

The paper "Railway Infrastructure Development Directions in Europe and in Slovenia" is a concise description of basic, currently valid European documents and technical parameters, which dictate the directions of the railway infrastructure development.

Slovenia and its railways have a convenient geographical situation for east - west transit traffic.

However, the Slovenian Railways can preserve this advantage only under the precondition, that in the modernization of their lines they will keep to European technical parameters and standards. This is of great importance also because of the fact, that the neighbouring countries: Italy, Austria and Croatia are more and more present as transit countries. Thus, it is an imperative to modernize the Slovenian Railways at least as quickly as the neighbours will modernize theirs.

This decision will certainly have a strong influence upon all further investments into the Slovenian railway infrastructure.

Avtor:

Dr. Bogdan Zgonc, dipl. gradb. inž., namestnik generalnega direktorja za infrastrukturo, razvoj in mednarodne odnose

The modernization of the Slovenian Railways will follow the well known European strategy of railway infrastructure development. Its strategy is based on investments in the following three fields:

- renewal of the existing railway lines, including renewal of permanent way, catenary, signalling, safety and telecommunication devices;
- supplementary construction of the existing lines: construction of the second track, installation of modern signalling and telecommunication devices, construction of new railway links, etc.;
- construction of high speed lines which should ensure the integration of Slovenia into the European network of high speed lines.

## 1. RAZVOJ IN TEHNIŠKI PARAMETRI ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE V EVROPI

Evropska prometna politika temelji na načelih liberalizacije in harmonizacije prometnega sistema.

Liberalizacija pomeni dosledno uveljavitev tržnih zakonitosti in svobodno konkurenco med prometnimi panogami. Izvzet je le tisti del prometnih storitev, ki so v posebnem javnem interesu in njegovo izvajanje zagotavlja ter subvencionira država.

Harmonizacija pomeni izenačitev pogojev poslovanja vseh prometnih panog in je prvi pogoj za liberalizacijo prometnega sistema. Ustrezno razvita infrastruktura, usklajena z mednarodnim okoljem in prilagojena narodnogospodarskim ciljem, zlasti glede varovanja človekovega okolja, je pomemben temelj te harmonizacije. Za Slovenijo, ki je zaradi svojega geografskega položaja neposredno povezana s prometnim sistemom Evropske unije, Avstrije in Švice, je uskladitev razvoja naše prometne infrastrukture z evropsko nujnost. Nujnost je tudi prilagoditev našega prometnega gospodarstva razmeram, ki vladajo v razvitih evropskih državah, saj je ta po eni strani pogoj za optimalno valorizacijo našega geografskega položaja, po drugi strani pa pogoj za enakopravno vključitev našega prometnega sistema v evropski prometni sistem.

Strategija razvoja evropske prometne železniške infrastrukture je definirana v naslednjih evropskih dokumentih:

### – UIC – Mednarodna železniška zveza

Perspektivni načrt evropske železniške infrastrukture, Pariz 1974, novelacija 1990

9500 km novih prog

12500 km rekonstrukcij

### – GEB – Skupnost evropskih železnic

Evropska mreža prog za visoke hitrosti, Bruselj 1991

35000 km prog (vsa Evropa brez nekdanje SZ)

20000 km novih prog

### – UN-ECE – Ekonomska komisija ZN

Evropski sporazum o najvažnejših mednarodnih magistralnih (E) progah AGC, Ženeva 1985

vse E-proge, vsa glavna mesta

### – UN-ECE – Ekonomska komisija ZN

Evropski sporazum o mednarodnih progah za kombinirani promet – AGTC, Ženeva 1989

Magistralne proge, ki izhajajo iz teh dokumentov in potekajo prek Slovenije, so prikazane na sliki 1. Iz slike je razvidno, da je mednarodnega pomena celoten prometni križ slovenskih železnic tako v smeri Jesenice–Dobova kot v smeri Koper–Šentilj s priključnimi progami Divača–Sežana in Pragersko–Središče.

V navedenih dokumentih so natančno določeni tehnični parametri za modernizacijo in gradnjo novih magistralnih prog. Tehnični parametri prog po Evropskem sporazumu o najvažnejših mednarodnih železniških progah (AGC),

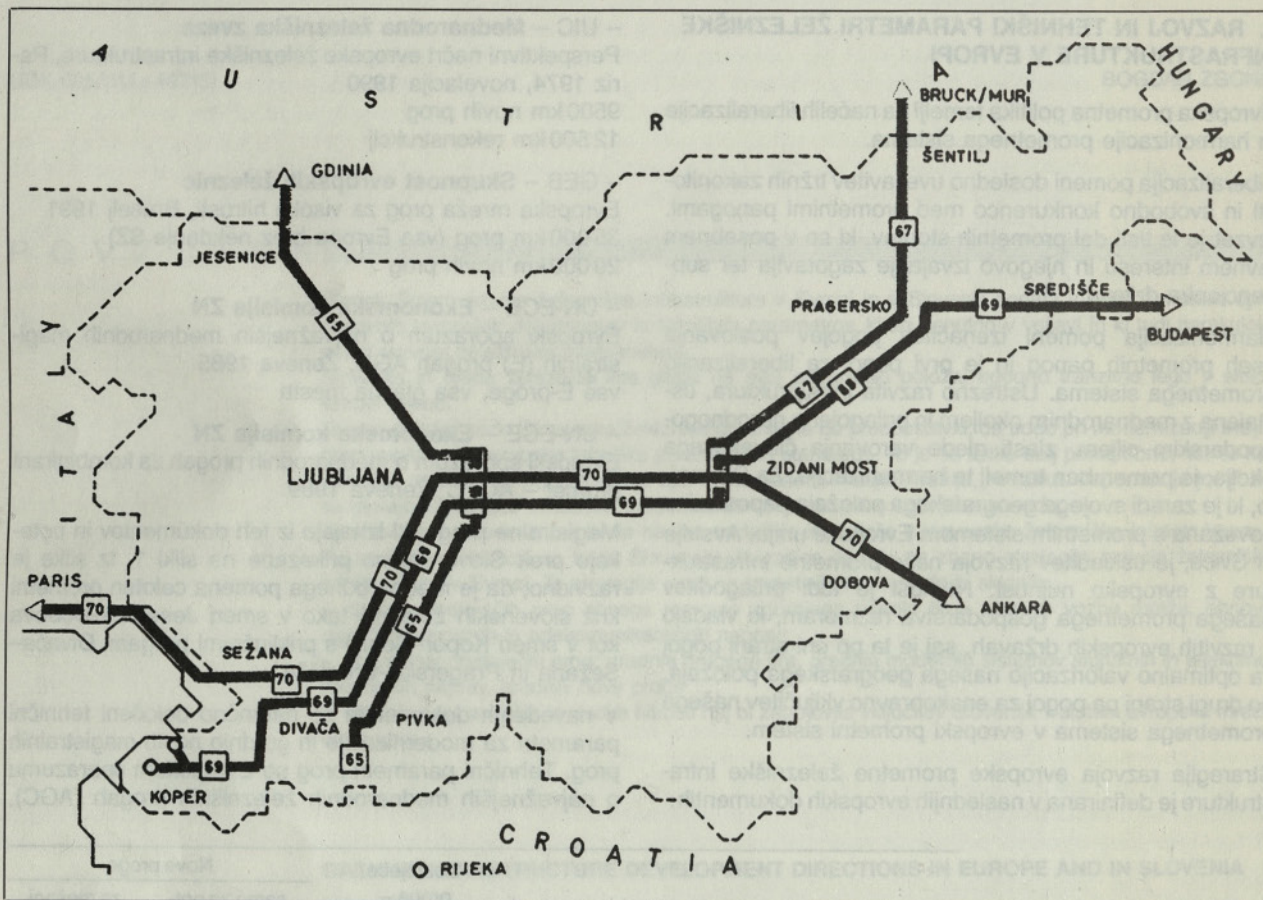
	Obstoječe proge – rekonstrukcija	Nove proge	
		samo za potniški promet	za mešani promet
1. Število tirov	dvotirne	dvotirne	dvotirne
2. Nakladalni profil	UIC-B	UIC-C1	UIC-C1
3. Minimalna medtirna razdalja	4,0 m	4,2 m	4,2 m
4. Računska min. hitrost	160 km/h	300 km/h	250 km/h
5. Dopustna osna obremenitev			
– lokomotiva (V < 200 km/h)	22,5 t	–	22,5 t
– motorniki in motorni			
– vlaki (< 300 km/h)	17 t	17 t	
– potniški vozovi	16 t	–	16 t
– tovorni vozovi			
· 100 km/h	20 t	–	22,5 t
· 120 km/h	20,0 t	–	20,0 t
· 140 km/h	18,0 t	–	18,0 t
6. Dopustna masa na dolžinski meter	8,0 t	–	8,0 t
7. Maksimalni nagib	–	35 mm/m	12,5 mm/m
8. Minimalne dolžine peronov na glavnih postajah	400 m	400 m	400 m
9. Minimalna uporabna dolžina prehitevalnih tirov	750 m	–	750 m
10. Nivojsko križanje ceste in železnice	brez	brez	brez

Preglednica 1: Tehnični parametri prog po evropskem sporazumu o najvažnejših mednarodnih železniških progah (AGC)

prikazani v preglednici 1, predstavljajo minimalno raven, ki jo je potrebno zagotoviti ob večjih modernizacijskih posegih ali novogradnjah na smereh magistralnih prog. S tem se želi zagotoviti homogenost evropske železniške infrastrukture, homogenost evropskih železniških storitev in ne nazadnje konkurenčnost v odnosu do cestnega in letalskega prometa.

železniških tovornih vozovih, katerih pod je na višini 60 cm nad zgornjim robom tirnice;

- prevoz navadnih cestnih polpriklonnikov širine 2,5 m in višine 4 m na železniških tovornih vozovih s spuščnim podom z normalnim podstavnim vozičkom;
- prevoz kontejnerjev ISO širine 2,44 m in višine 2,90 m na navadnih železniških tovornih plato-vozovih;



Slika 1

### MAGISTRALNE PROGE PREKO SLOVENIJE PO SPORAZUMU AGC – UN – ECE

- E-65: Gdania–Warszawa–Breclov–Wien–Bruck a.d. Mur–Willach–Jesenice–Ljubljana–Pivka–Rijeka
- E-67: Bruck a.d. Mur–Graz–Šentilj–Zidani Most
- E-69: Budapest–Kotoriba–Pragersko–Zidani Most–Ljubljana–Koper
- E-70: Paris–Torino–Milano–Trieste–Sežana–Ljubljana–Dobova–Zagreb–Beograd–Sofia–Ankara

#### Obrazložitev k preglednici:

Ad. 1

Za zagotovitev zadostne prepustne in prevozne moči je na magistralnih smereh potrebna dvotirna proga.

Ad. 2

#### Nakladalni profil UIC-C1 omogoča:

– prevoz cestnih tovornih vozil in cestnih sestavov (tovornjakov s priklopniki, členkastih vozil, vlečnih vozil s polpriklonniki), ki ustrezajo evropskemu cestnemu tovornemu gabaritu (višine 4 m, širine 2,5 m) na posebnih

– prevoz premičnih tovornih zabojev širine 2,5 m na navadnih železniških tovornih plato-vozovih.

#### Nakladalni profil UIC-B omogoča:

– prevoz kontejnerjev ISO širine 2,44 m in višine 2,90 m na železniških tovornih plato-vozovih za prevoz kontejnerjev, s tem da je pod plato-vozila na višini 1,18 m nad gornjim robom tirnic;

– prevoz premičnih tovornih zabojev širine 2,50 m in višine 2,60 m na navadnih železniških tovornih plato-vozovih (pod plato-vozov je na višini 1,246 m);

– prevoz polpriklonnikov na železniških tovornih vozovih s spuščanim podom.

Magistralne proge Slovenskih železnic ustrezajo nakladalnemu profilu UIC-B.

Ad 3.

Na obstoječih progah je medtirna razdalja od 3,5 m do 4,0 m, zato mora pri obnovi znašati vsaj 4 m, na novih progah pa vsaj 4,2 m.

Ad 4)

Računska hitrost je v Evropi 160 km/h že običajna na pomembnejših magistralnih progah v ugodnejših topografskih razmerah in ne zahteva večjih vlaganj v opremo proge. Nove magistralne proge je potrebno graditi z elementi, ki dopuščajo hitrosti 250 km/h oziroma 300 km/h.

Ad. 5, 6)

Oсна obremenitev in obremenitev po tekočem metru mora ustrezati kategoriji C4 po predpisih UIC. Za lokomotive se dopušča večja osna obremenitev 22,5 t tudi tam, kjer je sicer dovoljena največja obremenitev 20 t, ker so sodobna podvozja lokomotiv manj agresivna.

Ad. 7)

Maksimalni nagib 35 mm/m za čisti potniški promet je privzet na podlagi izkušenj proge Paris-Lyon, nagib 12,5 mm/m za mešani promet pa ustreza maksimalnim nagibom do sedaj zgrajenih novih prog za visoke hitrosti v Nemčiji.

Ad. 8)

Dolžina perona 400 m ustreza vlaku z lokomotivo in 13 vagoni dolžine 27,5 m oziroma vlaku z lokomotivo in 14 vagoni dolžine 26,40 m (2 TGV kompozicije).

Ad. 9)

Minimalna uporabna dolžina prehitevalnega tira 750 m omogoča prehitevanje kompozicije bruto mase 5000 t v kategoriji C-4 (8 t po m).

Ad. 10

Na novih magistralnih progah niso dovoljena križanja cest v nivoju. Tudi na obstoječih progah je potrebno načrtovati sistematsko zamenjavo nivojskih z zunajnivojskimi križanji.

## 2. POLOŽAJ SLOVENSКИH ŽELEZNIC V ODNOSU DO KONKURENČNIH ŽELEZNIŠKIH SMERI

Položaj Slovenskih železnic in Luke Koper v odnosu do tujih konkurenčnih železniških smeri in tujih luk je zelo občutljiv.

Z realizacijo možnih obvoznih visoko zmogljivih železniških smeri bi Slovenija izgubila glavnino svojih transportnih prihodkov iz železniškega in luškega prometa. Ker gre za visokokakovosten izvoz storitev, ki ne onesnažujejo okolja in ker gre za dejavnost, v kateri ima Slovenija s svojim železniškim in luškim sistemom realne primerjalne prednosti, bi to pomenilo nepopravljivo škodo. To potencialno nevarnost je potrebno najresneje upoštevati. V nadaljevanju so opisani interesi posameznih držav na tem področju.

### Interesi Avstrije

Pri povezavi Avstrije z Italijo, južno Francijo in Španijo sta si konkurenčni predvsem naslednji dve relaciji: Sežana/Koper–Ljubljana–Jesenice/Šentilj in Trst–Trbiž–Beljak–Gradec–Dunaj

Avstrija bo slovenske proge za tranzit svojega blaga uporabljala le, ko bodo storitve v slovenski smeri bistveno konkurenčnejše od smeri Trst–Beljak. Njen interes je namreč, da čim več prevaža po svojih progah, to je na relaciji Beljak–Gradec in seveda po čim kakovostnejši infrastrukturi, katere modernizacija je v polnem teku.

Prav tako obstaja potencialna nevarnost, da bo Avstrija spričo prekinjene magistralne proge Ljubljana–Zagreb–Beograd za pot proti jugovzhodu uveljavila smer Dunaj–Budimpešta–Beograd.

Avstrija namreč pripravlja projekte za gradnjo proge za visoke hitrosti (200–250 km/h) v smeri Beljak–Gradec–Dunaj, od tod naprej pa so v pripravi načrti za hitro progo Dunaj–Budimpešta in Budimpešta–Beograd. V povezavi z novo italijansko progo Videm–Beljak bi to lahko bila moderna povezava avstrijskega železniškega omrežja v smeri jugozahodne Evrope.

### Interesi Italije

Italija vidi bodočnost svoje gospodarske ekspanzije v prodoru v vzhodno Evropo. Iz tega izvira iniciativa po modernizaciji prometnih koridorjev, tako cestnih kot železniških v smeri Trst–Ljubljana–Budimpešta. Pri tem pa je potrebno poudariti, da so za Italijo zanimive tudi druge smeri. Najrealnejša alternativa je smer Videm–Trbiž–Beljak–Dunaj, saj poteka precejšen del te proge po italijanskem ozemlju, celotna relacija pa se intenzivno modernizira. Ob ustreznih prometnih politikah Italija lahko doseže preusmeritev tranzitnih tokov na to smer, ki je neposredna konkurenca smeri Sežana–Ljubljana–Šentilj. Da so razmišljanja o tem resna, kaže gradnja nove dvotirne proge za hitrost 160 km/h na odseku med Vidmom in Trbižem. Proga bo omogočala kakovostno povezavo tržaškega pristanišča z avstrijskimi železnicami. Še nevarnejša za tranzit prek naših prog iz Italije proti Budimpešti je predvidena gradnja ravninske proge Reka–Zagreb in želja Hrvaške za povezavo Reke s Trstom prek našega ozemlja.

### Interesi Hrvaške

V svojih razvojnih planih načrtuje Hrvaška gradnjo dveh novih prog za hitrost od 160 do 200 km/h, ki naj bi potekali tudi prek ozemlja Slovenije. Ti progi sta:

Trst–Lupoglav (istrske proge)–Reka–Zagreb–Budimpešta in Zagreb–Pragersko–Gradec–Dunaj.

V primeru realizacije teh dveh prog bi bila ustvarjena nova, tehnološko izredno ugodna, moderna povezava vzhoda z zahodom, ki bi obšla Slovenijo (Trst–Reka–Zagreb–Dunaj/Budimpešta).

Slovenske železnice bi ob takem razvoju in počasni modernizaciji svojih magistralnih smeri postale izoliran otok v mednarodnem transportnem sistemu, luka Koper pa bi popolnoma izgubila svojo perspektivno vlogo med severnojadranskimi pristanišči.

### Interesi Madžarske

Z Madžarsko Slovenija nima neposredne železniške povezave in je odvisna od prog, ki potekajo prek Avstrije in Hrvaške.

Glede na prometne tokove, ki potekajo v smeri od vzhoda na zahod, Madžarska in Hrvaška v veliki meri vplivata na odločitve, ali bo šel tovor na zahod prek Avstrije, prek Hrvaške ali Slovenije v slovensko, hrvaško ali italijansko luko. Gradnja nove proge Murska Sobota–Hodoš pomeni prednost za Slovenijo zlasti zato, ker predstavlja najkrajšo zvezo med Koprom in izvori ter ponori tovora v Češki, Slovaški in deloma Poljski.

Pomen neposredne železniške zveze med Slovenijo in Madžarsko je tudi v tem, da je na tej relaciji le en mejni prehod, s tem tudi hitrejši pretok blaga in potnikov. Z novo progom pa bi ustvarili tudi boljše komercialne možnosti za pritegnitev tovora v luko Koper prek slovenskih prog.

## 3. RAZVOJ SLOVENSKE ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE

Razvoj slovenske železniške infrastrukture temelji na strategiji razvoja železniške infrastrukture v zahodni Evropi. Pri modernizaciji in razvoju železniške infrastrukture gre za tri temeljne, med seboj ločene, vendar funkcionalno povezane sklope, katerih izvedba mora biti usklajena s standardi, opredeljenimi v veljavnih evropskih dokumentih in predpisih UIC:

- obnova obstoječih prog,
- dograditev obstoječih prog,
- gradnja prog za visoke hitrosti.

### 3.1. Obnova obstoječih prog

Obnova obstoječih prog zajema obnavljanje oziroma ohranjanje eksploatacijske sposobnosti obstoječih prog na čim višjem tehničnem nivoju in s tem zagotavljanje čim večje varnosti, zanesljivosti in racionalnosti obratovanja.

V ta sklop spadajo:

- remont zgornjega ustroja proge,
- obnova vozne mreže,
- obnova SV in TK naprav,
- sanacije mostov in zidov, zunajnivojska križanja
- manjše rekonstrukcije postaj in krivinskih elementov prog.

Pri skupni dolžini 863 km tirov magistralnih prog in 20-letnem ciklusu remontov je treba letno obnoviti 43 km tirov z novim materialom. Če k temu prištejemo še obnovo 665 km tirov stranskih prog z rabljenim materialom in v

daljših časovnih intervalih, je upravičeno računati s potrebno skupno dolžino remonta približno 50 km letno.

### 3.2. Dograditev obstoječih prog

Dograditev obstoječih prog obsega dopolnitev zmogljivosti in višjo stopnjo posodobitve obstoječe infrastrukturne mreže, ki je potrebna zaradi predvidenega povečanja obsega transporta pritegnitve novih prometnih tokov, povečanja stopnje varnosti, uvajanja višjih standardov, upoštevanja zaščite okolja in racionalizacije poslovanja.

V ta sklop uvrščamo naslednje projekte:

- gradnja nove proge za povezavo Slovenije z Madžarsko (30,4 km)
- gradnja drugega tira na odsekih:
  - Koper–Divača (45,8 km)
  - Ljubljana–Jesenice (71,2 km)
  - Maribor–Šentilj (16,5 km)
- gradnja zahtevnejših zunajnivojskih križanj ceste z železnico;
- gradnja modernejših sistemov signalnovarnostnih naprav;
- gradnja modernejših sistemov telekomunikacijskih naprav;
- gradnja ljubljanskega železniškega vozlišča;
- modernizacija ranžirne postaje Zalog;
- gradnja potniške postaje Ljubljana.

V okviru dograditve obstoječe mreže prog je v letih 1995 in 1996 predvidena gradnja slovenskega dela nove enotirne proge za neposredno povezavo Slovenije z Madžarsko na relaciji Murska Sobota–Mačkovci–Hodoš–Bajansenye v dolžini 30,4 km. Proga je namenjena pritegnitvi tranzitnega tovora iz Češke, Slovaške, Poljske, vzhodne Nemčije, Madžarske in Ukrajine v smeri proti luki Koper, ima pa tudi velik politični pomen zaradi tesnejše povezave s Slovenci, ki živijo na madžarski strani meje z matično domovino. Proga je projektirana za hitrost do 120 km/h.

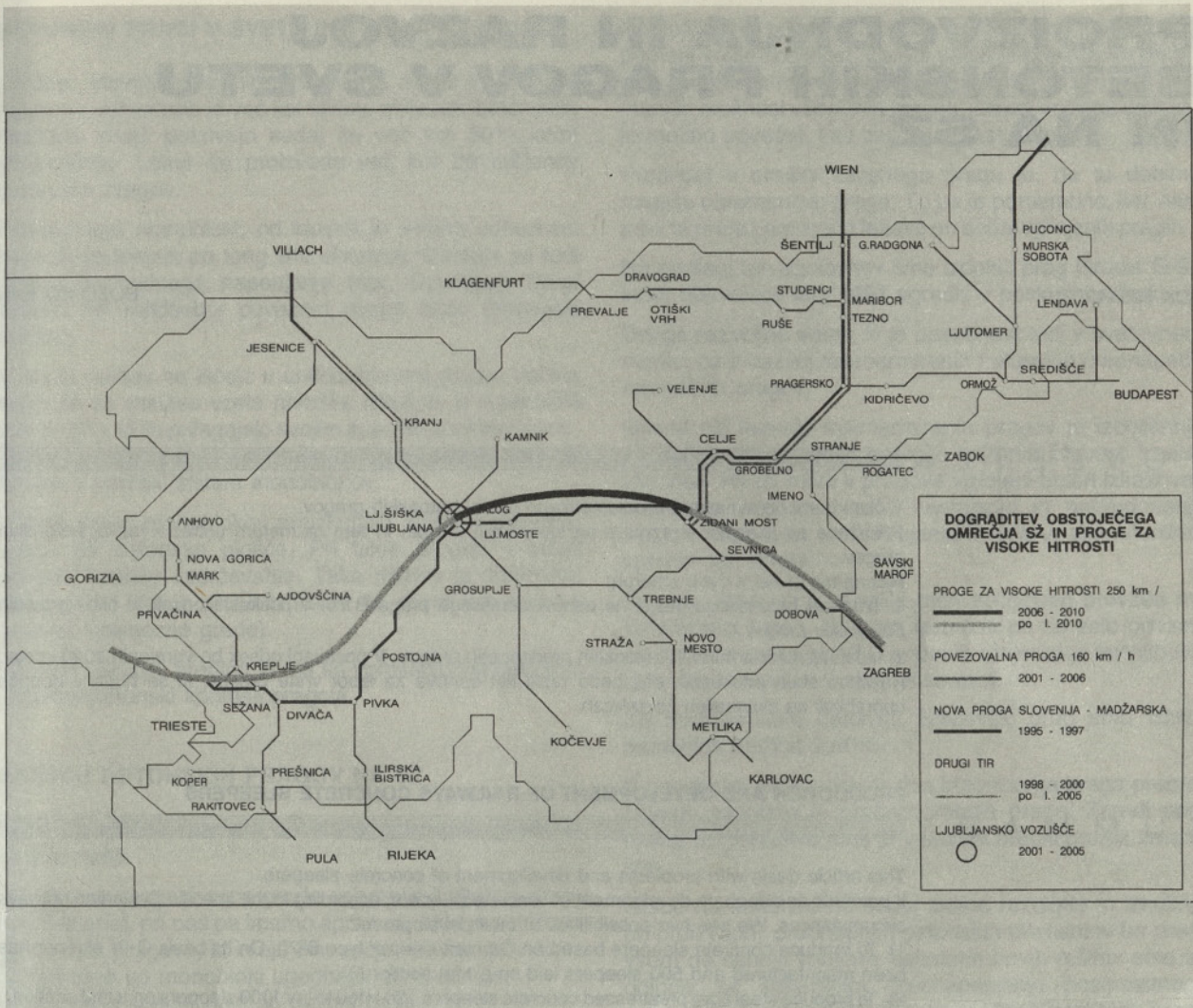
V obdobju od leta 1998 do leta 2000 je predvidena izgradnja drugega tira Divača–Koper v dolžini 45,8 km. S tem se bo na tem enotirnem odseku bistveno povečala kapaciteta proge in izboljšala zaledna povezava Luke Koper. V obdobju od leta 2001 do 2005 je predvidena tudi gradnja obvoznih prog ljubljanskega prometnega vozlišča in s tem povezanega sistema mestnega in primestnega prometa v Ljubljani.

Gradnja drugega tira Ljubljana–Jesenice v dolžini 71,2 km je zaradi spremenjenih prometnih tokov predvidena šele po letu 2005 in ni zajeta v programu investicijskih naložb v obravnavanem obdobju.

### 3.3. Gradnja prog za višje in visoke hitrosti

Realizacija evropske mreže hitrih prog na ozemlju Republike Slovenije v skladu z evropskimi dokumenti, je predvidena po letu 2000. Prvi poseg v tej smeri je rekonstrukcija povezovalne proge Zidani Most–Maribor–Šentilj dolžine 106 km v smeri proti Dunaju za hitrost do 160 km/h. Začetek večjih del je predviden leta 2001, medtem ko bi se remontu na posameznih odsekih te proge, kjer trasa





povezovalne proge ostaja v svoji osi, že izvajali po standardih, ki jih taka proga zahteva. V okviru rekonstrukcije te proge je zajeta tudi gradnja drugega tira Maribor–Šentilj (16,5 km). Proga Zidani Most–Maribor–Šentilj povezuje hitro progo Gradec–Dunaj z našo bodočo novo progo za hitrost 250 km/h Trst–Ljubljana–Zidani Most–Zagreb, ki je del južnoevropske hitre proge Madrid–Barcelona–Milano–Benetke–Trst–Ljubljana–Zagreb–Beograd/Budimpešta). Dolžina hitre proge od slovensko-italijanske meje pri Trstu do slovensko-hrvaške meje pri Dobovi znaša 179 km. Njena gradnja, začeni s prvim odsekom Ljubljana–Zidani Most, je predvidena po letu 2005. Predvidena vrednost 1 km take proge je po izkušnjah tujih železnic 15 mio USD, tako da bi bila vrednost celotne proge po grobi oceni 2691 mio USD. Idejne gradbene rešitve za odsek proge Ljubljana–Zagreb so izdelane, izbrana je savska varianta, za odsek Trst–Ljubljana pa je izdelanih več variant. Z realizacijo sistema navednih prog za višje in visoke hitrosti bi se Slovenija zadovoljivo

vkjučila v evropski sistem hitrih prog. Dostopnost Slovenije in mobilnost prebivalstva bi se na ta način bistveno izboljšala, časi potovanj v primerjavi z obstoječimi pa bi bili bistveno ugodnejši.

Dinamika in obseg razvoja sta v grobem prilagojena dolgoročnim načrtom evropskih držav in najnujnejšim potrebam in interesom našega gospodarstva in družbe, vendar ju bo treba še sproti prilagajati nadaljnjemu razvoju prometnih tokov v tem delu Evrope.

Ustrezen razvoj slovenske železniške infrastrukture je odločilen pogoj za vključenost Slovenskih železnic in Luke Koper v evropske prometne tokove. Zaostanek na tem področju bo v bodočnosti nenadomestljiv in ima lahko usodne posledice ne le za slovensko prometno gospodarstvo samo, pač pa tudi za gospodarstvo Slovenije kot celoto, saj gre za področje, kjer ima Slovenija objektivne primerjalne prednosti in jih mora izkoristiti.

# PROIZVODNJA IN RAZVOJ BETONSKIH PRAGOV V SVETU IN NA SŽ

UDK 625.142

BOŽO KORDIN

## POVZETEK

V članku sta obravnavana problematika in razvoj betonskih pragov.

Prikazane so specifične razmere na slovenskih progah in tem razmeram ustrezní razvoj betonskih pragov.

Razvoj naj bi šel v dveh smereh:

1. Izdelava betonskega praga na osnovi nemškega praga B 70. V poskusni odsek je bilo vgrajenih 500 kosov pragov G 91.
2. Izdelava mikroarmiranih betonskih prednapetih pragov. V poskusni odsek bo vgrajenih 1000 kosov. Rezultati obeh poskusnih polj bodo rabili kot osnova za izbor vrste pragov, ki se bodo v bodoče uporabljali na slovenskih železnicah.

