

Božidar Renar, Zdenko Šimunjak, Davorin Kolić

PROJEKT MOSTA PREKO MURE KOD Sv.MARTINA

SAŽETAK

Most preko Mure je koncipiran kao spregnuta čelična konstrukcija preko tri raspona i s ukupom duljinom od 105 m. Nalazi se u neposrednoj blizini graničnog prijelaza na cesti prema Hotizeu, Slovenija. Korisna širina mosta od 8.80 m služi dvotračnom cestovnom i pješačkom prometu pograničnog prijelaza. Spegnuta konstrukcija je projektirana s dva glavna uzdužna nosača i poprečnim nosačima, simetrične je dispozicije sa srednjim otvorom od 42.0 m i oslonjena na dva stupišta u vodotoku temeljena na pilotina. Most bi trebao biti dovršen i pušten u promet do kraja ljeta 2005. godine.

DESIGN OF A BRIDGE OVER MURA NEAR St.MARTIN

SUMMARY

The bridge over river Mura has been designed as a composite structure over three spans with the entire bridge length of 105 m. It is situated in the vicinity of border crossing on the road toward the town Hotize on Slovenian side. Effective bridge width is 8.80 m and is in use for two lanes of road traffic and pedestrians due to the near border crossing. Composite superstructure is designed with two main continuous and transversal girders, has symmetrical disposition with the main middle span of 42.0 m and stays on two massive columns in the river with the foundation on bored piles. The bridge should be constructed and open for the traffic until the end of the summer 2005.

Božidar Renar, dipl.ing.građ., RENAR d.o.o., Zagreb, Padovčeva 6, Email : bozidar.renar@zg.htnet.hr

Zdenko Šimunjak, dipl.ing.građ., Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb, Vončinina 3, Email : zdenko.simunjak@hrvatske-ceste.hr

mr.sci Davorin Kolić, dipl.ing.građ., NEURON ZAGREB d.o.o., Zagreb, Trnjanska 140, Email: neuron.zagreb@zg.htnet.hr

1. UVOD

Temeljem odluke Vlade RH od 3.01.2003 odlučeno je da se krene u izgradnju i uređivanje 27 graničnih prijelaza za pogranični promet prema Sloveniji, a sve u skladu sa Sporazumom o pograničnom prometu i suradnji sklopljenom između obje republike. U sklopu tog plana predviđeno je i uređenja prijelaza na pravcu Sv.Martin na Muri (RH) – Hotize (RS) i izgradnja novog mosta preko rijeke Mure (sl.1). Predviđeni most treba premostiti rijeku Muru na mikrolokaciji u prostoru oko 100 m uzvodno od postojećeg prijelaza skelom. Rijeka Mura na postojećoj lokaciji ima širinu vodnog lica pri srednjem vodostaju od oko 80 m s koritom jednolike dubine od otprilike 1.0 do 1.5 m dubine preko čitave širine. Obale osigurane kamenometom i okolni teren uzdižu se oko 2.5-3.0 m iznad srednjeg vodostaja rijeke. Kako je sadašnje korito umjetno prokopan kanal prije nekih 20 godina, okolni teren obiluje sada zasutim rukavcima odnosno meandrima. Teren uz obale obrastao je rijetkom do srednje gustom šumom i to posebno u prostoru od oko 120 m pa nadalje uzvodno od prijelaza skelom.



