

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Interdisciplinarni podiplomski študij
prostorskega in urbanističnega
planiranja

Kandidat:

Jan Mazi

**Vpliv izgradnje predorov na metropolozacijo
oziroma razvoj mest - primerjava predorov
Šentvid v Ljubljani in Mrazovka v Pragi**

Magistrska naloga št. 52

Mentor:
doc. dr. Alojzij Juvanc

Ljubljana, 10. 10. 2008

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



**ODDELEK ZA
GEODEZIJO**

*Interdisciplinarni
podiplomski študij
prostorskega in
urbanističnega planiranja
IPŠPUP*

Kandidat:

JAN MAZI, univ.dipl.geog., prof.soc.

Vplivi izgradnje predorov na metropolizacijo oziroma razvoj mest

Primerjava predorov Šentvid v Ljubljani in Mrazovka v Pragi

Magistrska naloga štev.: 52

**Impacts of building tunnels regarding metropolisation
and city development**

Šentvid tunnel in Ljubljana and Mrazovka tunnel in Prague

Master of Science Thesis No.: 52

Mentor:

doc. dr. Alojzij Juvanc

Predsednik komisije:

prof. dr. Andrej Pogačnik

Član:

prof. dr. Boris Gaberščik

Ljubljana, september 2008

STRAN ZA POPRAVKE – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **JAN MAZI, univ.dipl.geog. in prof.soc.**, izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom: »**VPLIVI IZGRADNJE PREDOROV NA METROPOLIZACIJO OZIROMA RAZVOJ MEST** in podnaslovom **PRIMERJAVA PREDOROV ŠENTVID V LJUBLJANI IN MRAZOVKA V PRAGI** ».

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 21.09.2008

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.19 + 711.73 + 504.05 : (497.4) : (437.1) : (043.2)
Avtor:	Jan Mazi, univ.dipl.geog., prof.soc.
Mentor:	doc.dr. Alojzij Juvanc, univ.dipl.inž.grad.
Naslov:	Vplivi izgradnje predorov na metropolizacijo oziroma razvoj mest
Podnaslov:	Primerjava predorov Šentvid v Ljubljani in Mrazovka v Pragi
Obseg in oprema:	152 strani, 9 preglednic, 17 slik, 21 fotografij
Ključne besede:	cesta, cestni predor, promet, mesto, vplivi.

Izvleček:

Podzemni prostor postaja neomejen razvojni potencial prihodnjega razvoja mest – neke vrste četrta prostorska dimenzija. Cestni predor kot tak je del ceste, za katero pa je značilno, da ima kot vsak antropogen tujek določene vplive na prostor (v okoljskem in sociološkem smislu), ki se razlikujejo glede na različne dejavnike. Na splošno so neposredni vplivi negativni, posredni pa pozitivni. Neposredni vplivi so navadno merljivi, posredni pa ne. Glede na vir nastanka delimo vpliv ceste in vpliv prometa, glede na vrsto prizadetega prostora pa ločimo vpliv na naravno okolje in na urbani razvoj s poselitvijo. Zaradi unikatnosti reliefa, geoloških značilnosti, prometno-tehničnih zahtev in drugih dejavnikov, ki so prisotni pri umestitvi predorov v prostor, je tudi vsak tak objekt edinstven, kar je razvidno iz primerjav na videz podobnih objektov v podobnem urbanem prostoru. Predora Šentvid v Ljubljani in Mrazovka v Pragi predstavljata taka primera.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.19 + 711.73 + 504.05 : (497.4) : (437.1) : (043.2)
Author: Jan Mazi, univ.dipl.geog., prof.soc.
Supervisor: doc.dr. Alojzij Juvanc, univ.dipl.inž.grad.
Title: Impacts of building tunnels regarding metropolisation and city development
Subtitle: Šentvid tunnel in Ljubljana and Mrazovka tunnel in Prague
Notes: 152 pages, 9 tables, 17 figures, 21 photos
Key words: road, road tunnel, traffic, city, impacts.

Abstract:

Underground space is becoming a limitless potential of future development of cities, a kind of fourth spatial dimension. Road tunnel as such is part of road that, as any other part of road, has certain spatial impacts, which differ considering different factors. In general, direct impacts are mostly negative and indirect are positive. Indirect impacts could be mainly quantified and direct could not. Road and traffic impact can be distinguished concerning its source and impact on natural environment and on urban development can be distinguished concerning type of affected area. Because of relief uniqueness, changing geologic features, different technical demands and other factors, which are present in the process of tunnel construction, each and every tunnel is unique. Comparison of two road tunnels that seem very alike proves this thesis. Šentvid tunnel in Ljubljana and Mrazovka tunnel in Prague present such examples.

ZAHVALA

dr. Alojzij Juvanc (mentor)
dr. Andrej Pogačnik (ocenjevalna komisija)
Franc Mazi (lektoriranje)
Jernej Kovač (lektoriranje angleških prevodov)
Ludvik Šajtar (direktor SATRA, spol., Praga)
Masaru Ibuka in Akio Morita
dr. Vladimir Butovič (SATRA, spol., Praga)

Hvala vam za vaš prispevek.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 NAMEN IN CILJI NALOGE TER IZHODIŠČNE HIPOTEZE	4
2.1 METODOLOGIJA DELA	5
3 ŠIRŠA IZHODIŠČA NALOGE: MESTNO PROMETNO NAČRTOVANJE IN VODENJE CESTNEGA PROMETA	7
3.1 VLOGA CESTNE MREŽE V PROSTORU	8
3.1.1 <i>Urbanistično načrtovanje cestnega prometa</i>	9
3.1.2 <i>Vloga integracije cestnoprometnega in urbanističnega planiranja</i>	10
3.1.3 <i>Študije upravičenosti</i>	12
3.2 VRSTE ZNAČILNIH OBMOČIJ RABE	14
3.2.1 <i>Vloga omejene rabe pri odnosu med cesto, cestnim prometom in okoljem</i>	15
3.3 VPLIV CESTE NA DRUGE RABE IN NA VAROVANJA VREDNIH SESTAVIN OKOLJA	17
3.4 TEMELJNE SESTAVINE CESTE IN NJIHOVI VPLIVI V PROSTORU	19
3.4.1 <i>Vrste možnih vplivov cestnega telesa v prostoru</i>	20
3.4.1.1 Vpliv ceste na naravno okolje	21
3.4.1.2 Vpliv cestnega prometa na naravno okolje	23
3.4.1.3 Vpliv ceste in cestnega prometa na urbani razvoj in poselitev	25
4 CESTNI PREDOR KOT DEL CESTE	28
4.1 ZGODOVINA GRADNJE CESTNIH PREDOROV	28
4.2 TEMELJNE ZNAČILNOSTI CESTNIH PREDOROV	30
4.2.1 <i>Horizontalni elementi cestne osi</i>	33
4.2.2 <i>Niveleta – vertikalni element cestne osi</i>	33
4.3 PREČNI PROFIL CESTE V PREDORU	34
4.3.1 <i>Prometni profil</i>	35
4.3.2 <i>Svetli profil</i>	36
4.4 VLOGA GEOLOŠKO-TEKTONSKIH IN HIDROLOŠKIH RAZMER PRI GRADNJI PREDOROV	36
4.4.1 <i>Vloga podtalnice</i>	37
4.5 METODE GRADNJE CESTNIH PREDOROV	38
4.5.1 <i>Gradnja po novi avstrijski metodi (NATM)</i>	41
4.5.2 <i>Metoda rezanja celotnega profila predora (TBM)</i>	43
4.5.3 <i>Gradnja v odprti gradbeni jami – pokriti vkop (cut and cover)</i>	45
4.6 TIPOLOGIJA MESTNIH CESTNIH PREDOROV	46

4.6.1 Omejitveni dejavniki pri gradnji cestnih predorov v urbanih območjih	48
5 DILEMA SODOBNEGA URBANEGA RAZVOJA - ZAKAJ ITI POD ZEMLJO?	50
5.1 RAZLOGI, ZAKAJ ITI POD ZEMLJO	51
5.2 NAČRTOVANJE IN OBLIKOVANJE PODZEMNEGA PROSTORA	53
5.3 HIPOTEZA O USTREZNEJŠI REŠITVI VODENJA PROMETA SKOZI PREDOR V PRIMERJAVI Z VODENJEM PO TERENU	56
6 INTEGRIRANOST PREDOROV V REGIONALNO CESTNOPROMETNO MREŽO – PREDOR ŠENTVID V LJUBLJANI	58
6.1 AVTOCESTA A2 KOT DEL SLOVENSKEGA AVTOCESTNEGA SISTEMA IN X. EVROPSKEGA PROMETNEGA KORIDORJA	59
6.1.1 Odsek Šentvid – Koseze kot del avtoceste A2	59
6.1.1.1 Opis trase predora	60
6.1.1.2 Gradbeno tehnične značilnosti predora Šentvid	61
6.1.1.3 Geološko-tektonske in hidrološke značilnosti hribine v trasi predora	64
6.1.1.4 Metode gradnje predora Šentvid in potek izkopa	65
7 INTEGRIRANOST PREDOROV V REGIONALNO CESTNOPROMETNO MREŽO – PREDOR MRAZOVKA V PRAGI	67
7.1 SISTEM HITRIH CEST V PRAGI	67
7.2 PREDOR MRAZOVKA KOT DEL CCR (CITY CIRCLE ROAD)	69
7.2.1 Opis trase predora	69
7.2.2 Gradbeno tehnične značilnosti predora Mrazovka	72
7.2.2.1 Horizontalni in vertikalni elementi predora	73
7.2.3 Geološko-tektonske in hidrološke značilnosti hribine v trasi predora	74
7.2.4 Metode gradnje predora Mrazovka in potek izkopa	77
7.2.4.1 Geotehnični monitoring	80
8 OCENA MOŽNIH VPLIVOV PREDOROV NA NARAVNO IN DRUŽBENO OKOLJE V MESTIH – PRIMER PREDORA ŠENTVID V LJUBLJANI	81
8.1 MIKROLOKACIJA PREDORA ŠENTVID – ANALIZA PROSTORA	81
8.1.1 Značilnost poselitve in organizacije dejavnosti na območju	82
8.2 VPLIV PREDORA ŠENTVID NA NARAVNO OKOLJE	84
8.2.1 Vpliv ceste v predoru na okolje	84
8.2.2 Vpliv prometa skozi predor na elemente naravnega okolja	87
8.2.2.1 Hrup	88
8.2.2.2 Onesnaženje zraka	88
8.2.2.3 Onesnaženje okolice	89
8.2.2.4 Onesnaženje talne vode	89

8.2.2.5 Neposredna fizična nevarnost	90
8.2.2.6 Vizualna degradacija	90
8.3 VPLIV PREDORA ŠENTVID IN PROMETA SKOZI PREDOR NA URBANI RAZVOJ IN POSELITEV	91
8.3.1 <i>Vpliv na fizični razvoj mesta</i>	91
8.3.2 <i>Vpliv na kakovost bivalnega okolja</i>	93
8.3.3 <i>Vpliv na potencialne za rekreacijo in turizem</i>	94
8.3.4 <i>Prometna razbremenitev mesta</i>	95
8.3.5 <i>Vpliv na prehodnost (lokalnega) območja</i>	99
9 OCENA MOŽNIH VPLIVOV PREDOROV NA NARAVNO IN DRUŽBENO OKOLJE V MESTIH – PRIMER PREDORA MRAZOVKA V PRAGI	101
9.1 MIKROLOKACIJA PREDORA MRAZOVKA – ANALIZA PROSTORA	101
9.1.1 <i>Značilnost poselitve in organizacije dejavnosti na območju</i>	101
9.2 VPLIV PREDORA MRAZOVKA NA NARAVNO OKOLJE	104
9.2.1 <i>Vpliv ceste v predoru na okolje</i>	104
9.2.2 <i>Vpliv prometa skozi predor na elemente naravnega okolja</i>	106
9.2.2.1 Hrup	106
9.2.2.2 Onesnaženje zraka	107
9.2.2.3 Onesnaženje okolice	110
9.2.2.4 Onesnaženje talne vode	110
9.2.2.5 Neposredna fizična nevarnost	111
9.2.2.6 Vizualna degradacija	111
9.3 VPLIV PREDORA MRAZOVKA IN PROMETA SKOZI PREDOR NA URBANI RAZVOJ IN POSELITEV	112
9.3.1 <i>Vpliv na fizični razvoj mesta</i>	112
9.3.2 <i>Vpliv na kakovost bivalnega okolja</i>	113
9.3.3 <i>Vpliv na potencialne za rekreacijo in turizem</i>	115
9.3.4 <i>Prometna razbremenitev mesta</i>	117
9.3.5 <i>Vpliv na prehodnost (lokalnega) območja</i>	120
10 PRIMERJAVA PREDOROV ŠENTVID IN MRAZOVKA	121
11 PRESOJA POSTAVLJENIH HIPOTEZ	126
12 SKLEP	138
13 POVZETEK	140
14 SUMMARY	143
VIRI	146

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovni sestavni deli cestnih predorov in njihova sestava	32
Preglednica 2: Kriteriji in pogoji, ki jih je potrebno upoštevati pri določitvi prečnega profila	34
Preglednica 3: Horizontalni gabariti predora Šentvid	62
Preglednica 4: Horizontalni gabariti predora Mrazovka	73
Preglednica 5: Podatki o prometnih obremenitvah na relevantnih odsekih v letih 2000 in 2006	97
Preglednica 6: Predvideno povečanje prometa v predoru Šentvid pri etapni rešitvi prometnega omrežja v primerjavi s polovičnim priključkom ter povezovalno cesto	98
Preglednica 7: Štetje prometa v letih 2003 in 2004 na nekaterih relevantnih odsekih	117
Preglednica 8: Primerjava nekaterih ključnih lokacijskih, prometno-tehničnih in drugih podatkov o predoru Šentvid in Mrazovka	121
Preglednica 9 : Primerjava vplivov predorov Šentvid in Mrazovka ter poripadajočega prometa na okolje in urbani razvoj	123

KAZALO SLIK

Slika 1: Najstarejši cestni predori	29
Slika 2: Prečni profil cestnega predora	36
Slika 3: Stroji za rezanje celotnega profila predora (TBM)	44
Slika 4: Gradnja v odprti gradbeni jami	45
Slika 5: Primeri posameznih tipov mestnih cestnih predorov	47
Slika 6: Predor Šentvid kot del AC A2	61
slika 7: Vzdolžni prerez leve predorske cevi	63
Slika 8: Predor Mrazovka	70
Slika 9: Vzdolžni prerez trase predora Mrazovka z značilno gelogijo	76
Slika 10: Izkop predora Mrazovka	78
Slika 11: Vzdolžni prerez predora na območju ulice Ostrovskeho	79
Slika 12: Maketa Celovške ceste s portaloma priključnih ramp	81
Slika 13: Predvidena namenska raba prostora v širši okolici predora Šentvid	83
Slika 14: Območji predvidene intenzivne stanovanjske zazidave (Stanežiče in Škofovi zavodi)	92
Slika 15: Prometne obremenitve	96
slika 16: Računalniška simulacija emisij NO _x v kanjonu med predoroma Mrazovka in Strahov	108
Slika 17: Prezračevalni sistem ob požaru	111

KAZALO FOTOGRAFIJ

Fotografija 1: Mozartov most	71
Fotografija 2: Južni portal predora Mrazovka	71
Fotografija 3: jugovzhodni portal predora Mrazovka, priključek na Radlicko cesto	71
Fotografija 4: Primer zazidave na sedlu med vzpetinama Mrazovka in Pavi Vrch (ulica Ostrovskeho)	72
Fotografija 5: Primer zazidave na sedlu med vzpetinama Mrazovka in Pavi Vrch (ulici Na Brezince in U Santošky)	72
Fotografija 6: Primer zazidave na sedlu med vzpetinama Mrazovka in Pavi Vrch (ulica U Nikolajky).	72
Fotografija 7: Separacija na lokaciji gramoznice Stanežiče	82
Fotografija 8: Gramoznica Stanežiče	82
Fotografija 9: Stanovanjska gradnja v Kamni Gorici	83
Fotografija 10: Stanovanjska gradnja vzdolž trase AC	83
Fotografija 11: Stara domačija na Cesti Andreja Bitenca	83
Fotografija 12: Vrtički ob trasi AC	83
Fotografija 13: Zatravljena deponija na avtocestnem odcepu Brod	87
Fotografija 14: Tipične »brownfield« naložbe na Nadražni ulici v okrožju Smichov	112
Fotografija 15: Poslovni objekti so zrasli na območjih nekdanjih proizvodnih površin	112
Fotografija 16: Poslovno-trgovski objekti na ulici Karla Engliša v Smichovu	112
Fotografija 17: Ulica Nadražni	112
Fotografija 18: Ena izmed arhitektonsko oblikovanih peš poti na Mrazovko	115
Fotografija 19: Razgibano sprehajališče s prostorom za oddih in razglediščem	115
Fotografija 20: Otroško igrišče ob glavni sprehajalni poti	115
Fotografija 21: Pogled z razgledišča na predor Strahov in Mozartov most	115

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

okrajšava	pomen
AC	Avtocesta
CCR	City circle road (mestna krožna cesta)
CRR	City ring road (mestni cestni obroč)
DARS	Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji
EU	Evropska unija
EU15	Petnajst držav Evropske unije, ki so sestavljale skupnost pred širitvijo leta 2004
GIS	Geographical information system (geografski informacijski sistem)
IPN MOL	Izvedbeni prostorski načrt Mestne občine Ljubljana
JPP	Javni potniški promet
KPP	Karakteristični prečni profil
MOL	Mestna občina Ljubljana
NATM	New Austrian tunneling method (Nova avstrijska metoda gradnje predorov)
NPP	Normalni prečni profil
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
TBM	Tunnel boring machine (stroj za rezanje (vrtanje) celotnega profila predora)
ZDA	Združene države Amerike

1 UVOD

Mesto enaindvajsetega stoletja je visoko tehnološko razvita urbana tvorba, vpeta v medregionalne in mednarodne tokove s svojstveno vlogo na globalnem trgu ter odličnim servisom za svoje in okoliške prebivalce. Na ta način zagotavlja visoko raven kakovosti bivanja, ki jo neprekinjeno omogoča z neprestanim izkoriščanjem omrežja gospodarske javne (komunalne, energetske, telekomunikacijske in prometne) infrastrukture, ki pa je neizbežno porabnik (na površju še posebej cenjenega) prostora (družbeno in ekonomsko). Tako rekoč neomejene možnosti širitve te infrastrukture pod površjem omogočajo neprekinjeno dobavo energije in pitne vode, odvajanje odplak ter primerjalno visoko stopnjo mobilnosti ob hkratni visoki ravni kakovosti bivalnega okolja. Podzemni prostor zato postaja neomejen manevrski prostor in razvojni potencial prihodnjega razvoja mest – neke vrste četrta prostorska dimenzija¹. Povečanje uporabe tega prostora lahko v prihodnosti pričakujemo ob predpostavkah povečane osveščenosti glede varnosti, bivalnih razmer in varovanja okolja, povečanega pritiska na preostale proste površine, nadaljevanja rasti mobilnosti, zdrave gospodarske rasti, tehnološkega napredka in aktivnih vladnih politik, naklonjenih trajnostnemu prostorskemu razvoju ter z boljšim smislom za upoštevanje okoljskega in varnostnega vidika.

Pot do »idealnega mesta prihodnosti« je zahtevna, saj je prostor stabilna struktura, spremembe modernega postindustrijskega časa pa so bliskovite. Ena takih sprememb je tudi motorizacija, ki v razvitem delu sveta predstavlja enega glavnih problemov, ki dušijo mesta, saj povečano število motornih vozil bistveno upočasni in občasno ustavi promet na prometnicah, grajenih za popolnoma drugačno stopnjo motorizacije. S tem se, ironično, zmanjša mobilnost, hkrati pa se z emisijami in hrupom zmanjšuje kakovost bivalnega in naravnega okolja. Eno izmed možnih rešitev predstavlja gradnja novih prometnic pod zemljo, v predorih. Cestni predor kot tak je, gledano širše, del ceste, za katerega pa je značilno, da ima kot vsak antropogen tujek določene vplive na prostor (v okoljskem in sociološkem smislu), ki se razlikujejo glede na

¹ Poleg potenciala za razvoj infrastrukture predstavlja podzemni prostor potencial tudi za druge vrste rabe in dejavnosti (garaže, skladišča in drugo), ki pa niso predmet magistrskega dela.

različne dejavnike, ti pa so načeloma odvisni od količine in hitrosti prometa². Pri vplivih predorov na urbani prostor je pomembno postaviti predor kot alternativo cesti na odprti trasi in ne kot alternativo stanju brez predora, saj se (negativni) vplivi na urbani prostor nujno pojavljajo tudi pri predorih, vendar v zelo drugačnih intenzitetah in disperziji. Na splošno so neposredni vplivi negativni (na primer hrup, onesnaženje pri portalih, itd.), posredni pa pozitivni (na primer razbremenitev obstoječega cestnega omrežja, izboljšanje bivalnih razmer v širšem prostoru, itd.). Neposredni vplivi so navadno merljivi (na primer emisije, nivo hrupa), posredni pa lahko tudi ne (na primer izboljšanje kakovosti bivanja, splošne biotske pestrosti, primerjalno manjšega števila poškodovanih v prometnih nesrečah³, prihranka časa, itd.). Večkrat se pojavljajo v vzročno-posledičnih zvezah (na primer nižji nivo hrupa predstavlja osnovo za višjo kakovost bivalnega okolja, potenciala za rekreacijo in večjo pestrost naravnega okolja), njihove prostorske razsežnosti pa so lahko mikrolokalne, lokalne, regionalne ali nadregionalne (metropolitanske).

Zaradi specifičnega razvoja mest v ZDA, ki nimajo Evropske srednjeveške preteklosti, in njihove cestno-prometne zasnove mestnih avtocest, ki vodijo v strogo mestno središče (t.i. *highways*) ter pomanjkanja prostora v urbanih aglomeracijah v jugovzhodni Aziji in na Japonskem, te države prednjačijo v gradnji cestnih predorov (na primer *Central artery, Boston, ZDA*). Tovrstni objekti se sicer gradijo tudi v Evropi in sicer po podobnih metodah in vrtalnih tehnikah in z uporabo enakih orodij, podpornih elementov in gradbenega materiala, saj je trg tudi na tem področju globalen. Razlog za gradnjo predorov v urbaniziranih območjih pa seveda ni nujno pomanjkanje prostih površin, ampak tudi orografska pregrada, premostitev vodne površine ali varovanega območja.

Zaradi unikatnosti reliefa, geoloških značilnosti, prometno-tehničnih zahtev in drugih dejavnikov, ki so prisotni pri umestitvi predorov v prostor, je tudi vsak tak objekt edinstven, kar je razvidno tudi iz primerjav na videz podobnih objektov v podobnem urbanem prostoru. Predora Šentvid v Ljubljani in Mrazovka v Pragi predstavljata tak primer. Šentviški predor je

² zaradi primerjalnega kratkega trajanja negativnih vplivov v času gradnje predorov glede na trajanje uporabe, le tem pripisujem obrobno vlogo

³ Statistično je dokazano, da so cestni predori varnejši od cest na površju. Ob upoštevanju, da je dovoljena hitrost v predorih bistveno nižja, pešcev in kolesarjev ni, zahtevne vremenske razmere kot so sneg, led, gosta megla, nalivi, veter, nimajo omembe vrednega vpliva, pa tudi vozniki so v predorih načeloma oprezniji, je to dejstvo lažje razumljivo (gl. Šajtar, Dvořak, 2004).

sicer sestavni del daljinske avtoceste A2 Karavanke-Obrežje, Mrazovka pa je sestavni del notranjega obroča (t.i. *City circle road*) v sistemu mestnih obvoznih cest mesta Praga.

Prav primerljivost nekaterih elementov objektov me je napeljala k raziskovanju naslovne tematike in omenjenih predorov ter njunih vplivov na naravno in urbano okolje. Primerjava dokazuje, da ne glede na podobne ali celo enake primerjalne tehnične karakteristike in primerljivost z vidika metodologije gradnje, ne moremo sklepati na enake učinke posega na prostor. Vsak prostor je namreč specifičen z vidika geografskih, okoljskih, družbenih in drugih prvin, zaradi česar je tudi součinkovanje na ravni cesta (predor)-naravno okolje-urbano okolje vedno edinstveno.