## PRODUCTION AND DEVELOPMENT OF RAILWAYS CONCRETE SLEEPERS

## SUMMARY

This article deals with problems and development of concrete sleepers.

It presents an adequate development of concrete sleepers, according to the specific Slovenian railways circumstances. We see two possibilities of their development:

- 1) To produce concrete sleepers based on German sleeper type B-70. On its basis G-91 sleeper has been manufactured and 500 sleepers laid on a trial section.
- 2) To produce steel fibre prestressed concrete sleepers. We intend to lay 1000 sleepers on a trial section. The results of the testing will serve us as a basis of choosing the most suitable type of sleepers on Slovenian railways.

## UVOD

Večina razpravljavcev na svetovnem kongresu o železniških betonskih prarih v Madridu leta 1991 je obravnavala problematiko betonskih pragov v eksploataciji in iskala boljše razvojne smeri. Ker se problemi z betonskimi prahi in stalna iskanja boljših rešitev pojavljajo v večini držav sveta, je bila ena od sklepnih misli na kongresu: »Skrbijo nas lahko države, ki **nimajo** problemov z betonskimi prahi«.

*Avtor:*

*Božo KORDIN, dipl. grad. inž.*

*Slovenske železnice Ljubljana, vodja Službe za pripravo in pregled tehnične dokumentacije*

## BETONSKI PRAG KOT ELEMENT SKLOPA PROGE

Kljub navidezni enostavnosti železniškega praga kot konstrukcije je v bistvu to konstrukcija, ki je postavljena v izredno zapletene razmere sklopa proge.

Vse države so si enotne, da betonskih pragov ne moremo obravnavati kot konstrukcijo samo, ampak da je potrebno betonske prage obravnavati skupaj z ostalimi elementi sklopa proge, to so tirnice, pritrditev, gramozna greda in podlaga. Le tak pristop, kjer je vsak od teh elementov vključen v celoto, nam lahko da zadovoljive rezultate.

Ker je medsebojne razmere v sklopu proge težko predvideti v teoretičnih izračunih, se večina raziskav opravlja na pragovih, vgrajenih v progi, določene raziskave pa tudi na modelih v laboratoriju.

## BETONSKI PRAGI V SVETU IN TRENDI RAZVOJA

Celotno število vgrajenih pragov na svetu je tri tisoč milijonov, od katerih je več kot štiristo milijonov betonskih. Betonski pragi pokrivajo sedaj že več kot 50% letne proizvodnje. Letno se proizvede več kot 20 milijonov betonskih pragov.

Prevladujejo monobloki, od katerih je večina adhezivno napetih (izdelanih po long line sistemu). Obstaja pa tudi sistem naknadnega napenjanja (npr. Dywidag). Drugi sistemi so medseboj povezani dvojni bloki (francoski bi-blok).

V svetu rešitev ne iščejo v uniformiranem pragu. Večina držav je za osnovo vzela nemške izkušnje z monobloki B58 in B70, ki jih prilagajajo svojim specifičnim razmeram. Španci in Nizozemci so prešli iz francoskega sistema bi-blok v nemški sistem monoblokov.

V Italiji poleg monoblokov preizkušajo direktne pritrditve praga na betonske plošče. Pri takih progah v celoti odpade bodoče vzdrževanje. Taka rešitev je optimalna za predore, kjer je problem višina (ni dovolj prostora za graditev gramozne grede).

Španski razvojni predlog je, da se vgrajujejo neprekinjeni vzdolžni betonski koritasti pragi.

## RAZVOJ BETONSKIH PRAGOV NA SŽ

Naše specifične razmere so slaba gramozna greda in majhni radiji.

V svetu se za gramozno gredo uporablja izključno eruptivni material, pri nas pa imamo apnenec, zato je potrebno uporabljati pragove, ki imajo čim večjo naležno površino. Zaradi tega so monobloki ugodnejši od bi-blokov. Druga naša specifičnost so majhni radiji.

V krivinah z majhnimi radiji lahko pride pri bi-bloku do zvijanja vezi med dvema blokoma, kar pripelje do spremembe širine tira. Zaradi tega je uporaba bi-blokov omejena na radije, večje od 350 m.

To je razlog, zakaj so se na Slovenskih železnicah že leta 1972 odločili za monolitni prag JŽ-70 dolžine 2,40, ki je izpeljan iz nemškega praga B58.

Po letu 1987 so se na slovenskih progah pričeli vgrajevati pragi JŽ-70 Gradis. Ker so se zaradi naših specifičnih razmer v progi pričele kazati na pragovih določene pomanjkljivosti, smo poleg izdelave novih tehničnih zahtev za izdelavo tolčenca za gramozno gredo pričeli z razvojem betonskih pragov v dveh smereh:

**Prva smer** je izdelava betonskih pragov na osnovi nemškega praga B70, to je 2,60 m dolg monolitni prag, ki je 2 cm višji od praga JŽ-70 Gradis in je na sredini zožen.

Prednosti daljšega praga je, da imamo pri long line sistemu prednapetja bolj zanesljivo pod tirnico polnoprignet betonski prerez in da imamo večjo udeležno površino, zato je pritisk na gramozno gredo manjši.

Pri večji višini praga se poveča odpornostni moment, kar pomeni večjo nosilnost. Zaradi večjega prereza so pri isti sili napenjanja manjše tlačne napetosti v pragu in s tem manjša možnost vzdolžnih razpok. Zaradi večjega prereza je možno povečati tudi zaščitno plast betona.

Prednost v sredini zoženega praga je, da tu dobimo manjše obremenitve praga. To pa je pomembno, ker nam prav ta prerez povzroča težave pri sedaj vgrajenih pragih.

Na podlagi teh ugotovitev smo izdelali prag Gradis G-91 in jih 500 kosov leta 1991 vgradili v poskusni odsek.

**Druga razvojna smer**, ki je posebnost tudi v svetovnem merilu, pa je razvoj mikroarmiranih betonskih prednapetih monolitnih pragov.

Glavni cilj razvoja mikroarmiranih pragov je izboljšanje sposobnosti absorpcije energije oziroma žilavosti in elastičnosti. Hkrati mora v pragove vgrajeni beton izkazovati povečano odpornost proti nastajanju in napredovanju razpok, odpornost proti utrujanju in udaru, atmosferskim vplivom ter obrabi.

Podane zahteve je v veliki meri sposoben prevzeti mikroarmirani beton. Njegove lastnosti pa so zelo odvisne od pravilne izbire ostalih osnovnih materialov ter njihovih optimalnih deležev v njegovi sestavi.

Za mikroarmirani betonski železniški prag smo izbrali monoblok dolžine 2,60 m.

S posebnim oblikovanjem dna betonskega praga preprečujemo vzdolžno in prečno drsenje praga. Zaradi optimalne razporeditve mas je v sredini prečni prerez zmanjšan.

Glede na nekatere do sedaj znane rezultate in izkušnje pri proizvodnji prednapetih betonskih elementov ter predvsem na osnovi vpeljave nekaterih novih rešitev smo se odločili za adhezijsko prednapenjanje posameznega praga oziroma ene baterije pragov. Značilnost tega praga je tudi poligonalni potek vrvi za prednapenjanje. S tem zagotavljamo njihov optimalni položaj v različnih prerezih oziroma optimalno razdaljo vrvi od konture betona vzdolž cele dolžine praga.

Betoni imajo zelo visoke tlačne trdnosti (50 MPa pri starosti 3 dni in 100 MPa pri starosti 90 dni).

Ugotovljene vrednosti modulov elastičnosti so majhne v primerjavi s pripadajočimi vrednostmi tlačnih trdnosti. (Statični modul elastičnosti je ca. 40 do 48 GPa v starosti 90 dni.)

Po pravilniku o prevzemanju betonskih pragov mora znašati obtežba ob pojavi prve razpoke v sredini praga minimalno 48 kN pri starosti 28 dni. Pri mikroarmiranih pragih znaša ta obtežba ca. 75 kN.

Do konca leta 1993 bo v Salonitu Anhovo izdelanih 1000 kosov mikroarmiranih pragov, ki jih bomo v letu 1994 vgradili v poskusno polje.

**Rezultati obeh preskusnih polj nam bodo rabili kot osnova za izbor vrste pragov, ki se bodo v bodoče uporabljali na Slovenskih železnicah.**

# OSNOVNI GRADBENO-TEHNIČNI ELEMENTI PRIMESTNIH ŽELEZNIŠKIH PROG

UDK 625.45

BLAGOMIR ČERNE

## POVZETEK

V članku OSNOVNI GRADBENO-TEHNIČNI ELEMENTI PROG ŽELEZNIŠKEGA PRIMESTNEGA PROMETA so obravnavani kriteriji za izbor osnovnih gradbeno-tehničnih elementov, ki naj bi rabili pri projektiranju novih in rekonstrukcijah starih prog, namenjenih primestnemu potniškemu prometu. To področje je pri nas skoraj neobdelano. Ne obstoji metodologija, ki bi v smiselnem zaporedju obravnavala osnovne gradbeno-tehnične elemente, ki vplivajo na projektiranje in rekonstrukcijo prog. Naloga naj bi vsaj delno zapolnila prazen prostor na tem področju in pomagala projektantom pri njihovem delu in jim tudi nakazala možne smeri, če se znajdejo v dilemah.

## BASIC CIVIL ENGINEERING-TECHNICAL ELEMENTS OF RAILWAY LINES FOR SUBURBAN TRAFFIC

## SUMMARY

The article BASIC CIVIL ENGINEERING-TECHNICAL ELEMENTS OF RAILWAY LINES FOR SUBURBAN TRAFFIC elaborates the basic civil engineering-technical elements to be applied with designing of new and reconstruction of old railway lines for suburban passenger traffic. So far, these issues have practically not been studied in our country. There is no methodology elaborated which would deal with the basic civil engineering-technical elements affecting designing and reconstruction of lines by sense order of sequence. This paper should partially accomplish the empty space in the area and assist the designers with their work, as well as indicate possible directions for searching solutions.

### 1.0. UVOD

Razvoj prometnega sistema v urbanem področju je odvisen od celotnega družbenega razvoja, še posebej pa od razvoja urbanizacije. V razvitejših državah se je kot posledica določenega načina urbanizacije (satelitska naselja, predmestja itd.) že izoblikoval poseben prometni podsistem – primestna železnica. Ta seveda zahteva nove rešitve, drugačne od rešitev v ostalih prometnih podsistemih.

V svetu ni poznan enotni model reševanja tega problema, kar seveda še ne pomeni, da se doslej niso izoblikovale določene osnove za načrtovanje in projektiranje prog za primestni promet.

### 2.0. ZNAČILNOSTI PRIMESTNEGA PROMETA

Razvoj primestnega prometa je pogojen s prostorskim in ekonomskim razvojem mesta ter njegovim povezovanjem z zaledjem. Ko namreč zaledje doseže določeno velikost in popolnoma gravitira proti mestu, ga lahko pričnemo imenovati primestje.

Oddaljenost posameznih primestij določa, na kakšnih razdaljah naj se organizira promet; tako so lahko primestja oddaljena tudi do 50 km od mesta (1). Ni natančne definicije, kaj je mestni in kaj je primestni promet. Za razmejitve lahko rabijo prevozne razdalje, prevozne tarife, način organizacije prometa, prometne potrebe.

Kljub nejasnosti definicij so vendar poznane nekatere splošne značilnosti primestnega prometa:

– Zanj je značilna koncentracija potovanj na relativno kratkih razdaljah. V glavnem so to poti v službo, šolo ali po nakupih.

*Avtor:*

mag. Blagomir ČERNE, dipl. grad. inž.  
Slovenske železnice Ljubljana  
šef Službe za strategijo in razvoj

– Primestni promet zahteva čimkrajše razdalje postajališč (postaj) od bivalnih četrti in trgovskih središč.

– Pomembna značilnost primestnega prometa je tudi neenakomernost v prevozu potnikov (2).

Pravega primestnega prometa tudi ni brez taktnega voznega reda, ki mora upoštevati naslednje zahteve:

- pravočasni in pogosti prihodi in odhodi,
- zmanjšanje potovalnih časov na minimum,
- povezava z ostalimi prometnimi podsistemi.

Načrtovanje in projektiranje javnega potniškega primestnega prometa, kamor sodi tudi železniški, zahteva interdisciplinarni pristop. Osnovna izhodišča, ki jih je potrebno upoštevati, so naslednja (3):

- a) stopnja ločenosti trase,
- b) tehnologija sistema,
- c) način dela.

Vsako izmed teh izhodišč narekuje zahteve, ki vplivajo na vodenje trase.

Na projektiranje in seveda poznejše delovanje prometnega sistema pa vpliva še cela vrsta drugih dejavnikov: od geografskih, geoloških, tehničnih do socialno-ekonomskih.

### 3.0. ŽELEZNIŠKI PRIMESTNI POTNIŠKI PROMET

#### 3.1. Splošno

V sodobno organiziranem primestnem prometu deluje železnica kot primarni sistem, ki se na področju mesta ali ob robu mesta dopolnjuje z drugim, sekundarnim. V mnogih primerih sega železnica v samo mestno središče ali pa teče skozi mesto. To daje železnici velik pomen, če ne celo prevladujoč položaj v javnem prevozu. Istočasno pa predstavlja tudi fizično oviro. Zato naj bi železnica bodisi kot sistem ali pa podsistem potekala po obrobju kraja, mesta ali pa pod njim.

Glavna značilnost klasičnega primestnega prometa na železnici je v tem, da na isti progi potekajo poleg primestnega še lokalni, mednarodni, medmestni in tovorni promet. Zaradi te hkratnosti vozni red ni prilagojen izključno potniku. Idealna je rešitev, ko je za primestni promet namenjena posebna proga.

Sodobno organizirana primestna železnica mora potnika zadovoljiti v vseh ozirih. Zmanjšati mora potovalne in čakalne čase, zagotoviti postajališča, nuditi prevoz itd. To so tudi osrednji problemi, s katerimi se srečujejo načrtovalci primestnih železniških prog.

Pri projektiranju prog za železniški promet ŽPPP bi glede na izhodišča (3) morali upoštevati naslednje ugotovitve:

**Stopnja ločenosti trase** poda učinkovitost neke proge glede na ločenost te proge od ostalega javnega in osebne prevoza. Tu bi lahko govorili o dveh kategorijah:

- A – popolnoma ločena trasa z zunajnivojskimi križanji,
- B – delno ločena trasa z nivojskimi križanji.

Nedvomno je, da bo potrebno pri rekonstrukcijah in novogradnjah uporabiti prav kategorijo A. Samo ta odpravi vse konfliktno točke. B kategorija je lahko samo prehodna faza.

Podrobna analiza ločene trase (kategorija A) nam pokaže naslednje prednosti:

- večja hitrost in prepustnost,
- večja točnost voznega reda,
- večja varnost,
- večja udobnost,
- večja privlačnost za potnike,
- nižji stroški eksploatacije,
- možnost višjih nivojev avtomatizacije.

**Tehnologija sistema** kaže s tehničnega vidika, da je tirno vodeni promet idealna oblika za urbano okolje. Ni samo hitrejši in učinkovitejši od drugih sistemov, dopušča tudi največ možnosti za avtomatizacijo, njegove ločene proge zagotavljajo večjo varnost in ne nazadnje, je najbolj ekonomičen (4).

**Način dela** znotraj železnice prikaže sosledje odpravljenih vlakov in njihovo kapaciteto, kar vpliva na stroške eksploatacije sistema in s tem posredno na ceno prevoza. Stroški so manjši, če operiramo z velikimi enotami, med katerimi so veliki časovni presledki. To je seveda nižja raven usluge, kot jo potnik pričakuje. Izboljšanje skušamo doseči s čim višjo stopnjo avtomatizacije, ki omogoča krajše intervale in manjše enote. S tem je možno število vlakov in njihovo kapaciteto prilagoditi številu potnikov. Pri načinu dela je torej pomemben vozni red. Vedno enaki časovni intervali so ključnega pomena. Ti intervali pa so odvisni od intenzitete prometa.

Enotirna proga je primer, kjer lahko zagotovimo taktni promet samo, če so medpostajne razdalje, časovni intervali in potovalna hitrost v pravem konstantnem medsebojnem razmerju; tovorni vlaki ne smejo ovirati prometa.

#### 3.2. Značilnosti prog in prevoznih sredstev za primestni promet

Proge, namenjene primestnemu prometu, naj bi po literaturi (2) imele (optimalno) naslednje značilnosti:

– Vse proge naj bodo dvotirne, elektrificirane in naj potekajo ločeno od prog daljinskega prometa.

– Postajališča so v mestu oddaljena med seboj 1500 m, zunaj urbanega področja pa na razdaljah od 2500 do 3500 m.

– Vsi elementi proge so projektirani za hitrost od 120 km/h.

– Obratovanje traja praviloma neprekinjeno od 5. do 22. ure.

– Časovno zaporedje vlakov je na glavnih linijah od 15 do 30 minut.

Na podlagi vseh posebnosti primestnega prometa izberemo tudi primerno vozilo. Izmed mnogih odločujočih pogojev (5), ki vplivajo na ta izbor, so osnovni (6):

- a) hitrost,
- b) učinkovitost,
- c) varnost,
- č) zanesljivost,
- d) ekonomičnost.

Nekoliko drugačne so karakteristike pri elektro-motornih vlakih. V tej skupini vlakov je znana kompozicija tipa ET 420 (10, 11), ki vozi na elektrificiranih primestnih progah v zahodni Nemčiji, njene karakteristike so podane v preglednici 3.

Preglednica 1. – (Po literaturi (6)) ilustrira doseganje nekaterih osnovnih pogojev pri različnih prevoznih sredstvih javnega prometa

Prevozno sredstvo	Potovalna hitrost (km/h)	Število prepeljanih oseb v eni uri	Učinkovitost (osebe/km uro)
avtobus	20	9.000–10.000	180.000–200.000
tramvaj	20	13.500–18.000	270.000–360.000
podzemeljska železnica	35	40.000	1.100.000
regionalna električna železnica (primestna)	45	50.000	2.250.000

#### 4.0. PREGLED OSNOVNIH GRADBENO-TEHNIČNIH ELEMENTOV ZA PROGE ŽELEZNIŠKEGA PRIMESTNEGA PROMETA

##### 4.1. Uvod

Najprej je potrebno opredeliti tiste osnovne elemente, ki neposredno vplivajo na vodenje trase, na oblikovanje spodnjega in zgornjega ustroja ter na oblikovanje vzdolžnega profila proge.

Izmed mnogih elementov, ki vplivajo na projektiranje in gradnjo proge, so najpomembnejši naslednji:

- pospeški, pojemki, hitrosti, potovalni časi,
- minimalni radij in nadvišanja,
- prehodne rampe in prehodnice,
- elementi vzdolžnega profila,
- zgornji in spodnji ustroj.

Končne vrednosti in oblike posameznih elementov morajo biti take, da jih je možno uporabiti tako pri gradnji novih kot pri rekonstrukciji obstoječih prog.

##### 4.2. Pospeški, pojemki

Vrednosti, navedene v preglednici 2, nam kažejo okvirne meje pospeškov in pojemkov za diesel – električne motornike. Podatki veljajo za različna vozila. Njihov izvor je literatura (7, 8, 9).

Preglednica 2

Hitrost (km/h)	Pospešek (m/s <sup>2</sup> )	Pojemek (m/s <sup>2</sup> )
0–40	0,75	0,90
40–80	0,31	0,90
0–40	0,70	0,90
0–70	0,54	0,90
0–80	0,44	0,90
0–88	0,44	0,90

Preglednica 3

Hitrost (km/h)	Pospešek (m/s <sup>2</sup> )	Pojemek (m/s <sup>2</sup> )
0–60	1,0	–
0–120	0,9	–
120–0	–	0,9

Dosedanje izkušnje (12) kažejo, da so kompozicije za primestni promet sposobne obdržati konstanten pospešek v intervalu od 0–40 km/h ali še v intervalu od 0–60 km/h.

Predpostavka o konstantnem pospešku je sprejemljiva le v splošnem. Od določene hitrosti dalje namreč pospešek ni več konstanten in hitrost ne narašča več linearno (13).

##### 4.3. Hitrosti

Hitrost je tisti element, ki je osnova za izračun vseh ostalih vrednosti, ki jih potrebujemo pri projektiranju prog. Vedeti moramo, katero največjo hitrost (Vmax) lahko dosežemo na določeni razdalji, ki je omejena z dvema postajama. Pojem medpostajne razdalje v tem primeru vključuje tudi razdaljo med dvema postajališčema.

Če so omejitve samo medpostajne razdalje, je največja hitrost, ki jo na takem odseku lahko dosežemo, odvisna od:

- velikosti pospeška pri izpeljavi,
- velikosti pojemka pri zaviranju in
- dolžine poti, ki jo želimo prevoziti z neko določeno (maksimalno) enakomerno hitrostjo.

Nadaljnja obdelava je naslonjena tudi na predpostavko, da tehnične karakteristike motorjev ne omejujejo doseganja maksimalnih hitrosti.

Osnovni elementi, ki jih izračunamo na osnovi hitrosti, so:

- čas pospeševanja (t1), pot pospeševanja (s1),
- čas zaviranja (t3), zavorna pot (s3),
- čas vožnje z enakomerno hitrostjo (t2),
- dolžina prevožene poti z enakomerno hitrostjo (s2),
- skupni čas vožnje na medpostajni razdalji (T).

#### 4.4. Minimalni radij in nadvišanje

Če hočemo skrajšati čas potovanja na celotni progi, moramo povečati hitrost vožnje tako skozi krivine kot hitrost v premi. Vendar s povečevanjem hitrosti ob enakih ostalih pogojih povečujemo tudi bočne sile, ki delujejo na vozilo in na zgornji ustroj. Ko bočne sile prestopijo dopustne meje, lahko povzročijo iztirjenje ali prevrnitev vozila, na zgornjem ustroju pa nastanejo za promet nevarne deformacije.

Naša naloga je torej izbrati tako hitrost, ki bo dopuščala varno in udobno vožnjo skozi krivino ob optimalnem potovalnem času. Izbor hitrosti nam da natančno določen minimalni radij ( $R_{\min}$ ) in natančno določeno maksimalno nadvišanje ( $h_{\max}$ ). Kjer je le mogoče, bomo seveda uporabili večje radije ( $R > R_{\min}$ ); taka izvedba nam daje boljše vozne pogoje in večjo udobnost.

Pri gibanju vozila skozi krivino deluje na vozilo poleg ostalih tudi centrifugalna sila. Ta sila je odvisna od mase vozila in njegove hitrosti in je obratno sorazmerna z velikostjo radija, po katerem se vozilo giblje (14).

Z nadvišanjem ( $h$ ) zunanje tirnice delovanje centrifugalne sile kompenziramo.

Z variiranjem nadvišanja ( $h$ ) dosežemo naslednje:

- Centrifugalno silo z nadvišanjem le delno kompenziramo, pojavi se primanjkljaj nadvišanja ( $\Delta hp$ ), bočni pospešek ( $p > 0$ ) je pozitiven.
- Centrifugalno silo v celoti kompenziramo, dobimo teoretično nadvišanje ( $ht$ ), rezultanta deluje pravokotno na ravnino tira.
- Nadvišanje je večje, kot je potrebno za kompenzacijo centrifugalne sile, pojavi se višek nadvišanja ( $\Delta hv$ ).

**Primanjkljaj nadvišanja ( $\Delta hp$ )** je izražen kot del bočnega pospeška, ki ni kompenziran.

**Dopustni primanjkljaj nadvišanja** predstavlja kriterij varnosti in udobnosti vožnje skozi krožni lok. Njegova največja vrednost je pri različnih železniških upravah različna. Odvisen je od konstrukcijskih lastnosti vozil in od meril za določanje udobnosti vožnje; ni pa odvisen od količine prometa.

**Višek nadvišanja ( $\Delta hv$ )** je izražen kot nekompenziran bočni pospešek, ki deluje proti središču krivine.

**Dopustni višek nadvišanja** predstavlja kriterij ekonomičnosti. Njegove vrednosti se po posameznih železniških upravah še bolj razlikujejo in so funkcija strukture in količine prometa ter hitrosti.

Torej vidimo, da tako dopustni primanjkljaj nadvišanja kot tudi dopustni višek nadvišanja predstavljata kriterija za vožnjo skozi krivino. To pomeni, da vrednosti ne moreta biti definirani naključno; njuna vrednost mora izhajati iz hitrosti, bočnega pospeška, konstrukcije vozil ter strukture in količine prepeljanega tovora. Tako izbrane vrednosti lahko postanejo »normativni«, na katerih bo slonela varnost, udobnost in ekonomičnost vožnje skozi krivine.

#### 4.5. Prehodnice in prehodne rampe

Primestne proge morajo zagotavljati čim višjo raven storitev. Pri tem je najpomembnejše skrajšanje potovalnih časov na nekem določenem odseku, kar je neposredno povezano s povečanjem hitrosti, ta pa je povezana s prehodnicami in prehodnimi rampami.

Prehodnice in prehodne rampe so elementi, ki imajo velik vpliv na izvedbo oziroma rekonstrukcijo posameznih krivin; v širšem smislu pa tudi na potek cele trase in udobnost vožnje.

**Prehodnica** je element trase, ki rabi za prehod iz preme v krožni lok ali pa za prehod iz enega krožnega loka v drugi. Vstavljamo jih torej med trasne elemente, ki imajo konstantno zakrivljenost.

Med vožnjo vozila po krožni krivini deluje nanj centrifugalna sila  $C$ , ki je za izbrane vrednosti  $R$  in  $V$  konstantna.

To silo lahko prevzamemo na dva načina:

- s pomočjo prečnega nagiba tira (nadvišanje zunanje tirnice »h«),
- s pomočjo sile, ki jo ustvarja zunanja (vodilna) tirnica s svojo pritrditvijo.

Bočnega pospeška, ki ga prevzemamo s prečnim nagibom v krivini, ne občutimo; občutimo le nekompenzirani del.

Naloga prehodnice je torej omogočiti vozilom postopen in zvezen prehod med elementi trase z različnimi vrednostmi zakrivljenosti in različnimi bočnimi pospeški. Postopnost in zveznost prehoda se kaže v:

- postopnem in zveznem spreminjanju velikosti bočnih pospeškov ter
- postopnem in zveznem spreminjanju velikosti potrebnih prečnih nagibov tira.

S pravilno oblikovanimi prehodnicami dosežemo varno, mirno in udobno vožnjo brez neprijetnih bočnih sunkov.

**Prehodna rampa** je element, ki omogoča prehod iz nenadvišanega tira ( $h = 0$ ) v premi v nadvišani tir ( $h = hr$ ) v križnem loku. Ta prehod se običajno izvede z dviganjem zunanje tirnice; notranje ne dvigujemo in predstavlja niveleto. Naraščanje nadvišanja zunanje tirnice lahko izvedemo premo ali krivočrtno (15), (16). Premočrtna prehodna rampa je tista, pri kateri narašča nadvišanje zunanje tirnice linearno – po premici. Osnovni karakteristiki te prehodne rampe sta njen nagib ( $l : n$ ) in dolžina ( $L_r$ ).

#### 4.6. Elementi vzdolžnega profila

Oblikovanje vzdolžnega profila je pomembno, saj velikosti vzponov in padcev vplivajo na stroške gradnje, ko promet steče pa vplivajo na stroške eksploatacije (upori, izgubljanje višine, poraba energije itd.).

Ustreznost vzdolžnega profila je odvisna od velikosti vzponov, padcev in njihovega vključevanja v topografijo. Vzpon in padec omejujeta hitrosti vlakov. Na padcih hitrosti ne smejo biti večje od dovoljenih zaradi varnosti; na vzponih pa omejuje hitrosti sama vleka.

**Maksimalni vzdolžni nagib nivelete** predstavlja gornjo razumno mejo, ki še dopušča normalne pogoje vleke, stroške gradnje in stroške eksploatacije. Ta maksimalni vzdolžni nagib, glede na katerega določamo težo vlaka, imenujemo odločujoči nagib. Odločujoči nagib je torej kompromis med stroški gradnje in stroški eksploatacije.

Izbor primerne vzdolžnega nagiba je torej problem z več neznankami, ki zahteva več kot samo teoretični pristop.

Pri spremembi nagiba nivelete se pojavi lom, ki je lahko konveksen ali konkaven. Vsak lom je slaba točka vzdolžnega profila, saj negativno vpliva na varnost vožnje. Tej nevarnosti se izognemo z zaokrožitvijo vsakega loma, čim je razlika v sosednjih nagibih večja od 2%. Z zaokrožitvijo postane trenutna sprememba upora zaradi vzpona zvezna in vožnja varnejša.

Teoretično uporabljamo za zaokrožitev krožnico ( $r$ ); v praksi pa krožnici aproksimiramo kvadratno parabolo (17).

#### 4.7. Zgornji ustroj

Od vseh elementov zgornjega ustroja so pri obravnavanju najpomembnejši naslednji štirje: tirnice, pragovi, pritrilni material, gramozna greda.

**Tirnica** je element, ki vodi železniško vozilo, ga nosi in prenaša njegovo težo na prag. Tirnica neposredno prevzema statično in dinamično obtežbo. Njeno obnašanje je v zgornjem ustroju sorazmerno s težo (profil) tirnice in kvaliteto jekla, iz katerega je izdelana.

**Prag** ima v zgornjem ustroju naslednje naloge:

- prevzema obtežbo in jo prenaša na gramozno gredo,
- amortizira dinamične sile in vibracije ter
- zagotavlja tirno širino.

Osnovna naloga projektanta, ki načrtuje nove proge ali rekonstrukcije, je izbor materiala za prag. Danes največkrat izbiramo med lesenimi in betonskimi pragovi. Tako eni kot drugi imajo svoje prednosti in pomanjkljivosti.

Za lesene pragove lahko rečemo, da so njihove mere v glavnem že standardizirane. Njihova glavna pomanjkljivost pa je kratka življenjska doba.

Betonske pragove danes izdelujemo v dveh osnovnih oblikah:

- enodelni (monoblok) in
- dvodelni (sestavljene) prag.