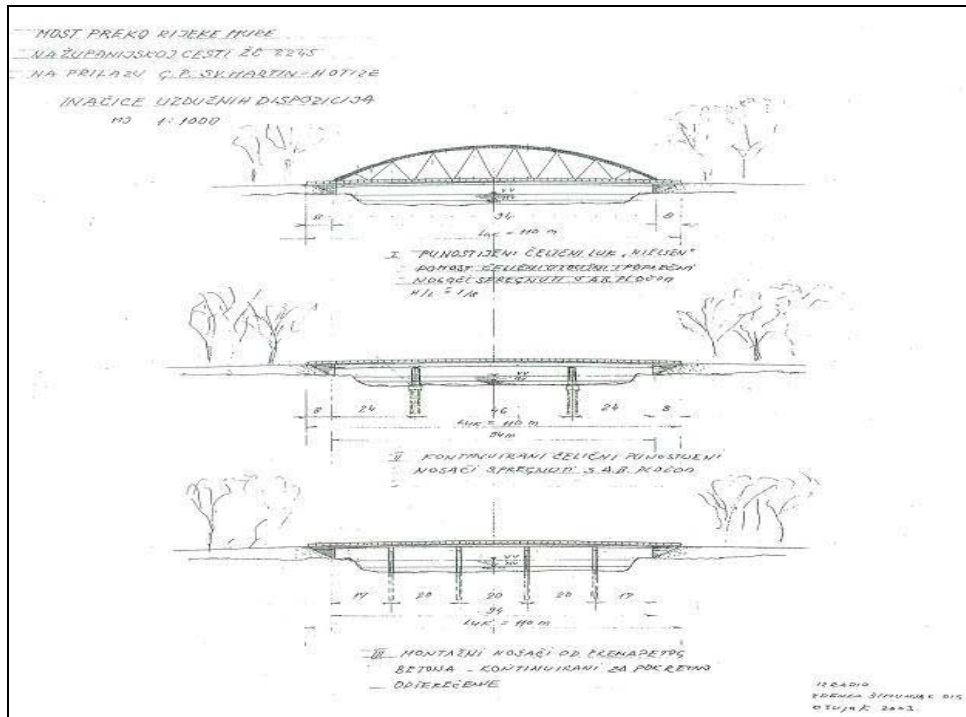
Slika 1 : Lokacija prijelaza Mure mostom na prometnici Sv.Martin (HR) – Hotize (SLO).

Dno korita rijeke je šljunkovito, a geotehnička istraživanja utvrdila su slojeve šljunka (oko 6 m), pijeska (oko 7-9 m) i lapora (dubine 3.5 i više metara). Sa strane zaštite prirode i zbog zaštićenog krajolika koji je popularno izletište mještana i uspješnije središte seoskog turizma prilikom izbora dispozicije mosta i tehničkog rješenja trebalo je voditi računa o estetskom odabiru izgleda mosta i o uređenju pristupnih prometnica.

2. KONSTRUKTIVNO RJEŠENJE PRIJELAZA MOSTOM

Kod odabira rješenja i pripreme natječaja za projektiranje razmotrene su na razini idejnog rješenja tri uzdužne i poprečne dispozicije prijelaza Mure mostom [1]. Inačice prijelaza su razvijene kao : a) Langerova greda (sustav Nielsen) s jednim rasponom od 94 m u čeličnoj

izvedbi, b) spregnuta kontinuirana konstrukcija preko 3 raspona i oslonjena na dva stupišta , te c) rasponska konstrukcija od predgotovljenih montažnih elemenata u prednapetjoj izvedbi s 5 otvora i preko 4 stupišta u vodotoku (sl.2)



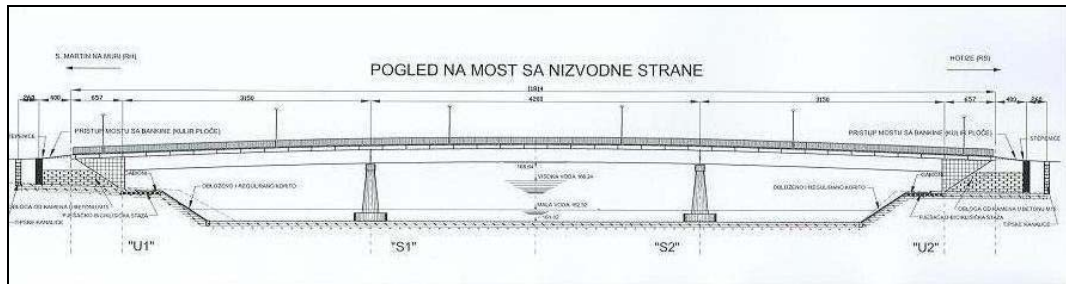
Slika 2 : Konceptualna rješenja prijelaza Mure [1].

U ocjeni inačica prva c) je ocijenjena kao jednostavno i možda najjeftinije rješenje, ali sa potrebnom izvedbom čak 4 stupišta u riječnom koritu. Inačica b) ocijenjena je kao racionalna konstrukcija mosta boljeg estetskog utiska i vjerojatno nešto više cijene, ali i sa samo 2 stupišta u vodotoku. Inačica a) vrednovana je kao najpovoljnija zbog izbjegnutih radova u rijeci, estetski najatraktivnija ali i najsloženija i najskuplja u izvedbi. Konačni odabir za projektiranje pao je na inačicu b), spregnutu konstrukciju s kontinuiranim čeličnim roštiljem spregnutim s armirano betonskom kolovoznom pločom s 2 stupišta u rijeci koja je imalu procjenu troškova izvedbe s PDVom od 10,5 milijuna KN (1515 €/m²).