2 NAMEN IN CILJI NALOGE TER IZHODIŠČNE HIPOTEZE

Namen magistrskega dela je na podlagi delovnih hipotez ugotoviti:

- kaj je glavni cilj gradnje predorov v mestih,
- na kakšne načine se odražajo vplivi umestitve cestnih predorov v prostor ter
- kakšno vlogo ima ob tem mikrolokacija posameznega predora.

Ob tem je potrebno ugotoviti ali je gradnja cestnih predorov nujna, upravičena ali povsem nepotrebna, oziroma ali učinki njihove umestitve v prostor govorijo v prid njihovi izgradnji ali ne. Ekonomski (kvantitativni) kazalci namreč skoraj praviloma ne kažejo upravičenosti predorov. Na podlagi terenskega dela, s proučevanjem znanstvene in strokovne literature ter s podatki, pridobljenimi od nekaterih akterjev, ki so vključeni v proces načrtovanja in izgradnje cestnih predorov v mestih, bom skušal ugotoviti relevantnost postavljenih hipotez.

Odločitev o primerjavi predorov Šentvid v Ljubljani in Mrazovka v Pragi je temeljila na izhodišču o njuni gradbeno-tehnični primerljivosti, saj so karakteristike obeh predorov (dolžina predorskih cevi in prečnih profilov, umestitev kavern in uvoznih ter izvoznih ramp, itd.) ter metoda in zahtevnost gradnje primerljivi. Privlačno je tudi dejstvo, da imata tudi mesti, v kateri sta umeščena objekta, nekaj ključnih stičnih točk - Ljubljana in Praga sta sestavni del urbanega sistema mest Srednje in Vzhodne Evrope. Predstavljata prestolnici dveh manjših držav Evropske unije s primerljivo zgodovinsko potjo (srednjeveška zasnova, vloga Habsburške monarhije z industrializacijo in prihodom železnice, medvojna nepoškodovanost, socializem, EU) ter podobnimi težavami, s katerimi se soočata zaradi nagle motorizacije in nezadostne cestne mreže.

Namen magistrskega dela bo dosežen ob potrditvi ali ovržbi naslednjih delovnih hipotez:

- *Poglavitni cilji gradnje predorov v urbanih območjih so izboljšanje bivalnih razmer vzdolž trase, zmanjšanje vplivov na naravno okolje, zmanjšanje prometnih obremenitev in posledično izboljšanje mobilnosti ter omogočanje rabe nad traso predora;*
- *Cestni predor predstavlja v urbaniziranem okolju boljšo alternativo odprti trasi;*

- *Gradnja cestnih predorov je kljub ekonomski neupravičenosti lahko upravičena zaradi kvalitativnih učinkov, ki so težko merljivi ali sploh nemerljivi;*
- *Pristop k gradnji predorov Šentvid v Ljubljani in Mrazovke v Pragi je podoben;*
- *Vplivi izgradnje obeh predorov na urbani razvoj Ljubljane in Prage v času gradnje in obratovanja niso primerljivi;*
- *Oba predora bosta bistveno pripomogla k izboljšanju cestnoprometnih razmer na širšem mestnem območju.*

2.1 Metodologija dela

Izbrana naslovna tematika zahteva interdisciplinarni pristop in aplikacijo deduktivne metode v znanstvenem raziskovanju. Na podlagi upoštevanja načel objektivnosti, gotovosti, preciznosti, sistematičnosti in splošnosti so iz splošnih stališč izvedeni posebni in posamični, iz splošnih postavk pa prihaja do konkretnih posameznih zaključkov. Rezultati imajo značaj pomembnih znanstvenih spoznanj.

Prepletanje dognanj različnih znanstvenih disciplin (prometno planiranje, urbanistično planiranje, gradbeništvo, geologija, geografija, ekonomija, prostorska sociologija, itd.), ki je nujno potrebno zaradi implikacije interdisciplinarnosti, v celotnem pregledu privede do treh izstopajočih vidikov:

- *prostorsko-urbanističnega* (izvedba vsakega posega v cestno infrastrukturo temelji na želji po izboljšanju prometnih karakteristik, s čimer se spreminja atrakcija lokacije za bivanje in dejavnosti v prostoru. Cestni predori na cestah višjega ranga so s tega vidika v urbanem, gosto poseljenem prostoru, objekti nadlokalnega pomena);
- *okoljskega* (vsak poseg v prostor se zaradi narave cestne infrastrukture in pripadajočega prometa kaže v vplivanju njunih prvin na naravno okolje, ki je sicer zaradi že prisotnih negativnih vplivov obstoječih prvin zaradi urbanizacije v mestih sicer manjše in bolj omejeno, po drugi strani pa je prav zaradi tega še ranljivejše, hkrati pa tako pomembno, saj služi uporabnikom mesta);

- *gradbeno-tehničnega* (gradnja vsakega predora predstavlja gradbeno-tehnični podvig, saj je vsak predor edinstven, kar pomeni, da je pristop k gradnji vsakega predora drugačen. Unikatnost izvira iz heterogenosti prostora in vseh dejavnikov (geoloških, hidroloških, morfoloških, urbanističnih in drugo), ki pogojujejo njegovo izvedbo. Brez razvoja metod gradnje predorov, izboljšanja in povečanja spektra podpornih elementov, možnosti monitoringa, inovativnosti pristopa in podobno bi bila gradnja podzemnih prostorov in še posebej predorov velikih profilov v nestabilnih hribinah nemogoča).

Pričujoče magistrsko delo temelji na aplikaciji naslednjih metod (klasifikacija po Ivanko, 1996), ki so posledica kabinetnega in terenskega dela v Ljubljani in Pragi:

- *deskriptivne* (opisovanje in postavljanje osnovnih hipotez ter pojasnjevanje raziskovanih pojavov),
- *metode opazovanja* (omogoča neposreden način spoznavanja s pojavi in procesi raziskovanja. Rezultat predstavljajo zbrani podatki in informacije o dejstvih, pojavih in procesih ter spoznavanje odnosov in povezanosti med njimi),
- *komparativne* (postopek primerjanja pojavov, procesov in odnosov oziroma ugotavljanje njihovih podobnosti v obnašanju in intenzivnosti ter razlik med njimi),
- *študije primerov* (posamezni primeri so proučevani z določenega področja. Na podlagi proučevanj več primerov so izvedeni zaključki),
- *intervjuvanja* (intervju je izveden neposredno, ustno, v obliki pogovora z intervjuvancem),

V delu so pretežno uporabljeni (klasifikacija po Bartol, 2000) objavljeni primarni viri v tiskani in elektronski obliki in sicer neperiodični (monografije in zborniki) in periodični zaključeni viri (znanstveni časopisi; predvsem *Urbani izziv* in *Tunel*), uporabljeni pa so tudi podatki t.i. sive literature (interna gradiva; na primer *CD-ROM podjetja SATRA*). Splošni referenčni viri (slovarji, enciklopedije) so bili uporabljeni le kot pomoč in vodilo pri nadaljnem raziskovanju, zaradi česar jih na seznamu uporabljenih virov in literature ni.

3 ŠIRŠA IZHODIŠČA NALOGE: MESTNO PROMETNO NAČRTOVANJE IN VODENJE CESTNEGA PROMETA

Cestno omrežje sestavljajo infrastrukturni objekti najširšega družbenega pomena (ceste). Zaradi izjemnih razsežnosti, s katerimi ceste posegajo v prostor, je njihov vpliv na izrabo prostora in dogajanje v njem zelo velik. Promet, zaradi katerega so ceste sploh zgrajene in so torej njegov generator, pa predstavlja še dodatno obremenitev prostora, obenem pa do drugih uporabnikov postavlja razmere za zagotovitev čimvečje prometne varnosti. Je pa potrebno takoj izpostaviti, da si urbanega prostora brez cest ni mogoče predstavljati⁴.

Vsaka cesta potrebuje v prostoru zemljiški pas, širina katerega je odvisna od vrste in namena ceste ter terena, po katerem cesta poteka. Kot umetna tvorba predstavlja cesta skupaj s prometom na njej tudi stalni vir vplivov na sosednja zemljišča (Juvanc et al., 1990).

S prostorskim načrtovanjem in njegovim urejanjem se zagotavlja skladen prostorski razvoj z obravnavo in usklajevanjem različnih potreb in interesov razvoja z javnimi koristmi na področjih varstva okolja, ohranjanja narave in kulturne dediščine, varstva naravnih virov, obrambe in varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (3. čl. ZPNačrt, Ur.l. RS, št. 33/07). Hkrati naj se spodbuja in usmerja takšen družbeni razvoj, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti (2. čl. ZVO-1, Ur.l. RS, št. 41/04). Odločitve o namenski rabi se sprejema na podlagi ugotovitev o naravnih in ustvarjenih danostih prostora ter o njegovi primernosti za posamezno rabo. Med te ugotovitve sodi tudi soodvisnost in povezava med posameznimi območji in dejavnostmi na njih ter vpliv teh dejavnosti na okolje.

Soodvisnost zajema območje, na katerem se pojavljajo različni interesi, njegova velikost pa je odvisna od intenzivnosti vplivov teh različnih interesov. Za ustrezno vrednotenje vplivov in

⁴ Že Rimljani so to »nujnost« poimenovali VIA-VITA (cesta pomeni življenje, op.p.).

njihovo upoštevanje pri planiranju, jih je treba ugotoviti, definirati, določiti njihovo jakost in način vplivanja na druge uporabnike v prostoru oziroma na njihove interese⁵.

3.1 Vloga cestne mreže v prostoru

Cestno omrežje predstavlja osnovno komunikacijo za menjavo dobrin in socialnih kontaktov med uporabniki prostora. Zaradi te vloge sodi med tiste elemente, ki jih je treba v procesu planiranja, gradnje in eksploatacije še posebej natančno spremljati. Poleg splošnega ekonomsko-socialnega pomena je treba pri tem upoštevati še izvorno togost (velikost objekta) in negativne učinke cestne infrastrukture, ki jih s svojimi vplivi povzroča okolici in obratno.

Glede na stopnjo definiranosti v prostoru, potrebe po zagotovitvi površin v prostoru in vrsto posega ločimo (Juvanc et al., 1990):

- *novogradnje* (dolgoročno in srednjeročno planiranje ter faza gradnje in uporabe (eksploatacije). Pri novogradnjah gre za nov element (objekt) v prostoru);
- *rekonstrukcije* (srednjeročno planiranje; pri rekonstrukcijah gre za obnovo obstoječega elementa (objekta) v prostoru z dodatnimi posegi v prostor ob njem);
- *vzdrževanje in varstvo cest* (gre le za eksploatacijo obstoječega elementa (objekta) v prostoru).

Veliko večino cestnega omrežja sestavljajo javne ceste – prometne površine, ki so splošnega pomena za promet in jih je pristojni organ razglasil za javne ceste⁶. Vsak jih lahko prosto uporablja pod pogoji in na način, ki je določen z zakonom (grajeno javno dobro – ZPNačrt, Ur.l. RS, št. 33/07). Sestavni element javnih cest so tudi površine, ki niso namenjene neposredno prometu, vendar predstavljajo njegovo funkcionalno dopolnitev oziroma jih na

⁵ ZVO-1 (Ur.l. RS, št. 41/04) določa, da je pred začetkom izvajanja posega, ki lahko pomembno vpliva na okolje, treba izvesti presojo njegovih vplivov na okolje in pridobiti okoljevarstveno soglasje ministrstva (50. čl.). V postopku presoje vplivov na okolje se ugotovi, opiše in oceni dolgoročne, kratkoročne, posredne ali neposredne vplive nameravanega posega na človeka, tla, vodo, zrak, biotsko raznovrstnost in naravne vrednote, podnebje in krajino, pa tudi na človekovo nepremično premoženje in kulturno dediščino, ter njihova medsebojna razmerja (51. čl.).

⁶ ZJC-UPB-1 (Ur.l. RS, št. 33/06) v 2. členu med drugim določa tudi, da so javne ceste prometne površine splošnega pomena za cestni promet (v nadaljnjem besedilu: promet), ki jih lahko vsak prosto uporablja na način in pod pogoji, določenimi s predpisi, ki urejajo javne ceste in varnost prometa na njih; so javno dobro in so izven pravnega prometa. Na njih ni mogoče pridobiti lastninske pravice s priposestovanjem ali drugih stvarnih pravic.

javni cesti potrebujemo za zgraditev ali ureditev ceste ter zagotovitev njene funkcionalnosti in predstavljajo cestno zemljišče (kolesarske poti, zelenice ob cesti, hortikultura ureditev ob cesti, pregledne berme v vkopih, berme, površine za postavljanje prometne signalizacije in opreme, brežine vkopov in nasipov, vzdolžni zaščitni pas ob robu cestnega telesa, površine za ureditev odvodnjavanja na in ob cesti, avtobusna postajališča, servisne površine raznih namembnosti, priključki sekundarnih cest in drugo). Za zagotovitev prometne varnosti in stabilnosti cestnega telesa so sicer potrebne še druge površine, ki pa niso del cestnega zemljišča (polje preglednosti v krivinah in križiščih⁷, površina za odvod meteornih in drugih voda s ceste, površina za zagotovitev dostopnosti do cestnih objektov zaradi vzdrževanja in drugo), sodijo pa v okvir omejene rabe prostora.

Cestno omrežje in cestni promet, ki mu je omrežje namenjeno, sta dejavnika z neizbežnimi vplivi na okolje, zato jih je potrebno načrtovati tako, da so ti vplivi v okviru s predpisi dovoljenih stopenj pri novogradnjah zmanjšani na najmanjšo možno mero (v skladu z zakonodajo s področij prostorskega načrtovanja, graditve objektov in varstva okolja in drugih sektorskih zakonov). Ker pa se v okolju pojavljajo dejavnosti, ki s svojimi vplivi škodujejo cesti in prometu na njej, je treba tudi te dejavnosti (za zaščito javnega interesa, kar javna cesta je) v prostoru načrtovati na način, da ne vplivajo na stabilnost cestnega telesa (na primer odnašanje terena), da ne poškodujejo naprav na cesti (kmetovanje) in da ne zmanjšujejo varnosti prometa (na primer kurišča) (Juvanc et al., 1990).

3.1.1 Urbanistično načrtovanje cestnega prometa

Omrežje mestnih cest je ena tistih sestavin urbanega tkiva, ki najbolj določa morfologijo mesta, njegovo funkcioniranje in estetsko obliko. V tej prostorski matrici je moč pogosto zaslediti razvojno kontinuiteto mesta oziroma ostanke iz njegovih značilnih obdobj (na primer rimsko zasnovano, iregularno srednjeveško cestno mrežo, regulacije s konca 19. stoletja, funkcionalistično razdelitev na zazidalne otoke, itd.). V odnosih med urbano morfologijo in gradbeno tipologijo cesta, zaključena enota, parcela in ideja njihovega obstoja v zgodovini in

⁷ V vkopnih profilih ceste je ta površina opredeljena kot pregledna berma (dodatno povečana širina ukopa), v nasipnih pa kot prosta površina, kar pomeni, da na njej nobena fiksna ovira ne sme segati višje od nivelete ceste.

v fizičnem plašču mesta, predstavljajo nove osnove, na katerih naj se gradi mesto, ki raste samo po sebi in se stalno prilagaja trenutni dediščini (Fikfak, 1999).

Po tlorisni tipologiji urbanisti ločijo (Pogačnik, 1999):

- *radialno cestno omrežje*, ki je značilno za stara, raščena naselja, manjša naselja in vasi ter za zvezdasto razraščena mesta (Benetke);
- *kombinacija radialnega in krožnega (koncentričnega omrežja)*, ki je značilna za starejša večja mesta (Dunaj, tudi Ljubljana). Krožne sisteme so pogosto gradili na obročih nekdanjih porušeni obzidij;
- *pravokotno (ortogonalno) omrežje* je značilno za nova planirana mesta (grška, rimska, nova kolonialna mesta). Gre za najstarejšo načrtovano prometno matrico, ki je nastajala v vseh zgodovinskih obdobjih (New York, Chicago, Mexico City);
- *kombinacije ortogonalnih in diagonalnih sistemov* so mreže, ki so značilne za baročni in klasicistični urbanizem ter nudijo monumentalno in jasno čitljivo vizualno-oblikovno strukturo. Ustvarjajo trikotna in zvezdasta križišča ter trge (Berlin iz 19. stoletja);
- *linearni (osni) cestni sistem* je značilen za dolga, razpotejnena naselja v ozkih dolinah, pogosto v starih rudarskih, fužinarskih, predindustrijskih naseljih (Jesenice);
- *krožni sistemi* so značilni za novejša rešitve (avtocestne in železniške obvoznice, obvoznice okoli mestnega središča, zeleni obroč, itd.);
- *kombiniran prometni sistem* predstavlja kombinacijo naštetih geometričnih sistemov (Rim).

3.1.2 Vloga integracije cestnoprometnega in urbanističnega planiranja

Cestni promet je že nekaj desetletij eden najbolj perečih problemov mest v zahodnoevropskih državah EU. V obdobju pospešene motorizacije, ki je zajela bivše socialistične države po padcu Berlinskega zidu pa se s tovrstnimi problemi soočajo tudi vzhodnoevropska mesta. Promet se je spremenil iz spodbujevalca razvoja mest v svoje nasprotje. Postal je zaviralec razvoja mest in mobilnosti prebivalcev. Zaradi njegove vedno pomembnejše vloge se na področju urejanja prometa v evropskih mestih vse pogosteje pojavljajo termini »celostna«, »integrirana«, »trajnostna« politika urejanja mestnega prostora, za katero je značilno, da uvaja

celostni pristop reševanja prometa v mestih kot odgovor na večinoma parcialne poskuse, ki so pogosto probleme še poglobili (Plevnik, 1997).

Med poglavitne cilje načrtovanja mestnega prometa sodijo predvsem čim večja diferenciacija prometnih sistemov in hierarhičnost omrežij, povečanje deleža javnega prometa glede na osebne in povečanje njegove kakovosti, ločitev raznih vrst prometa (glede na prometna sredstva, raven storitev, hitrost, dolžino potovanj, itd.), ustrezna distribucija rabe in aktivnosti v mestu (ki stremi k čim bolj enakomerni porazdelitvi prometa), razbremenjevanje mestnih središč individualnega avtomobilskega prometa in tranzita, izboljšanje varnosti, hitrosti, udobnosti, zmanjševanje emisij, rizikov elokoških nesreč, zmanjševanje vizualno negativnih učinkov ter upoštevanje historičnih prometnih mrež, gradbenih linij in drugo (Pogačnik, 1999).

Prometno povpraševanje je povezano predvsem z razmestitvijo in intenzivnostjo rabe tal, ki pa je obvladljiva (regulirana) z ukrepi urbanističnega planiranja, zaradi česar je možno z njima vplivati tudi na obseg, smeri ter dolžino potovanj. Centralizacija naj bi na ravni mesta predstavljala najprimernejši vzorec rabe, med tem ko naj bi bila decentralizirana koncentracija primernejša za regionalno raven. Mesta z naraščajočo koncentracijo dejavnosti proti mestnemu središču so tudi prometno učinkovitejša, saj imajo mesta z dvema ali več približno enakovrednimi središči bolj decentraliziran stanovanjski vzorec in večje prometno povpraševanje.

Promet tudi sam dolgoročno vpliva na razmestitev dejavnosti, ki se zaradi različne prometne ponudbe in prevoznih stroškov prometnemu sistemu prilagajajo. Na mestno strukturo vpliva predvsem preko potovalnih stroškov, merjenih v času in denarju, ki vplivajo na mobilnost posameznika, na dostopnost lokacij in potencialno na pozidavo zemljišč. Nova cesta na primer povzroči prerazporeditev starih in generiranje novih prometnih tokov, hkrati pa povzroča tudi prilagajanje ljudi in dejavnosti novim vzorcem dostopnosti. Urejanje prometa v mestih je potrebno zaradi vsega navedenega obravnavati kot sestavni del širšega urbanističnega planiranja in kot enega temeljnih orodij usmerjanja razvoja mestne strukture (Plevnik, 1997).

Tudi usklajenost planiranja novih cestnih povezav najvišjega reda z načrtovanjem razvoja posameznega mesta je ključnega pomena za zagotovitev ustrezne povezanosti na državnem in meddržavnem (EU) nivoju, s tem pa učinkovitejšega pretoka blaga, storitev in ljudi. Spremembe dostopnosti, ki nastanejo s tovrstno izgradnjo, stimulatивно vplivajo tudi na razvoj širšega prostora.

Kljub razlikam v poudarkih zaradi geografskih, kulturnih in političnih razlogov imajo prostorsko-prometne politike evropskih mest mnogo skupnih elementov. Prizadevajo si za čim boljše povezavo prostorske in prometne politike (še posebej spodbujajo lociranje dejavnosti in novih stanovanjskih sosesk v radiusu peš dostopa do postajališč javnega potniškega prometa), spodbujajo razvoj javnega potniškega prometa, zaostrujejo okoljske standarde, omejujejo investicije v gradnjo cest (z izjemo avtocestnih povezav in obvoznic), omejujejo parkiranje v mestnih središčih in uvajajo programe umirjanja prometa v stanovanjskih območjih. Mestne ulice so vedno manj obravnavane kot prometne arterije in vedno bolj kot življenjski prostor (Plevnik, 1997).

3.1.3 Študije upravičenosti

Študije upravičenosti naložb v ceste oziroma cestne objekte navadno zajemajo naslednje ključne točke (Ceste in promet, 1995):

- *razvojna ekonomija*, kjer se analizirajo gibanja vseh tistih kazalcev ekonomskega razvoja, ki vplivajo na razvoj prometa in so osnova za prognoziranje rasti bodočega prometa (alokacija industrije, nove gospodarske in drugo cone, itd.);
- *prometne razmere* na obstoječi cestni mreži, na osnovi raziskave prometnih tokov na širšem in ožjem območju izboljšave prometnih razmer, ki jih omogoča predvidena investicija;
- *analiza sedanjega prometa*, kjer so analizirani obseg in struktura prometa ter stopnja prometne zasičenosti (razvoj prometa, letna nihanja, nameni potovanj ter možnosti porazdelitve prometnih tokov na cestni mreži);
- *prognoza prometa* prikazuje metode prognoziranja rasti prometa z ocenjenimi stopnjami rasti, oziroma obseg ter strukturo prometa v določenem obdobju;

- *analiza stroškov uporabnikov cest*, v kateri se analizirajo vse značilnosti cestnega omrežja in prometa, ki vplivajo na višino stroškov uporabnikov na cestnem omrežju brez investicije in z njo, ter izračunavajo stroški uporabnikov cest;
- *gradbeno-tehnični podatki s kalkulativnimi osnovami in izračunom stroškov investicije* zajemajo analizo investicijskih stroškov na osnovi količin gradbenih del po strukturi stroškov;
- *ekonomsko iz vrednotenje* obsega izračune meril za ugotavljanje ekonomske upravičenosti investicije z analizo občutljivosti in stopnjo rizika;
- *okoljevarstvena ocena*, ki se izdelava na osnovi študije o vplivih investicije na okolje. Podan je pregled osnovnih podatkov o prostoru, sodelovanju z javnostmi, vplivih na okolje, ukrepov za njihovo zmanjšanje in monitoring;
- *predhodna izbira variant* predstavlja opise obravnavanih variant in rezultate vrednotenja po tehničnih, prometnih, ekonomskih in drugih kriterijih s predlogom izbire variante.

Proučitev in medsebojna primerjava variant poteka cest državnega pomena se opravi v posebnih študijah tako, da se vse variante enakovredno analizirajo in vrednotijo po naslednjih kriterijih: kriterij regionalnega in urbanega razvoja (povezovanje regij, naselij znotraj regij, prilagoditev utečenim migracijskim smerem, možnost ohranjanja primarnih dejavnosti, usklajenost z infrastrukturnimi koridorji), prometnotehnični kriterij in kriterij prometne varnosti (prometna učinkovitost in razbremenitev lokalne cestne mreže, prometna varnost, tehnične ustreznosti, težavnost gradnje, potrebe po izgradnji sekundarne cestne mreže), okoljevarstveni kriterij (vpliv onesnaženosti zraka, hrup in drugi vplivi na bivalno okolje, vpliv na gospodarsko okolje z vidika kmetijstva, gozdarstva in vodnega gospodarstva, naravna in kulturna dediščina, vpliv na kvalitete vidnega okolja, itd.), ekonomski kriteriji (gradbeni stroški, odškodnine, stroški rušenja objektov) in kriterij družbene sprejemljivosti.