Enodelni pragovi so običajno izdelani iz prednapetega betona, dvodelni pa iz armiranega.

**Pritrdilni material** – njegova glavna naloga je, da sile in momente, ki se pojavijo v tirnici, prevzame in prenese na prag.

Poznamo dva osnovna tipa:

- toga in
- elastična pritrilna sredstva.

Danes prevladuje v svetu elastična pritrditve. Starejšo –

togo pritrditve ob vseh rekonstrukcijah zamenjamo z elastično, ki uspešneje ujame in amortizira visokofrekvenčne oscilacije ter s tem ohranja potrebno geometrijo proge.

Tudi tehnologija pritrilnega materiala še ni standardizirana, kar kaže množica različnih tipov elastične pritrditve, ki je po svetu v rabi.

**Gramozna greda** je del zgornjega ustroja, ki prenaša sile s pragov na planum spodnjega ustroja.

Izpolnjevati mora naslednje zahteve:

- biti mora prepustna za vodo,
- biti mora elastična,
- mora se dati dobro podbijati in
- biti mora obstojna pri zmrzovanju.

#### 4.8. Spodnji ustroj

Z ustrežno izbiro elementov zgornjega in spodnjega ustroja dobimo normalni ali karakteristični prečni profil, ki predstavlja tipsko rešitev v običajnih razmerah.

Geometrija progovnega telesa je določena s širino planuma, nagibi brežin, višinami in še nekaterimi drugimi elementi.

Geomehanske karakteristike nasipnega ali izkopanega materiala določajo način gradnje in kažejo na kasnejše obnašanje materiala ob prometni obtežbi in pod vplivom atmosferilij.

Gradnja spodnjega ustroja mora ustrezati naslednjim zahtevam:

- zagotovitev varnega gibanja železniških vozil,
- prevzem dinamičnih vplivov,
- minimalni stroški vzdrževanja,
- trajnost geometrije progovnega telesa,
- majhen vpliv atmosferilij.

Izbor materiala za kakovosten spodnji ustroj sloni na naslednjih karakteristikah:

- optimalna možnost vgrajevanja,
- primerna nosilnost,
- obstojnost na mrazu,
- obstojnost proti razpadanju,
- prostorninska obstojnost.

Spodnji ustroj, ki je zgrajen ob upoštevanju navedenih pogojev in karakteristik materiala, ima trajno nosilnost, kar pomeni, da se ne poseda in ni občutljiv za dinamične in atmosferske vplive.

Trajno nosilni spodnji ustroj je tudi tisti, ki potrebuje najmanj vzdrževalnih del in je zato ekonomsko najbolj upravičen.

#### 5.0. SKLEP

Podan je pregled skozi najpomembnejše gradbeno-tehnične elemente, ki jih mora projektant upoštevati pri projektiranju rekonstrukcij ali novih prog za primestni železniški promet.



Jasno je, da niso zajeti vsi elementi, ki so potrebni, da se kaka proga izvede (svetli profil, medtirna razdalja, objekti, tirne naprave na postajah itd.) in da je potrebno tudi te elemente podrobno preanalizirati.

Detajlne analize navedenih tehničnih elementov kažejo, da ni bistvenih razlik med klasičnimi in progami za primestni promet vsaj na analiziranem področju. Primestne proge so torej le nekakšna specialna veja v širšem pojmu prog.

V večje razlike se pokažejo predvsem pri organizaciji prometa, ki naj bi potekal pri taktnem voznom redu in pri tehničnih karakteristikah vozil za primestni železniški promet (elektrifikacija, pospeški, zaviranje, itd.).

Tovorni promet, če naj bi na takih progah potekal, naj bi bil praviloma omejen na nočni čas od 24.00 do 5.00 ure.

## LITERATURA

1. M. Čičak, S. Eror: Organizacija železničnega saobračaja; Naučna knjiga, Beograd 1978.
2. ŽG Ljubljana, Prometni inštitut: Primestni železniški potniški promet v Ljubljani; PI-NP-658, Ljubljana 1983.
3. V. R. Vučić: Mesto lakog šinskega prevoza medju ostalimi vidovima prevoza.
4. P. Pengal: Željeznički prigradski putnički promet; Magistrski rad, Zagreb 1980.
5. M. Čičak: Izbor vozila za prigradski putnički promet; Željeznica u teoriji i praksi, 3, 4/1985.
6. R. Banković: Javni gradski putnički prevoz; Naučna knjiga, Beograd 1982.
7. Doppeltriebwagen mit dieselelektrischer Traction; Verkehr und Technik 4/1975 (VUT 4/1975).
8. Triebwagen VT 2 E VUT 2/1981.
9. N. Zeevenhoven: Development of NS rolling stock; Rail International – 4/1987 (RI-4/1987).
10. Triebzüge ET 420 Eisenbahn und technische Rundschau – 5/1980 (ETR – 5/1980).
11. U-Bahnen und S-Hagnen in der BDR: Planung – Bau – Betrieb Harbeke Verlag, München 1971.
12. H. Wittmann: Stadtbahn- Triebfahrzeuge in Nord- und Südamerika; Eisenbahn und technische Rundschau (ETR) 6/1978.
13. Y. Kimura: A train running curve of the minimum energy; Quarterly Reports (QR) – 1/1985.
14. K. Klugar: Eisenbahn und Verkehrswesen I; Technische Hochschule in Graz, 1973.
15. S. Milošević: Uredjenje koloseka u pravoj i krivinama Železnice 8-9/1966.
16. S. Smiljanić: Prelazne krivine i rampe nadvišenja kao element trasiranja kod pruga za velike brzine; Željeznice 11/1985.
17. Katanić, Andjus, Maletin: Projektovanje puteva; Gradjevinska knjiga, Beograd 1983.

# SODOBNA ŽELEZNIŠKA POVEZAVA LJUBLJANA–MARIBOR–GRADEC–DUNAJ

UDK 629.4.016

BOGDAN ZGONC, LJUBO ŽERAK

## POVZETEK

V prispevku je prikazan izračun zelenih potovalnih časov po železnici na liniji Ljubljana–Dunaj na podlagi »Faktorjev kakovosti – QF«. Ti faktorji zagotavljajo konkurenčnost železnice glede na ostale vrste prometa. Zeleni časi potovanja (od vrat do vrat in od postaje do postaje) so osnova za določitev potrebnih maksimalnih hitrosti na posameznih odsekih celotne trase. Na koncu so prikazani tudi glavni infrastrukturni elementi na gornjih predpostavkah trasirane nove proge na slovenskem delu trase.

## UP-TO-DATE RAILWAY CONECTION LJUBLJANA–MARIBOR–GRAZ–VIENNA

## SUMMARY

This paper deals with analysing wishing railway travel times on the railway line from Ljubljana to Vienna. The basis for this analysis are "Quality factors – QF", which assure competitive position of railway in comparison to other sorts of transportation. This wishing travel times (from door to door and from station to station) are input data for calculating maximum speeds on the singly parts of the whole line. At the end, infrastructure elements of the slovenian part of new railway line (from Ljubljana to Šentilj) designed for so defined speeds, are represented.

### 1.0. UVOD

Obstoječa železniška povezava med Ljubljano in Dunajem poteka prek Zidanega Mosta, Pragerskega, Maribora, Gradca, Brucka na Muri ter z gorskim potekom prek Semmeringa do Dunaja. Proga od Dunaja do Zidanega Mosta je bila zgrajena leta 1846, proga Zidani Most–Ljubljana pa leta 1849.

Alternativna povezava Ljubljane z Dunajem je tudi prek Celovca. Slednja povezava bo postala verjetno aktualnejša z izgradnjo avstrijske proge za visoke hitrosti Dunaj–Gradec–Celovec–Beljak–Italija. Izgradnja te proge sega v naslednje tisočletje, pa tudi proga Ljubljana–Jese-

nice ni več primarna smer v novem slovenskem železniškem razvojnem konceptu. Zaradi vsega povedanega, bo v tej nalogi predstavljena samo prva, tudi danes aktualna povezava Ljubljane z Dunajem (Slika 1).

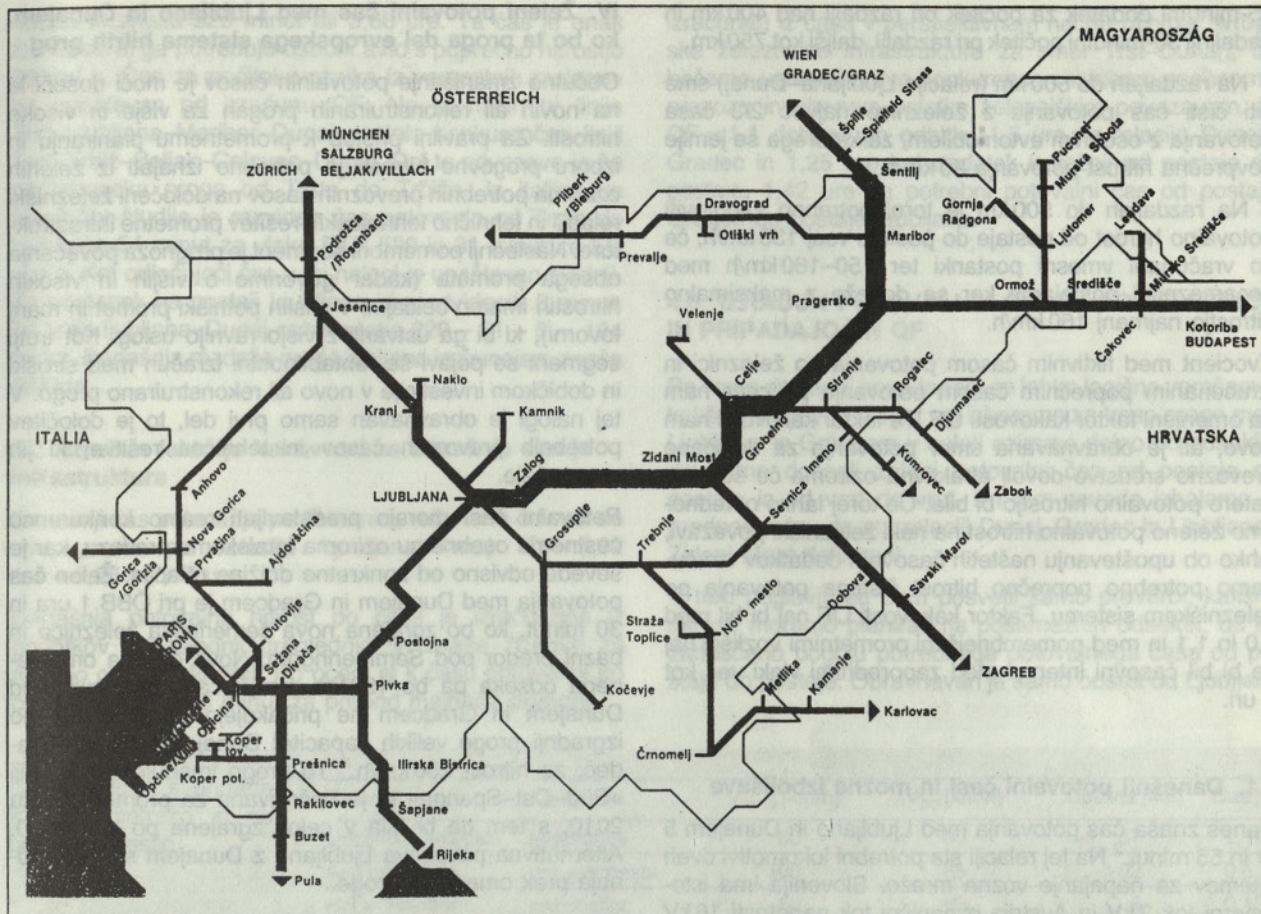
Slovenske železnice so na evropski ravni vključene v več mednarodnih in regionalnih sporazumov, ki govorijo o razvojnih načrtih evropske železniške infrastrukture. Proga Ljubljana–Maribor–Gradec–Dunaj je zajeta v glavnih omenjenih sporazumih.

### 2.0. KONCEPT HITRIH PROG V SLOVENIJI

Spremembe, ki zadnja leta pretresajo Evropo, logično vplivajo tudi na evropski sistem razvoja hitrih železniških prog. Pretok blaga in potnikov se je začel spreminjati. Pri tem ne prevladujejo, vsaj kar zadeva Slovenijo, več povezave sever–jug, pač pa vedno bolj povezave v smeri vzhod–zahod in severovzhod–jugozahod. Za blago in potnike na teh smereh bo potekal direkten boj med tremi sosednjimi državami, Avstrijo, Slovenijo in Hrvaško, ter posredno tudi Madžarsko in Italijo.

#### Avtorja:

Dr. Bogdan Zgonc, dipl. inž., SŽ, namestnik generalnega direktorja za infrastrukturo, razvoj in mednarodne odnose; Kolodvorska 11, 61000 Ljubljana  
Ljubo Žerak, dipl. inž., vodja projekta; SŽ – Projektivno podjetje Ljubljana; Vilharjeva 16a, 61000 Ljubljana



Slika 1: Shema omrežja slovenskih železnic

Temelj razvojnemu konceptu slovenskih železnic predstavlja predlog mreže evropskih hitrih prog, posebej trasa zahod–vzhod, to je Pariz–Lyon–Torino–Milano–Benetke–Ljubljana–Zidani Most–Zagreb–Beograd. Na to linijo je možno navezati tudi drugo za Slovenijo zelo pomembno smer JZ–SV, in sicer proti Mariboru oziroma proti Murski Soboti.

Predlog novega koncepta slovenskih hitrih prog je torej, kot osnovna. Osnovna prometna žila je smer Benetke–Ljubljana–Zagreb, pri čemer je Zidani Most obvezna točka. Ta proga je načrtovana za hitrosti do 250 km/h. V Zidanem Mostu se cepi druga pomembna smer proti Mariboru s predvideno hitrostjo do 200 km/h. Tretja pomembna smer pa je povezovalna proga Ljubljana–Beljak za hitrosti do 160 km/h.

### 3.0. FAKTOR KAKOVOSTI QF KOT MERILO KAKOVOSTI PROMETNEGA SISTEMA

Poglavitne pomanjkljivosti obstoječih evropskih železniških linij lahko določimo, če medsebojno primerjamo železniške linije in njihova glavna konkurenta, cestni in letalski promet. Z vpeljavo parametra »Faktor kakovosti

QF«, ki je merilo kakovosti prevoza, lahko vrednotimo direktno primerjavo sedanjih in bodočih potovalnih časov po sedanji in bodoči železniški mreži, glede na konkurenčne vrste prometa. Na podlagi tega kakovostnega indeksa lahko predvidimo ukrepe, ki bodo kompenzirali prednosti oziroma pomanjkljivosti posameznih prometnih sistemov. Te prednosti oziroma pomanjkljivosti so naslednje:<sup>1</sup>

- Splošna uporabljivost osebnega avtomobila na celotnem potovanju od vrat do vrat, ki povzroča »navidezno ali občuteno« podaljšanje potovanja z vlakom, jo izravnamo z določenimi dodatki pri času potovanja z vlakom ter z zgoščeno ponudbo prevoza po železnici.

- Čas, potreben za dostop do sistema železnica je ocenjen na 30 minut, podaljšanje, ki ga povzroči samo prometno vozlišče kolodvor je 15 minut, kar skupaj zneso podaljšanje potovanja po železnici za 75 minut.

- Celotna dolžina potovanja z osebnim avtom je sestavljena iz izračunanega časa prevoza na vsakokratni konkretni razdalji in s povprečno hitrostjo za konkretne cestne sisteme. Kot dodatek k potovalnemu času je računani dodatek po 15 minut pri startni in ciljni točki potovanja ter

15-minutni dodatek za počitek pri razdalji nad 400 km in nadaljnji 30-minutni počitek pri razdalji, daljši kot 750 km.

– Na razdaljah do 500 km (relacija Ljubljana–Dunaj) sme biti čisti čas potovanja z železnico največ 2/3 časa potovanja z osebnim avtomobilom, za katerega se jemlje povprečna hitrost potovanja 90 km/h;

– Na razdaljah do 500 km je torej potrebno zagotoviti potovalno hitrost od postaje do postaje vsaj 135 km/h, če so vračunani vmesni postanki ter 150–160 km/h med posameznimi postajami, kar se doseže z maksimalno hitrostjo najmanj 160 km/h.

Kvocien med fiktivnim časom potovanja po železnici in izračunanim poprečnim časom potovanja po cesti nam da omenjeni faktor kakovosti QF. Ta faktor kakovosti nam pove, ali je obravnavana smer potovanja za določeno prevozno sredstvo dovolj atraktivna oziroma če še ni, s katero potovalno hitrostjo bi bila. Če torej lahko ovrednotimo zeleno potovalno hitrost na neki železniški povezavi, lahko ob upoštevanju naštetih časovnih dodatkov izračunamo potrebno poprečno hitrost čistega potovanja po železniškem sistemu. Faktor kakovosti QF naj bi bil med 1,0 in 1,1 in med pomembnejšimi prometnimi vozlišči naj ne bi bil časovni interval med zaporednimi vlaki več kot 2 uri.

### 3.1. Današnji potovalni časi in možne izboljšave

Danes znaša čas potovanja med Ljubljano in Dunajem 5 ur in 55 minut.<sup>2</sup> Na tej relaciji sta potrebni lokomotive dveh sistemov za napajanje vozne mreže. Slovenija ima istosmerni tok 3 kV in Avstrija izmenični tok napetosti 16 kV

– 16 2/3 Hz. Glede na različni vrsti električnih energij, ki napajata vozni mreži, bi za hitre vlake na trasi Ljubljana–Dunaj potrebovali dvosistemske lokomotive. Ta problem se da premostiti tudi z uvedbo dizelskih hitrih vlakov (npr. Pendolino). Današnja potovalna hitrost med Ljubljano in Dunajem znaša 73 km/h. Potovalne čase bi lahko zmanjšali z naslednjimi ukrepi:

#### I. Organizacijski ukrepi in nabava večsistemskih lokomotiv

- nabava dvosistemskih lokomotiv
- optimizacija postankov na postajah
- optimizacija mejnih formalnosti

#### II. Kratkoročni ukrepi

- boljše vzdrževanje proge in objektov
- kakovostnejša vozna sredstva
- ustrezne signalno-varnostne naprave.

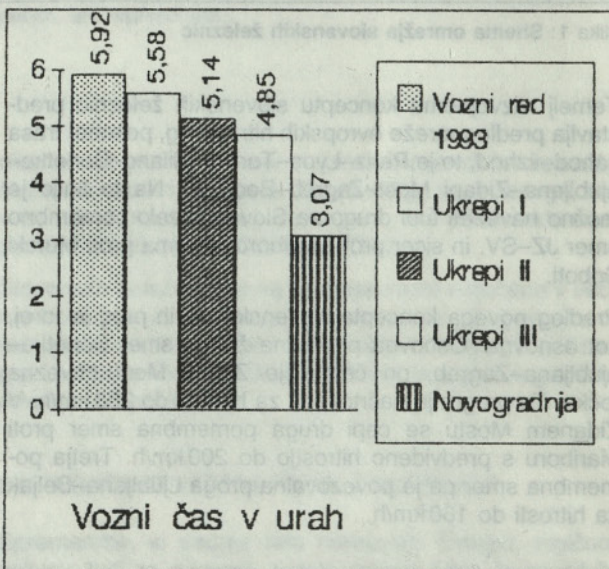
#### III. Dolgoročni ukrepi

- delne korekcije trase
- optimalna organizacija prometa
- nova vozila in signalno-varnostne naprave.

## IV. Želeni potovalni čas med Ljubljano in Dunajem, ko bo ta proga del evropskega sistema hitrih prog

Občutno zmanjšanje potovalnih časov je moči doseči le na novih ali rekonstruiranih progah za višje in visoke hitrosti. Za pravilni pristop k prometnemu planiranju in izboru progovne hitrosti je potrebno izhajati iz zelenih oziroma potrebnih prevoznih časov na določeni železniški relaciji in tehnično tehnoloških rešitev prometne infrastrukture. Naslednji pomembni segment je prognoza povečanja obsega prometa (kadar govorimo o višjih in visokih hitrostih imamo običajno v mislih potniški promet in manj tovorni), ki bi ga ustvarili z višjo ravniyo uslug. Kot tretji segment se pojavi še rentabilnostni izračun med stroški in dobičkom investicije v novo ali rekonstruirano progo. V tej nalogi je obravnavan samo prvi del, to je določitev potrebnih prevoznih časov in tehnične rešitve, ki jih omogočajo.

Potovalni časi morajo predstavljati realno konkurenco cestnemu osebnemu oziroma letalskemu prevozu, kar je seveda odvisno od konkretne dolžine relacije. Želen čas potovanja med Dunajem in Gradcem je pri ÖBB 1 ura in 30 minut, ko bo zgrajena nova semerinška železnica in bazni predor pod Semmeringom. Nova dolžina omenjenega odseka pa bo 192 km. Krajši čas potovanja med Dunajem in Gradcem ne pričakujejo pri ÖBB niti po izgradnji proge velikih kapacitet Dunaj–Eisenstadt–Gradec, za hitrost 200 km/h.<sup>3</sup> To progo imenujejo v Avstriji »Süd–Ost–Spange« in je načrtovana za promet po letu 2010, s tem da bi bila v celoti zgrajena po letu 2020. Alternativna povezava Ljubljane z Dunajem se torej ponuja prek omenjene proge.



V perspektivnem načrtu razvoja evropskih železnic smer Ljubljana–Dunaj še ni bila posebej obdelana. Glede na konkurenčno sposobnost italijansko-avstrijski povezavi Trsta z Dunajem je zeleni čas potovanja izračunan iz zelenega časa potovanja med Trstom in Dunajem (mimo Slovenije), ki pa je že obdelan v UIC-jevem perspektivnem

načrtu in znaša 220 minut ali 3,66 ure. Ta čas je enak 2/3 časa, ki ga potrebuje osebni avto s povprečno hitrostjo 90 km/h. Čas za počitek voznika iz varnostnih razlogov bo upoštevan pri izračunu QF. Na ta način bi linija Trst–Ljubljana–Maribor–Dunaj postala konkurenčna liniji Trst–Trbiž–Beljak–Celovec–Dunaj. Del te povezave je že pontebanska proga od Trsta do Trbiža. Iz italijanske feasibility študije je razviden čas potovanja od Trsta do Ljubljane 24 minut za vlake ETR 500 in 31 minut za EC vlake. Kot odločujoči čas v tej nalogi je upoštevan slednji. Za postanek na postaji Ljubljana je predvidenih 5 minut. Za linijo Ljubljana–Dunaj ostane tako  $220 - 31 - 5 = 184$  minut. Današnja razdalja med Ljubljano in Dunajem znaša 433 km.

### 3.2. Izračun faktorja kakovosti za današnje stanje infrastrukture

Današnji čas potovanja po železnici, računano od vrat do vrat, znaša za relacijo Ljubljana–Dunaj:  $T_z = 5,92$  ure + 1,25 = 7,17 ure.

Današnja potovalna hitrost po cesti je izračunana iz podatkov v naslednji preglednici in znaša 70 km/h za relacijo od vrat do vrat. Po oceni je k času potovanja po cesti dodanih še 8 minut za prehod mejnega prehoda.

Cestni odseki s pripadajočo kilometražo in povprečno hitrostjo:

Relacija	Kategorija	$V_{maks}$ [km/h]	$V_{pot}$ [km/h]	Dolžina [km]	Čas [h]
Ljubljana–Arja vas	regionalka	80	60	67	1,12
Arja vas–Hoče	pol. avtocesta	100	85	52	0,61
Hoče–Maribor	regionalka	80	60	8	0,13
Maribor–Šentilj	regionalka	80	60	17	0,28
Šentilj–Dunaj	avtocesta	130	90	233	2,60
			$\Sigma km$	377	4,74
				$\Sigma h_{od\ vrat\ do\ vrat}$	5,24

Faktor kakovosti QF je:  $QF = T_c/T_z = 5,37/7,17 = 0,75$  v korist osebnega avtomobila!

### 3.3. Izračun faktorja kakovosti za bodoče stanje infrastrukture

Bodoči čas potovanja po železnici, računano od vrat do vrat znaša:

$$T_z = 3,07 \text{ ure} + 1,25 \text{ ure} = 4,32 \text{ ure}$$

Za realne razmere celoletnega prometnega režima velja  $V_{pot} = 90$  km/h, kar je prikazano v naslednji preglednici:

Relacija	Kategorija	$V_{maks}$ [km/h]	$V_{pot}$ [km/h]	Dolžina [km]	Čas [h]
Ljubljana–Šentilj	avtocesta	120	90	135	1,50
Šentilj–Dunaj	avtocesta	130	90	233	2,60
			$\Sigma km$	368	4,10
				$\Sigma h_{od\ vrat\ do\ vrat}$	4,60

Faktor kakovosti QF je:  $QF = T_c/T_z = 4,60/4,32 = 1,06$  v korist vlaka!

Iz gornjih rezultatov sledi, da je kot potrebni čas prevoza med postajama Ljubljana in Dunaj potrebno doseči čas, ki bo enak ali krajši od 3,07 ure (3 ure 4 minute, ki je

izračunan iz časa v perspektivnem načrtu razvoja evropske železniške infrastrukture za smer Trst–Dunaj), če hočemo ustvariti pravo konkurenco cestnemu osebnemu prevozu in obenem ostalim železniškim povezavam. Iz  $QF = 1,1$  dobimo po odbitku 1,5 ure za relacijo Dunaj–Gradec in 1,25 ure kot dodatek k vožnji od postaje do postaje, 1,42 ure za potrebni potovalni čas od postaje Gradec do postaje Ljubljana.

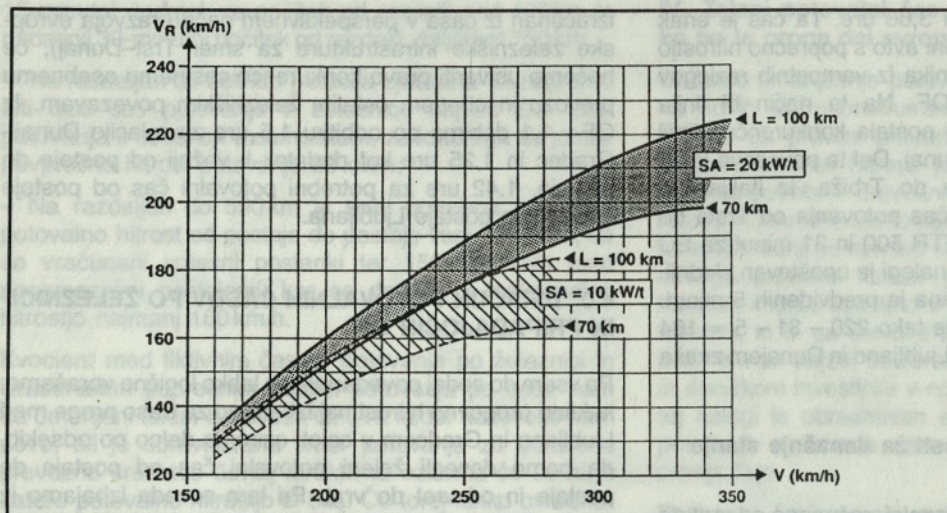
### 4.0. IZRAČUN POTOVALNIH ČASOV PO ŽELEZNICI IN PRIPADAJOČIH QF

Po vsem do sedaj povedanem se lahko logično vprašamo, kakšno progovno hitrost naj izberemo za traso proge med Ljubljano in Gradcem v celoti oziroma delno po odsekih, da bomo dosegli zeleni potovalni čas od postaje do postaje in od vrat do vrat. Pri tem seveda izhajamo iz predpostavke, da sta relaciji Dunaj–Gradec in Ljubljana–Zidani Most definirani.

V tem poglavju se bom posvetil samo preverbi, kakšne hitrosti moramo planirati na posameznih odsekih, da bo zadoščeno pogoju potrebnega potovalnega časa od postaje do postaje. Obravnavan je samo odsek od Ljubljane

do Gradca, ker je potek od Gradca do Dunaja že definiran s potovalnim časom 1,5 ure. Za odsek od Gradca do državne meje načrtujejo pri ÖBB hitrost maksimalno 160 km/h (po nekaterih virih tudi samo 140 km/h), kar sledi iz njihovega razvojnega plana »Die Neue Bahn«.

Na sliki 2 je prikazan diagram potovalnih hitrosti od postaje do postaje kot funkcija maksimalnih hitrosti na nekem odseku, medpostajnih odsekov L in instalirane



Slika 2: Diagram potovalnih hitrosti

Slika 2: Diagram potovalnih hitrosti

Preglednica 1:

Relacija Ljubljana-Suhadol-Maribor-Gradec-Dunaj						
Odsek	$V_{\max}^{L=1}$ [km/h]	Razdalja	$V_{\text{pot}}$ [km/h]	Čas potovanja	$V_{\text{pot}}$ [km/h]	Čas potovanja
Gradec - Šentilj	160	48,7	125,0	0,39	125,0	0,39
Šentilj - Maribor	160	16,511	125,0	0,13	125,0	0,13
Maribor-Suhadol	200	83,817	145,0	0,57	154,0	0,54
Suhadol-Ljubljana	250	51,65	160,0	0,32	168,0	0,31
	$\Sigma \text{ km}$	200,7	$\Sigma T_{\text{pot}}$	1,41	$\Sigma T_{\text{pot}}$	1,37
Dosežene potovalne hitrosti so:			135,0 km/h		136,8 km/h	
Doseženi kvalitetni faktor je:			QF=1,10		QF=1,11	

pogonske moči lokomotiv SA. Iz njega so odčitane potovalne hitrosti, ki veljajo seveda za horizontalno progo, brez omejitev hitrosti, z 10% dodatkom voznega časa in postanki na postajah po 3 minute.<sup>4</sup>

#### 4.1. Izračun voznih časov za relacijo Ljubljana-Maribor-Gradec-Dunaj

V preglednici 1 je narejen približni izračun potovalnega časa za relacijo Ljubljana-Suhadol-obvoz Zidanega Mosta in Celja-Maribor-Gradec-Dunaj. Postanka v Zidanem Mostu in Celju po tej varianti nista upoštevana. Upoštevana je nova železniška proga za visoke hitrosti Ljubljana-Zagreb do postaje Suhadol in rekonstrukcija proge Zidani Most-Maribor-Šentilj za hitrosti 160/200 km/h. Postaja Suhadol je mesto, kjer se cepita hitri progi Ljubljana-Zagreb in Ljubljana-Maribor. Razmaki med mesti ustavljanja vlaka so predvideni za relacijo Maribor-Ljubljana enkrat 70 km, drugič pa 100 km. Moč lokomotive je v obeh primerih upoštevana z 10 kW moči.