3. GORNJI USTROJ MOSTA

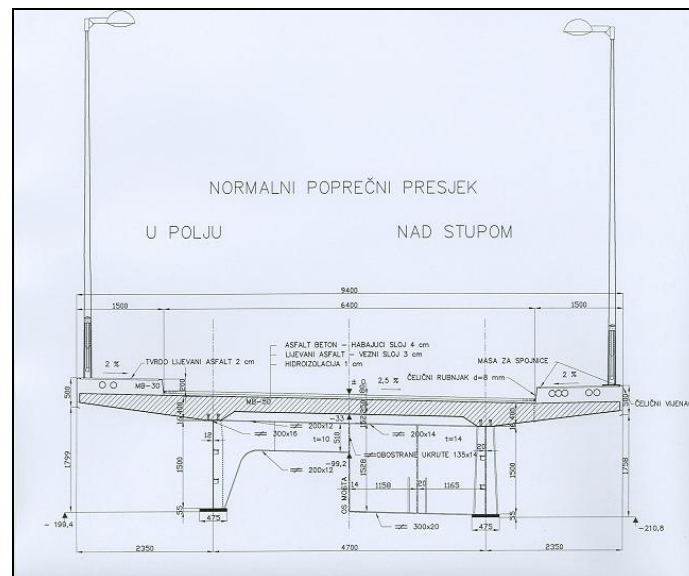
Novi most predviđen je kao simetrična kontinuirana spregnuta konstrukcija preko 3 raspona. Sastoji se od dva glavna uzdužna nosača visine hrpta 1500 mm i vezanih u poprečnom smjeru poprečnim nosačima na konstantnom razmaku od 3500 mm. Na svim ležajnim mjestima na upornjacima i stupištima dolaze vertikalna ukrućenja s vanjske strane, dok su između poprečnih nosača predviđena vertikalna ukrućenja s unutarnje strane.

Horizontalna ukrutenja postavljaju se uzduž glavnih uzdužnih nosača s unutarnje strane, a prema zahtjevima statičkog proračuna, a kao ukrute protiv izbočavanja vertikalnog lima uzdužnog nosača. Svi čelični dijelovi konstrukcije su kvalitete čelika S355 (ST52-3).



Slika 3 : Pogled na most.

Glavni uzdužni nosači oslanjaju se na teflonske ležajeve, od kojih su na stupištu "S1" predviđena dva čvrsta ležaja od kojih je jedan nepokretan, a drugi nepokretan u uzdužnom i pokretan u poprečnom smjeru. Na upornjacima se ugrađuju prijelazne konstrukcije.

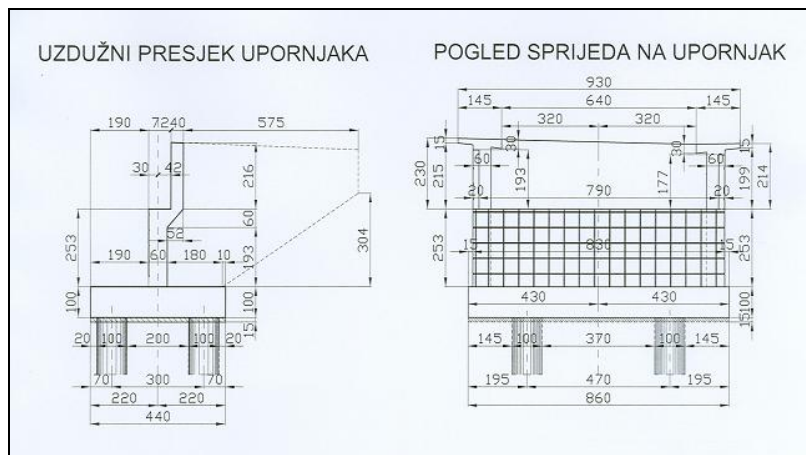


Slika 4 : Karakteristični poprečni presjeci mosta.