Zaključno fazo proučitve variant predstavlja primerjalno vrednotenje oziroma proces izbire optimalne variante. Zaradi dejstva, da je nekatere podatke možno kvantificirati, zaradi česar so lahko primerljivi, nekaterih pa ne, je izbira variant izjemno zahteven proces, saj nujno

vsebuje iskanje konsenza med različnimi, pogosto nasprotujočimi si interesi in vrednotami, ki se odražajo v kvalitativnih kriterijih (Ceste in promet, 1995).

3.2 Vrste značilnih območij rabe

Glede na vrsto, intenzivnost rabe in obseg lahko ločimo (1.) *območje za zgraditev in eksploatacijo ceste*, (2.) *območje za zagotavljanje funkcionalnosti in stabilnosti cestnega telesa ter zagotavljanje pogojev za odvijanje prometa* in (3.) *območje obremenilnih učinkov ceste in prometa*. Na podlagi te opredelitve se v cestnem prostoru formirajo štiri vrste značilnih območij (Juvanc et al., 1990)⁸:

1. *območje izključne rabe*, ki obsega prostor, ki je potreben za zgraditev in eksploatacijo ceste in v katerem so zunanji posegi ali dejavnosti možni le s posebnim dovoljenjem upravljalca. Z območjem izključne rabe na cestah se označuje tista zemljišča, na katerih so zgrajeni ali postavljeni elementi ceste, njene vzporedne ureditve, zračni prostor do višine najmanj 7 metrov in drugo. Gre torej za tridimenzionalni prostor, ki tlorisno ni enostavno vzporeden z robom cestišča.
2. *območje nadzorovane rabe*, predstavlja zemljiško posest, ki se nahaja vzdolž ceste in na kateri je zaradi zagotavljanja načrtovane izgradnje, položaja, stabilnosti, funkcionalnosti, trajnosti ceste in varnosti prometa na njej ter omilitve ali izključitve vplivov ceste na ta zemljišča, gospodarjenje za posamezne vrste dejavnosti trajno omejeno.
3. *območje omejene rabe*, ki obsega prostor, kjer se pojavljajo škodljivi učinki – vplivi cestnega telesa in cestnega prometa – in na katerih so posegi ali dejavnosti možni le s soglasjem upravljalca ceste. Z območjem omejene rabe na cestah se označuje tista zemljišča, ki se nahajajo vzdolž ceste in na katerih je gospodarjenje omejeno s prepovedjo posameznih vrst dejavnosti z namenom zagotavljanja načrtovane izgradnje, položaja, stabilnosti, funkcionalnosti, trajnosti ceste in varnosti prometa na njej ter omilitve ali izključitve vplivov ceste na ta zemljišča. Območje omejene rabe je

⁸ Obstoječa zakonodaja v Sloveniji ne pozna te delitve.

izrazito povezano z reliefom (kjer cesta poteka na primer v bližini vzpetine, je lahko precej ožje, kot v ravninskem svetu, ki je bolj dovzeten za disperzijo vplivov).

4. *območje začasno omejene rabe*, ki obsega rabe iz tč. 1-3 v času planske etape gospodarjenja s cestami. Namen je v začasni prepovedi prostega razpolaganja površin ob cestah, predvidenih za obnovo ali novogradnjo, pa tudi rekonstrukcijo (koridorji prometnic), dokler se s projekti ne določi natančnejšega obsega bodočega posega).

3.2.1 Vloga omejene rabe pri odnosu med cesto, cestnim prometom in okoljem

Omejena raba⁹ pomeni posebno obliko rabe zemljišč, saj se mora podrejati merilom, ki izvirajo iz neke druge rabe prostora zaradi prostorske soseščine ali sobivanja rab na istem zemljišču (t.i. multiple use). Razlog za omejeno rabo predstavlja medsebojni vpliv med rabami in zemljišči v prostoru. Tak vpliv je lahko popoln, predstavlja pa ga popolna sprememba ali nadomestitev ene rabe z drugo ali popolna sprememba stanja zemljišča. V takih primerih lahko govorimo o izključni rabi. Vpliv pa je lahko tudi samo delen, kar se kaže kot neugodno vplivanje na idealno stanje zemljišča ali delovanje neke rabe. Zatečena raba v tem primeru torej ni spremenjena, zamenjana z drugo, ampak se ji zgolj postavijo omejitve (omejena raba).

V zvezi s problemom omejene rabe je potrebno ločevati med tremi oblikami dejavnosti in sicer: *razvojnimi* (ekonomskimi), ki vstopajo v ekonomski sistem in pri katerih je prilagajanje okolja stvar ekonomske racionalnosti in pri katerih je vrednostni sistem na tržno opredeljenih cenah; *naravnimi viri*¹⁰, ki predstavljajo naravni potencial za dejavnosti ali potencialne rabe in *varovanjem okolja* kot dejavnosti in rabe prostora (v bistvu »nerabe«¹¹). Sestavin okolja v zvezi z njihovim varovanjem in ohranjanjem ni mogoče obravnavati kot ekonomsko kategorijo, saj se njihove varovalne vrednosti ne vzpostavljajo znotraj ekonomskega sistema.

⁹ Raba je sicer po definiciji vedno omejena, saj v nobenem primeru ne omogoča neomejenega razpolaganja z zemljiščem. Za vsako rabo so vedno definirani različni pogoji in merila.

¹⁰ gre za tiste značilnosti prostora, ki omogočajo uresničitev določenih dejavnosti v prostoru. Možno jih je obravnavati tudi kot dejavnosti, ki so že v prostoru in bi se jim zato morala cesta prilagoditi, čeprav jih v prostoru dejansko še ni. Gre torej za predpostavke o možnih rabah zemljišč ali njihovih posameznih značilnostih v prihodnosti in jih je zato potrebno varovati ali ohranjati v ustrezni kakovosti.

¹¹ tu ima posebno mesto opredelitev naravne dediščine, ki jo je moč opredeliti kot obliko vnaprej predpisanega normativa, varovalnega standarda, ki pa seveda ne pokrije celotnega spektra možnih vplivov.

Naravnim virom in varovanju okolja je skupno varovalno gledanje na razvoj v prostoru, pri čemer pa je vrednostni sistem zgrajen na različnih družbenih interesih, prepričanjih, vrednotah in drugih neekonomskih vrednostih. Cesto imamo na drugi strani lahko za razvojno dejavnost, saj je sprejemljivost omejitev, ki izvirajo iz vplivov okoliškega prostora nanjo, mogoče vedno opredeliti v obliki stroškov in koristi njene gradnje. Podobno velja tudi za razvojne dejavnosti, ki se pojavljajo v vplivnem območju ceste.

Omejeno rabo v zvezi z izgradnjo in eksploatacijo cest je mogoče opredeliti na podlagi dveh izhodišč:

1. raba je omejena zaradi vplivov okoliškega prostora na cesto in promet na njej;
2. raba je omejena zaradi vplivov ceste in prometa na okoliški prostor.

Dva ločena vidika problema omejene rabe pogojuje dejstvo, da imajo vplivi tako prostorsko kot vsebinsko razsežnost¹². Prvo izhodišče determinira omejeno rabo okoliških zemljišč, kar pomeni, da se mora *de facto* okolje prilagoditi cesti pod pogoji, ki jih le ta in promet na njej postavljata drugim uporabnikom prostora in/ali pogoji za stanje okoliških zemljišč. Pri drugem izhodišču pa gre za omejeno rabo ceste, kar pomeni, da se mora cesta prilagoditi okolju, kar predvsem pomeni stroške zaradi omejitev funkcioniranja ceste, dodatnih gradbeno-tehničnih ureditev, morebitne odškodnine in drugo druge ukrepe. Problem je v bistvu odvisen od prioritete pri zasedanju prostora, saj se mora rabam, ki so že v prostoru (načeloma¹³) prilagoditi cesta, ki te rabe ne sme omejevati v njihovi učinkovitosti ter jih obremenjevati s stroški, ki bi ekonomsko izničili njihov obstoj, rabe, ki pa se v prostoru razvijajo ob že obstoječi cesti, pa se morajo cesti ter vsem njenim zahtevam prilagoditi tudi tedaj, ko lahko taka prilagoditev izniči ekonomsko učinkovitost take rabe (lokacija za dejavnost se šteje za neustrezno).

V urbaniziranih območjih je zaradi večih vrst rab in njihovega prepletanja ter pomanjkanja prostora območje omejene rabe še posebej aktualno, zato mora biti delovanje vseh vpletenih v

¹² območje – geografska razsežnost omejene rabe, ki je opredeljena z območji vplivov ali območji interakcij med rabami; dejavnosti – različne dejavnosti na zemljiščih kot pojavna oblika rabe, ki so hkrati generatorji vplivov in sprejemniki vplivov.

¹³ Seveda je v praksi pogostejši obraten primer, saj je temeljni namen ceste kot infrastrukturnega objekta prav večanje ekonomske učinkovitosti drugih gospodarskih dejavnosti v prostoru.

procesu »nastajanja« ceste (zakonodajalec, lokalna skupnost, projektant, izvajalec del, itd.) in njene eksploatacije čim boljše organizirano in nadzorovano. Na splošno se obravnava problema omejene rabe izvaja na treh ravneh (Juvanc et al., 1990):

- *splošna raven* (politika in strategija razvoja prometa in varstva okolja (fizičnega, družbenega, kulturnega), zakonodaja (normativi in standardi), pravni instrumentarij (kazenske določbe, odškodnine, itd.));
- *načrtovanje* (metode prepoznavanja vplivov, vrednotenje, razpon možnega reševanja (lokacija – mesto v prostoru, tehnične rešitve, nadomestila in kompenzacije, necestne ureditve), odločanje (opredelitev sprejemljivosti rešitev));
- *obratovanje* (postopki vzdrževanja cest in upravljanja prometa, metode spremljanja (monitoring) in prepoznavanja vplivov, metode ukrepanja ob spremenjenih razmerah (na primer povečan obseg prometa, sprememba vrednostnega stališča družbe, itd.), postopki razreševanja nesprejemljivih oblik vplivov (nepopolno načrtovanje, popravki)).

3.3 Vpliv ceste na druge rabe in na varovanja vrednih sestavin okolja

Opredelevanje vplivov ceste na okolje – na druge rabe in na varovanja vredne sestavine okolja – je ključnega pomena. Za vsak vpliv je značilno, da mu je mogoče opredeliti značaj, pojavno obliko in tipološko opredelitev, nadalje intenziteto (lahko izraženo v različnih količinskih enotah) in prostorski položaj¹⁴ (lokacijo), za pojavnost vpliva pa je potreben hkrati vir vpliva, neka človekova dejavnost, opravilo, ter tako stanje okolja, ki ga to opravilo spreminja v neželjeno obliko. Vpliv na okolje je torej rezultat specifičnega opravila v okolju in specifičnega stanja okolja oziroma katere od njegovih sestavin.

¹⁴ varovalni pas, kot ga določa ZJC-UPB1 (Ur.l. RS, št. 33/06) (»varovalni pas je pas zemljišča ob javni cesti, v katerem je raba prostora omejena zaradi preprečitve škodljivih vplivov okolice na cesto in promet na njej in obratno«) predstavlja posplošitev, na aplikativno raven prevedeno prostorsko razsežnost vplivov, ki je smotrna zaradi uporabe na normativni ravni in kot zakonsko določilo.

Pojavnost in obseg rabe za ceste v prostoru, nastajanje in intenzivnost posameznih vplivov na okolje v osnovi izhajajo iz (Juvanc et al., 1990):

1. *prometne obremenitve (traffic loading)*; Gre za obremenitve, izražene s številom vozil (PLDP¹⁵) ali številom prehodov nazivne osne obremenitve, ki preči izbrani prerez ceste v izbrani dobi trajanja (Žmavc, 2005). Prometne potrebe v prostoru narekujejo gradnjo cest različnih dimenzij (raba površine), dodatne potrebe od tistih, ki jih nakazuje PLDP se realizirajo predvsem za doseganje višjih voznih hitrosti, ki iz tehničnih razlogov in zaradi zagotavljanja prometne varnosti, zahtevajo bistveno boljše tehnične elemente horizontalnega in vertikalnega vodenja trase ceste. Posledica tako zasnovane ceste so praviloma bistveno obširnejša zemeljska dela, večja površina in posledično večji vplivi na okolje, ki nastajajo zaradi višjih hitrosti;
2. *vrste (ranga, reda, kategorije) ceste*; V splošnem ceste v Sloveniji delimo po geopolitičnih kriterijih na daljinske, regionalne (pokrajinske), lokalne in ne kategorizirane, glede na voznodinamične značilnosti pa se državne ceste delijo na avtoceste (AC), hitre ceste (HC), glavne ceste I. in II. reda (G1 oz. G2) ter na regionalne ceste I., II. in III. reda (R1, R2 in R3 oziroma GT)¹⁶. Najpomembnejša karakteristika, ki predstavlja osnovo za kategorizacijo, je prometna hitrost, ki opredeljuje pomembnost posamezne prometne poti v prostoru (Uredba o merilih..., 1997; Gruev, Juvanc, 2003, ZJC-UPB-1, 2006). Ker razdelitev ni v prvi vrsti odvisna od prometne obremenitve, se lahko enaka prometna obremenitev pojavi na zelo različno kategoriziranih cestah, pri čemer se potreba po površini bistveno ne razlikuje, razlikuje pa se promet, ki se na njih nahaja. Na AC in HC (pogojno še na G1 ter G2) je promet pretežno tranziten. Značilnost tega prometa je tudi sorazmerno visok delež tovornih vozil, ki povzročajo največ za prostor ob cesti obremenilnih vplivov, obenem pa je prav ta promet tudi najbolj občutljiv za vplive iz okolja. Na cestah nižjega reda je promet pretežno lokalnega izvora, tovornega prometa pa

¹⁵ PLDP (average daily traffic) – je na osnovi podatkov štetij prometa iz vrednoteno povprečno dnevno število motornih vozil, ki je v določenem letu prevozilo izbrani prerez vozišča. Podatki o PLDP morajo praviloma vsebovati razvrstitev reprezentativnih motornih vozil in sicer: osebna in kombinirana vozila; avtobusi; tovorna vozila (lahka do 3t, srednja do 7t, težka nad 7t in težka s prikolico) (Žmavc, 2005).

¹⁶ Pravilnik o projektiranju cest (Ur.l. RS, št. 91/05) po prometnotehnični razvrstitvi ceste razvršča glede na prometno funkcijo v daljinske ceste (DC), povezovalne ceste (PC), zbirne ceste (ZC) in dostopne ceste (DP) (Pravilnik o projektiranju..., 2005).

je sorazmerno malo. V urbanih središčih je potrebno poleg vseh parametrov upoštevati tudi to, da so cestni obremenjevalci prostora istočasno tudi tisti, ki jih to početje obremenjuje – prebivalci sami;

3. *reliefa terena in geoloških razmer v trasi*; Od reliefa in geoloških razmer v trasi je odvisna predvsem širina posega v prostor, veliko vlogo imata pri gradnji premostitvenih objektov, predvsem predorov. Je povsem tehničnega značaja;
4. *vremenskih razmer*; Pri določanju območja vplivov ceste na okolje je najpomembnejši običajni veter (pogoste smeri), saj vpliva na smer in obseg onesnaževanja s polutanti s ceste (strupeni izpuhi, smrad, hrup);
5. *faz v gospodarjenju s cestami*; Zaradi zagotavljanja možnosti kasnejših širitev je smotrno s planom predvideti in zaščititi zadostne površine tako za obstoječe kot za pomembnejše načrtovane ceste.

3.4 Temeljne sestavine ceste in njihovi vplivi v prostoru

Prostorski elementi ceste v prečnem prerezu so regulirani s pojmom normalnega prečnega profila (NPP), katerega sestavni deli so cestišče (ki ga sestavljajo vozišče¹⁷, odstavni ločilni in robni pasovi, kolesarske steze in pločniki ter bankine in naprave za odvodnavanje tik ob vozišču ali robnem pasu (segmentni jarki ali mulde, koritnice)) in brežine (ukop, nasip, mešan profil). Dimenzije in položaj elementov se določa v skladu s tehničnimi predpisi za projektiranje cest (Pravilnik o projektiranju cest, Ur.l. RS, št. 91/05), da ustrezajo namenu ceste, vrsti in oblikovanosti terena, računski hitrosti in gostoti ter vrsti prometa. Skupaj z vsemi objekti in materiali, vgrajenimi med planumom temeljnih tal in vozno površino (spodnji in zgornji ustroj) ti elementi predstavljajo cestno telo (Juvanc et al., 1990; ZJC-UPB1, 2006).

¹⁷ vozišče sestavljajo prometni, robni, dodatni in odstavni pasovi.

Območje izključne rabe obsega tudi zemljiški pas ob cestnem telesu, nad in pod njim, gradbene objekte v trasi ceste (nadvozi, podvozi, predori, mostovi, galerije in drugo), zasaditve ob cestah v okviru cestnega sveta¹⁸, funkcionalno cestno opremo, objekte in signalizacijo. Možnosti za zmanjšanje tega območja so predvsem v optimalni prilagoditvi trase, ki pa ne sme iti na račun poslabšanja predpisanih tehničnih elementov ceste, objektov v trasi (predori, viadukti), ustrežnejših križanj, primernejših lokacij funkcionalnih objektov, itd (Juvanc et al., 1990). Glede na vse večjo zavest o prostoru ni naključje, da se v novih tehničnih predpisih za ceste najde tudi določilo, da se sme cesto načrtovati tudi z za eno stopnjo skromnejšimi tehničnimi elementi, če se s tem ohrani pomembne sestavine v prostoru.

3.4.1 Vrste možnih vplivov cestnega telesa v prostoru

Gradnja cest s pripadajočo nujno infrastrukturo, ki sledi planersko-projektne fazi v času gradnje spremeni prostor (naravo), njegovo podobo, značilnosti in znamenitosti. Takšni vplivi so lahko negativni, če ne upoštevajo zahtev in potreb naravnega okolja. Po drugi strani pa lahko dobro zasnovana in oblikovana cesta odpre nove poglede, poudari posamezne znamenitosti, jih približa oblikovalcem ali pa celo sama postane del vedute (na primer monumentalni premostitveni objekti).

Menim, da je potrebno vplive ceste na prostor kot celoto, razdeliti na tiste, ki prizadenejo (neposredno ali posredno) naravno okolje in tiste, ki imajo vpliv na urbani razvoj in poselitev, hkrati pa je smiselno prve deliti tudi na tiste, ki jih povzroča cesta kot objekt in na tiste, ki jih generira promet. Skrajno trd pristop, ki ga zelo pogosto zasledimo pri pogojih za umeščanje cest v prostor, in obsega le dve besedici - DA ali NE, je neracionalen in nesonaraven in lahko drugi rabi prostora povzroči veliko škodo.

Potrebno je izpostaviti, da vsaka cesta (če jo vzamemo samostojno in ne v pogledu širših sprememb, ki jih prinaša), ki je seveda posledica gradbenega posega in predstavlja v naravi tujek, po definiciji negativno vpliva na naravno okolje. Na vseh vpletenih v verigi planske

¹⁸ »cestni svet je največ 2 m širok zemljiški pas, merjen od črte, ki jo sestavljajo na podlagi predpisov o projektiranju javnih cest in njihovih elementov določene končne točke prečnega profila cestnega telesa z napravami za odvodnjavanje in brežinami ceste oziroma pri avtocestah od varovalne ograje, ter zračni prostor nad voziščem v višini 7 m od najvišje točke vozišča« (ZJC-UPB1, Ur.l. RS, št. 33/06).

(načrtovalci, projektanti, strokovne službe, naravovarstveniki, lovci in drugo) in izvedbene faze (izvajalec, nadzornik) pa je, da projekt izvedejo tako, da je ta čim manjši. Na drugi strani nova cesta predvsem v urbanih središčih prinaša tako negativne kot pozitivne vplive, ki so prevladujoči. Če ne bi bilo tako, cest namreč ne bi gradili. Je pa treba tu naglasiti, da gre pri pozitivnih vplivih predvsem za tiste, ki prinašajo korist vsem (javni interes), pri negativnih pa se obremenijo le prebivalci vzdolž ceste in okolje.

3.4.1.1 Vpliv ceste na naravno okolje

Pri ocenjevanju vpliva na naravno okolje je potrebno ovrednotiti¹⁹:

- *vpliv ceste na lokalno hidrologijo*; Spremenjene lokalne hidrološke razmere, ki jih povzroča gradnja ceste, vplivajo na spremembo nivoja talne vode. Zaradi zadrževanja vode, ki jo povzroči cestni nasip, se lahko spremeni vlažnost zemljine, prav tako pa nastanejo tudi spremembe zaradi koncentriranega odtoka meteornih in odpadnih vod s cestišča na območjih, ki prej niso bila do te mere vodnata (velja za območja, kjer se voda s ceste odvaja s prostim izlivom (na primer na travnik, v gozd), saj tam kjer je urejen odvodni jarek neposredno do glavnega recipienta, tega vpliva ni). Tudi pri izkopih je neposredno prizadeta površinska voda, pa tudi podtalnica. V primerih gradnje na območjih vodnih rezervatov morajo biti izvedeni še dodatni ukrepi za preprečitev onesnaženja talne vode;
- *vpliv na vegetacijo*; Sprememba nivoja talne vode lahko vodi do bistvenih sprememb v vegetaciji, saj različne rastline za svojo rast potrebujejo različno vsebnost vode. Tako lahko pride do sprememb habitatnih tipov vzdolž ceste, saj rastline, ki jim nove razmere bolj ustrezajo, izrinejo avtohtono rastje. Cesta preseka tudi gozdove, s čimer postane gozdni rob biološko nestabilen;
- *vpliv na lokalne geološko-geomorfološke značilnosti*; Zaradi čim manjše porabe energije se predvsem sodobne daljinske ceste gradijo na način, da je naklon čim bolj konstanten ter da cesta ne valovi (konveksno-konkavno-konveksno vodenje nivelete), zaradi česar neizbežno pride do sprememb površinskih oblik (nasip, usek, predor, itd.), do česar pride tudi zaradi vodenja trase med destinacijami po čim krajši poti. Hkrati

¹⁹ Razčlenjenost temelji na pojavljanju vplivov po koncu gradnje (po predaji prometu).

izkop, ki je potreben za izgradnjo trase (predvsem useki in predori) nujno pomeni tudi spremembo geomorfoloških značilnosti nekega drugega območja (deponirno mesto). Nasutja alohtonega substrata lahko lokalno premešajo sestavo zgornjih horizontov zemlje (na primer na barjanskih tleh), zaradi deformacij, ki nastanejo ob in po izkopu predora, pa se lahko za vedno spremeni geologija hribine nad oziroma ob njem;

- *vpliv na prehodnost območja za divje živali*; Cestno telo kot zapreka vpliva na običajno prehajanje živali, zlasti divjadi in lokalno dvoživk. Zahteve za skrb za prosto živeče živali izhajajo zlasti ob avtocestah. Gre za problem prometne varnosti in prostega povezovanja živalskih populacij med območji, ki jih avtocesta deli ali zapira (Marušič, 1997). Najmanjši (ničen) vpliv imajo predori, saj omogočajo nespremenjeno prehajanje, zelo ugodni so tudi viadukti, na odprtih trasah pa se sicer uporabljajo predvsem posebni mostovi za prehajanje divjadi in prepusti predvsem za manjše živali;
- *vpliv na mikroklimo*; Voziščna konstrukcija je drugače dovzetna za absorpcijo in odboj svetlobe kot naravna tla. Tako je temperatura nad cesto (še posebej poleti in če je vozišče asfaltno) bistveno višja kot v okolici, drugačna pa je posledično tudi vlažnost. Vpliv ne izgine na meji med cesto in »naravo«, ampak se zmanjšuje gradientno. Cesta ima lahko velik vpliv tudi na spremembo zračnih tokov, saj na primer predori in useki povzročajo t.i. kanaliziranje vetrov. Ponekod lahko več predorov celo spremeni klimo širšega območja (na primer prepreči inverzijo v kotlinah) ali omogoči pretok toplejšega obmorskega zraka globlje v notranjost pokrajine. Zaradi stalnejše temperature, kot posledice izoliranosti, imajo predori lahko tudi vpliv na spremembo temperature v neposredni bližini portalov;
- *vpliv na krajinske značilnosti, vidne kakovosti prostora in vpliv na relief*; Analize krajinskih sestavin, na primer voda, rastlinja in reliefa so neizogibne takrat, ko so njihove kakovosti izrazite, ali pa tedaj, ko lahko iz spoznanj analize oblikujemo ustrezne ureditvene zasnove. Rezultat se kaže na primer kot mehčanje vrhov vkopov, nasipi preko vrtač, spremenjen naklonski kot brežin, itd. (Marušič, 1997). Čim manj je treba posegati tudi v najboljša kmetijska zemljišča in gozdove. Trasiranje cest preko kmetijskih površin spremeni obliko obdelovalnih enot, poruši zaokroženost in spremeni ugodne transportne poti do njih, trasiranje skozi gozd pa lahko poruši

naravnost (kanalizacija vetrov, prekinitev migracijskih poti divjadi in drugo) (Gaberščik, 1970). Predori na primorskem kraku slovenske avtoceste so primer obvarovanja tradicije obdelovanja zemlje (vinogradi), večina predorov v Alpah pa ima kot stransko posledico ohranitev velikih površin gozda. Največji vpliv na vidne kakovosti prostora imajo cestni useki in predori, saj onemogočajo doživljajsko vožnjo.