#### 4.2. Izračun voznih časov za relacijo Ljubljana-Celje-Maribor-Gradec-Dunaj

V tej primerjavi je dodatno upoštevan postanek vlaka v Celju. V preglednici 2 je prikazan ta izračun, pri čemer je upoštevana hitrost med Mariborom in Celjem ter Celjem in Zidanim Mostom enkrat 160 km/h in drugič 200 km/h. V Zidanem Mostu je predviden obvoz brez postanka. Na vseh relacijah je predvidena razdalja ustavljanja do 70 km/h.

Iz rezultatov preglednic je razvidno, da je za  $QF = 1,1$  za traso nove proge med Ljubljano in Šentiljem (s postankom v Celju in Mariboru) potrebno predvideti maksimalno hitrost 250 km/h do Zidanega Mosta oziroma 200 km/h med Zidanim Mostom in Šentiljem. Za  $QF = 1,07$  zadoštuje na delu trase od Zidanega Mosta do Šentilja hitrost 160 km/h.

Potovalne hitrosti v gornjih tabelah veljajo za celotno traso od Ljubljane do Dunaja.

Preglednica 2:

Relacija Ljubljana-Suhadol-Celje-Maribor-Gradec-Dunaj						
Odsek	V <sub>max</sub> (km/h)	Razdalja	V <sub>pot</sub> (km/h)	Čas potovanja	V <sub>pot</sub> (km/h)	Čas potovanja
Gradec - Šentilj	160	48,7	125,0	0,39	125,0	0,39
Šentilj - Maribor	160	16,511	125,0	0,13	125,0	0,13
Maribor-c. Štore I	160/200	61,137	125,0	0,49	145,0	0,42
c. Štore I-Celje	120	3,263	100,0	0,03	100,0	0,03
Celje - Suhadol	160/200	23,5/20,9	125,0	0,19	154,0	0,14
Suhadol-Ljubljana	250	51,65	160,0	0,32	160,0	0,32
	Σ km	205/202	Σ T <sub>pot</sub>	1,55	Σ T <sub>pot</sub>	1,43
Dosežene potovalne hitrosti so:			130,0 km/h		132,9 km/h	
Doseženi kvalitetni faktor je:			QF=1,07		QF=1,10	

### 5.0. NOVA PROGA LJUBLJANA-ZIDANI MOST-CELJE-MARIBOR-ŠENTILJ

Celotno traso od Ljubljane do državne meje v Šentilju bi lahko razdelili na dva dela. Prvi del je proga od postaje Suhadol (Zidani Most), ki je pravzaprav predvidena proga za visoke hitrosti Ljubljana-Zidani Most-Zagreb in je na idejnem nivoju že obdelana. To je tako imenovana »Savska varianta« za hitrost  $V = 250$  km/h. Suhadol je železniška postaja na hitri progi, na kateri se bi odcepil železniški krak proti Celju. Predviden je obvoz obstoječe postaje Zidani Most (brez postanka) ter priključek na stari koridor po prečkanju Savinje.

Drugi del je trasa od postaje Suhadol do državne meje v Šentilju, ki je rekonstruirana stara proga. Kot idejna rešitev je že bila obdelana tudi rekonstrukcija proge Celje-Maribor za hitrosti  $V = 160$  km/h. Za enakovredno presojo celotne trase sta bili izdelani idejni rešitvi za del

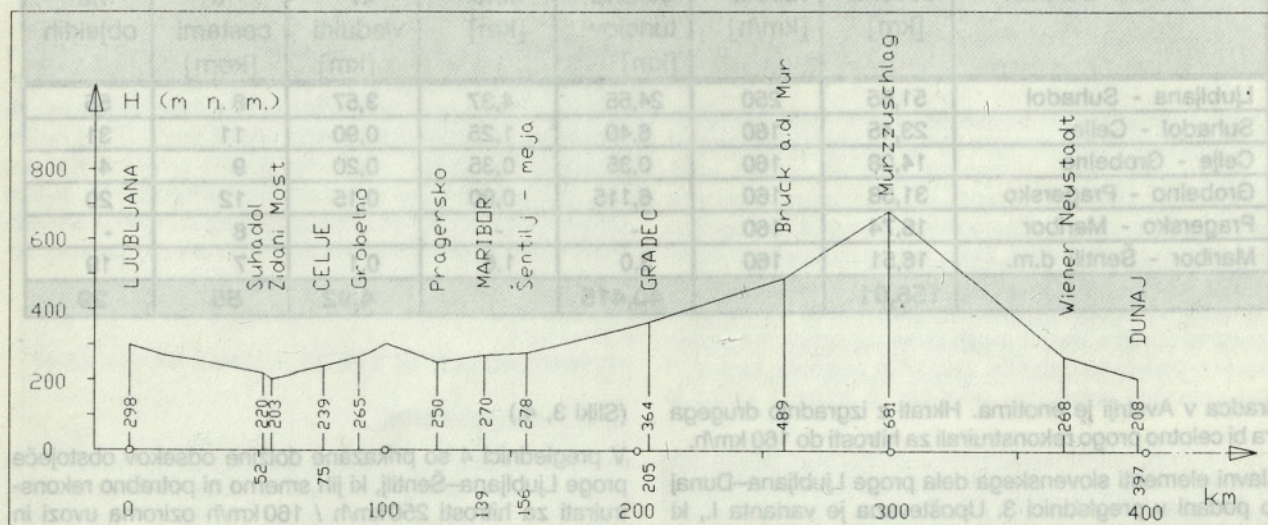
proge od postaje Suhadol mimo Zidanega Mosta do Celja, in sicer za hitrosti  $V = 160$  km/h in  $200$  km/h ter za odsek od Maribora do Šentilja za  $160$  km/h. Obe trasi od Zidanega Mosta do Celja potekata po dolini Savinje. V prometno tehničnem oziru se ponujata dve možni rešitvi:

I. Obstoječa proga ostane za lokalni in počasni tovorni promet. Nova hitra proga za hitrosti do  $200$  km/h pa prevzame mednarodni in medmestni hitri potniški promet ter tovarne vlake z min. hitrostjo  $120$  km/h.

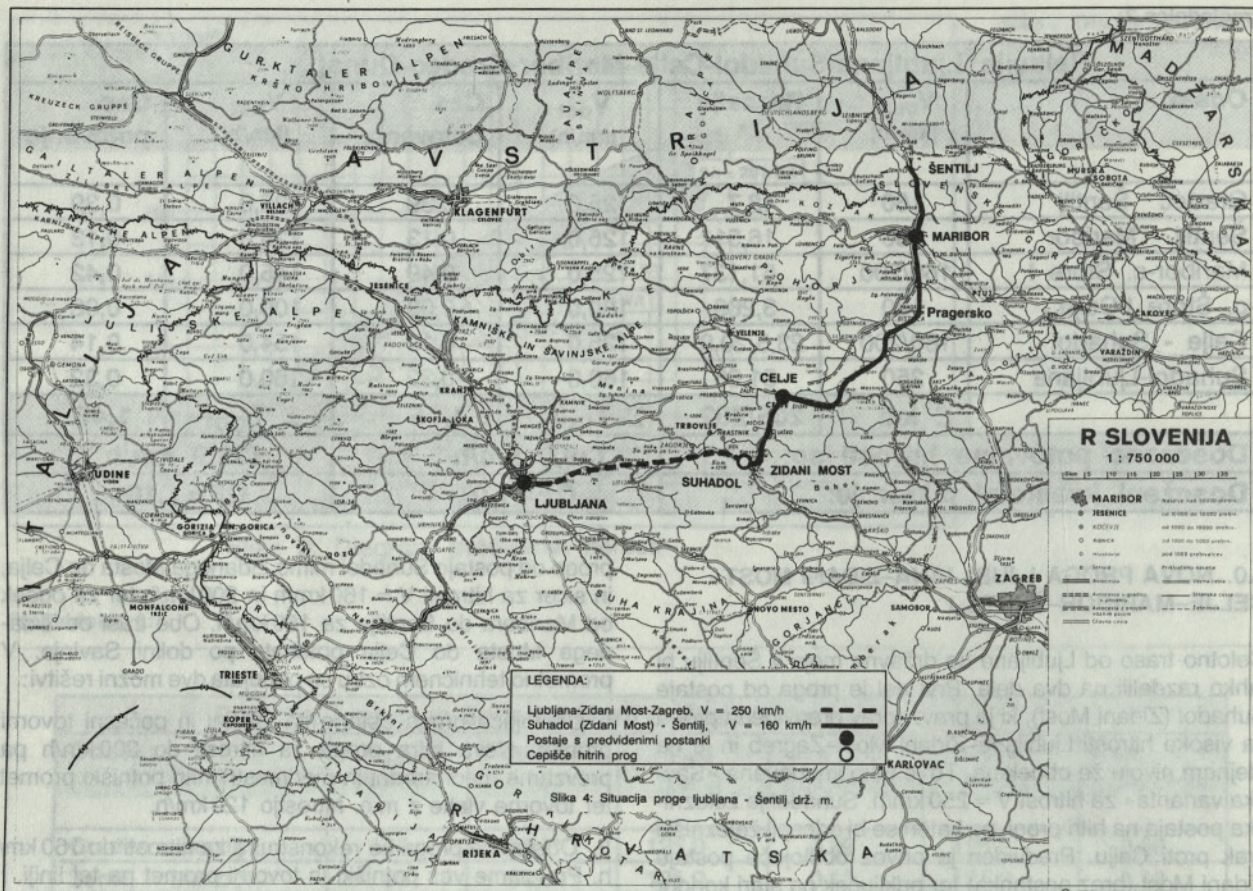
II. Obstoječa proga se rekonstruira za hitrosti do  $160$  km/h. Prevzame ves potniški in tovorni promet na tej liniji.

Kot dodatna podvarianta se pri obeh možnostih pojavi tudi obvoznica mimo Celja za direktne tovarne vlake in mednarodne potniške vlake, ki se eventualno ne bi ustavljali v Celju. Odločitve o postankih v Celju bodo morale sloneti na detajlni raziskavi prometnih tokov.

Obstoječa proga od Maribora do Šentilja in dalje do



Slika 3: Niveleta proge Ljubljana-Dunaj



Slika 4: Situacija proge Ljubljana-Šentilj drž. m.

Preglednica 3:

PROGOVNI ODSEK	Dolžina odseka [km]	Max. hitrost [km/h]	Skupna dolžina tunelov [km]	Najdaljši tunel [km]	Mostovi in viadukti [km]	Križanja s cestami [kom]	%proge na objektih
Ljubljana - Suhadol	51,65	250	24,55	4,37	3,57	8	55
Suhadol - Celje	23,45	160	6,40	1,25	0,90	11	31
Celje - Grobelno	14,08	160	0,35	0,35	0,20	9	4
Grobelno - Pragersko	31,58	160	6,115	0,90	0,15	12	20
Pragersko - Maribor	18,74	160	-	-	-	8	-
Maribor - Šentilj d.m.	16,51	160	3,0	1,6	0,1	7	19
	<b>156,01</b>		<b>40,415</b>		<b>4,92</b>	<b>55</b>	<b>29</b>

Gradca v Avstriji je enotirna. Hkrati z izgradnjo drugega tira bi celotno progo rekonstruirali za hitrosti do 160 km/h.

Glavni elementi slovenskega dela proge Ljubljana-Dunaj so podani v preglednici 3. Upoštevana je varianta I., ki predvideva rekonstrukcijo proge Suhadol (Zidani Most) - Šentilj za V = 160 km/h ter brez obvoza postaje Celje.

(Sliki 3, 4.)

V preglednici 4 so prikazane dolžine odsekov obstoječe proge Ljubljana-Šentilj, ki jih smerno ni potrebno rekonstruirati za hitrosti 250 km/h / 160 km/h oziroma uvozi in izvozi postaj, kjer se bodo vsi vlaki ustavljali (Ljubljana, Celje, Maribor).



Preglednica 4:

PROGOVNI ODSEK	Dolžina odseka [km]	Max. hitrost [km/h]	Dolžina proge, ki ostane [km]	% proge, ki ostane
Ljubljana - Suhadol	51,65	250	9,00	17,4
Suhadol - Celje	23,45	160	6,95	29,6
Celje - Grobelno	14,08	160	10,15	72,0
Grobelno - Pragersko	31,58	160	10,30	32,6
Pragersko - Maribor	18,74	160	18,74	100
Maribor - Šentilj d.m.	16,51	160	7,50	45,4
<b>Ljubljana-Šentilj d.m.</b>	<b>156,01</b>		<b>62,64</b>	<b>40,2</b>
<b>Suhadol-Šentilj d.m.</b>	<b>104,36</b>		<b>53,64</b>	<b>51,4</b>

## LITERATURA

- 1 Jürgen Grübmeier in Horst Amann, Infrastrukturausbau »Ost-West« in Rahmen des Europäischen Infrastruktur-Leitplans; Die Bundesbahn 3/1991.
- 2 Vir: Vožni red Slovenskih železnic za leto 1993.
- 3 Prof. dr. Roman Jaworski (TU Wien), na mednarodnem simpoziju »Obnova i budućnost željeznice«, 10. marec 1993 v Zagrebu, s temo »Obnova in racionalizacija železnic v Avstriji«.
- 4 Dr. Rudolf Breimeier: Die Gestaltung eines Schnellverkehrsnetzes der Eisenbahn in Deutschland; ETR 993, H 1.-2.

# PREVOZ IZREDNIH POŠILJK PO ŽELEZNICI GLEDE NA KARAKTERISTIKE PROFILOV PROG

UDK 656.2:625.1

PETER VERLIČ

## P O V Z E T E K

V članku opisujemo problematiko prevoza izrednih pošiljk po železnici glede na karakteristike nakladalnih in svetlih profilov prog. Opisan je računalniško podprt način obdelave prevoza izrednih pošiljk, ki se izvaja na Slovenskih železnicah. Prikazan je tudi unificiran postopek kodifikacije za prevoz pošiljk v kombiniranem prometu, ki sodijo v specifično skupino izrednih pošiljk.

## TRANSPORT OF THE SPECIAL CONSIGNMENTS BY RAIL CONCERNING THE RAILWAY GAUGES CHARACTERISTICS

## S U M M A R Y

In the Paper we describe difficulties of the special consignments transport by rail concerning the loading and clearance gauge characteristics of the lines. The Computer aided programme for the special load operations, which is used by the Slovenian Railways, is described. Unified codification procedure for consignments in combined transport, as specific part of special consignments, is also shown.

### 1. UVOD

Prevoz blaga po železnici dobiva v Evropi nove razsežnosti. Poleg klasičnega prevoza tovora se vedno bolj uveljavlja kombinirani način transporta tovornih cestnih vozil, polprikolic, zamenljivih tovoršč in kontejnerjev. Določene veje industrije, kjer prednjačijo predvsem elektro, kovinska industrija in gradbeništvo, želijo prevažati izdelke v enem kosu (različni transformatorji, generatorji, turbine, silosi, montažni betonski elementi: nosilci, stene, stebri ipd.). Tovrstne pošiljke zaradi svojih dimenzij praviloma preokračujejo dovoljene gabarite, zato jih je potrebno prevažati pod natančno določenim režimom. S tržnega vidika je

prevoz izrednih pošiljk po železnici zanimiv, saj jih je v mnogih primerih lažje in enostavneje prevažati po železnici kot pa po cesti. Največjo oviro pri transportu izrednih pošiljk pa predstavljajo različni profili prog. Ti kot glavni omejitveni dejavniki narekujejo pogoje prevoza. Ker gre pri tem večinoma za mednarodne Transporte, je na tem nivoju izdelanih več postopkov za enoten, med posameznimi železniškimi upravami primerljiv sistem prevoza izrednih pošiljk.

### 2. NAKLADALNI IN SVETLI PROFILI NA PROGAH

#### 2.1. Nakladalni profil

Nakladalni profil na progi je del ravnine, pravokotne na vzdolžno os tira in omejene z zaprto lomljeno črto. Posamezne točke nakladalnega profila so določene s pravokotnim koordinatnim sistemom. Osi so definirane na naslednji način:

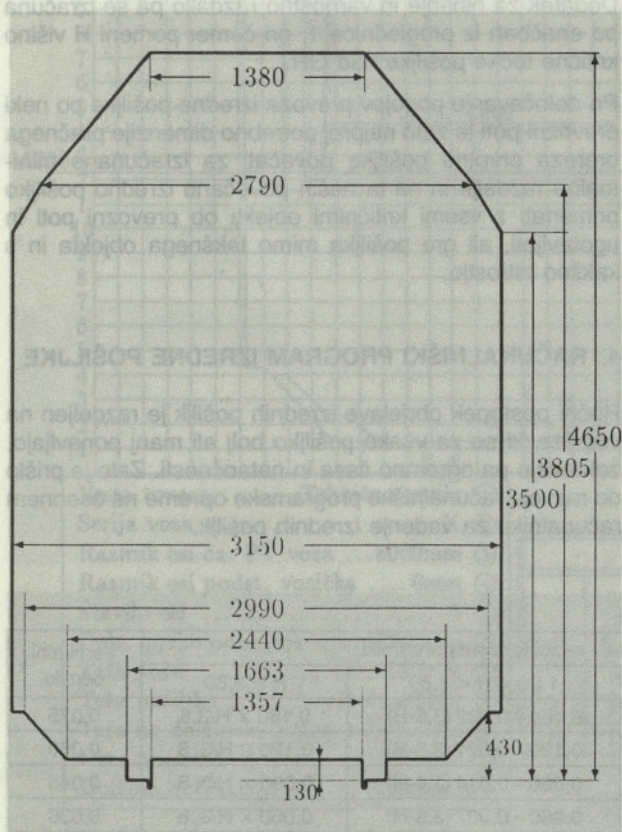
Avtor:  
Peter Verlič, dipl. inž. gr.  
v. d. direktorja,  
Prometni inštitut Ljubljana, Kolodvorska 11

a) os x (abscisa) je definirana kot os, ki se dotika gornjih robov obeh tirnic,

b) os y (ordinata) je definirana kot os, ki je pravokotna na absciso in poteka po sredini tira in istočasno predstavlja simetralo profila.

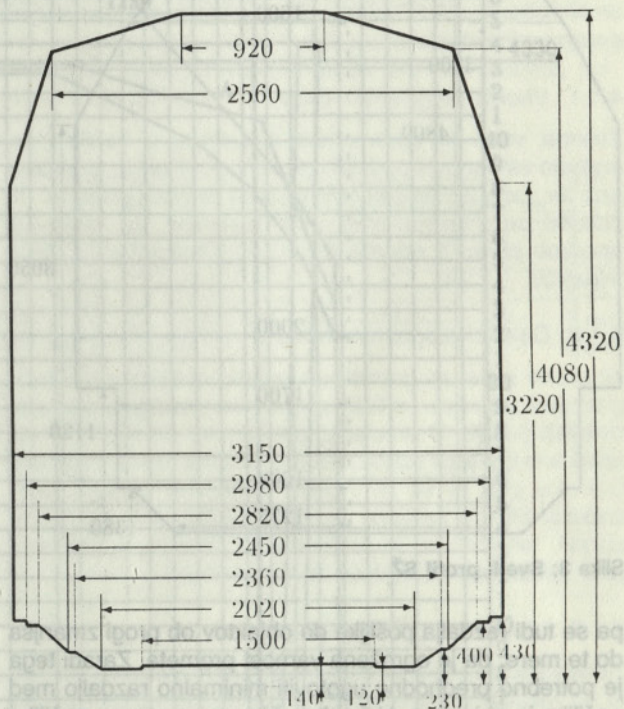
Dimenzije nakladalnega profila so določene glede na najneugodnejši položaj vagona in tovora na tiru v stanju mirovanja ter ga zato imenujemo tudi statični nakladalni profil. Nakladalni profil je tudi glavni kriterij za določitev izrednosti pošiljke v kolikor neki tovor, naložen na vagonu, presega dimenzije nakladalnega profila, se taka pošiljka prevaža kot izredna, v nasprotnem primeru pa kot navadna. Če naj se neka pošiljka prevaža kot navadna, potem iz nakladalnega profila ne sme segati noben del vagona ali tovora.

Vsaka železniška uprava ima določenega enega ali več nakladalnih profilov, ki morajo biti objavljeni v mednarodnih predpisih (Pravilnik RIV) in veljajo znotraj posamezne železniške uprave. Poleg tega je tudi Mednarodna železniška zveza UIC v svojih standardih objavila tri tipe nakladalnih profilov in jih označila z oznakami GA, GB in GC. UIC je ob izdaji teh profilov priporočila profil GA na vseh obstoječih progah, profil GB pri rekonstrukcijah obstoječih prog, profil GC pa pri novogradnjah. Ti profili omogočajo dovolj prostora za prevoz vseh klasičnih železniških pošiljk, še posebej pa so primerni za pošiljke v kombiniranem prometu. Večina železniških uprav poleg lastnih profilov



Slika 1: Nakladalni profil SŽ

povzema tudi profile UIC. Na omrežju prog Slovenskih železnic sta veljavna nakladalna profila z nazivi Nakladalni profil SŽ in Nakladalni profil UIC GB. Oba nakladalna profila sta prikazana na slikah 1 in 2.



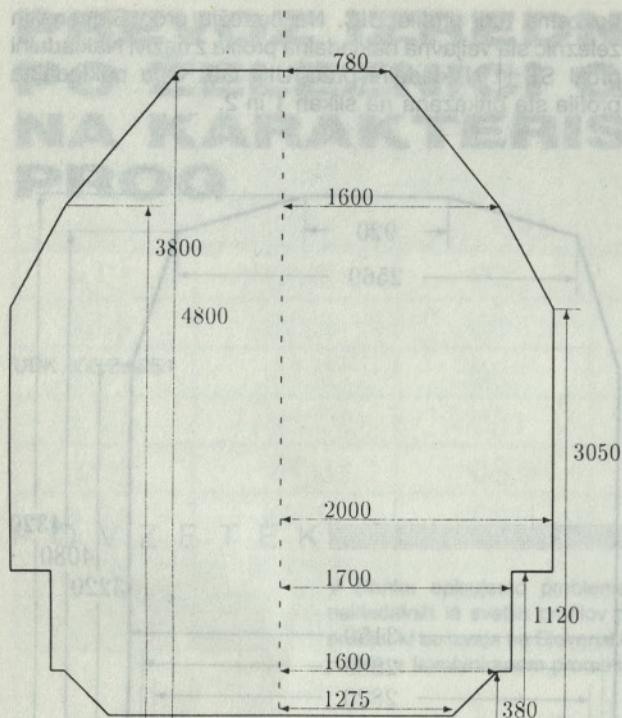
Slika 2: Nakladalni profil UIC GB

## 2.2. Svetli profil

Po enaki definiciji je tudi svetli profil del ravnine, pravokotne na vzdolžno os tira in omejene z lomljeno črto. Dimenzije svetlega profila morajo biti izračunane tako, da je omogočeno neovirano gibanje vozila s tovorom po tiru. V področje svetlega profila ne sme segati noben del objektov, tirnih naprav ter ostalih nepomičnih predmetov, lociranih ob progih, ki morajo biti zato locirani zunaj področja svetlega profila. Osnova za izračun svetlega profila je kinematični nakladalni profil, ki izhaja iz statičnega, le s to razliko, da se pri izračunu dimenzij kinematičnega nakladalnega profila upošteva najneugodnejši položaj vozila in tovora pri gibanju po tiru. Na Slovenskih železnicah je zaenkrat v rabi svetli profil SŽ (slika 3), ki izhaja iz nakladalnega profila SŽ, v pripravi pa je definiranje novega svetlega profila po metodologiji UIC.

## 3. POGOJI PREVOZA IZREDNIH POŠILJK

Neko pošiljko obravnavamo kot izredno pošiljko tedaj, kadar pošiljka na delu prevozne poti ali pa na celotni prevozni poti prekorači predpisani nakladalni profil, s tem



Slika 3: Svetli profil SŽ

pa se tudi razdalja pošiljke do objektov ob progi zmanjša do te mere, da je ogrožena varnost prometa. Zaradi tega je potrebno predhodno ugotoviti minimalno razdaljo med pošiljko in objektom, ki še dopušča varen prevoz pošiljke mimo kritičnih mest na progi. Vsi ti postopki so podrobneje opisani v Navodilu za prevoz izrednih pošiljk. Za točke pošiljke, ki prekoračujejo nakladalni profil, se minimalna razdalja, ki dopušča varen prevoz pošiljke mimo kritičnih objektov na progi izračuna kot vsota naslednjih elementov:

- dotatka za krivino in premo
- dotatka za nihanje in varnostno razdaljo.

### 3.1. Dodatek za krivino in premo

Dodatek za premo nastane kot posledica bočnega pomika vagona zaradi izrabljenosti ležišč ležajev osi in čepov vagona in kot posledica pri širini tira – za premo znašajo 0,053 m, za krivino pa so upoštevani v formulah za odklon vagona v loku proge ( $D_i$ ,  $D_a$ ).

Dodatek v krivini nastane kot posledica odklona vagona od osi tira v loku zaradi togosti vagona in se računa v odvisnosti od dejanskega radija krivine glede na lego kritične točke pošiljke. Če je kritična točka izredne pošiljke znotraj osi vagona oziroma čepov podstavnih vozičkov pri štiriosnem vagonu, se izračuna dodatek za krivino  $D_i$  po naslednji enačbi:

$$D_i = \frac{(S \cdot x - x^2)}{2R} + \frac{p^2}{8R} + 0,053 \text{ [m]} \quad (1)$$

Če pa je kritična točka izredne pošiljke zunaj osi oziroma podstavnih vozičkov, se dodatek za krivino  $D_a$  izračuna po naslednji enačbi:

$$D_a = \frac{S \cdot x + x^2}{2R} - \frac{p^2}{8R} + 0,053 \frac{S+2x}{S} \text{ [m]} \quad (2)$$

Oznake v enačbah pomenijo:

- S – čepni (osni) razmik
- p – razmik osi podstavnega vozička
- L – dolžina pošiljke
- x – razdalja kritične točke pošiljke od osi (čepa podstavnega vozička) navznoter oziroma navzven
- R – radij krožnega loka krivine

### 3.2. Dodatek za nihanje in varnostno razdaljo

Dodatek za nihanje in varnostno razdaljo pa se izračuna po enačbah iz preglednice 1, pri čemer pomeni H višino kritične točke pošiljke nad GRT.

Pri določevanju pogojev prevoza izredne pošiljke po neki prevoznici je zato najprej potrebno dimenzije prečnega prereza prvotne pošiljke povečati za izračunane minimalne razdalje in na ta način povečano izredno pošiljko primerjati z vsemi kritičnimi objekti ob prevoznici in ugotavljati, ali gre pošiljka mimo takšnega objekta in s kakšno hitrostjo.

## 4. RAČUNALNIŠKI PROGRAM IZREDNE POŠILJKE

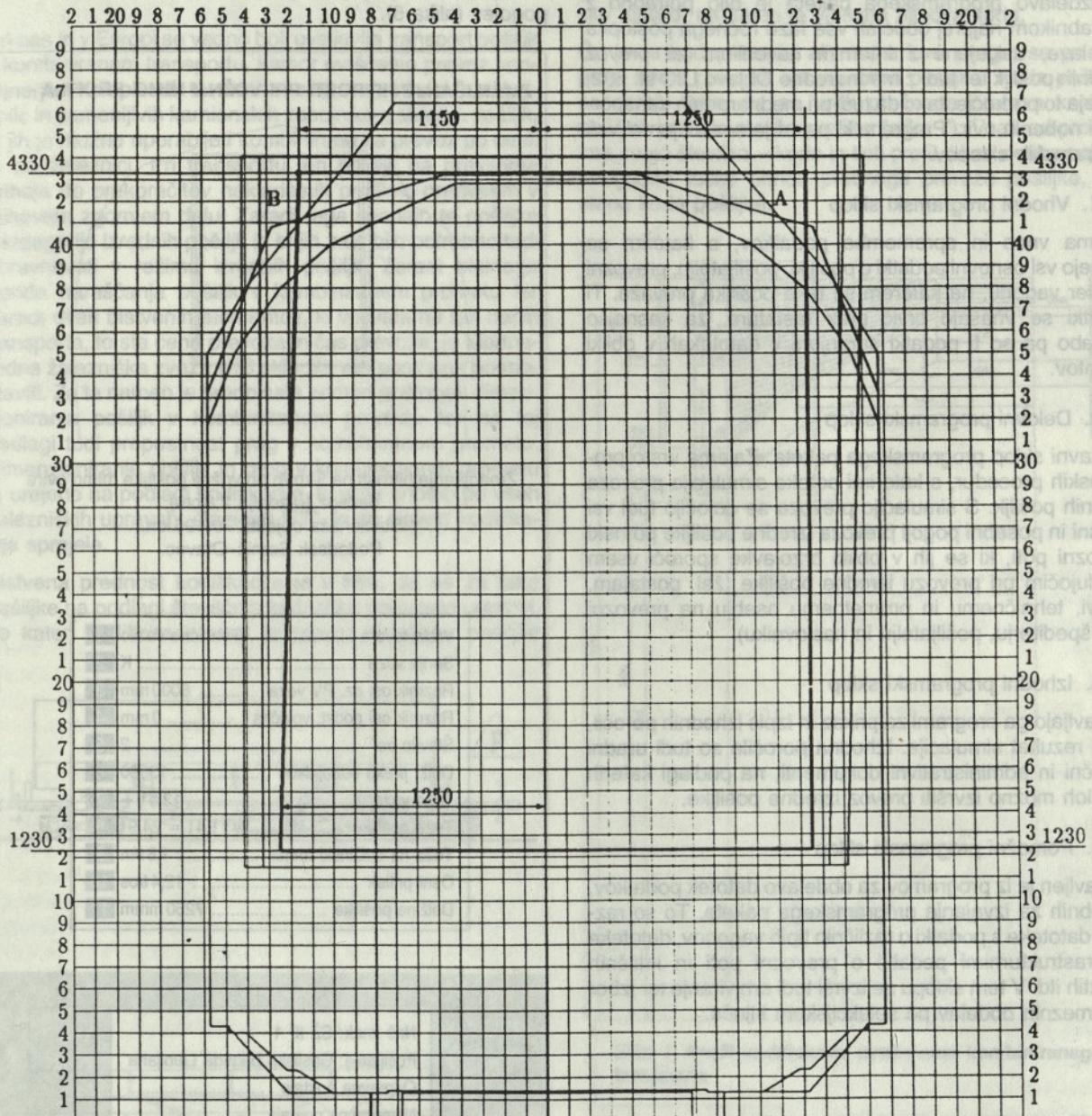
Ročni postopek obdelave izrednih pošiljk je razdeljen na več faz, ki se za vsako pošiljko bolj ali manj ponavljajo, zahtevajo pa ogromno časa in natančnosti. Zato je prišlo do razvoja računalniške programske opreme na osebni računalniku za vodenje izrednih pošiljk.