Iznad čeličnog roštilja predviđa se izvesti armirano-betonska kolovozna ploča kvalitete C45/55 (MB-50) osnovne debljine 25 cm. Ona će biti spregnuta samo s glavnim uzdužnim nosačima te će za dodatni stalni i pokretni teret sudjelovati zajedno s čeličnim roštiljem. Sprezanje je ostvareno s dva reda čepastih moždanika. Statički rasponi mosta su 31.50+42.00+31.50 m, a ukupna duljina mosta iznosi 118.14 m.

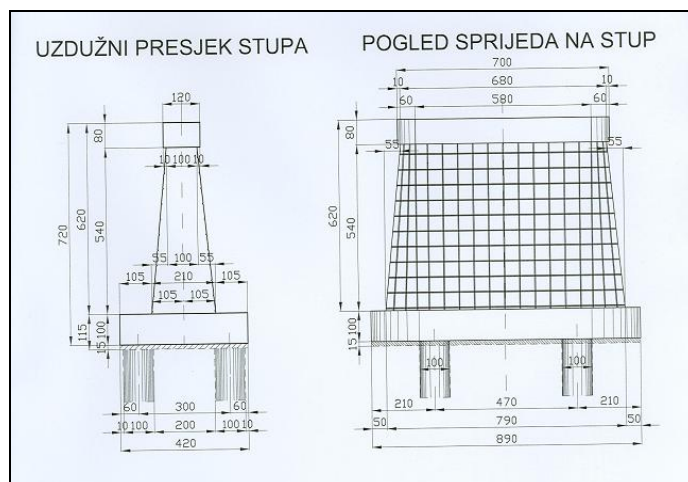
4. DONJI USTROJ MOSTA

Upornjaci i stupovi su temeljeni na bušenim pilotina promjera 100 cm. Predviđena su po 4 bušena pilota ispod svakog upornjaka i svakog stupa. Na mjestima upornjaka predviđa se izvesti pravokutna temeljna ploča, te iznad nje upornjak s krilima. Krila su upeta u temeljnu ploču i zid upornjaka. Prsni zid upornjaka predviđen je za ugradnju prijelazne konstrukcije.



Slika 5 : Upornjak temeljen na bušenim pilotima.

Stupovi u koritu izvode se na ovalnoj temeljnoj ploči kako bi se smanjio otpor vode, pa su zaobljena na strani smjera toka Mure. Izvedba temelja u koritu rijeke Mure predviđena je pod zaštitom čeličnog žmurja. Svi vidljivi dijelovi donjeg ustroja predviđeni su biti izvedeni u oplati s kanelurama.

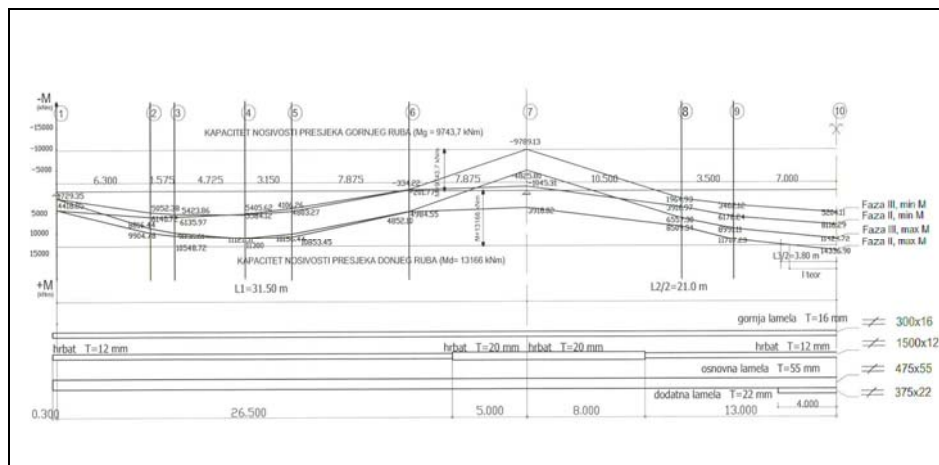


Slika 6 : Stupište temeljeno na bušenim pilotima.