3.4.1.2 Vpliv cestnega prometa na naravno okolje

Značilno je, da same prometne površine nimajo linearnega vpliva na okolje, ampak imajo pri tem veliko večjo vlogo posamezni parametri, kot so struktura prometa, vzponi na cestah, absorpcijski faktor okolja, utrditev vozišča in podobno. Hkrati je pomembno poudariti, da vse vrste vplivov (onesnaževanje in drugo) že v idealnih razmerah ne vplivajo na enako velika območja, ob upoštevanju naravnih in antropogenih danosti pa je doseg njihovih vplivov še težje določljiv. T.i. varovalni pasovi, ki jih pozna naša zakonodaja, imajo torej zelo malo skupnega z dejanskimi potrebami in zahtevami ter z vplivi ceste in prometa na okolje in obratno.

Promet generira predvsem naslednje vplive (Juvanc et al., 1990; Pogačnik, 2008):

- *hrup (v dB)*; Na nivoje hrupa vplivajo: struktura prometa (osebna vozila, srednji in težki tovornjaki), PLDP, hitrost vozil, absorpcijski faktor okolice, niveleta (horizontalna, vzpon).

Več ko je prometa na cesti (PLDP), višji je tudi nivo hrupa, hkrati pa ta raste tudi z večanjem deleža srednjih in predvsem težkih tovornjakov (struktura prometa) ter z nagibom nivelete. Največji absorpcijski faktor ima okolica seveda tam, kjer trasa poteka v predoru (razen pri portalih), v vseh ter v poglobitvi, najnižjega pa na odprti trasi na ravnem terenu; najbolj tam kjer ni rastja (puščava, stepa) in v kulturni krajini (travniki, pašniki, tudi njive). Zaradi gostega netekočega prometa so s hrupom najbolj obremenjena mesta, pa tudi območja vzdolž najprometnejših avtocest (tovorni tranzit). Najmanj hrupa povzročajo vozila na električni pogon, saj se eliminira vir motorja, ostane pa le trenje²⁰. Za izboljšanje razmer s hrupom se uporablja t.i. tihe asfalte (na

²⁰ pri nastanku hrupa je pri nižjih hitrostih motor tisti, ki ga povzroča, pri višjih pa je to kotaljenje, pri katerem guma iztiska zrak izpod koles, kar zaznavamo kot hrup.

primer drenažni asfalt), ki so votličavi. Valovanje zračnega toka se v teh votlinicah seštevata in odbija pod vozilo. Zlasti se na cesath ne sme vozišča rebričiti v prečni smeri (iztiskanje zraka v prečni smeri je namreč hrup). Cement-betonska vozišča, ki so povrhu povlečena z juto (da se odstrani voda in vozišče zares poravna), so vlečena v vzdolži smeri iz prav tega razloga.

- *onesnaženje zraka* (v mg/m^3); Primarni polutanti, ki onesnažujejo zrak so dušikovi oksidi (NO_x), nemetanski hidrokarbonati (nmCH), žveplov dioksid (SO_2), ogljikov monoksid (CO) in dioksid (CO_2), cinkov oksid (ZnO) ter dimne saje in prah (v mikronih), itd. Tvori se fotokemični smog, katerega glavni predstavnik je troposferski ozon (O_3), ki je eden najbolj škodljivih sekundarnih polutantov. SO_2 in NO_2 v kombinaciji z vodo tvorita kislino, t.i. kisel dež, ki vodi v uničevanje rastlinja ob cesti. SO_2 je značilen za diesel motorje, NO_x pa nastane pri pregrevanju motorjev, zaradi česar so hitrosti nad 130 km/h okolju močno škodljive. Emisije se praktično povečajo za stopnjo povečanja prometnega volumna, njihovo zmanjšanje pa se doseže z administrativno prepovedjo prometa ali pa z ukrepi, ki omogočajo takšno hitrost vozil, pri kateri je onesnaženje najmanjše. Optimalna hitrost vozil, pri kateri je onesnaženje najnižje, je med 70 in 80 km/h²¹ (ko je tudi poraba goriva najmanjša), zelo nizke hitrosti (pod 40 km/h) pa so bistveno manj ugodne kot višje od 95 km/h. Z onesnaženjem zraka je največ težav v mestih (posebej v kotlinskih ter neprevetrenih in pozimi), kjer je promet najbolj gost, povprečne hitrosti nizke in z značilnim pogostim speljevanjem in ustavljanjem. Rešitev predstavljajo alternativni viri energije (vodik, sončne celice), majhen korak pa že hibridna vozila in vozila na zemeljski plin;
- *onesnaženje okolice*; Vegetacija vzdolž cest »diha« onesnažen zrak, kar ima lahko negativen vpliv na njihovo rast (anomalije, manjši plodovi, večja odpornost spor) in zdravje njihovih konzumentov. Raziskave so pokazale, da so v pasu 50 m ob neasfaltirani cesti koncentracije odloženega svinca²² lahko že tako visoke, da močno škodujejo zdravju²³ (uživanje vrtnin, mesa in mleka živine, ki se tu pase, itd.), večja

²¹ Po nekaterih podatkih med 80 in 95 km/h.

²² Zaradi obvezne uporabe neosvinčenih bencinov svinec v današnjem času ni več med glavnimi polutanti.

²³ Glavni raztroševalec svinca in drugih težkih kovin je cestni prah, zaradi česar je razširjanje teh kovin na makadamski cesti skoraj petkrat večje kot pri brezprašnem vozišču. Najbolj kritično je območje v pet metrskem pasu.

odpornost spor pa dokazano vpliva na povečano število alergij prebivalstva ob prometnih cestah;

- *onesnaženje vode (podtalnice)*; Potencialni polutanti vode so predvsem motorne tekočine (maziva, olja, hladilna tekočina, gorivo), pnevmatike vozil, materiali, vgrajeni v obrabni sloj vozišča (asfalti, cementi, agregat, barva, filerji), odpadki (embalaža, steklo, papir), nesreče pri prevozih in ostanki povoženih živali. Onesnaženje vode je lahko fizično (z erozijo, sedimentacijo), kemično (olja, kovine, minerali) in bakteriološko (na območjih cestnih postajališč). Raziskave so pokazale najmočnejši vpliv prometa na onesnaženje vode znotraj 70 metrskega pasu ob cesti;
- *neposredna fizična nevarnost*; Posebej so nevarne prevrnitve vozil, ki prevažajo nevarne snovi. Nevarnost prevrnitve je mogoče zmanjšati administrativno (prepoved prometa, parcialna omejitev hitrosti) ali z gradbenimi ukrepi (na primer varnostne ograje);
- *vizualna degradacija*; Gre za posledico antropogenih elementov v prostoru, ki spreminjajo pogled na cesto in z nje (na primer oglasni panoji ob prometnicah).

3.4.1.3 Vpliv ceste in cestnega prometa na urbani razvoj in poselitev

Pri ocenjevanju vpliva na urbani razvoj ter poselitev je potrebno ovrednotiti (delitev po Bačnar, 2002):

- *vpliv na fizični razvoj naselja*; Cesta lahko vpliva na fizični razvoj mesta stimulatивно ali zaviralno. Cesta zaradi svoje funkcije že od nekdaj privablja poselitev in razvoj dejavnosti (vasi, trgi in mesta so se razvijala pretežno ob trgovskih cestnih povezavah). Danes predstavljajo magnet razvoja predvsem avtoceste (zaradi dobre in hitre povezanosti) ter vozlišča cestnih povezav in/ali večji priključki (na primer avtocestna križanja, intermodalna križišča), kjer se zgoščajo komercialne dejavnosti (nakupovalna središča in zabaviščni parki), ob avtocestah pa se širijo tudi poslovna središča (na primer sedeži multinacionalk) Kot težko premostljiva fizična ovira (na primer AC) lahko cesta (v mestih sicer redkeje) predstavlja tudi mejo določene rabe tal (na primer poselitev/gozd ali oster zaključek mesta v prehodu med gosto poselitvijo in

ruralno pokrajino kot na primer deluje ljubljanska obvoznica med Tomačevim in Poljem);

- *vpliv na kakovost bivalnega okolja*; Kakovost bivalnega okolja se s prihodom nove cestne povezave lahko izboljša ali poslabša (bistvenega pomena je seveda rang ceste, saj višji rang prevaja več prometa, kar zmanjšuje kakovost bivalnega okolja). Pogosto je tako, da se zaradi razbremenitve že prej obstoječih cestnih povezav kakovost bivalnega okolja tam izboljša, vzdolž nove ceste pa se zaradi prometa poslabša. Kakovost bivalnega okolja povečujejo predvsem cestni predori v mestih, saj promet spravijo s površja, hkrati pa zaradi prevzemanja prometa zmanjšujejo tudi vpliv prometa na kakovost bivalnega okolja drugih prometnic v bližini. Kakovost bivalnega okolja je sicer zmanjšana le v neposredni bližini vstopno-izstopnih portalov;
- *vpliv na potenciala za rekreacijo in turizem*; Gre za vpliv na površine, na katerih se nahajajo posamezni elementi naravne (krajinski park, slapovi, vedute, biotopi, rezervati) in kulturne dediščine (kulturni, zgodovinski, arheološki, umetnostni in arhitekturni, tehnični in drugi spomeniki) ter posebej urejene površine, namenjene rekreaciji prebivalcev (parki, trim steze, športni parki, itd.) (Juvanc et al., 1990). Cesta lahko na njih vpliva neposredno (trasa poteka skozi park, rezervat) ali posredno (že bližina ceste na primer negativno vpliva na krhke biotope, kviri veduto, po drugi strani pa deluje pozitivno, saj omogoča dostop do turističnih točk). Vpliv (tako neposreden kot posreden) se večja z velikostjo ceste (izključna raba) s pripadajočimi objekti in rangom ceste. Najboljše rešitve predstavljajo zato predori (na primer galerija pod Vipavskim Križem, predori na Phyrmski AC med Linzem in Gradcem). Avtocesta je seveda lahko tudi izhodišče za rekreacijo in turizem (na primer AC Beljak-Celovec (vodni športi, oddih), AC Beljak-Salzburg (gradovi, planinarjenje, smučarija), itd.), s čimer neposredno pospešuje izletniški turizem (Gaberščik, 1970);
- *spremembe trajne gospodarske rabe naravnih dobrin (kmetijski in gozdni potencial)*; V bližini cestnih povezav predvsem višjega reda se zaradi privlačnosti kmetijska raba in gozdne površine umikajo drugim rabam (poselitev, poslovno obrtne cone, komercialne dejavnosti);

- *prometna razbremenitev naselij*; Sistemi krožnih obvoznih cest ali/in radialnih povezav močno razbremenijo mestna cestna omrežja. Najbolj je to vidno v mestih s srednjeveškimi jedri, kjer je tekoče odvijanje prometa ob današnjih obremenitvah postalo nemogoče. Hkrati te ceste omogočajo dobro in hitro oskrbo za poslovna in komercialna središča ob vozliščih, pa tudi v mestnih središčih. Zaradi ugodnega vpliva (nevpliva) na obstoječ stavbni fond predstavljajo izredno dobre rešitve predori, saj ob visoki pozidanosti niso veliki porabniki prostora, absorbirajo pa lahko veliko količino prometa;
- *vpliv na prehodnost območja*; Zaradi izključnosti predstavljajo ceste fizično bariero. Prehodnost se zmanjšuje z višanjem kategorije cestne povezave. Tako je na primer avtoceste možno prečiti le na mestih, ki so za to predvidena (nadvozi). Najugodnejšo rešitev zato zopet predstavljajo cestni predori, ki za prehodnost ne glede na kategorijo ceste ne predstavljajo nobene ovire.

4 CESTNI PREDOR KOT DEL CESTE

Z eksplozivno rastjo motorizacije (predvsem v urbanih območjih) in ciljnega prometa je potreba po gradnji sodobnih prometnic vse večja. Količina prometa v mestih narekuje, da se le-ta seli v podzemlje, s čimer razbremenjuje površje in omogoča druge rabe.

4.1 Zgodovina gradnje cestnih predorov

Primarni namen predorov je povezan z različnim servisiranjem prebivalstva. Že stoletja predori omogočajo kakovostno oskrbo z vodo in odvajanje odplak v nekaterih mestih, v preteklosti pa so imeli tudi velik obrambni pomen (zaklonišča, strateške zaloge in drugo). Z razvojem industrializacije so postali sestavni del daljinskih železnic, podzemnih mestnih železniških sistemov (metrojev), kasneje pa tudi cestnih prometnic. V današnjem času je njihova uporaba vsestranska. Uporabljajo se za vse vrste transportnih sistemov (ceste, železnice, povezovalni plovni predori in predori za izogibanje ladij pred nevarnimi deli obale, podzemni peš koridorji), komunalnih omrežij (daljinski vodovodi, kanalizacija, daljinsko ogrevanje in drugo), za izkoriščanje vodnih virov (hidroelektrarne), namestitev vojaške infrastrukture (na primer vzletno-pristajalne steze), ureditev objektov zaščite in reševanja (zaklonišča), v raziskovalne namene (na primer fuzijski reaktor v Cernu), itd.

Gradnja prvih cestnih predorov²⁴ sega v rimske čase. Leta 76 je bil tako zgrajen predor *Galleria del Furlo* v Italiji, dolžine 38 metrov, ki še danes služi prometu. Do razcveta industrializacije je bilo zaradi majhnih potreb in pomanjkanja tehnologij in orodja za izkop izklesanih dokaj malo predorov (vseh seveda v trdnih kamninah), med njimi pa je bil leta 1708 tudi prvi predor na cesti preko St. Gottharda v Švici (*Buca d'Uri*).

²⁴ V tistem času so bili predori namenjeni pešcem, konjskim vpregam, itd.



Slika 1: Najstarejši cestni predori. Levo Galleria del Furlo danes, na sredini slika 1. predora na povezavi čez St. Gotthard in desno predor Mönchsberg v Salzburgu (1767), ki je prav tako še vedno v uporabi (vir: History of tunnells, 2008)

Figure 1: The oldest road tunnels. Photo on the left shows Galleria del furlo in present time; in the middle, there is a picture of the first St. Gotthard tunnel; the photo on the right shows Mönchsberg tunnel in Salzburg

Razcvet gradnje predorov je prišel z industrializacijo. Zaradi dominacije železnice v tistem času je bilo tudi velika večina predorov v 19. stoletju železniških. Večina gradenj je bila izvedena v razvitih evropskih državah in v ZDA. Med prvimi so bili tako zgrajeni predori na železniških progah Liverpool-Manchester (leta 1826, predor *Wapping* dolžine 2 km, *Edge hill* dolžine 1 km) in Leicester-Swannington (1832, 1,5 km), predor *Terre noire* v Franciji (1832, 1,3 km), predor skozi Alleghenny mountains v Pensilvaniji (1832), predor *Kilsby* na progi London-Birmingham (1838, 2,2 km), itd. Z leti se je intenziteta zaradi uvajanja novih prog in izpopolnjevanja metod izkopa povečevala, večale pa so se tudi dolžine predorov.

Prvi transalpski predor je bil prav tako železniški. Dogradili so ga leta 1881, dolg pa je skoraj 13 km. Poteka med Francijo in Italijo (*Mont Cenis*). Predor *St. Gotthard* v Švici je bil dograjen leto kasneje, dolg pa je 15 km. Leta 1905 je bil dograjen predor pod *Simplonom*, ki je s skoraj 20 km dolžine do leta 1982 veljal za najdaljši železniški predor na svetu²⁵ (History of tunnells, 2008).

²⁵ Najdaljši železniški predor v Sloveniji je Bohinjski predor med Bohinjsko Bistrico in Podbrdom (Transalpina, 1906, 6,3 km).

Zaradi podrejene vloge avtomobila v 19. in v začetku 20. stoletja je bilo omembe vrednih cestnih predorov takrat malo. Hitrost, udobje, cena so bili samo nekateri razlogi, ki so utrdili dominantno vlogo železnice v tistem času. Predor *Col de tende* (1882, 3,8 km) je bil v tistem času med najdaljšimi cestnimi predori. Predor *Holland* v New Yorku (1927, 2,6 km) pa je prvi mestni cestni predor, ki poteka pod vodo (reka Hudson). Obratuje še danes.

Zaradi pomembnega psihološkega učinka pri voznikih avtomobilov so cestni predori v povprečju krajši od železniških. Najdaljši železniški predor (*Seikan* na Japonskem, 1988) je dolg skoraj 54 km, medtem ko meri najdaljši cestni 24,5 km (*Laerdal*, Norveška, 2000). Sledijo *Zhongnanshan* na Kitajskem (2007, 18 km), ki je hkrati najdaljši avtocestni predor na svetu, *St. Gotthard* (1980, 16,9 km), *Arlbergtunnel* v Avstriji (1978, 13,9 km), *Hsuehshan* na Taiwanu (2006, 13 km), itd. Dinamika gradnje v sedanosti sicer nakazuje, da bodo vsi naštetih mejniki kmalu padli.

Mejnika v projektiranju in gradnji cestnih predorov predstavljata med drugim še na primer *Tokyo Bay Aqua Tunnel* na Japonskem, ki je najdaljši podmorski cestni predor na svetu (1997, 9,6 km) in Bostonski *Central Artery*, ki poteka pod središčem Bostona v ZDA (2003, 5,6 km). Na nivoju terena so nad traso uredili obsežne javne površine (bulvar, parki, trgi).

Najdaljši cestni predor v Sloveniji je predor *Karavanke*, ki povezuje Slovenijo in Avstrijo (edini enocevni AC predor, 1991, 7,9 km), na Češkem pa *Cervenohorsky (Sumperk)* tunel (2007, 6,1 km).

4.2 Temeljne značilnosti cestnih predorov

Cestni predori so podzemni gradbeni (premostitveni) objekti v trasi ceste, ki omogočajo ohranitev poteka ceste skozi orografske pregrade. Z nepropustnostjo, zatesnenostjo in prezračevalnimi sistemi zagotavljajo zaščito okolja ceste pred čezmernimi škodljivimi vplivi cestnega prometa, hkrati pa omogočajo tudi izvedbo podzemnega poteka ceste na območjih, na katerih je zaradi krajinskih ali urbanih značilnosti oziroma drugega pomembnega elementa rabe prostora ni mogoče zgraditi v odprti trasi (Uredba o tehničnih..., 2006). V urbanih

območih omogočajo varen, ekološko neoporečen in tekoč promet v okviru masovnih tranzitnih sistemov, saj »očistijo« vozila s površja, zmanjša se hrup, zrak postane manj onesnažen, nenazadnje pa je zagotovljena tudi možnost uporabe prostora na površju za druge namene (trgi, parki, itd.) (Nordmark in Godard, 1997). Predstavljajo ključni del strukture cestne mreže, ki je organska celota, podobna naravnim transportnim sistemom (krvni obtok, vodotoki) (Juvanc, 2007). Hitre in atraktivne transportne povezave, ki jih omogočajo cestni predori, tako postajajo pomembni impulzi regionalnemu in nacionalnemu ekonomskemu razvoju (Haack, 1999).

Na območju predora se za zagotovitev optimalnih prometno-tehničnih rešitev izbira take dimenzije elementov osi ceste, ki zagotavljajo predvideno prepustnost ceste, ustrezno zaustavitveno preglednost na vsakem od voznih pasov, močno omejen vzdolžni nagib, največji prečni nagib vozišča 4%, čim manjše emisije izpušnih plinov (vpliv vzpona), gravitacijsko odvodnjavanje in čimbolj neovirano priključevanje in izključevanje ter menjavo prometnih pasov (Uredba o tehničnih..., 2006).

Pedor je del ceste, ki ima pri gradnji, uporabi in vzdrževanju večje zahteve. Izpolnjevati mora posebne zahteve glede varnosti prometa in zanesljivosti obratovanja ter funkcionalne zahteve, to je omogočati pretok predvidenega števila vozil z določeno hitrostjo, pri čemer morajo biti izpolnjeni vsi predpisani pogoji za varnost v cestnem prometu. Upoštevati je treba razmere v hribini, vključno s tektoniko in lokalno hidrologijo, saj te v veliki meri vplivajo na horizontalni in vertikalni potek trase, obliko, prečni prerez, pa tudi velikost predora. Vozišče v predoru se navadno izvede v cement-betonu na predhodno izvedeni podlagi iz bitudrobirja. Razlog za izbor betona je v večji požarni varnosti in manjši porabi električne energije pri razsvetljavi (temen asfalt bolj vpija svetlobo, svetel beton pa jo bolj odbija).

Glede na dolžino se predori delijo na *kratke*, *srednje dolge* in *dolge*. Kratki so dolžine do 200 m, skozi njih poteka cesta v nespremenjeni sestavi normalnega prečnega profila, v dimenzijah, kakršne so uporabljene na odprti trasi te ceste, srednje dolgi merijo od 200 do 1000 m, horizontalni geometrijski elementi osi ceste so pri njih omejeni s preglednostjo in maksimalnim prečnim nagibom, dolgi pa so daljši od 1000 m in imajo poleg omejitev, ki veljajo za srednje dolge predore, še nekatere druge omejitve (na primer vzdolžni nagib

nivelete). Glede na smer vožnje ločimo *enosmerne* (predori, pri katerih vožnja v predorski cevi poteka na vseh prometnih pasovih v isto smer) in *dvosmerne* (promet v predorski cevi poteka v dveh nasprotnih smereh). Dovoljena hitrost vožnje skozi dvosmerne predore je zaradi zmanjšane prometne varnosti navadno nižja kot skozi enosmerne), glede na število pasov na *enopasovne*, *dvopasovne* in *večpasovne*, glede na število predorskih cevi pa na *enocevne*, *dvocevne* in *večcevne* (načelno vodilo je, da razdalja med osemi ločenih cevi ni manjša od trikratne velikosti premera posamezne cevi). Cevi dvocevnih in večcevnih predorov so pogosto povezane s *prečniki*. Gre za predore, ki omogočajo preusmeritev prometa oziroma umik ljudi v izjemnih primerih (Uredba o tehničnih..., 2006).

Gradbeni objekt predora (gradbena konstrukcija, ki omogoča zgraditev ceste skozi naravne orografske pregrade ali pod objekti), *cestno telo v predoru* (gradbena konstrukcija, namenjena potrebam cestnega prometa) in *oprema predora* (naprave, napeljave in ureditve v predoru in zunaj njega, ki zagotavljajo nemoteno delovanje in vzdrževanje gradbenega objekta predora in prometa skozenj) so osnovni sestavni deli predora. Vrsta in obseg sestavnih delov predora sta odvisna od vrste predora in njegovega namena.