Preglednica 1: Preglednica za izračun dodatkov za nihanje in varnostne dodatke

Hitrost voznje	Horizontalni odmiki			Vertikalni odmiki
	$H \leq 1,20$	$1,20 < H < 3,80$	$H \geq 3,80$	
voznoredna hitrost	0,070	$0,160 - 0,032 (3,8-H)$	$0,160 \times H/3,8$	0,075
$V = 30 \text{ km/h}$	0,060	$0,120 - 0,021 (3,8-H)$	$0,120 \times H/3,8$	0,060
$V = 10 \text{ km/h}$	0,050	$0,090 - 0,014 (3,8-H)$	$0,090 \times H/3,8$	0,045
$V = 5 \text{ km/h}$	0,040	$0,060 - 0,007 (3,8-H)$	$0,060 \times H/3,8$	0,030

Tovorni profil in izredna pošiljka Dokument S102

SŽ IP 1/92



- Vrsta tovora ..... Tehnično vozilo ①
- Serija voza ..... K ②
- Razmik osi oz. PV voza ... 8000mm ③
- Razmik osi podst. vozička .... 0mm ④
- Število osi ..... 2 ⑤
- Dolž. preko odbojnikov .. 13860mm ⑥
- Teža voza ..... 13.5t + ⑦
- Teža pošiljke ..... 11.4t = 24.9t ⑧
- Teža na dolžinski meter ..... 1.8t/m ⑨
- Osní pritisk ..... 12.4t/os ⑩
- Dolžina pošiljke ..... 7250mm ⑪

Kritične točke pošiljke						
Točka	⑫ Širina mm	⑬ Višina mm	⑭ Ni mm	⑮ Na mm	↔ ⑯ Nihanje mm	⑰ v loku R=250m mm
A	1250	1230-4330	4000	0	182	85 53
B	1150	4330	4000	0	182	85 53

Slika 4: Prikaz pošiljke, razširjena z dodatki za nihanje in širjenje v lokih

#### 4.1. Opis programskega paketa

Za izdelavo programskega paketa je bilo potrebno z uporabnikom najprej obdelati vse faze ročnega postopka obdelave, usklajene z internim navodilom za prevoz izrednih pošiljk ter tudi z mednarodno Objavo UIC št. 502, ki ureja to področje, tako da tudi pri mednarodnih transportih ni nobenih ovir. Programski paket je sestavljen iz več programskih sklopov.

##### 4.1.1. Vhodni programski sklop

Zajema vnos in spremembe podatkov, s katerim se vnesejo vsi osnovni podatki o pošiljki, pošiljatelju, prevoznici poti ter vagonu, na katerem se taka pošiljka prevaža. Ti podatki se vnašajo prvič prek tastature, za kasnejšo uporabo pa so ti podatki shranjeni v datotekah v obliki šifrantov.

##### 4.1.2. Delovni programski sklop

Je glavni sklop programskega paketa. Zajema vrsto programskih procedur, s katerimi poteka simulacija prevoza izrednih pošiljk. S simulacijo prevoza se določijo tudi vsi splošni in posebni pogoji prevoza izredne pošiljke po neki prevoznici poti, ki se jih v obliki brzojavke sporoči vsem sodelujočim pri prevozu izredne pošiljke (žel. postajam, upravi, tehničnemu in prometnemu osebju na prevoznici poti, špediterju, pošiljatelju in naslovniku).

##### 4.1.3. Izhodni programski sklop

Sestavljajo ga programi za prikaz in izpis izhodnih poročil, ki so rezultat simulacije. Izhodna poročila so tudi uradni tehnični in administrativni dokumenti, na podlagi katerih je sploh možno izvršiti prevoz izredne pošiljke.

##### 4.1.4. Pomožni programski sklop

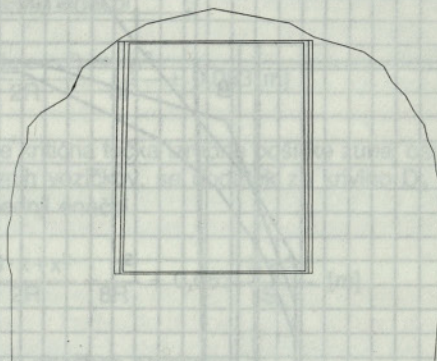
Sestavljen je iz programov za obdelavo datotek podatkov, potrebnih za izvajanje programskega paketa. To so različne datoteke s podatki o različnih tipih vagonov, datoteke z infrastrukturnimi podatki o prevoznici poti in kritičnih objektih itd. V tem sklopu se izvrši tudi arhiviranje ter izbor posameznih obdelav po selekcijskem ključu.

#### 4.2. Simulacija prevoza izredne pošiljke

Simulacijo prevoza izredne pošiljke tvori v osnovi preprost računalniški algoritem, ki je ročno ugotavljanje možnosti prevoza izredne pošiljke skrajšal na vsega nekaj sekund. Bistvo algoritma je v tem, da se za vsako pošiljko najprej izračunajo dodatki za nihanje in širjenje v lokih ter dokumentirajo na posebnem obrazcu (slika 4), nato pa se simulira vožnja tako razširjene konture pošiljke po izbrani prevoznici poti mimo vseh kritičnih objektov, kjer se za vsak tak objekt posebej ugotavlja, ali je prevoz pošiljke mimo takšnega objekta možen ter s kolikšno hitrostjo. Ker je nekatere izredne pošiljke možno na vagonu tudi pomikati, je pri simulaciji obdelana tudi takšna možnost. Rezultat simulacije vožnje skozi niz prečnih profilov na prevoznici

poti je določitev prevoznih pogojev, ki so sestavljeni iz šifer prevoznih pogojev, splošnih in posebnih varnostnih pogojev (slika 5).

#### ZMANJŠANJE HITROSTI PRI VOŽNJI MIMO PROFILA



Zmanjšanje hitrosti na 5 km/h pri vožnji pošiljke mimo ovire nadvoz (razdalja 2,8 cm).  
Stacionaža objekta 70.495 km.  
Pododsek Semič-Otavec.

Vrsta tovora .....	Tehnično vozilo	1
Serija voza .....	K	2
Razmik osi oz. PV voza .....	8000 mm	3
Razmik osi podst. vozička .....	0 mm	4
Število osi .....	2	5
Dolž. preko odbojnikov .....	13860	6
Teža voza .....	13,5t +	7
Teža pošiljke .....	11,4t = 24,9t	8
Teža na dolžinski meter .....	1,8 t/m	9
Osní pritisk .....	12,4t/os	10
Dolžina pošiljke .....	7250 mmm	11

Naš znak: SŽ IP 1  
Pošiljatelj: Gasilska brigada Ljubljana  
Odpravna postaja .....

Namembna postaja .....

Prevozna pot .....

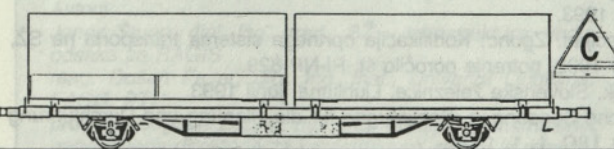
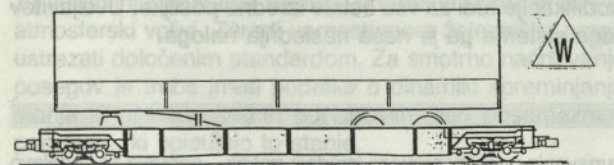
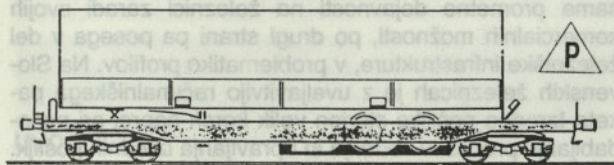
Slika 5: Prikaz izseka simulacije izredne pošiljke

Programski paket poteka v PC DOS okolju in je realiziran v programskem jeziku Turbo Pascal. Ta jezik je bil izbran zaradi same hitrosti prevedenih verzij in zaradi dobre grafične podpore. Na Slovenskih železnicah je programski paket instaliran na PC osebem računalniku 486/33 MHz s 4 MB RAM pomnilnikom, 200 MB trdim diskom in 3.50"/5.25" enotama z barvnim ekranom, grafično VGA kartico ter laserskim tiskalnikom HP Laser Jet III.

### 5. KODIFIKACIJA POŠILJK IN PROG V KOMBINIRANEM PROMETU

Pri nas in v Evropi se vedno bolj uveljavlja transport pošiljk v kombiniranem transportu, kamor uvrščamo prevoz kontejnerjev, kompletnih tovornih vozil (t. i. oprtni vlaki), polprikolice in zamenljivih kamionskih zabojnikov, skratka pošiljk, ki jih je možno uporabljati kombinirano za prevoz po cesti in po železnici. Pri transportu teh pošiljk pa praviloma prihaja do prekoračitev nakladalnih profilov, predvsem v njihovem zgornjem delu. Zaradi tega spadajo te pošiljke v kategorijo izrednih pošiljk in bi jih zato bilo potrebno tudi obravnavati v režimu izrednih pošiljk. Zaradi stalnega trenda naraščanja pošiljk v kombiniranem prometu ter zaradi dveh bistvenih elementov, ki vplivata na tak način transporta, to sta cena prevoza in čas prevoza, je Mednarodna železniška zveza UIC sklenila ves postopek poenostaviti. Za ta namen je predpisala enoten postopek dimenzioniranja pošiljk v kombiniranem prometu ter na tej podlagi tudi prepustnost prog v kombiniranem prometu. Dimenzioniranje pošiljk in prog v kombiniranem prometu je urejeno na podlagi kodifikacije, ki velja enotno po vseh železniških upravah, članicah UIC, ki so sistem kodifikacije sprejele.

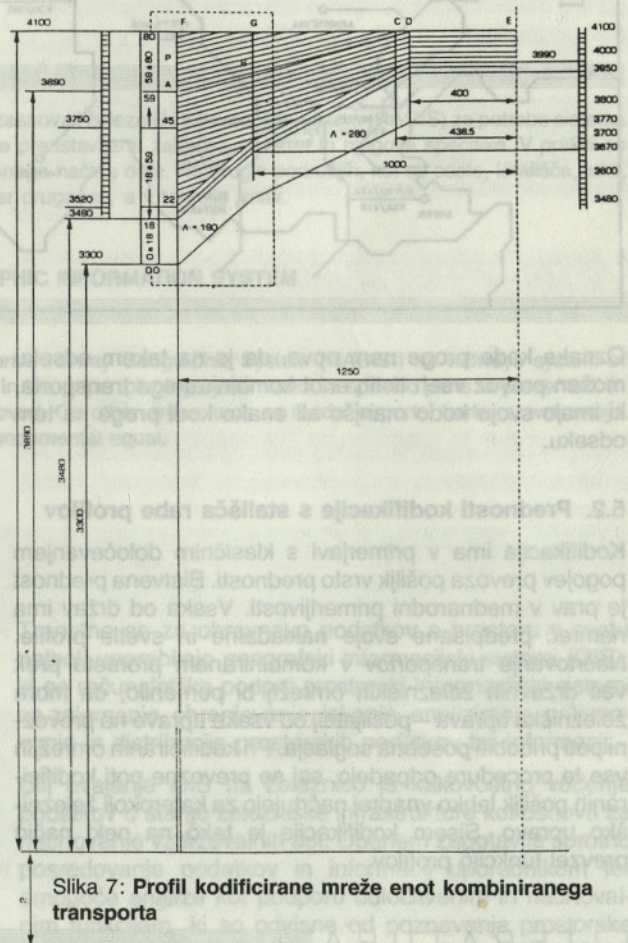
Bistvena prednost kodifikacije je v tem, da se za take pošiljke na podlagi številčnih kod lahko preprosto ugotovi, po kateri kodificirani progi je prevoz določene pošiljke



Slika 6: Kodificirane polprikolice in zamenljivi zabojniki

možen. Določeni tipi pošiljk v kombiniranem prometu (polprikolice in zamenljivi zabojniki, slika 6) imajo registrsko tablico, na kateri je vpisana njihova koda.

Če je ta koda manjša ali enaka kodi proge, se po taki progi lahko prevažata kot navadna pošiljka. Koda pošiljke se določi tako, da se prek prečnega prereza konture pošiljke prekrije mrežo profilov (slika 7). Vsak od profilov ima svojo številko – kodo in tisti profil, ki se dotika najbolj neugodne točke obrisa prečnega prereza pošiljke, postane koda pošiljke.

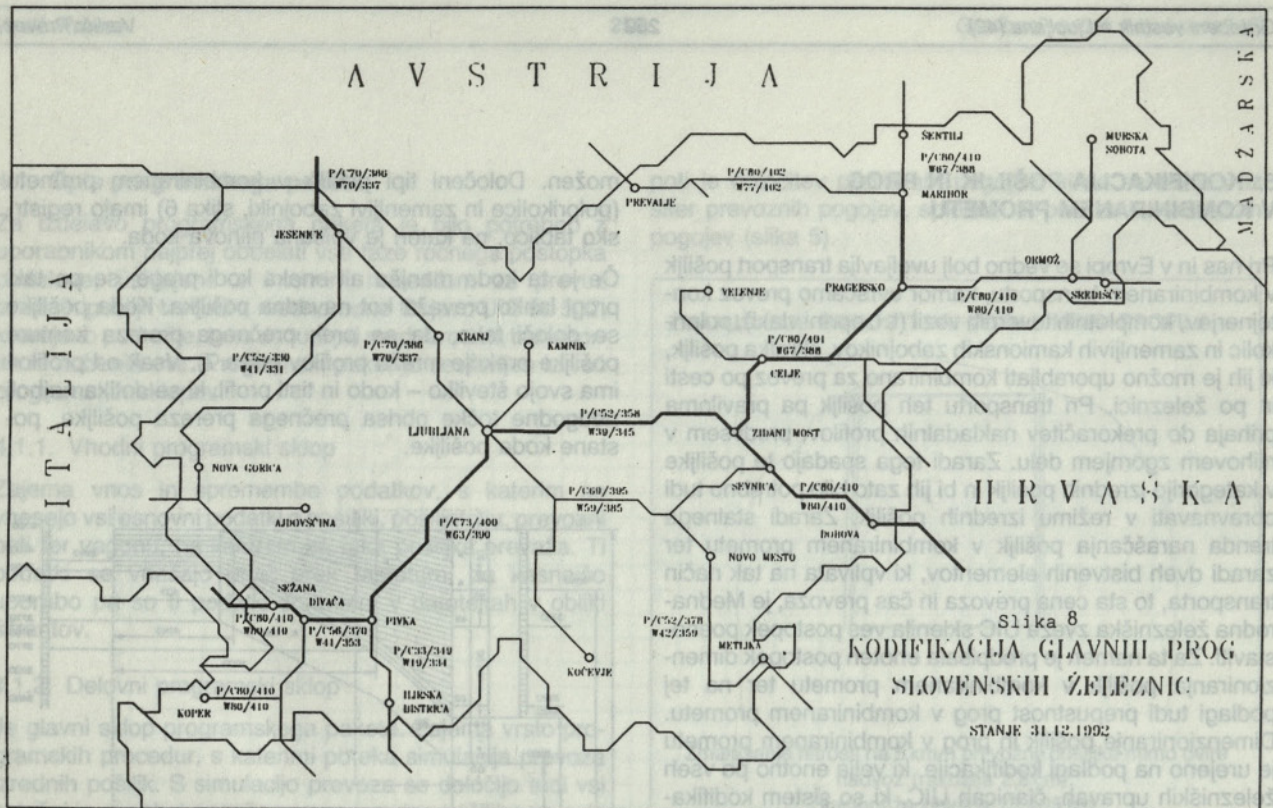


Slika 7: Profil kodificirane mreže enot kombiniranega transporta

Pri določitvi kode proge vsakemu takemu profilu iz mreže prištejemo dodatke za nihanje in širjenje v lokih ter nato take profile primerjamo s kritičnimi profili na progi. Profil z dodatki iz mreže, ki zadane ob kritični objekt, je profil, ki določi maksimalno kodo proge.

#### 5.1. Kodifikacija prog Slovenskih železnic

Kodifikacija prog Slovenskih železnic je bila izvedena z dodelavo procedur računalniškega programa Izredne pošiljke, rezultati kodifikacije, ki so z uveljavitvijo voznega reda 1993/94 tudi v operativni rabi, pa so prikazani na sliki 8.



Oznaka kode proge nam pove, da je na takem odseku možen prevoz vseh tistih enot kombiniranega transporta, ki imajo svojo kodo manjšo ali enako kodi proge na tem odseku.

## 5.2. Prednosti kodifikacije s stališča rabe profilov

Kodifikacija ima v primerjavi s klasičnim določevanjem pogojev prevoza pošiljk vrsto prednosti. Bistvena prednost je prav v mednarodni primerljivosti. Vsaka od držav ima namreč predpisane svoje nakladalne in svetle profile. Načrtovanje transportov v kombiniranem prometu prek več državnih železniških omrežij bi pomenilo, da mora železniška uprava – pošiljatelj od vsake uprave na prevoznici pot pridobiti posebna soglasja. Pri kodificiranih omrežjih vse te procedure odpadejo, saj se prevozne poti kodificiranih pošiljk lahko vnaprej načrtujejo za katerokoli železniško upravo. Sistem kodifikacije je tako na neki način prevzel funkcijo profilov.

## 6. SKLEP

Prevoz izrednih pošiljk po železniškem omrežju se dotika področja, ki je s stališča varnosti in urejenosti prometa izredno občutljivo. Na eni strani je pomembno zaradi same prometne dejavnosti na železnici zaradi svojih komercialnih možnosti, po drugi strani pa posega v del železniške infrastrukture, v problematiko profilov. Na Slovenskih železnicah je z uveljavitvijo računalniškega paketa Izredne pošiljke storjen velik korak naprej pri posodabljanju procesov vodenja in upravljanja izrednih pošiljk. Računalniški program je tudi omogočil izredno hitro vključitev Slovenskih železnic v sistem kodifikacije v kombiniranem transportu. Opisani sistem kodifikacije, ki se lahko uporablja le za pošiljke v kombiniranem prometu, je v primerjavi s klasičnim načinom obdelave že pokazal toliko prednosti, da je UIC sprejela podoben sistem kodifikacije tudi za vse ostale izredne pošiljke. Uveljavitev tega sistema pa je naša naslednja naloga.

## LITERATURA

1. Verlič, Tršan, Černe, Zagorc: Izračunavanje pogojev prevoza izrednih pošiljk – priprava za obdelavo podatkov, ŽG Ljubljana, Prometni institut, not. poročilo št. PI-NP-820, Ljubljana, december 1991.
2. Verlič, Repar, Černe, Zagorc: Programski paket za vodenje izrednih pošiljk na železniški mreži, ISEP 92, Zbornik referatov, Ljubljana, oktober 1992, str. 179–189.
3. Repar, Verlič, Zagorc: Obdelava izrednih pošiljk na osebem računalniku, Prometni institut Ljubljana, not. poročilo PI-NP-828, Ljubljana, januar 1993.
4. Verlič, Repar, Černe, Zagorc: Programski paket za prijevoz naročitih pošiljaka železnicom, Zbornik seminarja MIPRO 1993, Opatija, maj 1993.
5. Verlič, Kobilica, Repar, Černe, Lacijan, Zgonc: Kodifikacija oprtnega sistema transporta na SŽ, Prometni institut Ljubljana, december 1992, notranje poročilo št. PI-NP-829.
6. Navodilo za prevoz izrednih pošiljk, Slovenske železnice, Ljubljana, junij 1993.
7. Kodex UIC 502 – Aussergewöhnliche Sendungen, Bestimungen für die Planung und Durchführung von aussergewöhnlichen Sendungen, UIC, 1. 1. 1993.
8. Kodex UIC 596-6, Huchepackverkehr, Technische Organisation, Bedingungen für die Codierung der Huchepackladeeinheiten und der Huchepackstrecken, UIC, 2. Ausgabe vom, 1. 1. 1991.



# GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEM SLOVENSКИH ŽELEZNIC

UDK: 625.1:007

JANEZ ŠTURM, mag. DUŠAN FAJFAR, dr. BOGDAN ZGONC

## POVZETEK

Na podlagi večletnih izkušenj smo zasnovali železniški informacijski sistem (RAGIS) za potrebe sistema Slovenskih železnic. V prispevku je predstavljena zasnova sistema in njegove specifike. V praksi so se pokazale že prve prednosti takšnega načina dela. Na drugih področjih, kot so ceste, letališča, luke, vodni promet, bi bil tak sistem sicer drugačen, a v temelju enak.

## SLOVENIAN RAILWAY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

## SUMMARY

On basis of several years experience railway Geographic System (RAGISI) for railways system of Slovenian railroads are projected. In the paper planing system and its specific parts is presented. In praxis the first advantages are showed. On other areas such as roads, airports, harbors, waterways that system will be different, but fundamental equal.

## UVOD

Težnja po racionalizaciji poslovanja, dvigu produktivnosti in izkoriščanje notranjih rezerv so osnovne naloge vsakega gospodarskega subjekta, tako tudi Slovenskih železnic. Za takšno nalogo je prvenstveno treba kakovostno kontrolirati stanje sistema. Na železnici sta glavna vzroka za spreminjanje stanja sistema prometna obremenitev in atmosferski vplivi. Zaradi varnosti mora železniška proga ustrezati določenim standardom. Za smotrno načrtovanje posegov je treba imeti podatke o dinamiki spreminjanja stanja in o medsebojnih odvisnostih med posameznimi parametri, ki opisujejo to stanje.

Ker gre za veliko količino podatkov, je treba uporabljati ustrezno računalniško podprt informacijski sistem, ki bo kakovostno in hitro obdeloval le-te ter prezentiral rezultate.

Trenutno se za obravnavo podatkov o prostoru v svetu najbolj uporabljajo geografski informacijski sistemi (GIS), ki so računalniško podprti prostorski informacijski sistemi za zajemanje, shranjevanje, iskanje, analiziranje, prikazovanje in distribucijo prostorskih podatkov ter informacij.

Cilj uvajanja GIS na železnico je kakovostno vodenje podatkov o stanju železniške infrastrukture kot osnova za načrtovanje vzdrževalnih del. Obenem zagotavlja sprotno posredovanje podatkov in informacij uporabnikom ter omogoča analize kot podporo odločitvenim in načrtovalnim funkcijam, ki so odvisne od poznavanja prostorske razvrstitve, vsebine in ekonomske tehnične stanja železniških elementov ter od geografskih danosti in administrativno pravnih predpisov in mejnih določil.

## ZGODOVINA

Začetki uvajanja projekta GIS na Slovenskih železnicah so bili v letu 1990 in so pomenili nadaljevanje že nekaj let prej začetege računalniškega vodenja tehnične evidence osnovnih sredstev (TEOS, 1986), ki je temeljilo na okrnjenih zmožnostih programskega paketa dBase in je kot tak omogočal predvsem tabelarično spremljanje posameznih elementov železniške infrastrukture. Kot temelj sodobni podpori prostorskim informacijskim sistemom se

### Avtorji:

Janez Šturm, dipl. ing. grad., SŽ – Infrastruktura, vodja odseka za RAGIS

mag. Dušan Fajfar, dipl. ing. mat., Univerza Ljubljana, FAGG, PTI

prof. dr. Bogdan Zgonc, dipl. ing. grad., SŽ, mamestnik generalnega direktorja za infrastrukturo, razvoj in mednarodne odnose

danes v svetu vse bolj uveljavlja paket ARC/INFO, ki je primeren za mikro, mini in velike računalniške sisteme. Paket se razvija še danes, predvsem za uporabo osebnih računalnikov in uprabo dBase modula. Omogoča pa predvsem:

- vnos in ažuriranje podatkov
- procesiranje podatkov (transformacija)
- iskanje podatkov (kakovostni grafični prikazi in izrisi, generiranje tabelarnih poročil, interaktivni urejevalnik za kreiranje poljubnih simbolov)
- geografske analize (prekrivanje plasti, generiranje poligonov, matematične in logične operacije, iskanje najkrajše poti, alokacija kapacitet, geokodiranje).

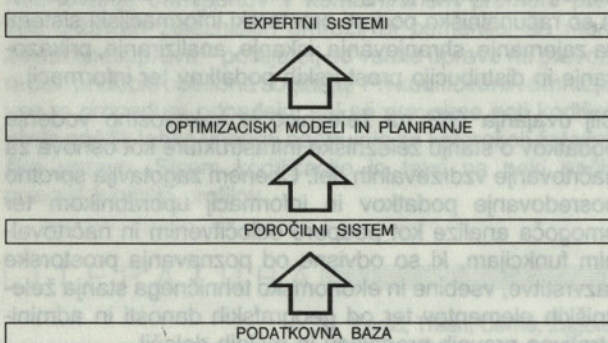
Za lažje delo s programskim paketom ARC/INFO so na Prometno-tehničnem inštitutu FAGG razvili poseben program ARCMENU, ki proceduralno združuje vrsto zapletenih ukazov v enostavnejšo uporabo s pomočjo izdelanih menujev in je tako dostopen širšemu krogu uporabnikov.

#### ZASNOVA GEOGRAFSKO-INFORMACIJSKEGA SISTEMA NA SLOVENSКИH ŽELEZNICAH

Osnova železniškemu geografskemu sistemu (RAGIS) je železniška infrastruktura z vsemi spremljajočimi objekti in dejavnostmi, ki se nanjo nanašajo. Kot drugi informacijski sistemi je tudi ta razdeljen na štiri vsebinske sklope:

- baza podatkov
- poročilni sistem
- optimizacijski modeli in planiranje
- ekspertni sistemi

Iz naslednje slike se vidijo nivoji sistema in tok podatkov.

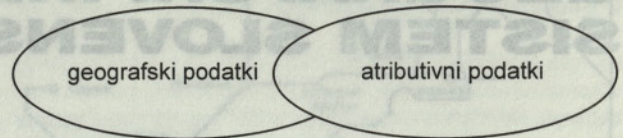


#### BAZA PODATKOV

Baza podatkov je pri GIS razdeljena na dva dela: geografski in atributivni del. Oba sta med seboj tesno povezana.

Baza podatkov se polni in ažurira na različne načine. Večinoma se podatki zbirajo na posameznih sekcijah za vzdrževanje prog (Ljubljana, Maribor, Celje, Novo mesto in Nova Gorica), torej na mestu njihovega nastanka. Tako dobimo dislocirano bazo podatkov.

#### BAZA PODATKOV



Glede na naravo problema je sistem obravnavan na strateškem nivoju (splošni podatki in analize za celotno mrežo SŽ) in na operativno detajlnem nivoju (detajlni podatki in izmere na progovnih odsekih in postajah).

#### STRATEŠKI NIVO

Baza podatkov je logično razdeljena na osnovne podatke o prostoru (železniška mreža, skenirane karte, ceste, reke, raba prostora itd.) in atributive podatke (objekti in elementi železniške infrastrukture, ekonomski podatki itd.). Atributivni podatki so zbrani po ključnem atributu v sistemu, to je stacionaži. Glede na stacionažo se podatki lokacijsko prenesejo na mrežo železniških prog, ki je v sistem vnešene prek digitalizacije geografskih kart merila 1 : 50.000. Izdelan je tudi program, ki omogoča transformiranje stacionaž v geografske koordinate in obratno.

Atributivni podatki se zbirajo na sekcijah za vzdrževanje prog. Ta način pomeni težišče pridobivanja podatkov v novem sistemu. Na podlagi standardov za posamezne objekte in elemente železniške infrastrukture so izdelani posebni vnosni menuji s pomočjo programskega paketa MS FOXPRO. Sistem omogoča samostojno obdelavo podatkovne baze brez nujne instalacije paketa ARC/INFO. Posebej so vgrajeni tudi šifranti, ki zagotavljajo enoličnost vnosov na različnih lokacijah.

Podatki v manjšem obsegu, ki jih je smotno predstavljati le na celotni mreži in katerih namen je izpolnjevanje trenutne potrebe in zahteve uporabnika (ekologija, promet, shematski prikazi ipd.), se zbirajo centralno na enem mestu.

V prostorsko bazo so vključeni tudi podatki o omrežju cest, o vodah in uporabi prostora.

#### Vsebinska razdelitev baze podatkov strateškega nivoja

Vsebinsko kategorije podatkov razdelimo na informacijske sklope, ki pomenijo posamezne sloje istovrstnih elementov, kot so geodetska prostorska mreža, topografija (relief, objekti), zemljiški kataster, infrastruktura, geološke karakteristike tal, izraba tal, varstvo okolja, administrativne razdelitve prostora, planiranje, prometni in blagovni tokovi, itd. Informacijski sloji so med sabo enakovredni in sestavljajo le logično enoto istovrstnih podatkov, ki so predmet določene dejavnosti, ali služb, ki jih operativno obdelujejo.