5. NUMERICKE ANALIZE I DIMENZIONIRANJE

Opterećenja mosta uzeta su prema važećim pravilnicima i normativima, a koji vrijede za državne cestete i zemljopisnu lokaciju mosta. Sva vertikalna i horizontalna opterećenja određivana su prema EU konformnim DIN propisima uz utjecaj dva vozila SLW30 na kolniku [3]. Opterećenje je na konstrukciju u uzdužnom smjeru prenjeto preko raspodjele maksimalnog utjecaja na jedan glavni uzdužni nosač uz korištenje sudjelujuće širine betonskog pojasa. Faze opterećenja određene u skladu s fazama izvedbe objekta [2]. Na taj način razlikujemo opterećenja u fazi I (vlastita težina čelične konstrukcije, težina oplata i skele, armirano-betonska ploča), fazi II (demontaža jarmova na spregnutom nosaču, demontaža oplata i skele, spuštanje oslonaca, dodatno stalno opterećenje, pokretno opterećenje, temperature promjene) i fazi III (skupljanje i pužanje betona). Za sve faze opterećivanja određivane su kombinacije opterećenja s najnepovoljnijim utjecajima.

Poprečni nosači su za razliku od glavnih uzdužnih analizirani i dimenzionirani na temelju roštiljnog štapastog modela, a kolnička ploča je dimenzionirana za lokalno djelovanje od koncentrirane sile i po utjecajnim plohama Puchera. Kao rezultat ovih analiza određena je anvelopa utjecaja i određen raspored materijala uzduž konstrukcije mosta (sl.7). U dimenzioniranju je korišten stari pristup po JUS i DIN propisima i provjeri dopuštenih naprezanja u čeličnim elementima [2], uz usporedbu s novim normativima [3, 4].

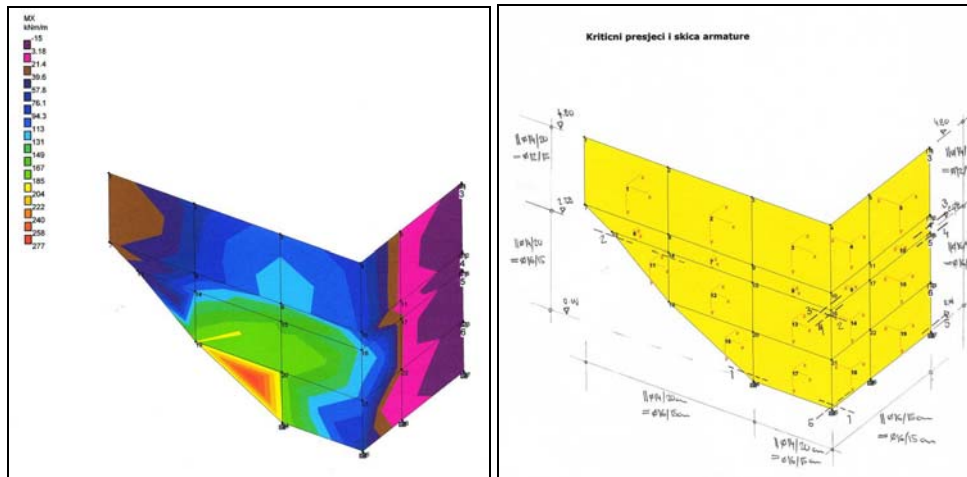


Slika 7 : Dijagram unutarnjih sila / raspored lamela

Donji ustroj je baziran na analizama temeljenja na pilotima koje su provedene za mjerodavne slučajeve stupišta i upornjaka. Uzet je u obzir utjecaj djelovanja grupe pilota kao i različite duljine pilota na stupištu i upornjaku, te različiti geološki slojevi koji odgovaraju geotehničkim profilima. Analiza i dimenzioniranje pilota i temeljnih ploča stupišta i upornjaka je vršena uz uporabu postojećih geotehničkih starih DIN propisa, te uspoređivana s izmjenama koje su izvršene prilagodbom na novi EU 7 kod [6, 7]. Kod dimenzioniranja tijela stupova, te prsnog zida i krila upornjaka primijenjeni su principi

navedeni u smjernicama za dimenzioniranje betonskih masivnih konstrukcija uobičajeno korištenih uz DIN propise [5].

Kod proračuna ležajeva i prijelaznica održivano je najnepovoljnija kombinacija svih vertikalnih i horizontalnih opterećenja na opterećen i neopterećen most uzimajući u obzir i kočnu silu, izmjenu ležajeva, utjecaj temperature, puzanje i skupljanje betonske kolovozne ploče.