Preglednica 1: Osnovni sestavni deli cestnih predorov in njihova sestava (vir: Uredba o tehničnih..., 2006)

Table 1: Basic parts of road tunnels and their elements

Gradbeni objekt predora	se sestoji iz	- izkopa, - podpornih elementov hribine, - obloge predora ali gradbene konstrukcije pri izvedbah v odprtem vkopu, - portalov oziroma portalnih zgradb, - prečnikov (dvo- ali večcevni predori), - površin in objektov za vzdrževanje in upravljanje predora ter organizacijo vodenja prometa skozi predor, - drugih gradbenih konstrukcij (na primer vodni rezervoar, tlačni cevovod, izhodi na prosto).
Cestno telo v predoru		- spodnjega ustroja (utrditev temeljnih tal ali zasutje ali polnilni beton pri talnem oboku predora), - zgornjega ustroja (vozišče, razdelilni oziroma zaščitni pasovi in neprometni pasovi), - naprav za odvodnjavanje cestišča in spodnjega ustroja.
Oprema predora		- naprave za odvodnjavanje hribinske vode, - naprave za prezračevanje predora, - napeljave in elementi za razsvetljavo cestišča, - napeljave in naprave za varstvo pred požarom, - prometna oprema (signalizacija, smerniki, varnostne ograje – po potrebi) v odvisnosti od kategorije ceste in količine prometnega toka, - napeljave in naprave za zagotavljanje varnosti (klic v sili, videonadzor, sistem samodejnega zaznavanja izrednih dogodkov, predorske radijske naprave, specialna prometna signalizacija in

		oprema, ozvočenje), - napeljave in naprave za pošiljanje radijskih in telefonskih signalov (antene), - objekti in napeljave za energetsko napajanje (glavno in zasilno).
--	--	--

Pri gradnji cestnih predorov veljajo tudi nekatere usmeritve, ki so predvsem posledica izkušenj pri njihovem načrtovanju in gradnji. Pri načrtovanju ceste se je treba tako izogibati vodenju predorske cevi vzporedno s pobočjem (pobočni predori), če je nadkritje predora premajhno, da bi bili hribinski pritiski okrog predorske cevi vsaj približno izenačeni. Izogibati se je treba tudi vodenju predorskih cevi pod območji pozidave, če je višina nadkritja do temeljev objektov nad predorsko cevjo manjša od štirih do petih premerov prečnega prereza cevi, pa tudi izjemno visokim (nad 1000 m) in zelo nizkim nadkritjem (manj kakor 1,5-kratnik premera predorske cevi), če z geotehničnim mnenjem ni ugotovljeno drugače (Uredba o tehničnih..., 2006). V 21. stoletju sicer velja, da je z neomejenimi financami predor mogoče zgraditi v tako rekoč kakršnikoli hribini.

4.2.1 Horizontalni elementi cestne osi

Linija osi ceste na območju predora poteka po sredini vozišča, ne glede na število prometnih pasov in smer vožnje. Kot osnovni element horizontalnega poteka cestne osi se v predoru uporablja prema, ki pa ne sme presežati dolžine 4 km v enosmernih predorih, v enocestnih dvosmernih pa je zaradi psihološkega kriterija najdaljši dovoljen potek osi v premi še bistveno krajši. Načeloma ni dopustno izvajanje predorske cevi, ki bi več kot enkrat spremenila svoj profil saj bi to pomenilo, da bi se znotraj predora izvajali zahtevni prometni manevri, ki bi odvrčali pozornost voznika od že sicer zahtevne vožnje skozi predor (SDLN, 2006). Zaključni deli dolgih predorov v premi so pri izhodnem portalu navadno izvedeni v krožnem loku ali s prilagojeno konstrukcijo portala, ki preprečuje neposreden vpad dnevne svetlobe v predor (Uredba o tehničnih..., 2006). Odločitev o ureditvi je odvisna od smernega položaja predora, velja pa, da je Sončeva svetloba najbolj moteča in potencialno ogroža varnost v prometu pri portalih, orientiranih na jug in zahod.

4.2.2 Niveleta – vertikalni element cestne osi

Zaradi posebnih razmer, ki so posledica izpušnih plinov, večjih verjetnosti prometnih nesreč zaradi močno različnih vozniških hitrosti težkih vozil in pri zaustavitvah prometa, ukrepanje ob

požaru, nevarnost koncentracije naravnih plinov in vode med gradnjo) se pri projektiranju predorov vedno izbira čim manjše vzdolžne nagibe nivelete. Pomemben dejavnik pri izboru vzdolžnega nagiba na območju predora predstavlja delež težkih vozil v strukturi prometa – večji ko je, manjše nagibe se uporabi. V kratkih predorih naj po priporočilih stroke vzdolžni nagib ne bi presegel 4 %, v srednje dolgih 3 % in v dolgih 1,5 % oziroma 1 % (izjemoma, ko je delež težkih vozil minimalen, glede na prevladujoče vremenske razmere in smerni položaj predora, v gorskem terenu je dovoljen nagib do 5 %, pa še to le pri cestah v urbanem okolju, pri turističnih in lokalnih cestah, itd.).

Izvedba konkavne zaokrožitve nivelete med dvema tangentama z nasprotnim predznakom nagiba na območju predorov ni dopustna, ker bi taka rešitev predstavljala potencialno grožnjo zaradi kopičenja strupenih plinov in vode, hkrati pa bi tudi sistemi čiščenja zraka in črpalke za zanesljivo odvajanje vode zelo podražili stroške gradnje in upravljanja. Izjema so depresijski predori, pa še to le pod posebnimi pogoji (Uredba o tehničnih..., 2006).

4.3 Prečni profil ceste v predoru

Osnovo za določitev prečnega profila v predoru predstavlja normalni prečni profil ceste²⁶, za katero je predor grajen, ob upoštevanju prometno-planerskih, prometno-varnostnih, gradbeno-tehničnih in obratovalno-tehničnih pogojev in kriterijev.

Preglednica 2: Kriteriji in pogoji, ki jih je potrebno upoštevati pri določitvi prečnega profila (vir: Uredba o tehničnih..., 2006).

Table 2: Criteria and conditions to be considered during cross section determination

prometnoplanerski kriteriji in pogoji	<ul style="list-style-type: none">- kategorija ceste, ki vodi skozi predor,- zagotovljena uporabnost v okviru predvidene prometne funkcije,- prevoznost pri povprečni potovalni hitrosti,- uporabnost za tipične prometne udeležence na njej
--	---

²⁶ Normalni prečni profil (NPP) je prikaz zasnove vzdolžnih površin ceste v prečnem prerezu, s katerim se določijo fizične mere elementov cestnega prereza in definirajo notranji odnosi uporabljenih elementov (sistem ceste, tip ceste, število pasov, vzporedne površine-kolesarji, pešci in drugo, fizična ločitev posameznih površin – robniki ali/in ograje, zadosten razmak), potrebnih za izvajanje posamezne prometne funkcije pod predhodno definiranih prometnih in voznodinamičnih pogojih.

prometnovarnostni kriteriji in pogoji	<ul style="list-style-type: none">- zasnovalna in dovoljena hitrost,- odločilna prometna obremenitev,- delež tovornih vozil > 3,5 t in avtobusov,- število prometnih pasov,- dvosmerna ali enosmerna vožnja,- projektni elementi ceste (horizontalni in vertikalni elementi trase, prečni nagib vozišča),- zaustavitvena preglednost na vseh voznih pasovih,- oddaljenost portalov od vozlišč oziroma priključkov,- ustrezna prometna signalizacija in oprema,- razsvetljava oziroma osvetlitev podnevi,- uporabnost pri povprečni potovalni hitrosti,- zagotovljene ureditve pri kombinaciji udeležencev v prometu (vozila – pešci)
gradbenotehnični kriteriji in pogoji	<ul style="list-style-type: none">- sestavine cestišča v prečnem prerezu in njihove širine,- prostor za namestitev razsvetljave, oznak prometnih pasov, prometne signalizacije in spremenljive prometnoinformativne signalizacije, naprav za prezračevanje,- naprave za odvodnjavanje;- kineta za instalacije;- velikost (površina) predorskega profila in način izvedbe
obratovalnotehnični kriteriji in pogoji	<ul style="list-style-type: none">- odstavni pasovi ali odstavne niše,- obračalna niša,- prečni prehodi za pešce in vozila,- zagotovitev dovoza za intervencijske skupine,- zagotovitev površin za redno vzdrževanje,- niše za klic v sili,- niše za postavitve in vzdrževanje stikalnih naprav elektroinstalacij oziroma krmilnih naprav za upravljanje predora (elektroniše),- niše za postavitve in vzdrževanje hidrantov in cevi za požarno vodo ter njihovo uporabo (hidrantne niše),- čistilne niše v sistemu odvajanja hribinske vode

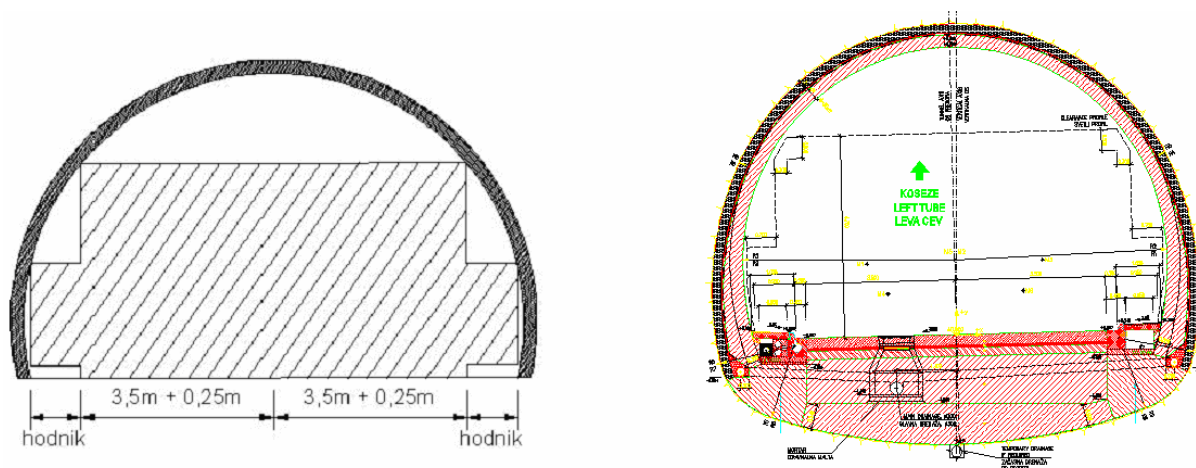
Z gradbeno-tehničnimi in konstrukcijskimi rešitvami dopolnjen NPP imenujemo karakteristični prečni profil (KPP). Z njim se jasno in nedvoumno definira posamezne sestavine v prečnem prerezu in celotno širino ceste v realnih prometnih in prostorskih razmerah (Juvanc, 2006).

4.3.1 Prometni profil

Prometni profil je prostor nad voziščem, ki ga sestavljajo prerez merodajnega vozila, prostor potreben za obratovanje vozila v premi in krivini in pas varnostne širine med vozili. Sestavljen je iz prometnih in robnih pasov ter pasov varnostnih širin. V prometni profil ne sme segati nobena fizična ovira (Juvanc, 2006).

4.3.2. Svetli profil

Svetli (tudi prosti) profil ceste je določen z velikostjo prometnega profila (prostor za gibanje vozil), povečanega za zaščitno višino in širino (zaščitni prostor). V tem prostoru se na območju izven prometnega profila lahko nahajajo samo elementi prometne signalizacije in opreme, razen tistih, ki s svojo dimenzijo in postavitvijo lahko omejujejo preglednost na cesti. Višina svetlega profila nad voziščem ceste je odvisna od vrste in količine udeležencev v prometu, ki jim je cesta namenjena, na kategoriziranih cestah pa znaša praviloma 4,70 m nad voziščem, pri čemer je zaščitna višina 0,50 m (v mestnih predorih je ta višina lahko 4,50 m). Širina svetlega profila je odvisna od izbrane širine vozišča (prometni in robni pasovi), in zaščitnih širin vzdolž vozišča (Juvanc, 2006; Uredba o tehničnih..., 2006).



Slika 2: Prečni profil cestnega predora. Levo svetli ali prosti profil predora (grafika: avtor), desno (okrnjem) NPP dvopasovnega predora Šentvid (vir: ELEA iC, 2007)

Figure 2: Tunnel cross sections; the normal cross section of a double lane Šentvid tunnel is shown on the right hand-side

4.4 Vloga geološko-tektonskih in hidroloških razmer pri gradnji predorov

Območja, ki ležijo neposredno na matični osnovi (na primer apnenec, dolomit, granit) omogočajo lažjo in hitrejšo izgradnjo predorov.

Različni dejavniki povzročajo, da kamnine v fazi dodatne obremenitve, poleg trenutne deformacije, kažejo tudi zakasnelo, časovno odvisno deformacijo, ki je lahko različno velika tako po obsegu kot po času trajanja. Od intenzivnosti časovnega poteka razvoja deformacij in njihovih razsežnosti je v veliki meri odvisen način izkopa in podpiranja podzemnega prostora. Ti procesi, ki so dolgotrajni in se lahko odvijajo več dni ali celo let, vplivajo na spremembe in prerazporeditve napetosti v hribinah, v katerih je predor grajen. Posledica tega so med drugim tudi povečanje obremenitev podpornega sistema oziroma zmanjšanje stabilnosti predora, kar v skrajnem primeru lahko privede celo do porušitve. Najpomembnejši vzrok za nastanek teh sprememb predstavljajo spremembe obtežb ali hribinskih pritiskov, ki delujejo v kamninah in so lahko posledica pretakanja podzemne vode, spremembe geometrije izkopenega prostora, preperevanja, itd. Drugi pomembni dejavnik pa je lezenje, čigar vzroki so pogojeni s tremi glavnimi vplivi – plastično tečenje hribinskih mas, širjenje vezanih in nastajanje novih razpok ter nabrekanje.

Poznavanje časovno odvisnih sprememb deformacijsko napetostnega polja v okolici predorov je z vidika načrtovanja in gradnja teh objektov velikega pomena, saj omogoča izbiro ustreznih togosti podporja, določitev zaporedja izkopa in podpiranja, napovedovanje primerne časa vgradnje notranje obloge, določitev poteka naraščanja obremenitev podporja, določitev potrebnega nadprofila izkopa, itd. (Likar et al., 2006).

Neomejene možnosti bodo v prihodnosti prinesle tehnologije 3D kartiranja podzemnega prostora oziroma določitve vrste in globin posameznih slojev kamnin in prsti v kombinaciji s podatki o hidrogeoloških značilnostih hribin (višine talne vode) (Fischer, 1999).

4.4.1 Vloga podtalnice

Pri vsakem projektu izgradnje predora predstavlja podtalnica (talna voda) glavni dejavnik pri njegovi uspešni realizaciji in uporabi, zaradi česar ji namenjam samostojno kratko podpoglavje.

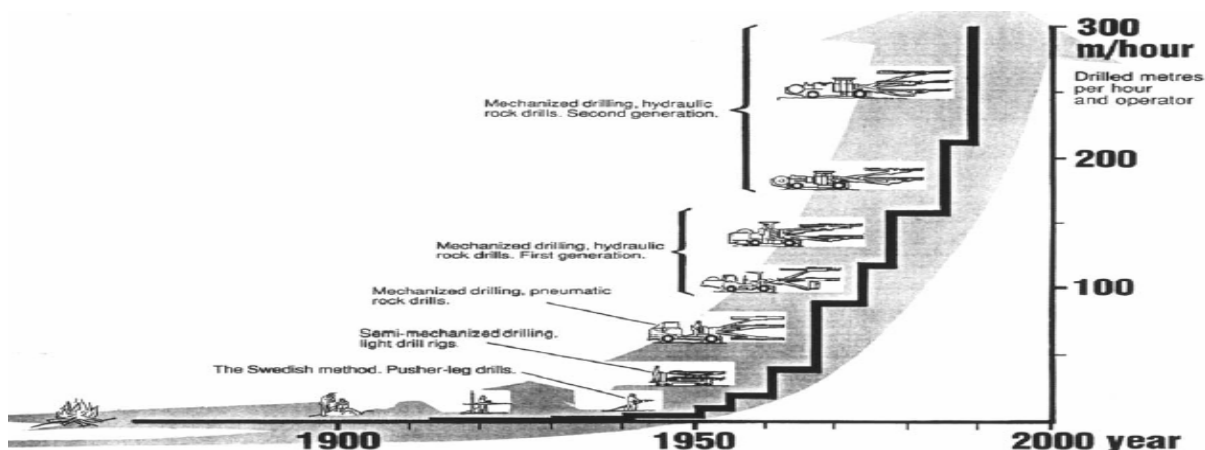
Izkop predora že sam po sebi lahko povzroči onesnaženje talne vode, ob njegovi uporabi pa je zaradi večjega števila potencialnih polutantov nevarnost še večja. Ob izkopu lahko pride tudi

do destabilizacije celotnega vodonosnika ali njegovih posameznih delov (voda se prerazporedi), kar rezultira v posedanju površja nad predorom. Zaradi potencialne nevarnosti onesnaženja in spremembe nivoja talne vode imajo ob dejstvu, da je gradnja predora ireverzibilen proces toliko večji pomen podrobna geološka in hidrološka analiza območja pred začetkom izkopa, pravilna izbira metode gradnje, vrste uporabljenih materialov (na primer malte), in stalni monitoring.

Kemijska sestava podzemne vode vpliva na nivo korodiranja podpornih elementov predora. Pritiski in vdori podzemne vode v času gradnje vplivajo na stabilnost čela izkopa in nosilnost strukture (zaključne podgradnje), nevodotesnost po zaključku gradbenih del pa ima velik vpliv na kakovost objekta, hkrati pa jo je zelo težko sanirati (Sterling in Godard, 2000).

4.5 Metode gradnje cestnih predorov

Začetki moderne gradnje predorov segajo v čas prebijanja alpske pregrade na prelomu iz 19. v 20. stoletje (čas intenzivne industrializacije), čeprav so predore kopali že pred našim štetjem (egipčanske grobnice, 2000 let pr.n.š.), ko so izkop izvajali tako, da so najprej hribino z ognjem močno segreli, nato pa jo z vodo hitro ohladili ter jo z raznimi klini, dleti in preprostimi težkimi kladivi ročno razbijali. Razvoj je torej potekal od uporabe ročnih orodij, vžigalnih tehnik, ob izboljšanju uporabnosti kovin in energije pa tudi vrtalnikov in kompresorjev na zrak in uporabe eksplozivnih sredstev ter hidravličnih orodij do uporabe visoko tehnoloških laserskih strojev za vrтанje (TBM), ki so v uporabi danes. Temelji moderne gradnje predorov so bili postavljeni z izumom najprej dinamita, nato pa še hidravličnega kladiva, gradbenega prostora za delavce in parne lokomotive (Baloh, 2002; Lemley, 1999; Zhao, 2007).



Slika: Razvoj v predorogradnji skozi čas. Shematski prikaz dinamike razvoja mehanizacije in hitrosti izkopa predorov skozi 20. stoletje (vir: Broch, 1999).

Figure: Development of the rock drilling technology in the 20th century

Pri gradnji predorov gre za proces, ki vključuje varen in efektiven izkop ter ohranjanje dolgoročne stabilnosti predora. Gre torej za interakcijo med izgradnjo in prizadeto hribino. Izkop načeloma poteka z razstreljevanjem in/ali s pomočjo rezalnih strojev. Vsako hribino sestavljajo nizi slojev različnih struktur in več ali manj tektoniziranih con, ki močno vplivajo na značilnost hribine kot celote, zaradi vpliva konstantnih geotektonskih sprememb (tektonika, erozija, atmosferski vplivi), podzemnih voda in stresa, ki je posledica same gradnje. Zato predstavlja izkop v bistvu proces, ki ruši vzpostavljeno ravnotežje v hribini ter ustvarja razmere za njene podore in deformacije. Obnašanje hribine v času izkopa je odvisno od interakcije med značilnostmi hribine, podzemnimi vodami, stresom, kot posledico same gradnje, geometrijo in orientacijo predora ter metodo izkopa (Zhao, 2007).

Pri načrtovanju predora je treba izbrati ustrezno tehnologijo izkopa in podgradnje, njegova gradnja pa mora upoštevati ekonomiko, učinkovitost in varnost. Izbrana metoda mora zagotoviti izpolnitev vseh funkcionalnih zahtev glavnega objekta in njegovih pomožnih delov, predpisane stabilnostne razmere med gradnjo in obratovanjem objekta, ustrezno varnost podzemnega prostora v vseh fazah del, predpisano varnost in zdravje ljudi, ki izvajajo vse vrste del med gradnjo objekta, pravočasno in ustrezno ukrepanje ob povečanih deformacijah in dovolj majhne vplive gradnje predora na površino na poseljenih območjih in druge okoliške podzemne objekte (Uredba o tehničnih..., 2006) in sicer dolgoročno. Sodobne rešitve za

zagotovitev dolgoročne stabilnosti okoliške hribine temeljijo predvsem na ojačanju hribine s pomočjo sidranja in suličenja, armiranja oboka ter uporabe brizganega betona (Zhao, 2007).

Določitev primerne metode izkopa je navadno rezultat enega od naslednjih dveh pristopov:

- izbere se metodo, ki je primerna za določeno hribino oziroma zajema ukrepe za njeno obvladovanje v smislu stabilnosti;
- dana hribina z ukrepi (vbrizgavanje malte za izboljšanje lastnosti hribine, zamrzovanje hribine, nižanje nivoja talne vode, itd.) postane ustrezna za uporabo določene metode in je od nje nadzorovana.

Izbira metode gradnje je odvisna predvsem od geometrijskih zahtev (dolžine in prečnega profila predora, višine nadkritja in oblike površja), geoloških in geotehničnih razmer na širšem območju načrtovane gradnje, načrtovane rabe prostora nad predorom ali že izrabljenega prostora, povezanega z občutljivostjo morebitnih objektov za deformacije, ki bi nastale med gradnjo predora (t.i. settlement), rezultatov ekonomske presoje gradnje in presoje tveganja gradnje ter drugih okoliščin (na primer občutljivost za miniranje, hrup). (Eisenstein, 2008; Uredba o tehničnih..., 2006).

Metod gradnje predorov je zaradi možnosti kombiniranja in prilagajanja več deset, v grobem pa jih lahko razdelimo v tri skupine:

1. *klasične metode s postopnim izkopom (SEM – sequential excavation method);*
2. *izkop s strojem za vrtanje celotnega profila predora (tunnel boring method);*
3. *gradnja v odprti gradbeni jami oz. metoda pokritega vkopa (cut and cover).*

S povečevanjem števila predorov v urbanih okoljih se povečuje tudi skrb za okoljske parametre (vibracije, posedki na površju, prostorsko omejeno gradbišče), kar predstavlja dodatne izzive predorogradnji, katere glavni dolgoročni cilj predstavlja dosega ničelnega vpliva na okolje. Čeprav se to danes zdi znanstvena fantastika, naj bi se preko razvoja samoučelih strojev in avtomatizirane opreme v začetku naslednjega desetletja preko razvoja laserskih rezalnikov do leta 2020 to zgodilo že okoli leta 2030, ko bo zaradi popolnega poznavanja geološke sestave (transparentna tla), izuma univerzalnega stroja za vrtanje

(TBM), popolne reciklaže v procesu gradnje in popolne avtomatizacije brez človeške prisotnosti v predoru tudi cena gradnje pod površino primerljiva z gradnjo na površini (Zhao, 2006).

V naslednjih podpoglavjih bom nekoliko podrobneje predstavil gradnjo po tako imenovani Novi avstrijski metodi (NATM), ki se uvršča med klasične metode s postopnim izkopom, saj sta bila po tej metodi grajena tako predor Šentvid kot Mrazovka, zaradi uporabnosti v svetu pa bom nekaj prostora v nadaljevanju namenil tudi metodama TBM in Cut and cover.

4.5.1 Gradnja po novi avstrijski metodi (NATM)

Vse predore v slabše in slabo nosilnih hribinah se v Sloveniji, pretežno pa tudi drugod v Evropi, gradi po metodi NATM, saj pri njej hribina okoli predora sodeluje, poleg primarne podgradnje tudi kot podporni element. Bistvo je torej v tem, da se s primerno izbrano primarno podgradnjo hribine zagotovi pogoje, da postane na tak način varovana hribina v okolici predorske cevi samonosilna. Primarno podgradnjo predstavlja več pasivnih in aktivnih elementov, uporaba katerih predstavlja izboljšavo stabilnosti in vzdrževanje nosilnosti hribinske mase na robu in v neposredni bližini podzemnega izkopa. Aktivni podgradni elementi po gradnji predstavljajo sestavni del hribinske mase in pomenijo ojačitve in dodatno armiranje hribine (s sidri²⁷), pasivni pa so elementi izven hribinske mase in se aktivirajo samo v primerih premikanja hribinske mase (brizgani beton, armaturna mreža in drugo). Metoda je primerna predvsem za krajše predore oz. predore, ki nimajo krožnega prečnega profila. NATM predstavlja izpopolnjeno verzijo t.i. sekvenčne metode izgradnje predorov (Močilnikar, 2004; Powell in Clayton, 2007).