Osnova za povezovanje posameznih slojev je koordinata, ki je ključna vez med posameznimi informacijskimi sloji. V sistemu RAGIS so trenutno podatki razdeljeni na naslednje informacijske sklope:

1. Zgornji ustroj
2. Spodnji ustroj
3. Objekti
4. meje upravnih območij
5. Oprema prog
6. Promet
7. Ekologija

Vsak od teh sklopov vsebuje več informacijskih slojev.

### OPERATIVNO DETAJLNI NIVO

To je temeljni nivo vsakega dobrega geografskega informacijskega sistema. Ključni atribut sta Gauss-Krügerjevi koordinati  $x$  in  $y$ . Baza je zaradi količine podatkov razdeljena na manjša področja, območja postaj in medpostajna območja. Podatki (nadzemski in podzemski) se zajemajo v pasu 200 m levo in desno od proge. Med izvajanjem pilotne študije smo ugotovili, da nam javna geodezija ne daje dovolj točnih geografskih podatkov. Za detajlni nivo bo treba zajemati podatke v izvorni natančnosti, to je z geodetskimi tahimetričnim snemanjem (pozneje mogoče z geografskim pozicijskim sistemom – GPS). Ti enkrat zajeti natančni geografski podatki so namenjeni tako vzdrževanju projektnega stanja, možnim optimizacijam kot poznejši podpori strateškim odločitvah na ravni celotne uprave SŽ. Struktura in vsebina atributivnih podatkov je enaka kot na strateškem nivoju. Za vsak sloj je izdelan standard tako glede načina geodetskega snemanja kot

tudi vsebine in oblike atributov. Istovrstni sloji so po obliki v različnih področjih enaki, tako da se lahko enostavno združujejo oziroma primerjajo.

### Vsebinska razdelitev baze podatkov

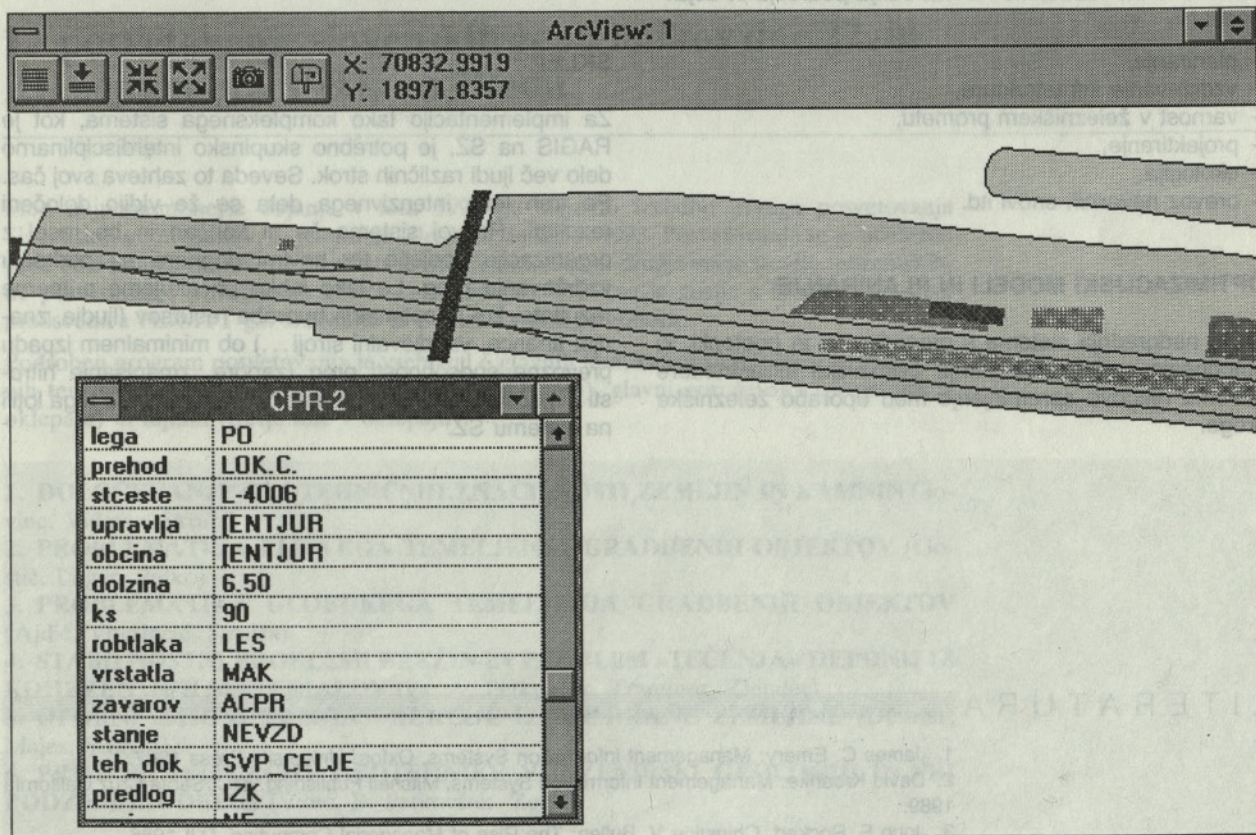
Tako kot na strateškem nivoju je tudi tu podatkovna baza razdeljena na informacijske sklope istovrstnih elementov. Ti so praktično enaki kot na strateškem nivoju. Seveda pa operativno detajlni nivo vsebuje še nekaj sklopov, ki za strateškega niso zanimivi (geodetske meritve, podzemni kataster vodov, postajni tiri...).

Vseh slojev na tem nivoju za potrebe infrastrukture bo nekje med 100 in 200. Ker je količina podatkov omembe vredna, bomo bazo podatkov polnili mozaično. Ko bo polna, bo popolnoma zamenjala strateški nivo. Med polnjenjem se bosta, glede na nova dognanja v vzdrževanju in upravljanju z infrastrukturo, spreminjali tudi vsebina in struktura podatkov.

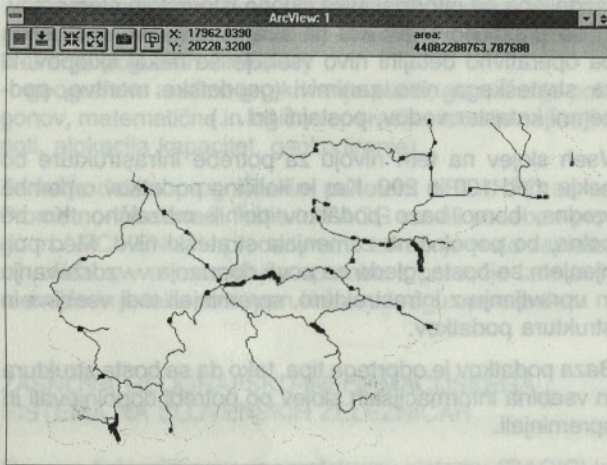
Baza podatkov je odprtega tipa, tako da se bosta struktura in vsebina informacijskih slojev po potrebi dopolnjevali in spreminjali.

### POROČILNI SISTEM

Osnovno nadgradnjo baze podatkov sestavljajo tisti aplikativni programi in procedure, ki omogočajo različne



preglede, izrise in obravnavanje podatkov glede na različne zahteve. Osnovni rezultati sistema so selektivni in zbirni tabelarni in grafični pregledi ter izrisane karte. Sam sistem smo zasnovali tako, da je mogoče dobiti nekatera standardna poročila o stanju železniške infrastrukture. Prvi konkretni rezultati se kažejo v naraščajočih potrebah uporabnikov po poročilih, največ v obliki kart.

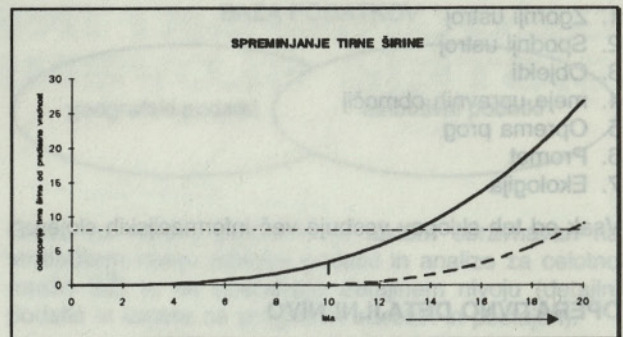


Drugi del pa je uporaba RAGIS, namenjena specifičnim uporabnikom. Z njimi je treba že prej sodelovati in poznati njihove zahteve, da lahko tvorimo bazo in jo napolnimo z vsemi potrebnimi podatki. Samo specifično nadgradnjo sistema lahko razdelimo na naslednja področja in dejavnosti:

- planiranje,
- vzdrževanje infrastrukture,
- varnost v železniškem prometu,
- projektiranje,
- ekologija,
- prevoz nevarnih snovi itd.

#### OPTIMIZACIJSKI MODELI IN PLANIRANJE

To je nadgradnja sistema s procedurami in postopki, ki omogočajo spremljanje stanja železniške infrastrukture oziroma njegovo spreminjanje med uporabo železniške proge.



Na podlagi tabelarnih poročil, grafičnih diagramov in geografskih kart se planira vzdrževanje (redno in investicijsko).

Na tem in prejšnjem nivoju imamo povezavo z informacijskim sistemom železniškega prometa. Od tam dobimo informacije o letni dinamiki prometa na progah sistema Slovenskih železnic. V prihodnosti imamo v načrtu neposredno povezavo obeh sistemov.

#### EKSPERTNI SISTEMI

Ko bomo na podlagi geografsko-informacijskega sistema dejansko pridobili dovolj izkušenj, načrtujemo izdelavo ekspertnega sistema, ki bo zajemal vse do zdaj opisane nivoje informacijskega sistema.

#### SKLEP

Za implementacijo tako kompleksnega sistema, kot je RAGIS na SŽ, je potrebno skupinsko interdisciplinarno delo več ljudi različnih strok. Seveda to zahteva svoj čas. Po treh letih intenzivnega dela se že vidijo določeni rezultati. Razvoj sistema še ni končan in bo rasel z organizacijo podjetja ter novimi dognanji na področju vzdrževanja prog. Le tako lahko pričakujemo primerne rezultate, kot je optimalna uporaba resursov (ljudje, znanje, finance, vzdrževalni stroji...) ob minimalnem izpadu prevozne sposobnosti prog (zapore, zmanjšanje hitrosti...). Želeli smo vam predstaviti, kako smo se tega lotili na sistemu SŽ.

#### LITERATURA

1. James C. Emery: Management information Systems, Oxford University Press 1987.
2. David Kroenke: Management Information Systems, Mitchell Publishing, INC./Santa Cruz California 1989.
3. John F. Rockart, Christine V. Bullen: The Rise of Managerial Computing, DJI 1986.

## **Predstavitev dela SLOVENSKEGA GEOTEHNIČNEGA DRUŠTVA za obdobje 1992 (ustanovitev) do leta 1993**

V številki 1-2 Gradbenega vestnika, Ljubljana, januar-februar 1993, je bila na straneh 27 do 32 natisnjena Informacija v zvezi z ustanovitvijo SLOVENSKEGA GEOTEHNIČNEGA DRUŠTVA. V njej smo v uvodnem delu popisali razvoj mehanike tal in temeljenja v svetu in pri nas, nato pa smo podali potek priprav na ustanovitev društva ter obširno poročilo o poteku ustavnovne skupščine društva, ki je bila dne 10. julija 1992 v Valvasorjevi dvorani Cankarjeva doma v Ljubljani.

Društvo je po ustanovni skupščini in sprejemu v članstvo Mednarodnega društva za mehaniko tal in temeljenje (International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering – ISSMFE), Mednarodnega društva za mehaniko kamnin (International Society for Rock Mechanics – ISRM) in Združenja za inženirsko geologijo – IAEG), vse pod krovno organizacijo SLOVENSKEGA GEOTEHNIČNEGA DRUŠTVA – začelo uresničevati načrtani program dela. Občasno izdaja NOVICE Slovenskega Geotehničnega društva (doslej sta izšli dve številki), ustanovilo je 11 delovnih skupin, od katerih so nekatere že začele uspešno delovati. Za XIII. mednarodno konferenco iz mehanike tal in temeljenja, ki bo januarja 1994 v New Delhiju, smo poslali tri referate, ki jih je Org. odbor XIII. ICOSMFE sprejel v objavo in več članov društva je aktivno sodelovalo na Mednarodnih posvetovanjih.

### **1. posvetovanje slovenskih geoteknikov dne 22. in 23. septembra 1993, na Bledu**

Med najpomembnejše dejanje v letu 1993 pa štejemo izvedbo prvega posvetovanja Slovenskih geoteknikov, ki je bilo na Bledu 22. in 23. 9. 1993. Posvetovanja se je udeležilo prek 50 domačih članov, medtem ko se zaradi zadržanosti drugje večje število inozemskih, na posvetovanje povabljenih gostov, ni udeležilo. Prišli so le gostje s Hrvaške, in sicer predsednica HDMTT ga. B. Marić in 3 člani Izvršnega odbora.

Podroben program posvetovanja je vseboval 6 glavnih tem, kakor sledi (vodstva posameznih tem so prevzeli predsedniki (prvo ime v oklepaju), glavni poročevalci (drugo ime v oklepaju) in tajniki (tretje ime v oklepaju):

- 1. DOLOČEVANJE GEOTEHNIČNIH ZNAČILNOSTI ZEMLJIN IN KAMNIN** (Sovinc, Vidmar, Škrabl)
- 2. PROBLEMATIKA PLITVEGA TEMELJENJA GRADBENIH OBJEKTOV** (Gostič, Logar, Pulko)
- 3. PROBLEMATIKA GLOBOKEGA TEMELJENJA GRADBENIH OBJEKTOV** (Ajdič, Vogrinčič, Strniša)
- 4. STABILNOSTNI PROBLEMI BREŽIN IN PROBLEM »TEČENJA« DEPONIJ IZ KOHERENTNIH MATERIALOV** (ga. A. Petkovšek, Tranuner, Žlender)
- 5. OPORNI ZIDovi IN KONSTRUKCIJE IZ ARMIRANE ZEMLJINE** (Demšar, Majes, Schrott)
- 6. PRIMERI APLIKACIJE GEOTEHNIKE V INŽENIRSKI GEOLOGIJI IN PRI PODZEMNIH DELIH** (Vidic, B. Petkovšek, Zorič)

**SLOVENSKO GEOTEHNIČNO DRUŠTVO** združuje danes okrog 70 visoko specializiranih strokovnjakov s področja geotehnike in ga podpira prek 15 različnih delovnih organizacij in institucij. Po ustanovni skupščini leta 1992 je društvo začelo uresničevati in ustanovni skupščini predlagane in sprejete tekoče naloge:

- usklajevanje predpisov za temeljenje R Slovenije z Evrocode 7 ter standardov za preiskave zemljin in kamnin z ISO Standardi,
- urejanje tehnične regulative,
- strokovna opora novi usmeritvi: okolje in geotehnika,
- strokovno sodelovanje pri zasnovah površinskih in podzemnih deponij,
- skrb za vzgojo mladih geotehničnih strokovnjakov,
- vključevanje članov društva v inozemske in domače raziskovalne in razvojne projekte,
- ažuriranje in popis računalniških programov iz geomehanike in poenotenje programov za izdelavo geotehničnih kart nekaterih mest R Slovenije.

Za navedenih šest glavnih tem je bilo predloženih 16 referatov, ki so uvezani v lično publikacijo z naslovom:

**RAZPRAVE** prvega posvetovanja slovenskih geoteknikov, Bled '93, Bled, 22. in 23. septembra 1993. 1. knjiga ima 135 strani, drugo knjigo mislimo izdati do konca tega leta in bo vsebovala poročila glavnih poročevalcev in diskusije po glavnih temah. Na koncu zvezka je natisnjeno, da so 1. posvetovanje slovenskih geoteknikov Bled '93 s finančno podporo omogočili pokrovitelj **MINISTRSTVO ZA ZNANOST IN TEHNOLOGIJO REPUBLIKE SLOVENIJE** in sponzorji

**ISTRABENZ** – Instalacije Sermin, Koper,

**SCT** Ljubljana,

**GZL** Ljubljana,

**ZRMK** Ljubljana in

**CESTNO PODJETJE** Koper.

Dne 23. 9. 1993 popoldne je bila skupščina društva. Obširnejši zapis o njej bo v 2. knjigi **RAZPRAV**, ki bo izšla predvidoma do konca leta 1993.

Obe knjigi **RAZPRAV** 1. posvetovanja slovenskih geoteknikov Bled '93 lahko naročite na tajništvu Slovenskega geotehničnega društva, Ljubljana, Jamova 2.



# ZAOSTALE NAPETOSTI PRI MIKROLEGIRANIH JEKLIH VISOKE TRDNOSTI

UDK 691.71:621.791

DARKO BEG, LEON HLADNIK

## POVZETEK

V članku je opisano eksperimentalno določevanje velikosti in razporeda zaostalih napetosti, ki so se razvile kot posledica varjenja. Meritve smo opravili na šestih preizkušancih (varjeni I-profil) iz jekel visoke trdnosti Nionical 70 in Niomol 490. Uporabili smo mehansko metodo z razrezom konstrukcije okoli merskih mest. Zaostale deformacije smo merili z električnimi merilnimi lističi. Ugotovili smo, da pri jeklih visoke trdnosti natezne zaostale napetosti na področju zvarov ne dosegajo napetosti na meji plastičnosti, tlačne zaostale napetosti pa so relativno manjše kot pri mehkih konstrukcijskih jeklih. Na podlagi izmerjenih zaostalih deformacij smo določili idealizirane poteke zaostalih napetosti po prerezu, ki so primerni za nelinearno numerično analizo jeklenih konstrukcij.

## RESIDUAL STRESSES AT HIGH-STRENGTH MICRO-ALLOYED STEELS

## SUMMARY

The article presents the experimental analysis of the distribution of residual stresses developed due to welding. The measurements have been performed on six welded I-profiles of high strength steels Nionical 70 and Niomol 490. The residual strains have been measured with electric strain gauges after saw-cutting of the structure around the measuring points. It has been established that at high-strength steels tensile residual stresses around the weld do not reach the yield stress, whereas compressive residual stresses are relatively smaller than at mild structural steels. On the basis of the measured residual strains the idealised distributions of residual stresses over the cross-section which are appropriate for nonlinear analysis of steel structures have been determined.

**Avtorja:**

doc. dr. Darko Beg, dipl. inž. gradb., FAGG, Katedra za metalne konstrukcije in gradiva, Jamova 2, Ljubljana  
Leon Hladnik, dipl. inž. gradb., FAGG, Katedra za metalne konstrukcije in gradiva, Jamova 2, Ljubljana

### 1.0 UVOD

Večina predpisov za nosilne jeklene konstrukcije v gradbeništvu (1) predvideva uporabo mehkih konstrukcijskih jekel z mejo plastičnosti  $\sigma_v$  do 430 Mpa. Teh predpisov ne moremo direktno uporabiti za mikrolegirana jekla

visokih trdnosti, ki imajo  $\sigma_v$  do 1000 Mpa. Problemi, ki so značilni za jekla visoke trdnosti, so varivost, krhki lom, majhno razmerje natezne trdnosti proti meji plastičnosti, velikost porušnega raztezka in zaostale napetosti. Slednje imajo zelo velik vpliv predvsem na stabilnost konstrukcij, kot so zlasti uklonska nosilnost tlačnih palic in bočna zvrnitev upogibnih nosilcev. Zaostale napetosti se v konstrukciji razvijejo zaradi različnih proizvodnih procesov, med katerimi je zelo pomembno varjenje. Potek in velikost zaostalih napetosti kot posledica varjenja pri jeklenih nosilcih iz mehkih konstrukcijskih jekel sta dodobra raziskana. Prav tako je znan in vključen v sodobne predpise (evropske uklonske krivulje (1)) vpliv zaostalih napetosti pri mehkih konstrukcijskih jeklih na stabilnost konstrukcijskih elementov. V literaturi (2) najdemo trditev, da so v primeru uporabe jekel visoke trdnosti največje natezne napetosti na področju zvarov manjše od meje plastičnosti osnovnega materiala, s čimer je manjši tudi relativni nivo tlačnih napetosti. V primeru uporabe mehkih konstrukcijskih jekel pa je osnovni material v območju zvarov praviloma plastificiran. Zaradi tega naj bi bil tudi vpliv zaostalih napetosti na stabilnost konstrukcijskih elementov iz jekel visoke trdnosti manjši kot pri elementih iz mehkih konstrukcijskih jekel. Kvantitativni podatki o velikosti in razporeditvi zaostalih napetosti pri varjenih jeklenih nosilcih iz jekel visoke trdnosti so skromni oziroma jih praktično ni.

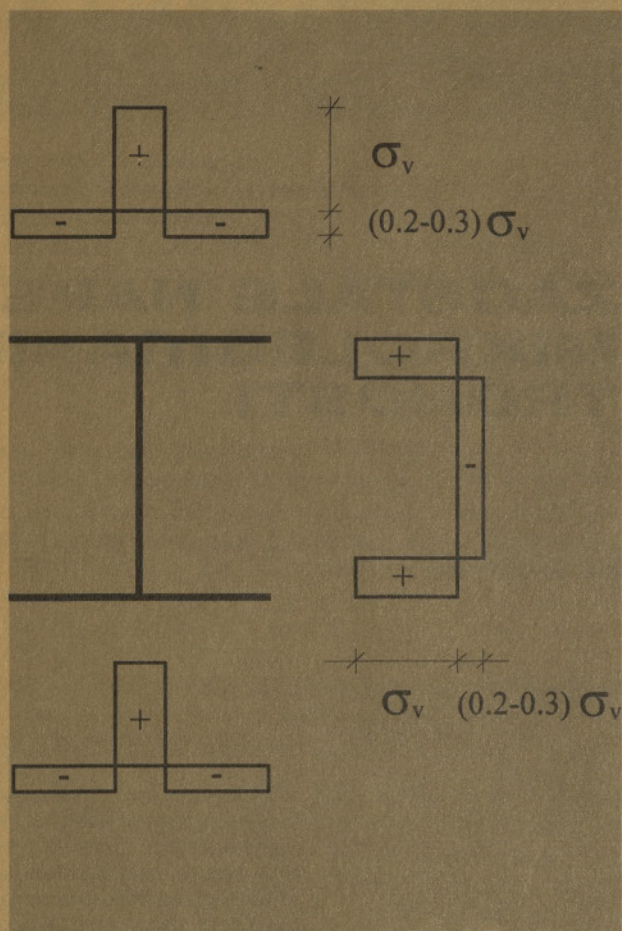
Da bi prišli do kvantitativnih podatkov, smo se lotili eksperimentalnega določevanja velikosti in razporeditve zaostalih napetosti (3) na šestih preizkušancih različnih prereзов iz mikrolegiranega jekla visoke trdnosti različnih kvalitet, ki smo jih razvrstili v tri skupine. Pri tem smo uporabili relaksacijsko metodo z razrezom konstrukcije okoli merskih mest, sproščene zaostale deformacije pa smo merili z električnimi merilnimi lističi. V nadaljevanju smo na podlagi izmerjenih deformacij določili dejanski in idealizirani razpored zaostalih napetosti po prerezu.

## 2.0 ZAOSTALE NAPETOSTI KOT POSLEDICA VARJENJA

Zaostale napetosti so napetosti, ki ostanejo v materialu kot posledica plastičnih deformacij in neenakomernega ohlajanja materiala. Zelo segrete cone v območju zvarov se pri ohlajanju hočejo skrčiti. Hladnejše cone, ki so bolj oddaljene od mesta zvara, pa krčenje segreth con preprečujejo. Del zaostalih napetosti povzročajo tudi strukturne in kemične spremembe jekla (austenit preide v ferit) v neposredni okolici zvara, ki so povezane s spremembo prostornine. Na velikost in razpored zaostalih napetosti varjenih nosilcev vplivajo predvsem: geometrija prereзов, vrsta varjenja, debelina zvarov, hitrost varjenja, vnesena energija in stopnja ohlajevanja. Slika 1 prikazuje idealizirani potek zaostalih napetosti pri varjenem I-profilu iz mehkega konstrukcijskega jekla.

Ostali glavni proizvodni procesi, ki povzročijo nastanek zaostalih napetosti, so: vroče valjanje jeklenih profilov, hladno oblikovanje jeklenih profilov, toplotno obdelovanje

ter mehansko in plamensko rezanje pločevine (4).



Slika 1. Idealizirani potek zaostalih napetosti varjenega I-profila iz mehkega konstrukcijskega jekla

## 3.0 METODE DOLOČEVANJA ZAOSTALIH NAPETOSTI

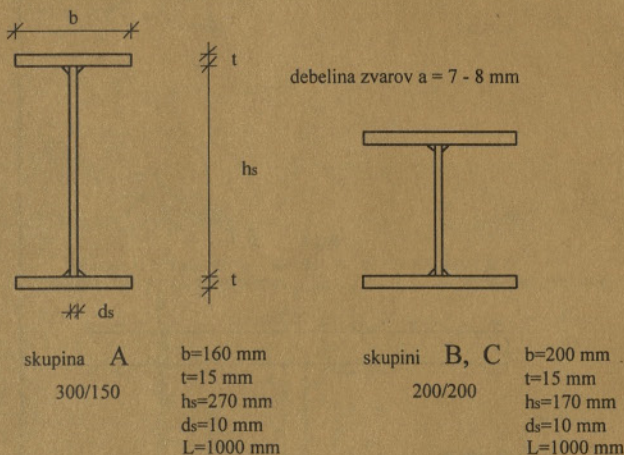
Za določanje zaostalih napetosti se uporabljajo naslednje metode: mehanska relaksacijska metoda, metoda z uporabo refrakcije rentgenskih žarkov, metoda z uporabo ultrazvoka, magnetno-električna metoda, numerična metoda (3). V raziskavi smo uporabili mehansko relaksacijsko metodo z razrezom konstrukcije okoli merskih mest (5), pri kateri z mehanskim ekstenzometrom ali z električnimi merilnimi lističi merimo sproščene deformacije. Prednost metode je natančnost, saj lahko pri meritvah zaostalih napetosti dosežemo natančnosti pod 5 % glede na mejo plastičnosti, pri ostalih metodah pa se natančnosti gibljejo med 10 in 25 % meje plastičnosti. Začetna investicija ni velika, zato pa so nadaljnji stroški, povezani z vsakim merskim mestom, toliko večji in tudi čas, potreben za raziskave, je daljši. Ker nas zanimajo predvsem vzdolžne zaostale napetosti, ki imajo poglobilni vpliv na stabilnost linijskih konstrukcijskih elementov, je ta metoda povsem primerna.



#### 4.0 EKSPERIMENTALNO DOLOČEVANJE RAZPOREDA ZAOSTALIH NAPETOSTI

##### 4.1. Izbira in opis preizkušancev

Za izvedbo eksperimenta smo izbrali šest preizkušancev, zvarjenih I-profilov, ki smo jih razvrstili v tri skupine A, B in C. Pasnice in stojine preizkušancev skupin A in B so bile izrezane iz vroče valjane pločevine (6) kvalitete Nionical 70 z nazivno mejo plastičnosti  $\sigma_v = 700$  Mpa, preizkušanci skupine C pa so bili izrezani iz vroče valjane pločevine kvalitete Niomol 490 z nazivno mejo plastičnosti  $\sigma_v = 490$  Mpa. Slika 2 prikazuje izbrane dimenzije preizkušancev. Da bi se izognili robnim vplivom, mora biti dolžina preizkušancev vsaj dvakrat večja od njihove višine (7). Izbrana dolžina preizkušancev je bila 1000 mm, kar je v skupini A 3,33-kratna višina preizkušanca, v skupinah B in C pa 5-kratna višina preizkušanca.



skupina	preizkušanec	material
A	P1,P2	Nionical 70
B	P3,P4	Nionical 70
C	P5,P6	Niomol 490

Slika 2. Izbrane dimenzije preizkušancev

Nosilci so bili zvarjeni ročno z obločnim varjenjem ob uporabi elektrod Tenacito 80  $\varnothing$  4 mm pri skupinah A in B in ob uporabi oplašenih elektrod EVB NiMo  $\varnothing$  4 mm

za skupino C. Varjenje je bilo trovarkovno. Napetost je bila 22 V, tok pa 160 A. Hitrost varjenja je znašala 13 cm/min, debelina zvarov pa med 7 in 8 mm. Dejanske dimenzije so nebstveno odstopale od nazivnih.

##### 4.2. Mehanske lastnosti materiala

Vse pasnice preizkušancev, ki so bile iz enakega materiala, so bile izrezane iz iste plošče, enako velja tudi za stojine. Za vsako vrsto materiala in za vsako debelino pločevine sta bila odvzeta po dva vzorca za natezni preizkus, pri čemer smo uporabili proporcionalne preizkušance. Vzorca so bili odvzeti v vzdolžni smeri nosilcev, v kateri se razvijajo prevladujoče zaostale napetosti. Povprečne vrednosti mehanskih karakteristik preizkušanih vzorcev so prikazane v preglednici 1. Iz izmerjenih količin je razvidno, da imajo vsi materiali le minimalno utrditev, kar je znana lastnost jekel visoke trdnosti. Razmerje med natezno trdnostjo in mejo plastičnosti ( $R_M/\sigma_v$ ) znaša najmanj 1,06 in največ 1,13.