Slika 8 : Upornjak mosta : analiza i dimenzioniranje

6. IZVEDBA

Predviđena je montaža čeličnog dijela konstrukcije u zavarenoj izvedbi. Nakon radioničke izrade i transporta do gradilišta čelični dio konstrukcije će biti montiran na desnoj obali Mure, na hrvatskoj strani i uzdužno preko upornjaka i stupišta navučen na drugu stranu. Kao pomoćni elementi pri montaži i navlačenju predviđeni su jarmovi koji će se u hrastovoj ili čeličnoj izvedbi pobiti u korito rijeke u polovici bočnih raspona i u trećinama srednjeg raspona i na njih će se osloniti konstrukcija u fazi navlačenja. Na stupištima se ugrađuju hidrauličke preše jer se čelični roštilj montira s nadvišenjem nad stupovima od po 20 cm na svakom stupištu. Nakon izvedbe armirano-betonske kolovozne ploče nad čeličnim roštiljem, spuštanjem konstrukcije za 20 cm preko preša će se unijeti dodatna tlačna sila u kolovoznu ploču.

7. GOSPODARSTVENA PRIHVATLJIVOST

Promotrimo li cijenu izvedbe mosta preko Mure i usporedimo li je s prosječnim cijenama sličnih mostova u Evropi vidjeti ćemo da je cijena izvedbe daleko premašila prosječne cijene sličnih spregnutih mostova koje su u Španjolskoj oko 800 €/m² [9], u Finskoj oko 900 €/m²[8], u Danskoj oko 930 €/m²[8], dok su u Francuskoj (1520 €/m²) i Njemačkoj (1660 €/m²) [8] nešto više i to prije svega što su to mostovi na autocestama s puno širim

kolnikom i jačom konstrukcijom kolničkog nosača uz nešto jaču konstrukciju stupišta i temelja.

most	drz.	god	duljina L [m]	max. raspon [m]	širina B [m]	ukupna cijena [M€]	jedin. cijena [€/m ²]
San Timoteo	ESP	1996	540	90.0	12.0	4.91	722
Canero	ESP	1997	470	110.0	12.0	4.49	758
Kipinä	FIN	1995	134	37.0	7.00	0.66	704
Böle	FIN	2000	218	39.0	15.0	2.21	710
Planchette	FRA	1993	221	95.2	22.5	7.54	1515
Simmelsdorf	DEU	1997	492	68.0	29.5	14.41	993
Siebenlehn	DEU	1997	413	81.6	37.0	25.3	1653
Elbe Dresd.	DEU	1998	496	71.0	43.0	30.7	1441
Elbodalen	DEN	1992	254	33.5	25.0	6.10	960
Molleadalen	DEN	1991	154	33.5	25.0	3.45	898
Mura	HR	2004	105	42.0	8.80	2.13	2308

Spregnute konstrukcije su diljem svijeta trenutno najisplativije i najgospodarstveniji oblici struktura za premoštavanje srednji i manjih raspona kao i u slučajevima kontinuiranih nosača preko više polja. Iako nešto teže od čisto čeličnih mostova ipak ukupna svota sredstava kod izgradnje cijelog objekta uključivo stupišta i temeljenje daje najpovoljniji odnos cijena / kapacitet prijelaza.

LITERATURA:

1. **Šimunjak Z.** : „Most preko Mure kod Sv. Martina : Idejno rješenje“, Studija, “Hrvatske ceste d.o.o.”, Zagreb, ožujak 2003
2. **Pržulj M.** : „Spregnute konstrukcije“, Građevinska knjiga , Beograd, 1989
3. **Horvatić D.** : „Metalni mostovi“, Sveučilišna knjiga, Zagreb, 2003
4. **Hanswille G., Stranghöner N.** : „Leitfaden zum DIN Fachbericht 104 – Verbundbrücken“, Ernst & Sohn, Berlin 2003
5. **ZTVK-88** : „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Kunstbauten“, Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Ausgabe 1989, Dortmund, S. 1-60
6. **ÖVBB** : „Richtlinie Bohrpfähle“, ÖVBB, März 2005
7. **Eitner V. und and.** : „Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik : Beispiele“, Beuth Verlag / DIN, Berlin 1997
8. **Correialopes M., Jutila A.** : *Contracting Procedures, Design and Construction Costs for Bridges in European Countries*, Report TTK-SRT-25, Helsinki University of Technology, January 1999, pp.99
9. **Avigno-Calero V., Jutila A.** : *Bridge Construction and Statistics in Finland, Poland and Spain with Special Emphasis on Steel Bridges*, Report TTK-SRT-34, Helsinki University of Technology, June 2003, pp.77