²⁷ Običajni principi predvidevajo sidranje ostenja in krone stropa predorske cevi, s čimer se zagotovi kontinuiteto zaledne hribinske mase, onemogoči pa se bistven vpliv razpok, skrivalosti ali drugih vrst geomehanskih nepravilnosti. Sidranje se izvede v tolikšni meri, da se zagotovi zadostna debelina zalednega loka hribine. Ustreznost sheme sidranja se med gradnjo nenehno preverja z merjenjem konvergence pomikov betonske lupine. Vrsta, dolžina in nosilnost izbranih sider je odvisna od geoloških in hidroloških razmer v hribini. Sidra v predoru služijo tako kot sistemska sidra za oblikovanje nosilne primarne podgradnje, kot tudi za lokalno zavarovanje posameznih hribinskih blokov. Glede na geološke razmere je izbira sider vezana na minimalno potrebno stabilnost hribine, tako da je zagotovljena potrebna stabilnost vrtine za čas vgradnje sider. V osnovi se sidra delijo na začasna in trajna (izpolnjujejo tudi pogoje antikorozijske zaščite). V današnjem času se v predorih najpogosteje porablja SN (soil/nail), samouvrtlalna, ekspanzijska, poliestrska sidra s steklenimi vlakni, prednapetostna in druga sidra (Močilnikar, 2004; Žigon et al., 2004).

Za izračun primerne podgradnje se upošteva več dejavnikov (Močilnikar, 2004):

- *vpliv primarnega napetostnega stanja* (nanaša se na napetostno stanje v hribini pred izkopom predora in se ugotavlja z geotehničnimi raziskavami oziroma se privzame le kot posledica teže sloja nadkritja);
- *vpliv površinske obtežbe* (pomen se kaže v primerih nizkega nadkritja, kjer lahko take sile predstavljajo pomemben dejavnik; na primer obtežbe objektov, dinamične obtežbe prometa, itd.);
- *vpliv izkopa predora* (izkop povzroča spremembo napetosti v območju predora in neposredni okolici. Napetosti v hribini, povzročene s prerazporeditvijo napetosti med izkopom predora, lahko presežejo trdnost hribinskega materiala, pri čemer pride do pojava plastičnih deformacij v neposredni okolici, ki povzročajo nadaljno prerazporeditev napetosti v materialu v okolici ter na postavljeno primarno podgradnjo);
- *vpliv podzemne vode* (gre za pomemben dejavnik pri izkopu predorov z nižjim nadkritjem v nekoherentnih materialih oz. v materialih z majhno kohezijo in v primeru izkopov predorov skozi hribino s pričakovanimi visokimi vodnimi tlaki);
- *vpliv sile teže podgradnje*.

Pri izkopu v urbaniziranem okolju je zaradi obstoječih objektov izrednega pomena tudi določitev prostorskih karakteristik in stopnje dislokacije tal nad nadkritjem. Enega glavnih ciljev zato predstavlja ohranjanje deformacij v okviru sprejemljivega (Hilar, 2003). Glavni faktor, ki omogoča, da je površinsko posedanje v okviru nemotečega, je hitra uporaba interaktivne podpore izkopa v obliki brizganega betona, ki skupaj s še drugimi podpornimi elementi predstavlja idealno rešitev za stabilizacijo izkopa, saj v nekaj minutah ustvari reakcijsko podporo na stiku s hribino, s čimer oteži njeno poslabšanje. Ker strjevanje brizganega betona in njegov nanos na substrat hribine potekata istočasno, je proces ireverzibilen. Funkcija brizganega betona pa je pri tej metodi zaradi več (dveh) podgradenj le začasna, saj z izvedbo končna podgradnja prevzame nosilno funkcijo (Polak in Mika, 2004). Zaradi neprimerne uporabe metode pa lahko pride tudi do večjih incidentov. Glavne razloge

gre iskati v slabem oblikovanju in načrtovanju objekta, nezadostni kvaliteti gradnje, pomanjkanju strokovnega nadzora in izostanka varnostnih meril (Powell in Clayton, 2007).

Načelo NATM: predikcija - napoved → monitoring → potrditev → modifikacija (cv: Powell in Clayton, 2007)

4.5.2. Metoda rezanja celotnega profila predora (TBM)

Večina predorov (tako za sanitarne kot prometne namene) se koplje z uporabo strojev za rezanje celotnega profila predora (Tunnel boring machines - TBM), ki omogočajo vrtanje predorov izjemnih dolžin, v velikih globinah in izjemnih premerov. Začetki metode segajo v petdeseta leta 20. stoletja²⁸, od takrat pa je skozi nezadržen razvoj TBM prešel od stroja za rezanje izključno trdih kamenin (na primer dolomit, granit), do danes, ko z vpeljavo različnih vrst TBM, praktično nobena zemljina oziroma kamnina ne predstavlja več gradbeno-tehnične ovire (Thewes, 2007). Glavne prednosti so bistveno manjše vibriranje (saj ni razstreljevanja) in posledično manjše destabilizacije sosednje hribine (zaradi česar je potreba po podpori manjša), zmanjšana potreba po zračenju v času gradnje zaradi odsotnosti delcev in plinov, ki se sproščajo ob razstreljevanju ter hitro napredovanje izkopa, glavni slabosti pa sta primerjalno višji strošek izkopa in relativno neprilagodljiva metoda na spremembo lastnosti hribine. Predori, grajeni po tej metodi, so načeloma primernejši za železniške proge kot za ceste, saj je krožna oblika profila za ceste »razsipniška« (Broch, 1999).

Razvoj TBM je potekal v dveh smereh in sicer v smeri vrtanja predorov v masivnih, trdnih in abrazivnih kamninah ter v smeri vrtanja predorov v stabilnih in nestabilnih zemljinah, kjer je potrebna istočasna izgradnja podgradnje. Zaradi tako rekoč neskončnega števila mogočih kamnin, vrst zemljin in drugih naravnih danosti (klimatske značilnosti) so nastale velike razlike med različnimi tipi TBM rezalnikov, na splošno pa jih je moč razdeliti na tiste, ki so namenjeni izkopu v kamninah (ponavadi gre za dolge predore v trdnih ali precej trdnih kamninah z zmernim ali velikim nadkritjem v razmerah dobre stabilnosti) in tiste, ki se jih uporablja v prostih zemljinah (predori manjših dolžin v pretežno homogenih razmerah tal v območju talne vode z nadzorovanim pritiskom) (Pelizza, 1999).

²⁸ »Mittry Mole« s premerom 7,8 metra velja za začetnika TBM (Pelizza, 1999).

Izkop z uporabo TBM predstavlja interaktivni proces med strojem in hribino. Nanj vplivajo značilnosti hribine, karakteristike TBM in njegova uporaba (Zhao, 2007). Osnovne zahteve, ki jim mora zadostiti TBM so kljubovanje pritiskom podzemnih voda, zemljine ali matične kameninske osnove in reakcijskim silam, ki so posledica manevriranja. Stroji morajo biti sposobni spreminjati smer rezanja, imeti morajo zanesljivo tesnenje, omogočati morajo tudi varen izkop v nestabilnih zemljinah ter se izogibati udorom podzemnih voda, hkrati pa morajo omogočati dostop do izkopanih prostorov (Thewes, 2007).



Slika 3: Stroji za rezanje celotnega profila predora (TBM). Levo TBM uporabljen za vrtnanje železniškega predora za Canada Line v Vancouveru, na sredini španski TBM $\phi 15,2$ in desno kitajski TBM $\phi 15,43$ m (vir: Eisenstein 2007; Thewes, 2007)

Figure 3: Tunnel boring machines (TBM). Canada line TBM) cross section (left); Spanish TBM with 15,2 m diameter (in the middle); Chinese TBM with 15,4 m diameter (right)

Bistvene zahteve, ki jih mora TBM izpolnjevati, lahko strnemo v nekaj točk (Thewes, 2007):

- zagotavljanje stabilnosti izkopenega dela predora;
- minimiziranje vpliva na posedek na površju;
- nadzor nad podzemno vodo v času gradnje in obratovanja;
- varovanje okolja v povezavi s podzemno vodo in okoliško zemljino;
- varstvo pri upravljanju stroja;
- stoletna garancija vodotesnosti in mehanske stabilnosti predora.

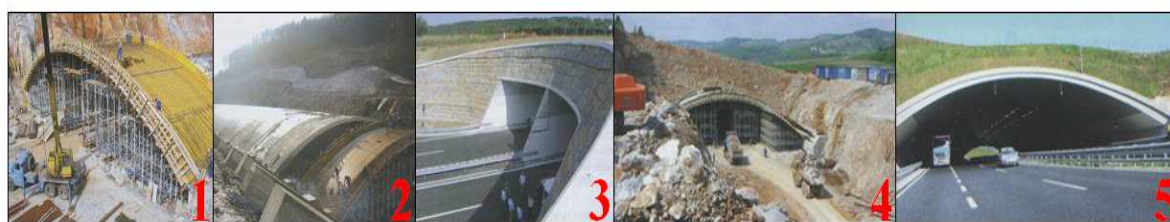
TBM povzroča manj nezaželenih procesov (na primer širjenje razpok in drugo) v okoliški hribini od konvencionalnih metod (Zhao, 2007).

4.5.3. Gradnja v odprti gradbeni jami – pokriti vkop (cut and cover)

Že ime pokriti vkop nakazuje, da gre za objekt, ki je v veliki večini izveden tako, da se primarno izkoplje usek, nato se zgradi objekt, ki se ga na koncu ponovno prekrije z zemljino. Metoda se navadno uporablja kadar je prekritja z zemljino nad objektom premalo, da bi izvedli klasični predor, ali pa preveč, da bi bil primerna izbira usek. Pokriti ukop se pogosto izvede tudi iz drugih razlogov, na primer zaradi arhitektonskega ali krajinskega videza, omogočanja prehoda divjim živalim, zmanjševanja stroškov gradnje, specifičnih prometnih karakteristik, vzpostavitve prvotnega stanja, protihrupne zaščite in drugo.

Osnovni namen gradnje pokritih ukopov je omogočiti varen promet skozi hribino, na izbiro konstrukcije in način gradnje pa vplivajo predvsem geomehanske karakteristike hribine. Armiranobetonska konstrukcija namreč poleg tega, da ima funkcijo prevozne cevi in da prevzema vertikalno obtežbo, prevzema tudi zemeljske pritiske z obeh bočnih strani in tal.

Nosilna konstrukcija pokritega ukopa avtoceste je pogosto zasnovana kot zaprt dvoladijski armiranobetonski okvir, ki težo zemljine prek stropne plošče prenaša na tri vzdolžne stene, te pa na talno ploščo. Zunanje stene so obremenjene tudi s horizontalnim zemeljskim pritiskom, zaradi česar je oblika in debelina elementov prilagojena obtežitvam. Poleg pokritih ukopov s kvadratnim prečnim prereзом ločimo še ukope ločne oblike (Kotnik et al., 2007), ki jih danes imenujejo tudi ekodukti.



Slika 4: Gradnja v odprti gradbeni jami. 1 – primer podpornega odra za konstrukcijo oboka (vkop ločne oblike), 2 – taktna gradnja pokritega vkopa, 3 – portal pokritega vkopa Škofije (pokriti vkop s kvadratnim prečnim profilom), 4 – nasipavanje konstrukcije pokritega vkopa, 5 – izveden pokriti vkop ločne oblike (vir: Kotnik et al., 2007; priredil avtor)

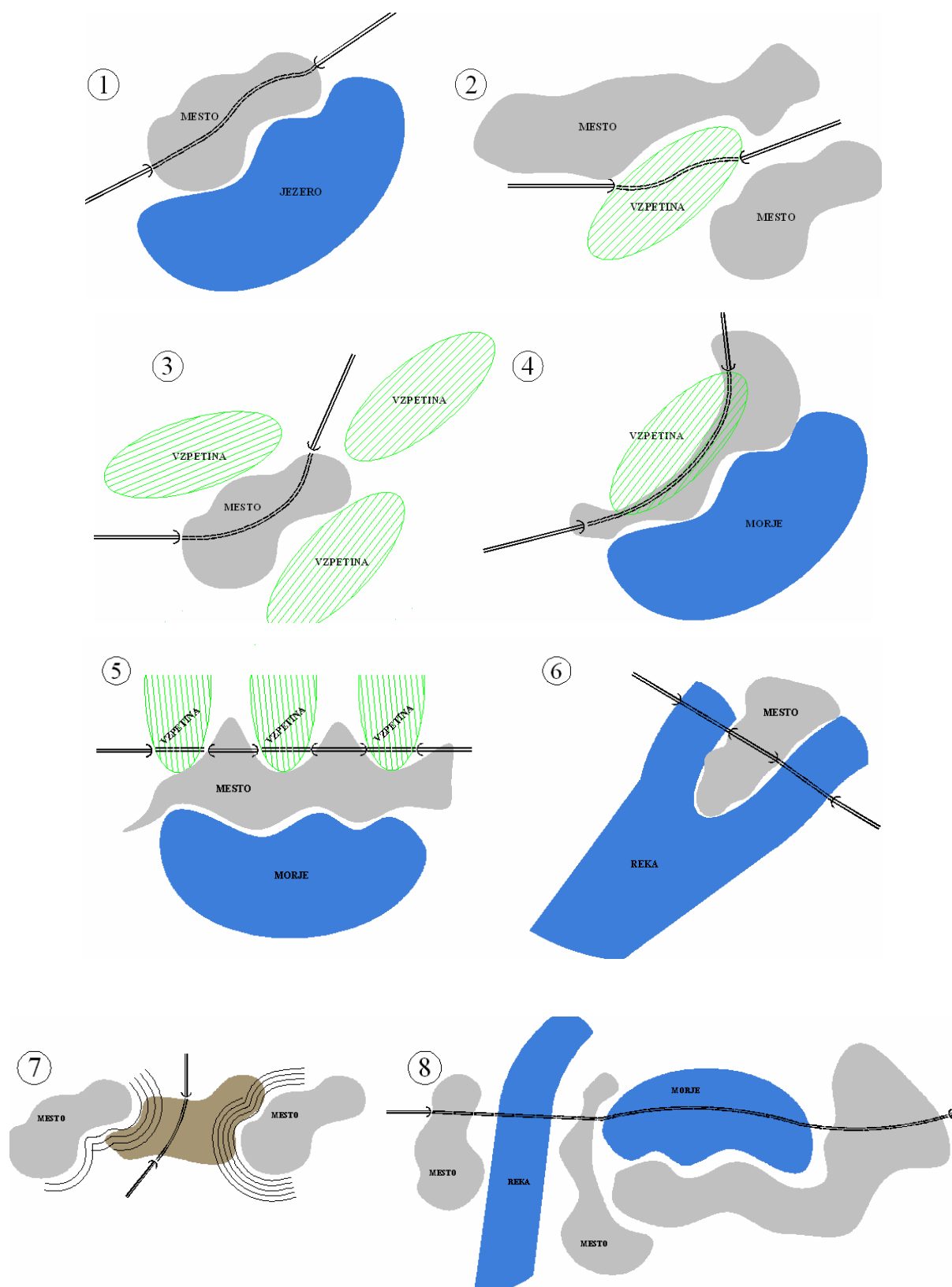
Figure 4: Different types of cut and cover methods

4.6 Tipologija mestnih cestnih predorov

Gradnja cestnih predorov v urbaniziranem prostoru je navadno posledica drugačnih vzrokov kot gradnja predorov v neposeljenih območjih. Poleg pomanjkanja prostora se tu prepletajo še stremenje po funkcionalni zaokoroženosti, čistem okolju, visoki ravni bivanja, vsestranski prehodnosti in kontinuumu komunikacij.

Na podlagi različnih orografskih, hidrografskih in urbanističnih dejavnikov lahko s pregledom že zgrajenih cestnih predorov izluščimo nekaj značilnih tipov mestnih cestnih predorov (prvih 7 tipov po Pogačnik, 2008):

1. *po celotni trasi*; Gre za poglobitev celotne trase pod površje (na primer Luzern). Cesta navadno poteka v pokritem ukopu;
2. *orografski*; Povezave različnih predelov mesta zaradi orografskih pregrad predstavljajo najpogostejši tip predorov (na primer Ljubljana, Praga). Izkop je ali popolnoma rudarski ali pa kombinacija rudarskega in izkopa v odprti gradbeni jami (cut and cover);
3. *v soteski*; Predor predstavlja rešitev za premoščanje ovir, ki jih predstavljajo mesto in orografske pregrade (na primer Trbiž);
4. *v ožini med mestom in obalo*; Ta tip pogosto najdemo vzdolž Azurne obale, kjer predor zaradi umeščenosti mest v ožino med obalo in vzpetino v zaledju nudi najboljšo možnost premoščanja razdalj (na primer Monaco, Nica). Nekaj primerov je tudi v Alpah (Zell am See, Como);
5. *s povezavo več dolin ali obalnih ravnin*; Predore tega tipa najdemo na območjih z močno razgibanim reliefom (na primer Rio de Janeiro, Pusan, Genova);
6. *s povezavo pod reko*; Ta tip se pojavlja na območjih plovnih rek, spremenljivih vremenskih razmer, itd. (na primer New York, Seoul);
7. *prekritje depresije v reliefu mesta*; Z nasutjem mesto postane organska celota;
8. *radikalni kombinirani tip*; Najmogočnejši in najdražji tip, ki ima verjetno perspektivno prihodnost (predvsem v ZDA zaradi tradicionalne avtocestne mreže skozi središča mest) (The Central Artery v Bostonu).



Slika 5: Primeri posameznih tipov mestnih cestnih predorov. Shematski prikaz (prireديل avtor)

Figure 5: Schematic display of urban road tunnel types

4.6.1 Omejitveni dejavniki pri gradnji cestnih predorov v urbanih območjih

Geologija predstavlja osnovo rabi tal in urbanističnemu planiranju, saj oblikuje in vpliva na razvoj in razsežnosti kateregakoli območja (na mikro in makro ravni). Skupaj s klimo vpliva na tok in spremembe površinskih vodotokov, količino in lokacijo virov podzemne vode ter vpliva na temeljenje nadzemnih objektov.

V preteklosti je prevladovalo mnenje, da je predore zaradi trdnosti in stabilnosti matične osnove ter manj zahtevnega prevrtavanja, potrebno graditi čim globlje v njenih slojih, ki pa se pogosto nahajajo na velikih globinah, kar vodi v povečevanje stroškov izgradnje zaradi podaljševanja predorov zaradi daljših uvoznih in izvoznih ramp in stroškov izgradnje zaradi večje dolžine objektov (Girnau, 1999). Najboljšo osnovo za gradnjo predorov nudijo mesta, ki so zgrajena neposredno na matični osnovi (na primer na apnencu, dolomitu, granitu), nižinske ravnice (kjer je lociranih največ mest) pa nudijo slabe razmere na eni strani zaradi mehkih in preperelih kamenin ter velikih količin kvartarnih naplavin, na drugi pa zaradi nivoja talne vode, ki je blizu površja (Sterling in Godard, 2000).

V grobem gre vsak projekt, ki zadeva gradnjo predora (najsi gre za urbano sredino ali ne), pred gradnjo samega objekta, skozi tri faze (Eisenstein, 1999, 2008):

1. Določitev takega predorskega sistema (metoda gradnje in morebitni dodatni ukrepi, na primer zemeljske meritve), ki kar najbolj ustreza značilnostim hribine;
2. Analiza stroškov in tveganj (cost and risk analysis), ki določi najboljšo možno varianto v primerih, ko se več predorskih sistemov izkaže za ustrezne;
3. Detajlno oblikovanje objekta, ki navadno zajema oceno obremenitve podgradnje, tehnične značilnosti podgradnje, predvidevanja glede obnašanja hribine in deformaciji ter določitev ukrepov za obvladovanje hribine (v smislu stabilnosti).

Kljub pomembnosti vseh faz sta v primerih predorov v urbaniziranih območjih obnašanje hribine in njeno obvladovanje ključna kriterija projektiranja. Kriterija vključujeta tako stabilnost hribine in njene deformacije kot njuno posledico – površinsko posedanje. Teorija na

splošno loči dve mejni stanji in sicer strukturno, ko je ogrožena konstrukcija objekta in obratovalno mejno stanje, ko so zaradi posedanja ogrožene nekatere bistvene funkcije objekta. Pri končni izbiri projekta se navadno upošteva slednjega (Eisenstein, 1999, 2008).

Za zagotovitev optimalnega rezultata je potrebno upoštevati, da lahko kakršnokoli hitenje pri gradnji, izbira napačne metode in drugo povzročijo (Eisenstein, 2007):

- strukturni kolaps;
- deformacije;

ali/in

- vidne poškodbe na objektih nad predorom.

Strukturni kolaps in deformacije se lahko pojavljajo pri vseh predorih, medtem ko so zaradi vedno manjše tolerance prebivalstva za kakršne koli vidne poškodbe na površju, le-te postale ključna težava. Za moderne predore se upravičeno pričakuje, da bodo zgrajeni brez kakršnega koli vpliva na površje nad njimi.

Škoda na objektih na površju se meri v absolutni vrednosti posedka površja ali v kotu »brežin« posedka. Za minimaliziranje možnosti posedanja se na površju v času izkopa izvaja monitoring, manjše posedanje pa se dosega tudi s specifičnimi metodami gradnje (izkopa) glede na vrsto zemljine. Tako z metodo TBM, kot tudi NATM, je mogoče zagotoviti še sprejemljivo stopnjo posedka na površju nad predorom (Eisenstein, 2007).

5 DILEMA SODOBNEGA URBANEGA RAZVOJA - ZAKAJ ITI POD ZEMLJO?

Na stotine tisoč let je človekovo življensko okolje predstavljal dvodimenzionalen svet – zemeljsko površje. V najstarejši dobi naselitvene zgodovine se je človek podrejal naravi, o čemer pričajo najstarejše mestne naselbine, ki so bile v celoti integrirane v geografsko-topografski kontekst. Zaradi povečanja potreb, radovednosti in ogroženosti je sledil razvoj v smeri iskanja uporabnosti tretje dimenzije (v višino in pod zemljo). Naravo si je tako človek začel podrežati v času renesanse in baroka (geometrizacija narave v velikih baročnih parkih), glavni pospešek v izkoriščanju podzemeljskega prostora pa se je pojavil šele v 19. in še posebno v 20. stoletju, seveda v povezavi z gospodarskim razvojem in izboljšanimi tehnologijami izkopavanja, ki jih je prinesla industrijska revolucija. Topografske danosti, ki so bile od nekdaj odločilne za nastanek in razvoj mesta, so postale ovira, ki jo človek skuša premagati z razpoložljivimi tehnološkimi sredstvi. Sem spadajo tudi predori vseh vrst (Dimitrovska Andrews et al, 2001; Sterling in Godard, 2000).

Podzemni prostor je tisti, ki omogoča lociranje več vrst dejavnosti in infrastrukture, ki jih je težko ali nemogoče locirati na površju ali pa so okoljsko nezaželene ter ekonomsko neupravičene. Nudi naravno zaščito pred zunanjimi vplivi (mehansko, toplotno in akustično) ob hkratni zaščiti okolja na površju pred vplivi podzemne dejavnosti. Iz vizualnega aspekta je nemoteč, saj se stika s površjem le na vhodu in/ali izhodu. Podzemne konstrukcije, ki temeljijo na načelih trajnostnega razvoja, stremijo k minimiziranju nevarnosti za okolje, varčevanju energije, povečanju funkcionalne diverzitete urbanega okolja, povečanju mobilnosti in zaščiti urbanega in naravnega okolja (cv: Planning and mapping..., 2000).

Bistven element pri načrtovanju podzemnih struktur vseh vrst je lokalna zakonodaja, ki je lahko glede njihove umestitve naravnana stimulatивно ali pa zaviralno. Pogosto je zakonodaja tudi bolj jasna in nedvoumna glede nadzemnih posegov v prostor, pomanjkanje jasnih pravil in usmeritev za podzemne gradnje pa vpliva na zamude in povečanje stroškov izgradnje. Vedno večje potrebe po izkoriščanju podzemnega prostora zahtevajo tudi vedno večjo jasnost zakonodaje s tega področja (Planning and mapping..., 2000).