##### 4.3. Opis eksperimenta

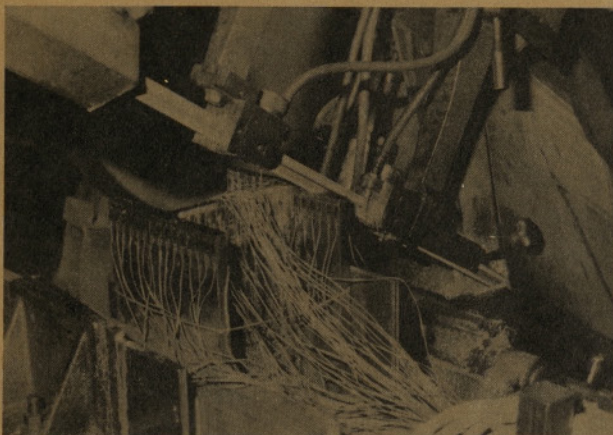
Razrez preizkušancev smo opravili s pomočjo tračne žage z nastavljivo hitrostjo žaganja in dotokom hladilne emulzije. Postopek razreza preizkušanca je prikazan na sliki 3. Deformacije smo merili z električnimi merilnimi lističi z upornostjo 120  $\Omega$ . Za merjenje vzdolžnih deformacij smo uporabili lističe z merilno dolžino 6 mm, ki so bili prekriti z varovalno folijo. Za merjenje prečnih deformacij pa smo uporabili lističe brez zaščitne folije, in sicer dolžine 2 mm in dolžine 3 mm. Vsi merilni lističi so bili priključeni na univerzalni merilni instrument UHP 3200 – Hottinger Baldwin Messtechnik. Najprej je bil narejen prečni rez, nato pa vrsta vzdolžnih rezov med merilnimi lističi. Razpored merilnih lističev je razviden iz slike 4.

##### 4.4. Rezultati eksperimentov

Iz zaostalih vzdolžnih deformacij, ki smo jih merili na obeh straneh pločevin, smo s pomočjo Hookovega zakon izračunali pripadajoče napetosti. Rezultati za končne sproščene vzdolžne zaostale napetosti so prikazani na sliki 5. Poleg tega pa so prikazane tudi povprečne zaostale napetosti, ki predstavljajo zaostale napetosti v srednji črti

Preglednica 1: Mehanske lastnosti materiala (povprečne vrednosti)

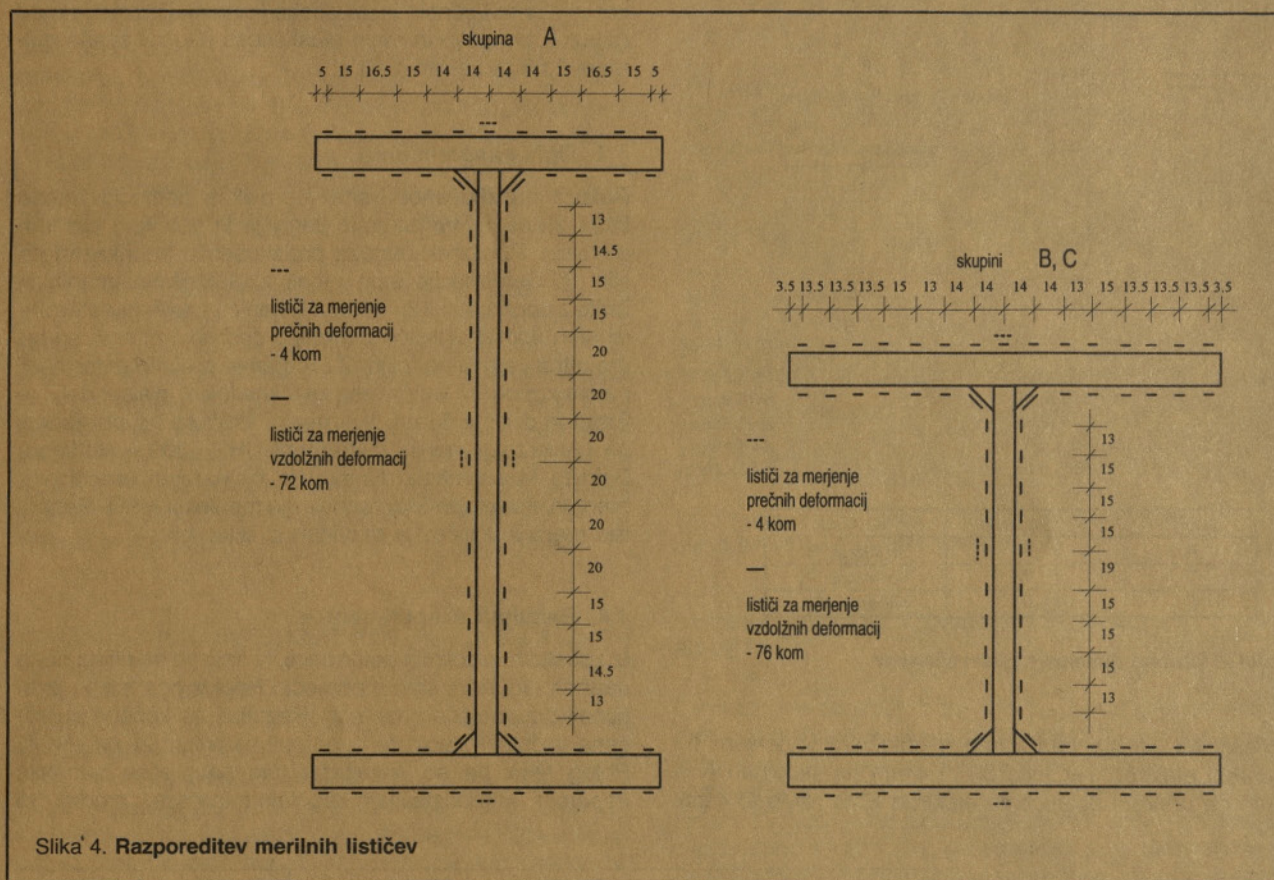
Klasifikacija glede na izmerjene lastnosti	Mesto odvzema vzorca	Meja plastičnosti $\sigma_v$ (Mpa)	Natezna trdnost $R_M$ (Mpa)	Raztezek po pretrgu A (%) - 5d	Kontrakcija prereza Z (%)	$R_M/\sigma_v$
Nionical 70 t = 10	stojina – skup. A, B	810	856	13,6	47,5	1,06
Nionical 60 t = 15	pasnica – skup. A, B	580	659	20,1	61,5	1,13
Niomol 490 t = 12	stojina – skupina C	525	583	20,1	64,5	1,11
Niomol 490 t = 15	pasnica – skupina C	540	603,5	21,9	64,5	1,12



Slika 3. Razrez preizkušanca

tlačnih napetosti pasnice. Seveda so zato rezultante natezних zaostalih napetosti v stojini in samem zvaru večje od rezultante tlačnih zaostalih napetosti stojine. To je verjetno posledica tanjše stojine, ki je podvržena tudi varjenju na dveh straneh in prejme večji delež toplotne energije.

Kvalitativno je razpored zaostalih napetosti enak kot pri mehkih jeklih. Na ožjem območju zvara imamo velike natezne zaostale napetosti, v srednjem delu stojine in na delih pasnic bližje robu pa tlačne napetosti. Meritve so potrdile domnevo (2), da pri jeklih visoke trdnosti največje natezne napetosti na območju zvara ne dosežejo meje plastičnosti (skupini A, B – povprečna natezna napetost na zvaru je znašala 455 Mpa), kot je to običajno pri mehkih konstrukcijskih jeklih. Ta ugotovitev je razvidna tudi iz redkih rezultatov tujih raziskav zaostalih napetosti

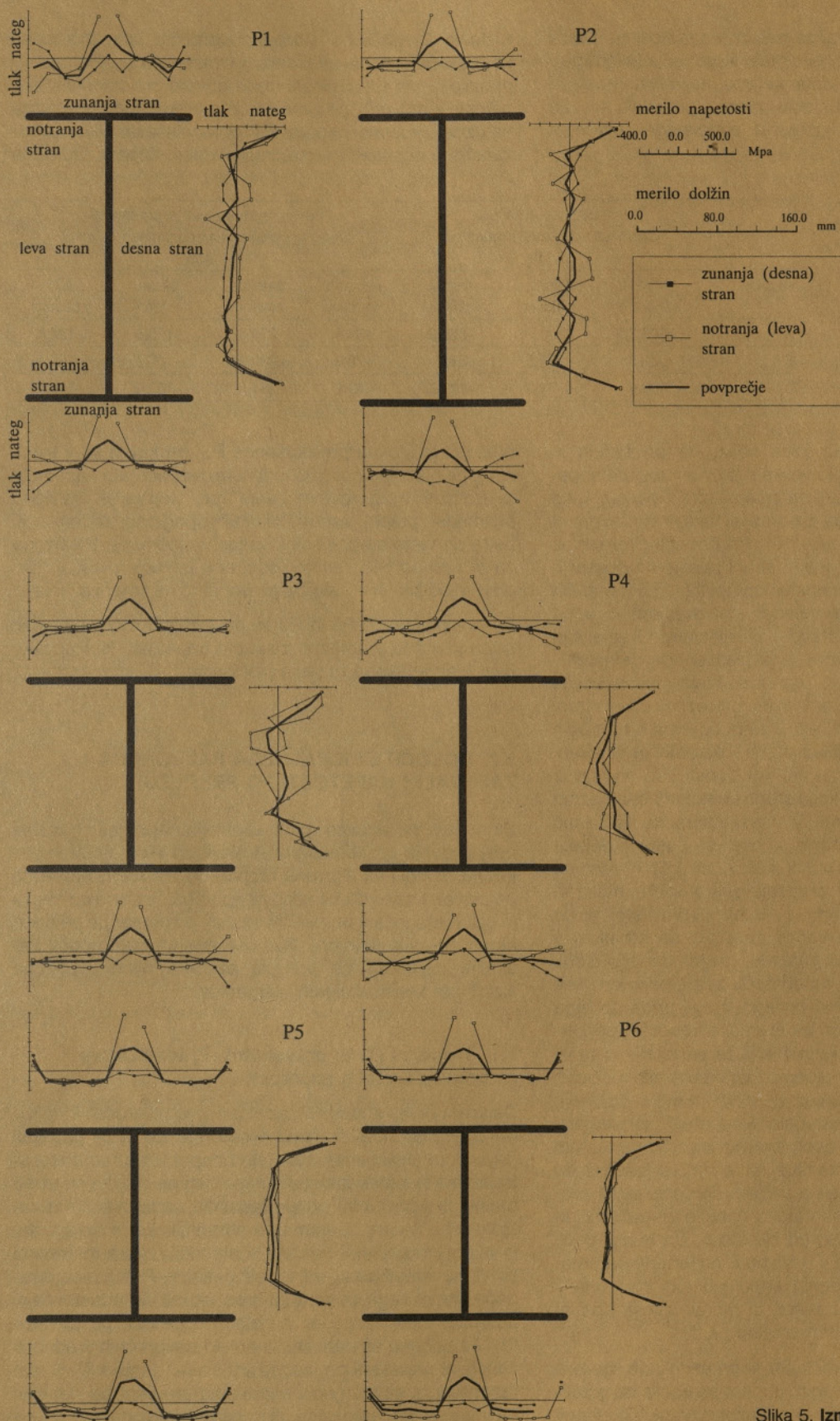


Slika 4. Razporeditev merilnih lističev

prereza ob upoštevanju linearnega poteka zaostalih napetosti po debelini. Največja neuravnotežena rezultanta zaostalih napetosti po prerezu se pojavi pri preizkušancu P6 in znaša 2,56% polnplastične sile prereza  $P_v$ .

Med računom rezultante zaostalih napetosti smo opazili, da posamezni deli prereza, pasnice in stojine, sami niso uravnoteženi. Rezultanta natezних napetosti v pasnici na območju zvara znaša pri skupini A 56%, pri skupini B 42% ter pri skupini C 56% (če v skupini C upoštevamo tudi natezne napetosti na robovih, znaša 70%) rezultante

pri zvarjenih nosilcih iz jekel visoke trdnosti (8, 9). Nekatere največje in povprečne napetosti so prikazane v preglednici 2. V skupini C (povprečna natezna napetost na zvaru je 495 Mpa), pri kateri smo uporabili material z nižjo vrednostjo meje plastičnosti kot v skupini A in B, pa so napetosti na zvarih blizu meje plastičnosti osnovnega materiala. Ker se material pri jeklih visoke trdnosti v območju zvara ne plastificira, so tudi povprečne tlačne napetosti v pasnicah ( $0,12-0,18\sigma_v$ ) in stojini relativno nižje kot pri mehkih konstrukcijskih jeklih ( $0,2-0,3\sigma_v$ ). Pri skupi-



Slika 5. Izmerjene zaostale napetosti

nah A in B znaša povprečna natezna napetost na zvaru 455 Mpa, pri skupini C pa je le malenkost večja (495 Mpa). Iz tega lahko sklepamo, da je velikost največjih zaostalih natezних napetosti v območju zvarov pri jeklih visoke trdnosti neodvisna od kakovosti osnovnega materiala (meje plastičnosti).

Preglednica 2: **Nekatere vrednosti rezultatov eksperimentov**

skupina	Izmerjene maksimalne napetosti (v posamezni skupini) – Mpa			Povprečne napetosti na srednji črti prereza (maksimalna v posamezni skupini) – Mpa			
	natezna na zvaru	tlačna v stojini	tlačna v pasnici	natezna v stojini	natezna v pasnici	tlačna v stojini	tlačna v pasnici
A	508,7	–323,0	–355,9	484,8	239,5	–175,6	–138,5
B	501,8	–289,5	–355,1	478,5	233,9	–127,8	–162,4
C	576,4	–174,3	–191,5	513,2	231,8	–100,6	–146,9

Za mehka konstrukcijska jekla velja, da pri tankih in srednjih prerezi nastopajo velike natezne zaostale napetosti na območju zvara tudi na zunanji strani pasnic, tako da je plastificirana celotna pasnica ali vsaj večji del njene debeline na območju zvara (10). Pri debelih prerezi iz mehkih jekel pa so na zunanji strani pasnic na območju zvara lahko tudi tlačne zaostale napetosti (11). Pri debelih pasnicah je torej prisoten napetostni gradient in je le manjši del prereza tik ob zvaru plastificiran. Gradient je prisoten zaradi neenakomernega plastičnega deformiranja in ohlajanja po debelini pasnice. Meje med debelimi na eni strani in srednjimi ter tankimi prerezi na drugi strani ne moremo točno določiti, ker je le-ta odvisna od mnogih parametrov, ki pa niso bili vsi zajeti v omenjenih študijah. V literaturi (11) so opredeljeni kot debeli tisti prerezi iz mehkih konstrukcijskih jekel, katerih debeline posameznih pločevin presegajo 25 mm. V našem primeru, kjer smo uporabili jekla visoke trdnosti, so bile vse pasnice debele 15 mm. Kot lahko vidimo iz rezultatov (slika 5), imamo na notranji strani pasnic na območju zvara velike natezne zaostale napetosti, na zunanji strani nasproti stojine pa se pojavijo celo manjše tlačne zaostale napetosti in v redkih primerih minimalne natezne. Iz omenjenega sledi, da je po debelini pasnice na območju zvara prisoten velik napetostni gradient. Možno razlago, zakaj pride do tega napetostnega gradienta pri jeklih visoke trdnosti v primerjavi z mehкими konstrukcijskimi jekli že pri relativno tanki pločevini (15 mm), lahko najdemo tudi v zaostalih natezних napetostih na področju zvarov, ki so manjše od meje plastičnosti osnovnega materiala. Pri mehkih konstrukcijskih jeklih se področje okoli zvarov plastificira, zaradi česar pride do prerazporeditve napetosti, s tem pa do širjenja plastificirane zone na večjem območju okoli zvarov, ki pri tankih pločevinah lahko doseže zunanji rob in s tem enakomernjši razpored napetosti. Da bi ugotovili, pri kateri debelini oziroma v odvisnosti od katerih parametrov pride do večjih natezних napetosti tudi na zunanji strani pasnice v območju zvara, bi morali izvesti obsežnejšo parametrično eksperimentalno študijo.

Pri preizkušancih P1, P2, P3, P4 je pri vzdolžnih robovih pasnic prisoten lokalni upogib, ki ga s pomočjo razpoložljivih podatkov o izdelavi preizkušancev nismo mogli

razložiti. Drugače pa je potek povprečnih tlačnih zaostalih napetosti precej enakomeren, razen pri zgornji pasnici preizkušanca P1. Splošni trend povprečnih zaostalih napetosti v stojinah pri omenjenih preizkušancih so velike natezne zaostale napetosti v območju zvarov in tlačne zaostale napetosti v srednjem delu stojine. Od tega

odstopa le stojina preizkušanca P3, pri kateri se v srednjem delu stojine pojavijo tudi natezne zaostale napetosti. Iz rezultatov za levi in desni rob stojine je razvidna prisotnost precej velikih lokalnih upogibnih deformacij. Le-te so verjetno posledica valjanja pločevine. Pločevine za stojine so bile verjetno izrezane iz večje plošče, tako da je vzdolžna smer stojine pravokotno na smer valjanja.

Pri preizkušancih P5 in P6 se na skrajnih robovih pasnic pojavijo manjše natezne zaostale napetosti, ki so posledica plamenskega rezanja pločevine.

## 5.0. DOLOČITEV IDEALNEGA RAZPORA ZAOSTALIH NAPETOSTI PO PREREZU

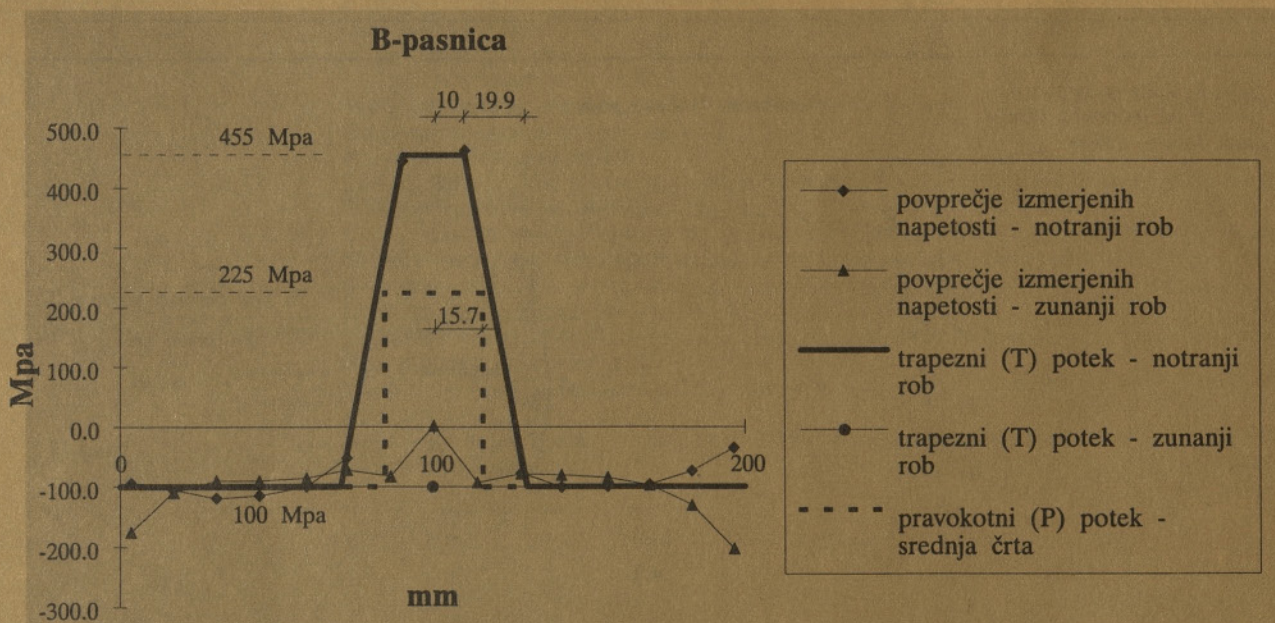
Za numerično analizo vpliva zaostalih napetosti na stabilnost jeklenih gradbenih konstrukcijskih elementov je potrebno določiti idealizirane razpore zaostalih napetosti po prerezu, tako da bo njihova uporaba čim enostavnejša in sploh mogoča v numerični analizi, pri čemer pa se bodo hkrati ohranile bistvene lastnosti realnih razporedov zaostalih napetosti po prerezu oziroma njihov vpliv na stabilnost konstrukcijskih elementov.

### 5.1. Trapezni (T) in pravokotni (P) idealizirani razpored zaostalih napetosti

Dejanski potek zaostalih napetosti smo poskušali idealizirati z dvema idealiziranimi potekoma. Da bi se približali dejanskim izmerjenim zaostalim napetostim, smo izbrali trapezni (T) potek zaostalih napetosti na notranjem robu pasnic in konstantni potek zaostalih napetosti po zunanjem robu pasnic. S tem smo ohranili linearni napetostni gradient po debelini pasnice v območju zvara in linearni potek napetosti po zvaru vzdolž pasnice. Poleg idealiziranega trapeznega razporeda smo izbrali še enostavnejši pravokotni (P) razpored zaostalih napetosti po prerezu (3). Za osnovo so nam služili poteki povprečnih vrednosti zaostalih napetosti po srednji črti prereza (slika 5). S tem razporedom smo izgubili napetostni gradient po debelini pasnice in ga aproksimirali s povprečno vrednostjo na

srednji črti prereza, zanemarili pa smo tudi linearni potek po območju zvara. Tako smo dobili zelo enostaven idealizirani razpored zaostalih napetosti, primeren za numerično analizo jeklenih konstrukcij. Trapezni in pravokotni potek zaostalih napetosti za pasnico skupine B je prikazan na sliki 6. Vidna je primerjava s povprečjem izmerjenih vrednosti zaostalih napetosti. Razlika med potekoma je opazna samo na področju natezних zaostalih napetosti okoli zvara. Za stojino smo uporabili kar poenostavljeni pravokotni razpored zaostalih napetosti, saj imajo zaostale napetosti v stojini precej manjši vpliv na stabilnosti konstrukcijskih elementov kot pa zaostale napetosti po pasnici. Pri tem smo pazili na kvantitativno razporeditev tlačnih in natezних zaostalih napetosti po prerezu in njihovo uravnoteženost. Največja natezna zaostala napetost v stojini na področju zvara pri našem idealiziranem poteku je bila enaka povprečju izmerjenih zaostalih natezних napetosti na zvarih.

tosti (P) in primere z idealiziranim trapeznim potekom (T), kot so bili določeni za skupino B (slika 6). Za primerjavo smo računali tudi primer, kjer smo uporabili mehko konstrukcijsko jeklo  $\sigma_v = 240$  Mpa, za razpored zaostalih napetosti pa smo upoštevali idealizirani razpored zaostalih napetosti, ki je značilen za mehka konstrukcijska jekla, kot je prikazan na sliki 1 (tlačne napetosti znašajo  $0,25\sigma_v$ ). Rezultati primerjave so prikazani na sliki 7. Diagram prikazuje sovisnost med obtežnim faktorjem in pomikom nosilca pod silo. Kot lahko vidimo, ni med vplivoma trapeznega in pravokotnega razporeda nobene razlike. Zanimiva pa je medsebojna primerjava rezultatov, dobljenih na vzorcih iz jekla visoke trdnosti in mehkega jekla. Zaradi plastifikacije posameznih delov prerezov okoli zvarov je pri mehkih jeklih zmanjšana togost prereza in je tako vpliv zaostalih napetosti na deformabilnost prisoten že pri minimalnih obremenitvah. Pri jeklih visoke trdnosti, pri katerih prerez na začetku ni nikjer plastificiran, pa pride



Slika 6. Idealizirani trapezni in pravokotni razpored zaostalih napetosti – pasnica – skupina B

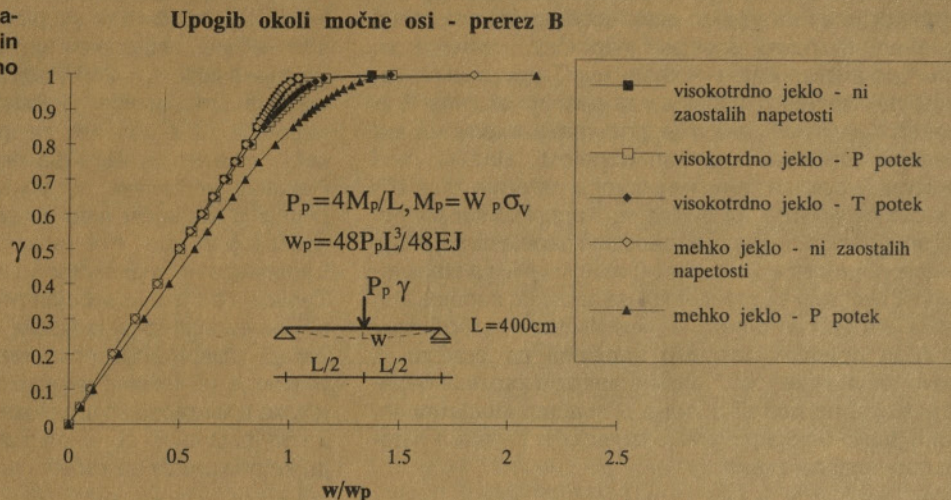
## 5.2. Primerjava med vplivoma trapeznega in pravokotnega idealiziranega poteka zaostalih napetosti po prerezu

Da bi določili razliko med vplivoma trapeznega in pravokotnega idealiziranega poteka zaostalih napetosti, smo v prvem primeru obravnavali prosto ležeč nosilec, obremenjen na sredini z vertikalno točkovno obtežbo, v drugem primeru pa uklon realne palice s prisotnimi geometrijskimi in materialnimi nepopolnostmi. V primeru upogibno obremenjenega nosilca smo uporabili prečni prerez skupine B (slika 2). Uporabljen je bil idealen elastoplastičen material brez utrditve z mejo plastičnosti  $\sigma_v = 580$  Mpa (povprečna meja plastičnosti pasnic v skupinah A in B). Obravnavali smo primere brez zaostalih napetosti, primere z idealiziranim pravokotnim potekom zaostalih nape-

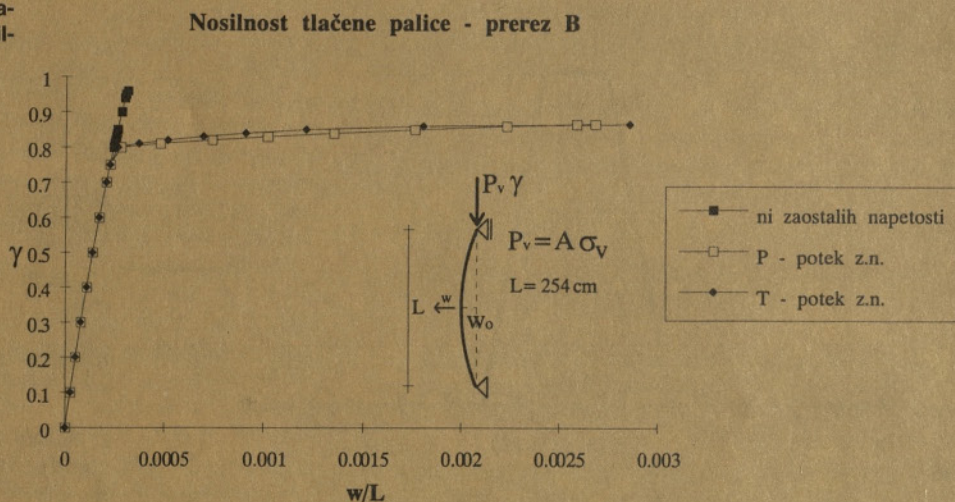
do vpliva zaostalih napetosti na deformabilnost šele pri obtežbah, ki povzročijo plastifikacijo posameznih delov prerezov, s čimer se zmanjša togost prereza. Na mejno nosilnost zaostale napetosti ne vplivajo, povečujejo pa deformabilnost.

V drugem primeru smo obravnavali tlačeno palico z začetnimi geometrijskimi nepopolnostmi v obliki sinusnega polvala ( $w_0 = L/1000$ ). Prečni prerez, razpored zaostalih napetosti in delovni diagram materiala je bil enak kot v prvem primeru. Dolžina palice je bila izbrana tako, da je bila brezdimenzionalna vitkost palice  $\bar{\lambda}$  enaka 0,5. Računali smo nosilnost palice glede na uklon okoli močne osi. V primeru pravokotnega poteka zaostalih napetosti je bila mejna nosilnost enaka  $0,86750 P_v$  ( $P_v$  je polnplastična sila prereza), v primeru trapeznega poteka

Slika 7. Vpliv zaostalih napetosti na nosilnost in deformabilnost upogibno obremenjenega nosilca



Slika 8: Vpliv zaostalih napetosti na uklonsko nosilnost tlačne palice



pa je bila enaka  $0,86700 P_v$ . Vidimo, da med potekoma ni praktično nobene razlike, prisotnost zaostalih napetosti pa zniža nosilnost. To je razvidno tudi iz slike 8. Pri vseh numeričnih računih smo uporabili lastno programsko opremo (program NONFRAN [12]).

## 6.0. SKLEP

Na podlagi naših eksperimentalno določenih potekov in velikosti zaostalih napetosti pri preizkušancih iz jekel visoke trdnosti lahko ugotovimo, da je razpored zaostalih napetosti pri jeklih visoke trdnosti podoben poteku zaostalih napetosti pri mehkih konstrukcijskih jeklih. Za razliko od mehkih konstrukcijskih jekel, pri katerih je področje zvarov plastificirano, so pri jeklih visoke trdnosti največje natezne zaostale napetosti na zvarih precej manjše od

napetosti na meji plastičnosti osnovnega materiala in znašajo od 455 do 495 Mpa. Zaradi tega so pri jeklih visoke trdnosti tlačne zaostale napetosti relativno manjše ( $\sigma_{\text{tlač.-pasnic}} = 0,12-0,18\sigma_v$ ) kot pri mehkih konstrukcijskih jeklih ( $0,2-0,3\sigma_v$ ). Iz rezultatov eksperimentov lahko sklepamo, da največje natezne zaostale napetosti kot posledica varjenja pri jeklih visoke trdnosti niso odvisne od kakovosti materiala (meje plastičnosti).

Zanimiva je tudi ugotovitev, da po debelini pasnice na območju zvara obstoji napetostni gradient (na notranji strani pasnice ob zvaru se razvijejo največje natezne napetosti, na nasprotni strani pasnice pa so večinoma manjše tlačne napetosti) že pri debelini pasnic 15 mm. Pri mehkih konstrukcijskih jeklih pride do pojava napetostnega gradienta le pri pločevinah, debelejših od 25 mm. Za tlačne zaostale napetosti lahko rečemo, da so konstantne po debelini pasnic.