5.1 Razlogi, zakaj iti pod zemljo

Podzemni prostor še posebej v času razcveta velikih urbanih struktur predstavlja nekakšno »četrto dimenzijo mestnega prostora²⁹«. Bistvene prednosti in slabosti so ekonomske (omogočanje kompaktnejše urbanizacije, razpoložljivost zemljišč za neprometne rabe), tehnične (nekateri predori so problematični zaradi gradnje v slabo nosilnih hribinah), funkcionalne (varnost, prometnica ne »zareže« v območje), družbene (speljanje prometa pod zemljo poveča kakovost bivanja) in okoljske (zmanjšan hrup, emisije, varovanje urbanega in naravnega okolja) (Planning and mapping..., 2000). Glavne razloge, ki utemeljujejo spremembo miselnega vzorca moderne družbe glede podzemnih struktur lahko strnemo tudi v naslednje točke (Sterling in Godard, 2000):

1. **lokacijski dejavniki in raba tal;** Pogosto je uporaba podzemnega prostora posledica pomanjkanja prostora na površju (ceste, železnica, parkirišča, itd.) ali pa nesprejemljivosti nekaterih dejavnosti med lokalnim prebivalstvom (parkirišča, razna skladišča, mestna železnica, itd.). Pogost razlog je tudi potreba po nekonfliktnosti različnih transportnih sistemov in želja po kar največji povezljivosti med njimi (na primer intermodalni javni transport). Zaradi omogočanja boljše lokalne oskrbe se spodbuja tudi širjenje obstoječih oskrbovalnih površin pod nezazidljiva zemljišča v bližini (slovenska zakonodaja sicer tega ne omogoča).
2. **robustna izolacija;** Zaradi debeline nadkritja predstavlja podzemni prostor odlične razmere za lociranje nekaterih dejavnosti. Razlogi so:
 - *klimatske razmere;* Zaradi izoliranosti nudi podzemni prostor stabilno mikroklimo (temperatura, vlažnost, neosvetljenost), ki omogoča velike energetske prihranke (na primer skladiščenje). Cestni predori pa po drugi strani v nasprotju s cesto v odprti trasi ne pospešujejo segrevanja ozračja (absorbicija črne površine ceste v primerjavi z naravo);
 - *zaščita pred naravnimi ujmami in potresi;* Podzemni objekti nudijo naravno zaščito pred tornadi, hurikani, itd., hkrati pa (kar se na prvi pogled zdi nenavadno) nudijo boljšo potresno zaščito, saj imajo površinski seizmični valovi nanje manjši

²⁹ po uvodniku ITA-AITES WTC 2007, prof. Jiri Bartak, 2007.

- vpliv (podzemna infrastruktura jo je ob potresu v Kobeju leta 1995 odnesla relativno dobro in bila malo poškodovana);
- *zaščita in varnost*; Podzemne strukture je zaradi omejenega dostopa relativno enostavno varovati.
3. **okoljska in ekološka zaščita**; Podzemne strukture imajo po definiciji manjši vpliv na okolje kot nadzemne³⁰.
- *estetski aspekt*; Podzemne ali delno vkopane strukture imajo manjši vizualni vpliv kot nadzemne;
 - *ekologija*; V nekaterih primerih omogočajo ohranitev naravne vegetacije, kar pomeni manjši vpliv na lokalni in globalni ekološki cikel. Rastlinski in živalski habitati ter evapotranspiracija in respiracija vegetacije se ohranjajo v večji meri kot pri nadzemnih strukturah.
4. **topografija**; Na nekaterih geomorfološko razgibanih območjih (hribovja, gorovja z vmesnimi dolinami in kotlinami) izvedba predorov izboljšuje oziroma omogoča različne vrste transporta (na primer železnica, cestni tovorni tranzit, podzemni rečni kanali).
5. **družbene koristi**; Podzemna infrastruktura igra pomembno vlogo pri zagotavljanju ekonomskih, družbenih in ekoloških funkcij v mestih, saj omogoča sonaravni, okoljsko prijazen razvoj, najsi gre za koristi zaradi zmanjšanja hrupa, onesnaževanja, učinkovite uporabe prostora, koristi za ekonomski razvoj, zaščito življenjskega okolja, družbeno zdravje in varnost (odvajanje odpadnih vod, vodooskrba; varen, ekološko usmerjen, hiter urbani tranzitni promet; površje je lahko namenjeno povečani kvaliteti bivanja; podzemna parkirišča in nakupovalna središča omogočajo povečanje rekreativnih površin in igrišč na površju in drugo). Pri cestnih predorih so koristi najbolj očitne, saj predori izničijo nekatere negativne vplive, ki jih imajo (predvsem) ceste višjega reda na urbano okolje. Največjo težavo zaradi pomanjkanja prostora predstavlja lociranje odcepov, priključkov, pa tudi preglednost. Cesta lahko prizadane raščeno okolje in ga razvrednoti; razreže enotno funkcijsko območje, odreže prejšnje

³⁰ Šibka točka izgradnje predorov je alokacija velikih količin izkopnega materiala.

komunikacije, življenske vezi, lahko podre in zmede funkcionalno organizacijo mesta in družbeno sociološko ravnovesje neke sredine (Gaberščik, 1970).

5.2 Načrtovanje in oblikovanje podzemnega prostora

Bistvene težave, s katerimi se srečujejo načrtovalci podzemnih prostorov, in ki bi morali biti upoštevani pri načrtovanju vseh pomembnejših podzemnih struktur, lahko strnemo v več vidikov (Sterling in Godard, 2000):

- ***Psihološki in zdravstveni vidik***

Obstoj prirojenega odpora (strahu) do podzemnih prostorov zaradi zgodovinsko pogojenega psihološkega razvoja človeka, ki je prisoten pri velikem delu populacije, kaže na to, da mora biti psihološki faktor pomemben kriterij pri iskanju tenhičnih rešitev glede podzemnih objektov in sistemov, ki vključujejo večje število uporabnikov (podzemna parkirišča, cestni predori, podzemna železnica). Veliko ljudi ima strah pred tovrstnimi prostori ali pa jih ob kontaktu z njimi popade celo napad utesnjenosti.

- ***Zaščita podzemnega okolja***

Kljub dejstvu, da je vpliv na okolje pri podzemnih strukturah bistveno manjši kot pri nadzemnih, je potrebno naglasiti, da je tudi podzemlje ranljivo na več načinov, saj je izkoriščanje podzemlja ireverzibilen (nepovraten) proces. Za razliko od nadzemnih objektov podzemnih namreč ni mogoče porušiti, kar hkrati pomeni, da je s posegom geološka struktura za vedno spremenjena. Najbolj značilen aspekt krhkosti podzemnega prostora predstavlja ranljivost za podzemne vode in vodonosnike. Vsakršna uporaba podzemnih prostorov z vplivom na hribino, ki je locirana pod nivojem podzemne vode, lahko vpliva na kakovost vode in/ali na smer njenega toka ter s tem posledično na sam nivo piezometra³¹.

- ***Odnosi med podzemnimi strukturami in površjem***

Vsaka podzemna struktura ima stičišče s površjem, načrtovanje takih struktur pa je, posebej na urbanih območjih, zaradi težavnosti določitve takih stičišč, dostikrat zelo zahtevno. Ta

³¹ Tudi uporaba materialov pri gradnji predorov (na primer malta, beton ob zapolnjevanju razpok v kamninah) lahko kontaminira bližnje izvire vode, lahko pa pride tudi do spremembe režimov nadzemne vode nad nadkritjem (na primer upad gladine jezera ali njegovo popolno izpraznjenje) z udorom v predorsko cev zaradi nezadostne ali prepozne zapolnitve razpok (Haack, 1999).

vidik nikakor ne sme biti zapostavljen, saj pogosto predstavlja eno glavnih težav pri projektiranju, izgradnji in upravljanju podzemnih struktur. Tako na primer prehodi med nadzemnimi in podzemnimi deli transportnih poti zahtevajo posebno pozornost s funkcionalnega, strukturnega in estetskega aspekta, pri cestnih predorih pa tudi z vidika onesnaževanja pri portalih, ki ga povzročajo izpuhi in hrup vozil.

- ***Konstruktivske tehnike – metode izkopa in izgradnje***

V zadnjih desetletjih je bil v razvoju metod in tehnik narejen velik napredek (površinski posedki so zaradi monitoringa in fleksibilnosti glede sprememb metod izgradnje postali obvladljivi). Čas izgradnje predorov se krajša, hkrati se zmanjšujejo stroški izgradnje. Relativne razlike med podzemnimi in nadzemnimi variantami se zmanjšujejo. Tehnološke izboljšave vodijo v večjo varnost pri delu in avtomatizacijo izkopa.

- ***Preliminarne raziskave in monitoring***

Za vse podpovršinske strukture je posebnega pomena, da je omogočena pravilna predikcija (napoved) glede značilnosti hribine (tal), saj imajo lahko napačne napovedi hude posledice, predvsem z vidika zamud pri dokončanju in dodatnih stroškov. Zaradi omenjenega so geološke raziskave (z razvojem 3D GIS) ključnega pomena, saj vključujejo razvoj sistemov za predvidenje geoloških, hidroloških in seizmičnih stanj in priprave za *in situ* raziskave.

- ***Analiza tveganj***

Kljub razvoju podzemnih konstrukcij v zadnjih desetletjih, se študije možnosti (feasibility studies), ponudbe (tenderji) in pogodbe soočajo z nekaterimi kategorijami tveganj:

- finančna tveganja (ekstremno povečanje stroškov, nižji prihodki od predvidenih);
- tveganje, da pridobitev ne bo sprejeta do mere kot je bilo pričakovano;
- tveganja, povezana z nepredvidenimi geološkimi in geomehanskimi spremembami, udori talne vode;
- kvari vrtnalne mehanizacije;
- pogodbeni rizik (dodatna dela, zamude, sodni spori in zahtevki);
- okoljski rizik (vpliv na kakovost podzemne vode, poškodbe na stavbah zaradi posedka, onesnaženje zraka, hrup);
- obratovalno tveganje (predvsem pri transportnih predorih).

- **Znani stroški**

Ekonomski vidik ostaja glavna prepreka razvoju uporabe podzemnega prostora, saj so podzemne strukture zaradi višjih začetnih stroškov na nek način v slabšem položaju, ko se jih primerja s tistimi na površju. Premalo se, predvsem zaradi težav (potrebe?) kvantificiranja, namreč upošteva prednosti zaradi izboljšane okolja v življenski dobi objekta. Boljšega zraka in naravnih habitatov se namreč ne da prešteti v evrih, enako velja za litre goriva, za beton, za sidra, ure dela itn.

- *stroški zemljišča*; Glede na objekte na površju predstavljajo bistven začetni prihranek³². Prihranki so največji na območjih, kjer zemljišča dosegajo najvišje cene – v mestnih središčih;
- *stroški izgradnje*; Po definiciji je izgradnja podzemnih struktur dražja od nadzemnih;
- *stroški vzdrževanja in zamenjave (rekonstrukcija)*; Zaradi fizične izoliranosti pred zunanjimi dejavniki, so stroški vzdrževanja lahko nižji. Hkrati imajo podzemne strukture pomembno daljšo življensko dobo (na primer veliko število železniških predorov je starejših od 100 let). Zaradi dokončnosti, ki je značilna za vse predore, je velikega pomena že faza načrtovanja, saj je za razliko od cest na površju, predore težko širiti, oziroma to terjaja izredno velike stroške, ki lahko dosegajo tiste za novo izgradnjo.

Uporaba (stimuliranje izgradnje) podzemnih struktur je močno povezana z družbenim vrednotenjem nadzemnih struktur z vidika okoljske degradacije, saj večine prednosti, ki jih prinaša podzemna možnost napram nadzemni, ni mogoče denarno ovrednotiti. Primerjava stroškov med omenjenima možnostima bi morala poleg dobro definiranih stroškov obratovanja skozi življensko dobo objekta, upoštevati tudi različne prednosti, ki jih nudi podzemna alternativa (predvsem glede varovanja okolja) (Sterling in Godard, 2000).

³² Odvisno od zakonodaje. V nekaterih državah lastništvo zemljišča pomeni lastništvo tudi v projekciji pod zemljo.

5.3 Hipoteza o ustrežnejši rešitvi vodenja prometa skozi predor v primerjavi z vodenjem po terenu

Jasno je torej, da predstavlja v današnjem času odločitev za gradnjo ceste v predoru navadno še vedno bistveno dražjo variantno rešitev od vodenja trase po površju. Izračuni stroškov so jasno izraženi v milijonih evrov. Sam menim, da v času preobrazbe visoko razvitih družb, ki so okoljsko ozaveščene in enostavno zahtevajo najvišji nivo kakovosti bivanja ob optimalni mobilnosti, vedno bolj prihajajo do izraza nekateri kvalitativni dejavniki, ki v razvitem postindustrijskem družbenem okolju prevešajo tehniko v prid predorskim rešitvam. Ceste tako pospešeno »selijo« v podzemlje v mestih na Japonskem in v drugih razvitejših azijskih regijah, v ZDA, Skandinaviji in v Zahodni Evropi. Na teh območjih dolgoročnejši ekonomski izračuni (obratovalni stroški, prosta zemljišča, itd.), predvsem pa kvalitativni dejavniki, narekujejo hiter tempo selitve cestnega prometa pod zemljo.

Dokazano je, da zahteva podzemni potek trase v primerjavi z odprto traso manjše število smrtnih žrtev in poškodovanih udeležencev v prometu zaradi preprečitve kolizije uporabnikov (ni pešcev in kolesarjev) ter počasnejšega vodenja prometa³³. Na nivoju terena se s sprostitevijo urbanih površin zaradi umika ceste v predor pojavijo možnosti za ureditve, ki povečujejo kakovost bivanja v mestu in so družbeno privlačne (bulvarji, trgi, parki, rekreativne površine, sprehajališča, itd.), pri novih cestnih povezavah pa ne pride do sprememb rabe, saj predorske rešitve ne potrebujejo območij izključne in/ali omejene rabe. Tako ni potrebe po rušitvah in z njimi povezanih preselitev prebivalstva in dejavnosti ali pa se ohranjajo površine širšega družbenega pomena. Zaradi odprtosti takega prostora je tudi prehodnost optimalna, saj ni omejena na prehode za pešce, nadhode in podhode, ki vodijo v kanaliziranje pešcev. Na območjih zelenih mestnih sistemov je prehodnost zelo pomembna tudi za neomejeno gibanje »mestne divjadi«.

Tudi ravni hrupa in vibracij ter emisijske vrednosti izpušnih plinov so vzdolž trase predora (razen na omejenih območjih portalov) bistveno nižje v primerjavi z odprto traso, s čimer je

³³ Zaradi občutka zaprtosti pa tudi zaradi velikega števila nadzornih kamer, vozniki v večji meri upoštevajo omejitve dovoljenih hitrosti, ki so v predorih navadno tudi nižje.

zagotovljena bistveno višja kakovost bivanja na območjih ob razbremenjenih (ali bivših) prometnicah, kar vpliva na ceno zemljišč, pa tudi na zdravje lokalnega prebivalstva.

Cesta na nivoju terena kot objekt ne predstavlja vizualnega presežka³⁴, zaradi velikih dimenzij pa je tudi dejavnik, ki spreminja mikroklimo v neposredni bližini. V mestih, kjer že po definiciji primanjkuje zelenih površin kot blažilcev učinkov mestne klime, je to še bolj očitno. Značilno je izsuševanje ter zlasti povečanje temperature (ekstremno v poletnem času), ustvarjajo pa se tudi vetrovi v smeri enakomernih prometnih tokov. Nad traso predora teh učinkov seveda ni, oziroma so omejeni na ozka območja okoli portalov.

Predori se projektirajo in gradijo dolgoročno (tudi sto let vnaprej), ekonomska merila pa ne vsebujejo kazalnikov, ki bi kvalitativne prednosti predorov vrednotile tako daleč v prihodnost. Osredotočajo se predvsem na stroškovno plat. Razvoj mest v prihodnosti je sicer nejasen, jasno pa je, da predori predstavljajo del infrastrukture, brez katere je nezmožnost razvoja očitna.

³⁴ Pri predorih so vidni le portali, ki se ob ustrezni arhitekturni in hortikulturni ureditvi zlijejo z okolico in lahko predstavljajo celo kakovosten prostorski poudarek.

6 INTEGRIRANOST PREDOROV V REGIONALNO CESTNOPROMETNO MREŽO – PREDOR ŠENTVID V LJUBLJANI

Po uveljavitvi schengenskega režima³⁵ tudi za deveterico t.i. vzhodnoevropskih držav, med katerimi sta tudi Slovenija in Češka, so notranji sistemi avtocest in hitrih cest teh držav tudi *de facto* postali del širšega evropskega sistema cestnoprometne infrastrukture. To dejstvo omogoča neslutene razvojne možnosti za regije in mesta mimo katerih oz. skozi katera potekajo (oz. bodo potekale) pomembne avtocestne povezave, kot tudi nevarnosti predvsem v obliki povečanega tovornega tranzitnega prometa z vsemi slabostmi, ki jih ta prinaša (izpuhi, hrup, vibracije, nesreče z izlivi tekočin, prometne nesreče, povečana gneča in zastoji, poškodbe vozišča, itd.).

Avtoceste in druge večpasovne ceste, rezervirane za motorna vozila, imajo naslednje funkcionalne in gospodarsko razvojne značilnosti (Mušič, 1993):

1. Sposobnost hitrejšega in varnejšega prevajanja tranzitnega (daljinskega) prometa;
2. Med seboj povezujejo posamezne (makro)regije, mestna središča, somestja in naselja, s čimer lajšajo njihovo funkcionalno in kulturno interakcijo ter prispevajo k prostorski integraciji družbeno prostorskih skupnosti;
3. S svojim potekom in opremljenostjo predstavljajo specifično obliko turistične ponudbe, v svojem gravitacijskem območju pa tudi širijo možnosti tranzitnemu turizmu komplementarnih trgovinskih, uslužnostnih in informacijskih dejavnosti;
4. V času gradnje imajo splošen gospodarsko-pospeševalni in socialno-regulativni pomen.

Poleg zgoraj naštetih med splošne značilnosti avtocest štejemo tudi zahtevnost do prostora, veliko lokacijsko (še posebej mikrolokacijsko) togost in agresivnost do vseh komponent naravnega okolja. Ker so čisto okolje, ohranitev habitatov in pokrajinska pestrost vrednote

³⁵ Izraz schengenski režim se v strokovnem žargonu uporablja za pravni red, vpeljan z uveljavitvijo dveh mednarodnih sporazumov, sklenjenih v luksemburški vasi Schengen. Ime kraja je danes sinonim za osnovni cilj, izražen v teh dveh mednarodnih pogodbah, to je odprava mejnega nadzora na skupnih notranjih mejah držav pogodbenic, čigar namen je zagotoviti hitrejši in učinkovitejši pretok oseb (Vladni portal..., 2008).

Evropske unije 21. stoletja, je skrbna in vnaprejšnja preučitev vplivov na okolje postala pogoj za umestitev takih objektov v prostor, tudi pravnoformalno.

Sodobna in specifična prometna politika je v svoji esenci torej prijazna okolju (teži k sonaravnosti oz. omogočanju trajnega, z okoljem skladnega razvoja), hkrati pa upošteva interese ljudi in njihovih skupnosti. V tem smislu se sodobne avtoceste in hitre ceste kažejo kot nova kakovost infrastrukturne opremljenosti urbanega ali urbano-regionalega prostora z boljšo dostopnostjo in novo dimenzijo v rabi tal. Nastajajo nove privlačne točke za lociranje različnih dejavnosti, ki so odvisne od širšega vplivnega območja in že same po sebi povzročajo aglomeracijski efekt. Zato lahko avtoceste pomenijo vzpodbudo za reorganizacijo (spremembo) vzorca poselitve in prostorske organizacije (Mušič, 1993).

6.1 Avtocesta A2 kot del slovenskega avtocestnega sistema in X. evropskega prometnega koridorja

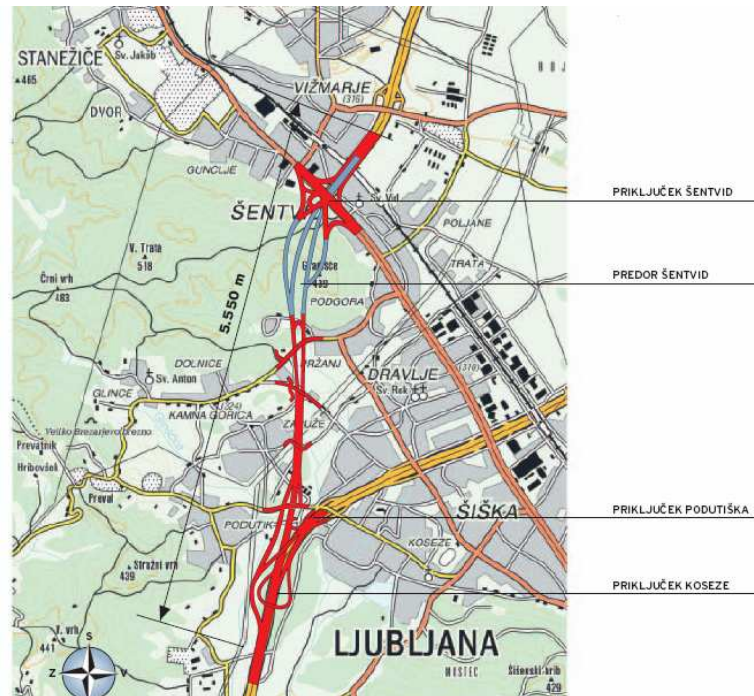
Odsek Šentvid – Koseze je sestavni del avtoceste A2 in X. evropskega prometnega koridorja (TEN), ki se na severozahodu in jugovzhodu navezuje na avtocestna sistema Avstrije in Hrvaške. Po dokončanju bo dolga cca. 241 km. Avtocesta A2 je po naravi daljinska³⁶, kategorizirana kot avtocesta in predstavlja del ciljev izgradnje avtocestnega križa v Sloveniji.

6.1.1 Odsek Šentvid – Koseze kot del avtoceste A2

Avtocestni odsek Šentvid – Koseze, skupne dolžine 5,55 km, povezuje gorenjsko avtocesto (A2) s cestnim obročem okoli Ljubljane, s čimer so vzpostavljene avtocestne povezave v smeri Primorske, Dolenjske in Štajerske. Odsek se na severni strani začne pri priključku Brod in poteka po že pred desetletji zgrajenem delu gorenjske avtoceste. Pred Šentvidom se spusti pod teren in poteka pod železniško progo, urbanim naseljem, Celovško cesto, predre Šentviški hrib in nazadnje izstopi na Pržanu, od koder do vozlišča s severno ljubljansko obvoznico trasa poteka najprej v ukopu med bivšo Iskro in Pržanom, prečka Cesto Andreja Bitenca, potok

³⁶ Daljinska cesta (DC) se navezuje na druge daljinske ceste v državi in tujini ter medsebojno povezuje regionalna središča z višjim prometnim nivojem uslug, priključevanja ali križanja z ostalimi cestami ali z železniško progo so izvennivojska.

Pržanec, v nadaljevanju pa še Kamnogoriško in Zapuško cesto ter Draveljsko gmajno s Podutiško cesto (Avtocestni odsek..., 2007; Žigon et al., 2004).