Poleg tega smo ugotovili, da posamezni deli prerezov, pasnice in stojine same zase, niso uravnoreženi. Uravnorežen je prerez v celoti. Rezultanta nateznih zaostalnih napetosti v pasnicah znaša od 42 do 56% rezultante tlačnih zaostalnih napetosti, seveda je zato v stojini rezultanta nateznih zaostalnih napetosti večja od rezultante tlačnih zaostalnih napetosti.

Z numeričnimi izračuni upogibno obremenjenega nosilca in realne tlačne palice z geometrijskimi in materialnimi nepopolnostmi smo ugotovili, da ni bistvene razlike med vplivoma idealiziranih razporedov zaostalnih napetosti, ki smo ju uporabili pri računu. Zato za numerične izračune priporočamo uporabo enostavnejšega pravokotnega (P) razporeda.

## LITERATURA

1. Eurocode No. 3, Design of Steel Structures, Part 1 – General Rules and Rules for Buildings, 1992.
2. K. Masubuchi, Thermal stresses and metal movement during welding structural materials, especially high strength steels, Residual Stresses In Welded Construction and Their Effects, International Conference, London, 15–17 Nov. 1977, The Welding Institute, p. 1–13.
3. D. Beg, L. Hladnik, J. Banovec, Razvoj in uvajanje visokotrnostnih drobnostnih mikrolegiranih jekel, Poročilo o raziskovalni nalogi št. B-649 za obdobje julij 1992 – julij 1993, FAGG, Ljubljana.
4. A. Niku-Lari, Advances in surface treatments: technology-applications-effects, Vol. 4, Residual stresses, Pergamon Press, London, 1987.
5. N. Tebedge, G. Alpsten, L. Tall, Residual-stress Measurement by the Sectioning Method, Experimental Mechanics, February 1973, p. 88–96.
6. Prospekti železarne Jesenice.
7. C. G. Schilling, End Effects for Residual Stresses in Bars, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE, Vol. 107, No. EM5, October 1981, p. 813–826.
8. J. Lindner, W. Kurth, Biegedrillknicken hochfester Stähle, Forschungsbericht, Projekt 78, Institut für Baukonstruktionen und Festigkeit, Technische Universität Berlin, Dezember 1981.
9. S. Kitipornchai, A. D. Woung-Chung, Inelastic Buckling of Welded Monosymmetric I-Beams, Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No. 4, April 1987, p. 741–756.
10. N. R. Nagaraja Rao, F. R. Estuar, L. Tall, Residual Stresses in Welded Shapes, The Welding Journal, Vol. 43, July 1964, p. 295-s – 306-s.
11. G. A. Alpsten, L. Tall, Residual Stresses in Heavy Welded Shapes, The Welding Journal, Vol. 49, March 1970, p. 93-s – 105-s.
12. J. Banovec, R. Perdan, Program za nelinearno analizo ravninskih linijskih konstrukcij NONFRAN, Junij 1988, Ljubljana.

### Zahvala

Delo, predstavljeno v članku, je bilo narejeno v okviru raziskovalnega projekta B-649 »Razvoj in uvajanje visokotrnostnih drobnostnih mikrolegiranih jekel«, ki sta ga sofinancirala Železarna Jesenice ter Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije.



ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE LJUBLJANA, ERJAVČEVA ULICA 15

## STROKOVNI IZPITI ZA GRADBENIŠTVO IN ARHITEKTURO TER PRIPRAVLJALNI SEMINARJI ZA STROKOVNE IZPITE V LETU 1994

Rok	Leto	Mesec	SEMINAR	B.	
				IZPIT	
				pisni	ustni
VIII.	1993	November	22.–26. november	20. november	6.–10. december
IX.	93	December	13.–17. december	18. december	10.–14. januar 1994
I.	1994	Januar	17.–21. januar	22. januar	7.–11. februar
II.	94	Februar	14.–18. februar	19. februar	7.–11. marec
III.	94	Marec	14.–18. marec	26. marec	11.–15. april
IV.	94	April	18.–22. april	23. april	9.–13. maj
V.	94	Maj	16.–20. maj	21. maj	6.–10. junij
VI.	94	September	19.–23. september	15. oktober	2.–4. november
VII.	94	Oktober	17.–21. oktober	19. november	4.–8. december
VIII.	94	November	21.–25. november		
IX.	94	December	12.–16. december		

A. Pripravljalni seminar organizira **ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon: 061/221-587**. Prijavo v obliki dopisa, skupaj z dokazilom o plačilu, pošlje plačnik stroškov seminarja. Cena seminarja v mesecih novembru in decembru 1993 znaša 350 DEM, plačljivo v SIT po srednjem tečaju Banke Slovenije na dan plačila, z doplačilom 5% prometnega davka. Morebitna sprememba cene bo naknadno objavljena.

B. Izpit organizira **ZAVOD ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA, Dimičeva 12, Ljubljana**. Informacije dobite pri Inž. Grošlju prek telefona št. 061/342-671, od 10. do 12. ure.



## **NOVA VARIANTA STIROPOR BETONOV »EPS-R« BETONI**

UDK 691.3:620.17

IVAN JECELJ

### POVZETEK

Med novimi lahkimi betoni so v ospredju zanimanja stiropor betoni. Varianta stiropor betonov z agregatom iz zdrobljenih stiroporskih odpadkov, poimenovana kot EPS-R (ekspandirani polistiren – recikliran) beton, je ekološko in energijsko najzanimivejša. V članku so podane mehansko-fizikalne lastnosti EPS-R betonov in njihova uporaba v gradbeništvu.

### A NEW TYPE OF STYROPOR CONCRETE THE "EPS-R" CONCRETE

### SUMMARY

Among leight weight concretes, the styropor concrete is still most interesting. From the ecological and energy standpoint the styropor concrete made from an aggregate of crushed styropor waste, called EPS-R, expanded polystyrene recycled, is most suitable. The paper gives the mechanical-physical properties of EPS-R concrete and its applicability in building practice.

### UVOD

Stiropor beton ali EPS (ekspandiran polistiren) beton je bil odkrit že leta 1951. Agregat EPS betonov so granule ekspaniranega polistirena, posebej pripravljene za večjo sprejemljivost s cementnim gelom. EPS betoni so bili izpostavljeni tržnim konkurentom, kot so celični in penjeni

betoni ter betoni z lahkimi agregati (ekspandirana glina, perlit, vermikulit, ekspaniran stekleni agregat ipd.). Vodilna firma, ki je patentirala največ izdelkov iz EPS betonov, je bila Fremzeliith, od drenažnih plošč, izolacijskih plošč in številne betonske galanterije. Med negativne lastnosti EPS betonov štejemo njihovo veliko vodovpojnost in pojav izplavanja granul pri redkejših konsistencah

betonov. Zato so se razvili posebni dodatki, ki sicer podražijo beton, vendar zmanjšujejo segregacijo, uvajajo mikro pore v cementni gel in zmanjšajo vodovpojnost.

V zadnjih letih pa se agregat pridobiva z drobljenjem stiroporskih odpadkov, govorimo o EPS-R betonih, »R« kot recikliranih. Za družbo je recikliranje stiropora zanimivo, saj majhna gostota stiropora –  $25 \text{ kg/m}^3$  pri odpadkih predstavlja približno  $1 \text{ m}^3$  deponije z maso zgolj 20 kg odpadkov. Posebej gospodarno je, da se za proizvodnjo in transport EPS-R betonov porabi malo energije, izdelki pa so dobri toplotni izolatorji, ki zmanjšujejo porabo energije za ogrevanje objektov.

Nedvomno je sodobne gradbenike EPS-R beton velik izziv, saj omogoča lahke betone z gostotami od 200 do  $1600 \text{ kg/m}^3$ , z dobrimi toplotno izolacijskimi lastnostmi, pri tem je še cenen, omogoča izdelavo prefabrikatov in vgrajevanje v opaže. Neznane so pri EPS-R betonih fizikalne in mehanske lastnosti, zato se jih projektanti bojijo. Če upoštevamo še tradicionalno konzervativnost investitorjev in nezaupanje v nove materiale, je razumljivo, zakaj EPS betoni v Sloveniji zelo počasi napredujejo.

## 1. MEHANSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI EPS-R BETONOV

Pri najpreprostejših izvedbah takšnih betonov sta velikost kosmičev-agregata in kvaliteta cementnega kamna dejavnika, ki vplivata na toplotno prevodnost in trdnost variante EPS-R betona.

### 1.1 Toplotna prevodnost EPS-R betonov

Toplotna prevodnost je pri izolacijskih EPS-R betonih neodvisna od velikosti agregata, neposredno je odvisna od gostote EPS-R betona in njegove vlažnosti. V preglednici 1 so prikazane računske toplotne prevodnosti, poenotene z EPS betoni. Laboratorijsko merjeni rezultati so nekoliko boljši, vendar je za uveljavitev boljših vrednosti potreben certifikat.

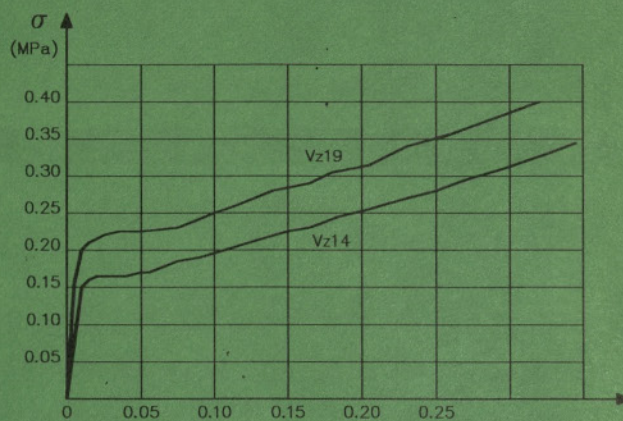
Preglednica 1: Računske toplotne prevodnosti EPS-R betonov v odvisnosti od prostorninske mase

Gostote EPS-R	[ $\text{kg/m}^3$ ]	200	400	600	800	1000
Toplotna prevodnost	[W/mK]	0.08	0.14	0.21	0.31	0.43

### 1.2 Tlačne trdnosti

Deformacijski diagrami tlačanja imajo tri karakteristična področja.

V prvem se porušitvi upira mineralni kamen na ovoju zrn; sledi drugo področje – prag popuščanja, ko nosilnost prevzamejo stiroporski kosmiči, ter tretje področje, kjer prevladuje deformacija stiroporskega agregata v povezavi še neporušenega veziva, kot to kaže sl. 1.



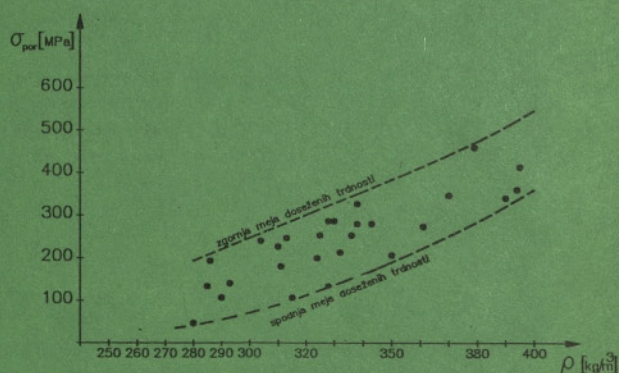
Slika 1: Deformacijska diagrama EPS-R betonov za vzorca 14 in 19

Drugo področje – popuščanje, pri gostotah pod  $290 \text{ kg/m}^3$  izgine, ostane samo prvo in tretje karakteristično področje. Ker je tretje področje odvisno od stiroporskih lastnosti, so deformacijske krivulje v tem področju vzporedne.

Vzorec se ne poruši konusno, tako kot je to pri normalnih betonih, pač pa se samo splošči in razširi.

Preglednica 2: Raztros trdnosti, ko so gostote pod  $400 \text{ kg/m}^3$

Vzorec	[št.]	14	15	16	17	18	19
Gostota	[ $\text{kg/m}^3$ ]	291	337	317	340	286	337
Tlačna trdnost	[MPa]	0.160	0.272	0.220	0.250	0.152	0.224



Slika 2: Raztros trdnosti v odvisnosti od gostote

### 1.3 Statični modul elastičnosti

Statični moduli elastičnosti so merjeni na valjih po JUS U.M1.025. Vrednosti variirajo pri nizkih gostotah do 25 %.

Podane vrednosti so zgolj informativne.

Preglednica 3: Odvisnost modula elastičnosti od gostote

$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	200	300	400	500	600	700	800	1000
E [N/mm <sup>2</sup> ]	175	300	475	675	900	1250	1550	3000

#### 1.4 Vpijanje vode

Največje vpijanje vode 40,32% mase je dosegel vzorec z gostoto 210 kg/m<sup>3</sup>. Vpijanje vode z naraščanjem gostote upada.

#### 1.5 Obstočnost na standardni ogenj

Pri gostotah 200–400 kg/m<sup>3</sup> in debelini 10 cm je obstojnost 60 min. Od 400–600 kg/m<sup>3</sup> pa velja (po DIN 4102 – negorljivi materiali!) za debeline d:

d = 8 cm:	F90
d = 10 cm:	F120
d = 15 cm:	F180

Stiropor betoni imajo še posebno požarno kakovost, da, če polijemo razžarjeno mesto z vodovodnim curkom, ne pride do odlučanja in pokanja. Stiropor v območju neposrednega ognja sublimira, ostanejo pa skorjice veziva, kot je struktura siporeksa. Globina sublimiranja pri 180 minutnem testu ne preseže treh centimetrov.

#### 1.6 Relativni temperaturni raztezek

$\alpha_t$  je za vse EPS-R in EPS betone enak in znaša  $12 \times 10^{-6}$ .

#### 1.7 Difuzijska upornost vodni pari $\mu$

Preglednica 4: Difuzijska upornost vodne pare  $\mu = f(\rho)$ 

$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	200	300	400	600	800	1000
$\mu$ [–]	10	20	35	60	120	200

#### 1.8 Specifična toplota c

Specifična toplota je približno enaka za vse gostote EPS-R betonov in znaša 1050 J/kg K.

#### 1.9 Vgrajena primarna energija v EPS-R betonih ali PEI\*

Kot osnovni pogoj privzamemo, da se beton strojno izdelava v Dražencih, da je srednja razdalja zbiranja in transportiranja odpadkov stiropora 35 km, da je energijska cena dela delavcev 66,12 MJ/h [3], potem je PEI lahkih EPS-R na pragu tovarne prikazan v preglednici 5.

\* PEI je angleška kratica za Primary Energy Incorporated

Preglednica 5: Odvisnost vgrajene primarne energije v sveže EPS-R betone PEI = f( $\rho$ )

Gostota [kg/m <sup>3</sup> ]	200	300	400	500	600	800	1000
PEI <sub>1</sub> [MJ/m <sup>3</sup> ]	1102	1496	1770	1870	1971	1973	1961

Pri prefabrikatih se poraba energije poveča za strošek vgrajevanja, obrabo kalupov, rezkanje izdelkov in za notranje Transporte, kar znaša na m<sup>3</sup> izdelka približno

$$PEI_2 = 198 + PEI_1 \times 1,20.$$

Za gostoto 200 kg/m<sup>3</sup> je PEI<sub>2</sub> = 1520 MJ/m<sup>3</sup>

## 2. UPORABA EPS-R BETONOV

Uporaba stiropor betonov in malt je smiselna predvsem tam, kjer potrebujemo dobro toplotno izolativnost, to je v skupini izolacijskih in izolacijsko-konstrukcijskih lahkih betonov. Če je armatura neposredno v izolacijsko-konstrukcijskih betonskih elementih, jo moramo zaščititi (glej DIN 4219, 1. del), podobno kot pri celičnih betonih. Sicer pa je bolj v rabi vgrajevanje armature v normalne betone, to je pri stenskih elementih v vežeh; pri stropnih elementih pa je stiropor beton opaž rebričaste plošče.

### 2.1 Tlaki

Z EPS-R betoni z lahkoto rešujemo problem tlakov v proizvodih obratih, kjer imamo prometno obtežbo. Z njim nadomeščamo plošče iz ekspandiranega stekla (foamglas) in drugih nosilnih lahkih betonov. Uporabni so tudi za vse vrste estrihov (plavajoče, ločene in prilepljene), včasih, zlasti pri podih, ki so nad tlemi neposredno, in je zahtevana povečana toplotna izolativnost ter ni na razpolago dovolj višine za izvedbo običajnega plavajočega estriha, si pomagamo z vgraditvijo stiropora pod estrihom iz stiropor betona. Pri takih rešitvah je minimalna debelina estriha 5 cm, posebej pa pazimo na pravilno izvedbo hidroizolacije. Uporaba EPS-R betonov pride zlasti v poštev pri krovnih ploščah in kletnih tlakih, pri revitalizaciji starih zgradb.

### 2.2 Konstrukcijski elementi

V katalogu firme TERMEL [6] najdemo prefabrikate iz EPS-R betonov za: stenske elemente, stebre, slope, stropne nosilce, stropne grede, preklade, parapete, krovne plošče, vertikalne in horizontalne fasadne plošče za industrijske in druge gospodarske objekte.

### 2.3 Prefabrikati za izključitev toplotnih mostov

V stanovanjskih in drugih ogrevanih prostorih imamo več vrst toplotnih mostov. Toplotni mostovi so po definiciji tista mesta, kjer toplota hitreje prehaja skozi konstrukcijo kot skozi osnovno (izolirano) površino [4]. Če zanemarimo točkovne toplotne mostove (razna sidra) in rege med zidaki, potem so najpogostejši toplotni mostovi okoli okenskih špalet, polic in roletnih škatel; ob vencih, podstavkih, balkonih, v višini vezi plošč (horizontalne vezi),

Slika 3: Primer izolacije okenskih toplotnih mostov s prefabriciranimi elementi iz EPS-R betona v Kamniški ulici št. 8 v Mariboru



vertikalnih zidnih vezi ipd. Za večino teh toplotnih mostov ima Termel prefabrikate, ki se dajo oblikovati v poljubno okrasno obliko. Minimalne dimenzije prerezov določimo z metodo končnih elementov s posebnim računalniškim programom [2]. Primer uporabe takšnih prefabrikatov kaže slika 3.

#### 2.4 Druge uporabe EPS-R betonov

Zaradi majhne mase, lahkega dela ter potrebam prilagodljive trdnosti so posebej primerni za naklonske betone pri ravnih strehah in žlotah.

Z njimi si lahko pomagamo pri različnih terasah, tudi takih, ki imajo prometno obtežbo.

Pri sanaciji salonitnih – dotrajanih kritin, je enostavna rešitev, da se povrhu dogradi stiropor estrih, na njem pa se izvede nova kritina, npr. Tegola Canadese.

Uporabljamo jih tudi kot drenažne plošče in drenažne cevi v različnih sistemih drenaž.

Pri prometnih zgradbah so zlasti Nemci eksperimentirali s podložnimi plastmi iz EPS betonov pod asfaltnimi voziščnimi plastmi, žal pa nimamo rezultatov teh eksperimentov.

#### 3. SKLEP

EPS-R betoni nam ponujajo podobne lastnosti kot drugi lahki betoni. Poleg tega nam omogočajo zmanjšano porabo PEI in zmanjšujejo deponije odpadkov.

Slovenski gradbeniki sploh ne uporabljamo stiropor betonov, sedaj, ko poznamo njihove mehanske in fizikalne lastnosti, pa se lahko vključimo v tekmovanje domiselne inženirske uporabe z drugimi.

## LITERATURA

1. Jecelj I. s sodelavci: Prefabrikati za izključitev toplotnih mostov; Poročilo o delu za leto 1991, Tehniška fakulteta Maribor.
2. Jecelj I., Lep M., Lubej S.: Prefabrikati za izključitev toplotnih mostov; Poročilo o delu za leto 1992, Tehniška fakulteta Maribor.
3. Jecelj I.: Energoekonomija ili vrednovanje s obzirom na ugradenu primarnu energiju; Energija i zaštita čovjekove okoline, Opatija 1992.
4. JUS U.J5.510 1987: Metode izračuna toplotne prehodnosti v zgradbah.
5. Scholz W.: Baustoffkenntnis, Werner Verlag Düsseldorf 1987, str. 323–326.
6. Termel: Katalog prefabrikatov 1992, Termel d.o.o., Limbuško nabrežje 15, Maribor.

## **PREDSTAVITEV NOVE ORGANIZIRANOSTI ZAVODA ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ LJUBLJANA**

Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana (ZRMK) je ustanovila vlada LR Slovenije leta 1949, 1. julija 1952 leta pa je bil **ZRMK** proglašen za gospodarsko ustanovo s samostojnim financiranjem. Ob ustanovitvi so bile naloge **ZRMK**-ja predvsem:

1. raziskovati tehnično kakovost gradbenega materiala, surovin za proizvodnjo gradbenega materiala, gradbenih elementov in konstrukcij;
2. raziskovati in preskušati nove vrste gradbenega materiala, gradbene elemente in konstrukcije;
3. raziskovati nove vire surovin za proizvodnjo gradbenega materiala, dajati predloge za standarde gradbenega materiala in gradbenih elementov;
4. preiskovati in dajati mnenja glede kakovosti materialov za gradbene namene;
5. preučevati nove produkcijske metode v gradbeništvu in industriji gradbenega materiala;
6. organizirati zbirko gradbenega materiala, gradbenih elementov in modelov gradbenih konstrukcij;
7. objavljati rezultate svojega dela.

V prek 44 letih svojega delovanja pa se je ZRMK iz znanstveno-raziskovalne in preskuševalne organizacije razvil tudi v gradbeni tehnološki inštitut, ki se aktivno ukvarja predvsem z razvojem, prenosom in tudi s proizvodnjo novih materialov, proizvodov in sistemov pretežno, vendar ne samo, v gradbeništvu, ter s tako imenovanimi specialnimi storitvami na področju vzdrževanja in obnove gradbenih objektov ter v geotehniki. Takšen način dela je ne samo zagotovil preživetje ZRMK-ja, pač pa je imel za rezultat dejstvo, da danes ZRMK v svojem poskusnem obratu v Gameljnah proizvaja prek 40 vrst lastnih proizvodov, kot so:

- razni dodatki za cemente, malte in betone, kot so:
  - dodatek proti krčenju,
  - ekspanzivni dodatek,
  - hidrofobni dodatek,
  - specialni pospeševalec;
- specialne vrste betonov, kot so:
  - lahki betoni,
  - betoni z nizko vsebnostjo cementa,
  - ognjevzdržni betoni,
  - temperaturno in korozijsko odporni betoni,
  - brizgani beton;
- posebne vrste malt:
  - hitroutrjujoče malte,
  - hidrofobne malte,
  - malte za zaščito pred sevanji,
  - nabrekajoče malte,
- injekcijske mase za utrjevanje kamnitih zidov in injektiranje,
- premazi za zaščito betona,
- vodotesni premazi in kiti,
- epoksidne mase ter lepila,
- neeksplozivno sredstvo za rušenje betona ali skal.

Še posebej naj omenimo fasadne plošče iz penobetona, ki jih na osnovi lastnega tehnološkega postopka proizvaja **ZRMK**. V Sloveniji ima do sedaj že okrog 20 reprezentativnih poslovnih zgradb fasado iz teh penobetonских plošč.

**ZRMK** ima tudi lasten razvoj in proizvodnjo ca. 240 različnih proizvodov s področja laboratorijske in določene tehnološke opreme za gradbeništvu, ki se po kakovosti lahko primerjajo s podobnimi proizvodi nekaterih znanih evropskih proizvajalcev.

Za svoje dolgoletno delo na področju razvoja in kakovosti je **ZRMK** junija 1993 prejel v Ženevi tudi mednarodno nagrado »**INTERNATIONAL AWARD FOR TECHNOLOGY AND QUALITY**«.

Prvega aprila 1991 je bil ZRMK na podlagi določil Zakona o zavodih začasno v celoti proglašen za javni zavod. Januarja 1993 je Svet **ZRMK** na osnovi elaborata Ocena strokovne vrednosti in družbene relevantnosti oddelkov in skupin v **ZRMK**, ki ga je meseca septembra 1992 izdelala neodvisna komisija Ministrstva za znanost in tehnologijo Republike

Slovenije, sprejel program reorganizacije in lastninskega preoblikovanja **ZRMK** v javni raziskovalni zavod Zavod za gradbeništvo **ZRMK** in družbeno razvojno-raziskovalno podjetje Gredbeni inštitut **ZRMK**. Javni zavod bo pokrival poleg raziskovanja še kot tretja stranka področja preskušanja, nadzorstva in certificiranja gradbenih proizvodov in postopkov, v skladu z novimi slovenskimi standardi serije SLS EN 45000. Družbeno podjetje pa bo kot osrednji razvojno-tehnološki inštitut za področje gradbeništva in industrije gradbenega materiala še naprej skrbelo za razvoj novih materialov in tehnologij ter njihov prenos v prakso. Poleg tega pa bo podjetje nudilo predhodne raziskave, študije in analize ter specialne storitve in razvoj za potrebe izgradnje ter gospodarjenja s prometnicami, gradnje, vzdrževanja in obnove gradbenih objektov ter v geotehniki. Da bi lažje lahko izvedli takšno dokaj zahtevno reorganizacijo ZRMK, smo za prehodno obdobje s 1. oktobrom 1993 do sedaj obstoječe organizacijske enote preoblikovali v tri nove organizacijske enote z naslednjimi imeni in dejavnostmi:

---

### **INŠTITUT ZA RAZISKAVE IN POTRJEVANJE KAKOVOSTI**

- potrjevanje kakovosti (preskušanje, nadzorstvo in certificiranje gradbenih proizvodov in postopkov),
  - nadzor nad kontrolo kakovosti proizvedenj,
  - preskušanje gradbenih materialov in konstrukcij,
  - raziskave na področju gradbenih materialov in konstrukcij,
  - opazovanje in ocenjevanje obstoječih gradbenih objektov javnega pomena,
  - predkonkurenčni razvoj gradbenih materialov in konstrukcij,
  - razvoj novih metod preskušanja,
  - sodelovanje pri pripravi tehničnih predpisov in standardov.
- 

### **INŠTITUT ZA MATERIALE, ZGRADBE IN OKOLJE**

- razvojno-raziskovalno delo na področju proizvodnje in uporabe materialov, graditve, zaščite in obnove zgradb ter prenos dosežkov v prakso,
  - organiziranje in izvajanje tekočih preiskav in meritv v industriji gradbenega materiala in gradbeništvu,
  - svetovanje, izdelava predlogov, tehničnih rešitev ter kompletne tehnične in tehnološke dokumentacije za zaščito in obnovo zgradb, za novogradnje ter naprave v zgradbah,
  - revizija in izdelava tehnoloških projektov s področja industrije gradbenega materiala,
  - svetovanje in izdelava predlogov ter razvoj na področju stanovanjske graditve, smotrne rabe energije, bivalne kulture ter zaščite okolja,
  - nadzor in izvajanje specialnih del na področju zaščite in obnove gradbenih objektov,
  - razvoj in proizvodnja novih materialov in proizvodov ter laboratorijske in tehnološke opreme.
-

---

## INŠTITUT ZA GEOTEHNIKO IN PROMETNICE

- raziskovalno in preiskovalno delo s področja geotehnike, inženirske geologije, inženirske geofizike in ekologije,
- inženiring, svetovanje in nadzor ter izdelava in revizija investicijske in tehnične dokumentacije za dela na področju geotehnike, inženirske geologije, inženirske geofizike, ekologije, mehanike skale, temeljenja (vključno s hidrotehničnimi objekti), rudarstva, opazovanja gradbenih objektov v zvezi z njihovim temeljenjem ter na področju plazov,
- opravljanje raziskovalnega in preiskovalnega dela s področja materialov in tehnologij pri gradnjah in rekonstrukcijah prometnic, kot tudi spremljanje stanja cest in gospodarjenja z njimi (pavement management),
- inženiring, svetovanje in nadzor ter izdelava in revizija investicijske in tehnične dokumentacije za dela na področju prometnic, razen premostitvenih objektov,
- razvoj, nadzor in izvedba vseh del doma in v tujini s področja dejavnosti ter del, povezanih z reševanjem ekoloških problemov s področja dejavnosti,
- razvoj in uvajanje novih in izpopolnjenih tehnoloških postopkov s področja svoje dejavnosti.

---

Inštitut za raziskave in potrjevanje kakovosti, katerega sestavljajo certifikacijski organ z osebjem za nadzorstvo, 19 preskusnih in specialnih laboratorijev ter QA služba, posluje finančno popolnoma ločeno od ostalih dveh tržno naravnanih inštitutov, tako da praktično že sedaj izpolnjuje tudi vse formalne pogoje glede neodvisnosti, neprofitnosti in nepristranskosti, kot to zahteva Evropska direktiva št. 89/106 za gradbene proizvode ter aneksa št. 3 in 4 za imenovanje pooblaščenih laboratorijev za preskušanje, certificiranje in nadzorstvo.

S podelitvijo statusa javnega zavoda Inštitutu za raziskave in potrjevanje kakovosti pa bo Republika Slovenija dokončno dobila inštitucijo, ki bo na podlagi imenovanja akreditiranih laboratorijev za potrebe gradbeništva in IGM lahko izvajala certificiranje proizvodov, storitev, osebja ter sistemov kontrole kakovosti v skladu z modelom evropske organizacije EOTC – (European organization for testing and certification), ki postaja v Evropski skupnosti za regulirano področje standardizacije, kamor pa gradbeništvo, zaradi mogočih škodljivih vplivov na zdravje in življenje ljudi ter okolje, tudi sodi. S tem pa bodo nastali tudi vsi pogoji za medsebojno priznavanje slovenskih in evropskih preskusnih laboratorijev s področja gradbeništva tako, da bo javni Zavod za gradbeništvo ZRMK lahko tudi izdajal evropski znak skladnosti CE, kar pa bo nedvomno v korist vsem izvoznikom naših proizvodov in storitev s področja gradbeništva in industrije gradbenega materiala na evropski trg.