Slika: Odsek Šentvid – Koseze. Shematski prikaz (vir: Avtocestni odsek..., 2007)

Figure: Schematic display of the motorway section Šentvid – Koseze

6.1.1.1 Opis trase predora

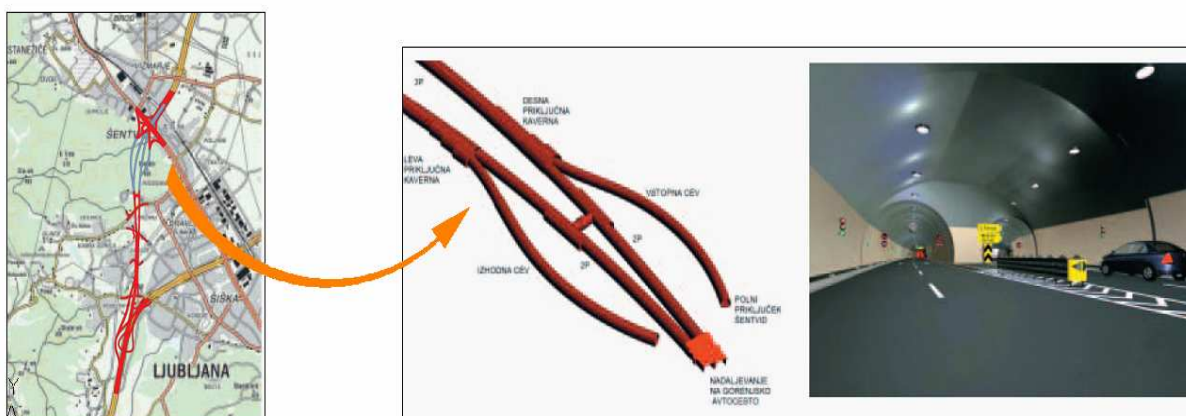
Obstoječa trasa gorenjske avtoceste se zaključi pri priključku Brod, kjer se leva in desna os trase razmakneta v vstopno izstopni krak do galerije Šentvid. Tu se trasa dvigne na nivo Celovške ceste. Pričetek trase odseka AC Šentvid – Koseze je predviden v vmesnem, do predaje prometu še neizkoriščenem območju. S predorom Šentvid je omogočen nemoten prehod pod Šentvidom kot delom severozahodnega urbanega kraka Ljubljane z razvejano prometno infrastrukturo (železnica, cestna vpadnica (Celovška cesta) ter peš in kolesarske poti) in Šentviškim hribom v izvedbi klasičnega rudarskega predora.

Severni, urbani del prečka gosto poseljeno območje z dvema močnima prometnima žilama - železnico in Celovško cesto ter se deli na predhodno izvedeno (1984) Galerijo Šentvid v skupni dolžini cca. 250 m in pokriti ukop (Galerija Šentvid 2007), ki poteka pod Celovško cesto v dolžini cca. 140 m. V nadaljevanju trase se predor preko veznega dela nadanjuje kot klasičen rudarski dvocevni predor do južnega portala v Pržanu (Žigon et al., 2004).

6.1.1.2 Gradbeno tehnične značilnosti predora Šentvid

Predor Šentvid sestavlja že leta 1984 zgrajena galerija in njen, v letu 2007 dograjeni podaljšek v obliki pokritega ukopa pod Celovško cesto, do dela, ko predor poteka v hribini (klasično rudarski del predora) in bo torej v končni funkciji del predora. Upoštevano je bilo eno izmed bistvenih inženirsko-tehničnih načel, da je treba traso podrediti dolgim premostitvenim objektom v trasi, zaradi česar je bilo potrebno pri določitvi trasnih elementov ceste upoštevati najpomembnejše karakteristike predvidenega premostitvenega objekta (Juvanc, 2007).

Klasično rudarski del predora sestavljata dve dvopasovni cevi, dve kaverni, dve tripasovni cevi in dve priključni cevi (rampi) s Celovške ceste. Kaverni, ki predstavljata gradbenotehnično najzahtevnejši del predora, sta velikega prereza (vsaka meri po 320 m²) – za primerjavo: prerez dvopasovne predorske cevi znaša približno 70-75 m², tropasovne pa 140 m² (Marjetič et al., 2006).



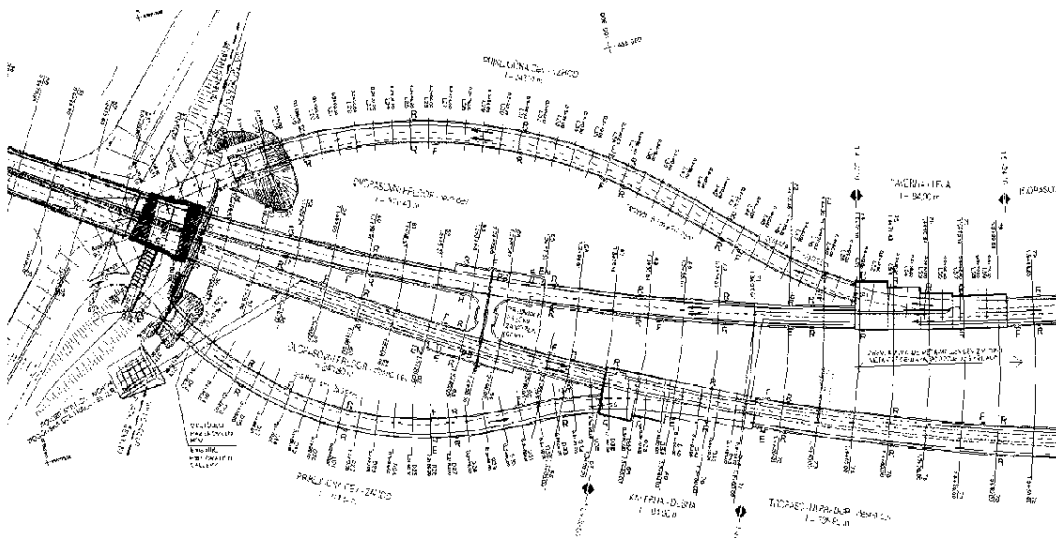
Slika 6: Predor Šentvid kot del AC A2. Lokacija predora Šentvid s 3D prikazom polnega priključka in računalniško simulacijo prometa v levi kaverni (izvoz Šentvid) (vir: Avtocestni odsek..., 2007, priredil avtor)

Figure 6: Šentvid tunnel as part of the A2 motorway. Location of Šentvid tunnel with 3D display of the full junction and computer simulation of traffic in the left cavern

Preglednica 3: Horizontalni gabariti predora Šentvid (vir: Lavrič, 2004; Žigon et al., 2004; Avtocestni odsek..., 2007)

Table 3: Horizontal characteristics of Šentvid tunnel

	<i>del predora</i>	<i>dolžina cevi</i>	<i>dolžina</i>	<i>širina</i>
LEVA CEV	dvopasovni predor	1033 m³⁷	369 m	9,2 m
	tropasovni predor		595,8 m	12,7 m
	kaverna ³⁸		68,2 m	
	galerija Šentvid (1984)		cca. 250 m	
	galerija Šentvid (2007)		147,58 m	9,1 m
	priključna cev		370 m	7,2 m
DESNA CEV	dvopasovni predor	1060 m	240 m	9,2 m
	tropasovni predor		765 m	12,7 m
	kaverna ³⁹		56 m	
	galerija Šentvid (1984)		cca. 250 m	
	galerija Šentvid (2007)		146,13 m	9,1 m
	priključna cev		244 m	7,2 m



Slika: Prometotehnična situacija predora Šentvid (severni del) s kavernama in priključnima rampama (vir: DARS, 2007)

Figure: Situation of the northern part of Šentvid tunnel with caverns and traffic ramps

Pri priključevanju Celovške ceste na avtocesto v predoru se na koncu uvoznega pasu pojavi fiksna ovira (obok predora »normalne« širine), ki je lahko za voznika, ki se pri doseženi

³⁷ dolžina predorske cevi brez galerije (pri levi in desni cevi).

³⁸ v njej se kot izhodna cev na Celovško cesto iz glavne predorske cevi odcepi dvopasovna predorska cev.

³⁹ kaverna je vključevalni objekt in predstavlja priključek desne predorske cevi s Celovške ceste.

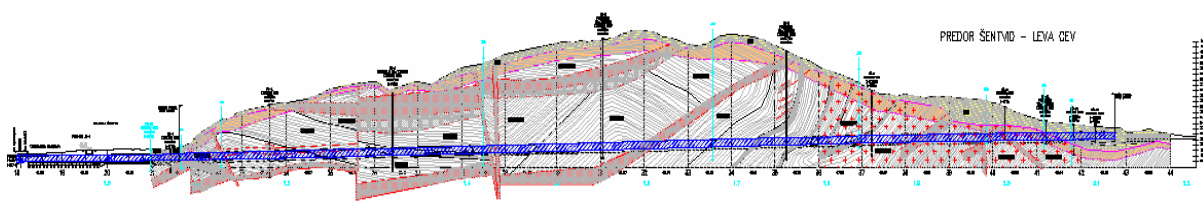
hitrosti ni uspel vključiti v prometni tok na avtocesto, usodna, zaradi česar je pospeševalni del pasu podaljšan do konca predora in potem še naprej do izvoza Koseze, uvozni del pa je prestavljen v območje izven predora (SDLN, 2006).

Za izvozne pasove velja, da so sestavljeni iz dela za menjavo voznega pasu in dela za zmanjšanje hitrosti. Pri priključkih s paralelnima rampama se kot del za zaviranje praviloma izkoristi tudi rampo samo (uvoz nanjo je brez bistvenega zmanjšanja hitrosti), pri čemer je potrebno izračunati dolžino zaustavljenih vozil pred križiščem, h kateremu rampa vodi. Na podlagi teh izračunov je bila izvozna rampa v svojem zadnjem delu (ob Celovški cesti) zasnovana kot dvopasovna (večja kapaciteta), razširitev iz enopasovne rampe v dvopasovno pa se izvede takoj za izključevalno kaverno, kjer se priključna rampa izvaja kot samostojni predor (SDLN, 2006).

6.1.1.2.1 Horizontalni in vertikalni elementi predora

Svetli profil v prečnem prerezu galerije je na severnem delu določen s profilom galerije, zgrajene leta 1984, nato pa postopno prehaja v profil hribinskega dela predora. Širina vozišča znaša 7,50 m (dva vozna pasova širine 3,50 m in obojestranska robna pasova širine 0,25 m). Višina svetlega profila znaša 4,70 m (Lavrič, 2004).

Največji vzdolžni naklon na trasi znaša cca. 2,2 % in sicer na delu, kjer niveleta glavne osi predora preide iz preme preko radija (min. horizontalni radij znaša 1500 m). Po cca. 750 m prične vzdolžni naklon padati, tako da trasa doseže vrh neposredno po izstopu iz predora pri južnem portalu v Pržanu. Z upoštevanjem horizontalnega radija trase je določen najmanjši prečni naklon vozišča, ki znaša 2,5 %.



slika 7: Vzdolžni presez leve predorske cevi (vir: ELEAiC, 2007, priredil avtor)

Figure 7: Longitudinal cross section of the left tube

Obe priključni cevi se pričneta na višjem nivoju (niveleta na cca. 316 m) in sledita vzporedno glavni trasi do priključka v kavernah (niveleta na cca. 315,9 m). Niveleta ceste se sprva dviga v minimalnem, še dopustnem naklonu (0,5%), nato pa se v istem naklonu spušča do kaverne, kjer se priključi k glavni cevi. Maksimalna nadmorska višina na prevoju znaša cca. 317,2 m. (Žigon et al., 2004). V smeri severnega portala se zaradi potrebne razvrstitve pred semaforiziranim križiščem enopasovna rampa (3 m vozni pas + 2 m odstavní pas) razširi v dvopasovno.

6.1.1.3 Geološko-tektonske in hidrološke značilnosti hribine v trasi predora

Vodilo pri načrtovanju, izvedbi in interpretaciji preiskav tal je, da morajo rezultati preiskav omogočati varno in racionalno projektiranje in gradnjo predora, pa tudi zanesljivo presojo vplivov te gradnje na okolico. V ta namen so bile pred pričetkom gradnje izvedene nekatere terenske raziskave in sicer inženirsko-geološko in hidrogeološko kartiranje hribine, vrtanje vrtin, *in situ* preiskave vrtin, geofizikalne raziskave in laboratorijske analize vzorcev kamnin. Ocene geomehanskih parametrov kamnin so bile osnova za projektiranje predora in za določitev načina izkopa (Popit, 2007). Ker raziskovanje s površja, z namenom iskanja optimalne lokacije, ne daje zadovoljivih rezultatov, je bila odločitev o izvedbi raziskovalnega rova z gledišča zahtevnosti izgradnje in umestitve priključne kaverne ter pestrosti geološke sestave Šentviškega hriba nujna. Raziskovalni rov (sondažni, pilotni, smerni), prereza do 15 m², je potekal sprva skoraj v osi leve cevi, nato pa je s prečnikom prešel skoraj v os desne cevi⁴⁰ (Marjetič et al., 2006; Žigon et al., 2004).

Geološka zgradba v trasi predora je bila pred izgradnjo raziskovalnega rova interpretirana kot večja sinklinalna guba permokarbonskih plasti, ki je razkosana z narivanjem treh tektonskih lusk in s premiki ob subvertikalnih prelomih dinarske (smer severozahod-jugovzhod) in prečno dinarske smeri ter smeri sever-jug. Predvideni sta bili naslednji litolški enoti iz permokarbonskih sedimentov: muljevec in glinasti skrilavec z več metrov debelimi plastmi peščenjaka, menjavanje glinastega skrilavca in skrilavega meljevca s peščenjakom in

⁴⁰ Zaradi relativne nepomembnosti geomehanske karakteristike terena na območju galerije Šentvid in zaradi metode in vrste gradnje o tem le na kratko, zgolj kot zanimivost: na severnem delu so bile nad hribinsko osnovo plasti umetnega nasutja iz apnenčevega proda s kosi betona ter kvartarnih usedlin iz gline, skrilavca in kremenčevega peščenjaka. Hribinska osnova je masivna glina, melj in zaglinjen skrilavec s sloji drobnozrnatega permokarbonskega peščenjaka različnih debelin (Lavrič, 2004).

tektonska glina. Ostale plasti hribine pa so bile po predvidevanjih sestav preperle hribinske podlage, subvertikalnih tektonskih con v prelomih med luskami, v katerih se nahaja tektonska glina in zaglinjen pobočni grušč iz kvartarnih sedimentov⁴¹ na severnih pobočjih Šentviškega hriba. Ob izkopu raziskovalnega rova je bilo ugotovljeno, da je geotektonska zgradba Šentviškega hriba še zahtevnejša, saj traso predora preči tudi več prelomov in narivnic, ob katerih so kamnine razpokane in zdrobljene oziroma spremenjene v tektonsko glino z izjemno slabimi geomehanskimi lastnostmi (Popit, 2007; Žigon et al., 2004). Ovire pri izkopavanju so povzročali dotoki vode, ki so že tako oslabljeni hribini zaradi tektonske poškodovanosti še dodatno poslabšali mehanske lastnosti in s tem povzročali nestabilnosti izkopnega čela (Popit, 2007).

Pedor ima relativno nizko nadkritje (10 do 110 m), hribino pa sestavljajo razmeroma krhke in oslABLJENE ter tektonsko poškodovane kamnine (Rodež, 2007).

6.1.1.4 Metode gradnje predora Šentvid in potek izkopa

Pri izgradnji predora Šentvid sta bili uporabljeni klasična metoda s postopnim izkopom (za klasično rudarski del predora) in metoda pokritega ukopa (cut and cover) pri galeriji Šentvid. Galerija je zasnovana kot dvoladijska konstrukcija s pilotnimi stenami, na katerih leži monolitni armiranobetonski pokrov. Vsi piloti so vpeti najmanj 3 m v trdo hribinsko podlago meljevih skrilavcev. Za vzpostavitev prvotnega stanja terena je bil nad pokrovom izveden zemeljski nasip (Lavrič, 2004; Žigon et al., 2004). Zaradi komunalne infrastrukture in prečkanja Prušnikove ulice je bilo potrebno dvigniti niveleto uvoznih ramp vzdolž trase, nivo pokrova spustiti cca. 6 m pod koto Celovške ceste, nivo spodnje plošče pod voziščem pa je 6,18 m pod spodnjo koto pokrova (12,00 m pod niveleto Celovške ceste). Svetla širina profila znaša 9,10 m in se prilagaja meram obstoječe galerije (Žigon et al., 2004).

⁴¹ Kvartarne sedimente sestavlja srednje gost do gost grušč, v katerem se pojavljajo meljne gline. Grušč vsebuje tudi posamezne kose peščenjaka in glinovca. Na posameznih delih se voda zadržuje nad vodonepropustnimi zaglinjenimi plastmi, zato je v teh predelih grušč razmočen (posebno ob večjih količinah padavin) in ob izkopu ter posledično odtoku vode izgubi vso kohezijo. Zemljina se tam obnaša kot židek material brez samonosilnih sposobnosti (Žigon et al., 2004).

Klasično rudarski del predora je bil grajen po NATM, po kateri se na osnovi kontinuiranega opazovanja deformacij hribinske mase v okolici predora preverja stabilnost primarne predorske obloge, kar omogoča pravočasno in ustrezno prilagajanje podpornih ukrepov in načina gradnje (Popit, 2007). Izkopavanje predora v močno tektoniziranih permokarbonskih kamninah je za zagotovitev stabilnosti primarne predorske obloge zahtevalo stalno prilagajanje načina gradnje (na primer povečanje števila izkopnih sekvenc) in podpornih ukrepov (ojačanje primarne podgradnje na pretežnem delu predora), tveganja za pojav nestabilnosti izkopnega čela pa so bila največja pri gradnji tripasovnih cevi in v območjih kavern (Popit, 2007; Rodež, 2007). V močno tektoniziranih kamninah je bil mogoč le postopen izkop v več fazah, tako je izkop kalote pogosto potekal v več kot sedmih, jedra pa več kot petih sekvencah.

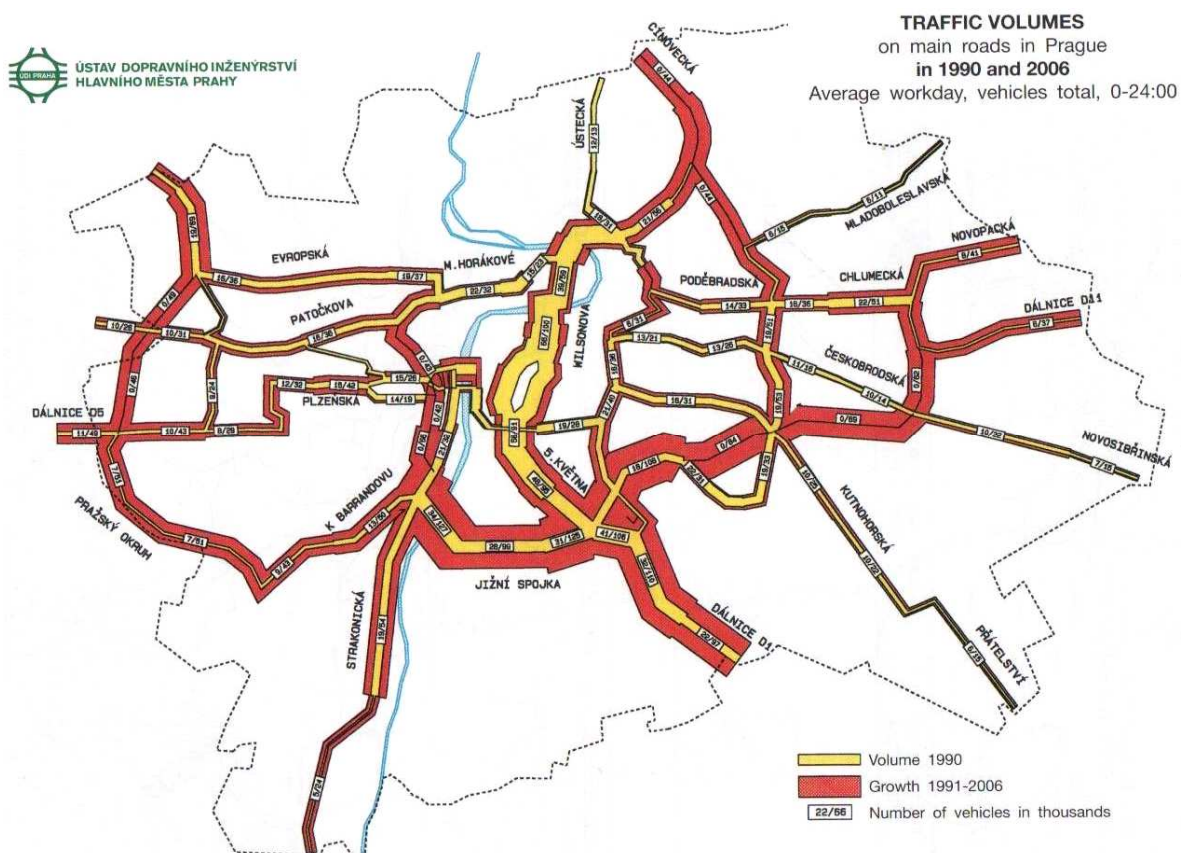
Pedor je bil izkopen pretežno z bagrsko žlico in hidravličnim kladivom, miniranje pa je bilo zaradi specifičnih lastnosti hribine izvajano le v zanemarljivem obsegu. Strop in boki predora so zaradi tektoniziranih kamnin, ki jih pogosto sekajo prelomi, narivi in prelomne cone, ojačajni s sidri, sulicami, mrežami, brizganim betonom in cevni ščitom (Popit, 2007).

Tekom gradnje glavnih predorskih cevi je bilo izkopano 349.998 prostorninskih metrov zemljine, vgrajeno pa 103.848 prostorninskih metrov brizganega betona, 534.000 metrov sider, 1.555 ton jeklenih lokov TH, 298.000 metrov injektirnih sulic, 43.550 metrov cevnega ščita, 1.279 ton jeklene žične mreže, 1.600 ton armature za notranjo oblogo, 75.000 površinskih metrov hidroizolacije ter 125.000 prostorninskih metrov litih betonov (polnilni, talni, temelji, notranja obloga). Gradnjo so, poleg izjemno zahtevne in nestabilne geološke sestave (tektonsko poškodovane kamnine), kljub dodatnim ukrepom, spremljali tudi številni zruški (v desni cevi 14, v levi 31) (Predori, SCT, 2008).

7 INTEGRIRANOST PREDOROV V REGIONALNO CESTNOPROMETNO MREŽO – PREDOR MRAZOVKA V PRAGI

7.1 Sistem hitrih cest v Pragi

Ključ za razvoj mesta, ki bi deloval kot »naoljen stroj«, je v težnji k ravnovesju med visokimi zahtevami glede kapacitet (zmogljivosti), zanesljivosti in kakovosti transporta ter prometne infrastrukture in med vzdržnim stanjem okolja. Znotraj mesta se vrši koncentracija dejavnosti državnega in medregionalnega pomena, obenem pa mesto po definiciji omogoča oziroma zagotavlja dejavnosti, ki vsakodnevno zadovoljujejo potrebe širokega spektra uporabnikov (vozači, študentje, ki živijo izven mesta, turisti, nakupovalci, obiskovalci bolnišnic in drugi), kar pomeni, da prometno infrastrukturo v Pragi vsak dan »obremenjuje« do 1,8 milijona uporabnikov (Strategic plan..., 1999).



Slika (na prejšnji strani): Količina prometa (v tisočih) na najbolj obremenjenih cestah v Pragi. Rumena barva predstavlja stanje leta 1990, rdeča pa rast med letoma 1991 in 2006. Kaže se močna bremenitev v smeri J – S skozi samo središče mesta (vir: The yearbook of transportation, 2006)

Figure (previous page): Prague main roads traffic volumes (in thousand) in 1990 (marked in yellow) and 2006 (red)

Izredna rast motorizacije z začetkom v zgodnjih devetdesetih letih prejšnjega stoletja je tudi v Pragi povzročila stanje, ko obstoječi cestni sistem ni bil več zmožen zagotavljati zadostne pretočnosti vozil, saj je število vozil doseglo 600 na 1.000 prebivalcev⁴². Taka gostota vozil je v razgibanem reliefu, polnem zgodovinske in kulturne nepremične dediščine, predstavljala glavni argument za iskanje rešitev za vedno večje prometne zastoje. Cilj predstavlja vzdržen in dobro načrtovan prometni sistem, ki bo razbremenil središče mesta (Mestsky okruh, 2007). Udejaniti ga bo poskušal načrtovani sistem dveh obročev mestnih hitrih cest. Oba obroča bosta povezana s sedmimi povezovalnimi cestami (t.i. radiale), ki bodo omogočale kvalitetno prevajanje prometa z notranjega na zunanji obroč in obratno (Dvořak, 2006; Strategic plan..., 1999). Omrežje cest prvega reda v Pragi bo tako, ko bo končano, organizirano kot radialno-krožni sistem avtocest in mestnih hitrih cest. Ogrodje bo sestavljeno iz dveh obročev (t.i. ringov), zunanjega (City Ring Road⁴³, avtocesta R1), dolžine 83 km⁴⁴ in notranjega (City Circle Road⁴⁵), dolžine 33 km. CCR predstavlja ključni element glavnih mestnih hitrih cest v Pragi. Njihova zasnova temelji na uporabi modernih tehnologij, ki omogočajo zaščito obstoječih objektov in naravnega okolja pred negativnimi vplivi cestnega prometa (Bartak et al., 2007).

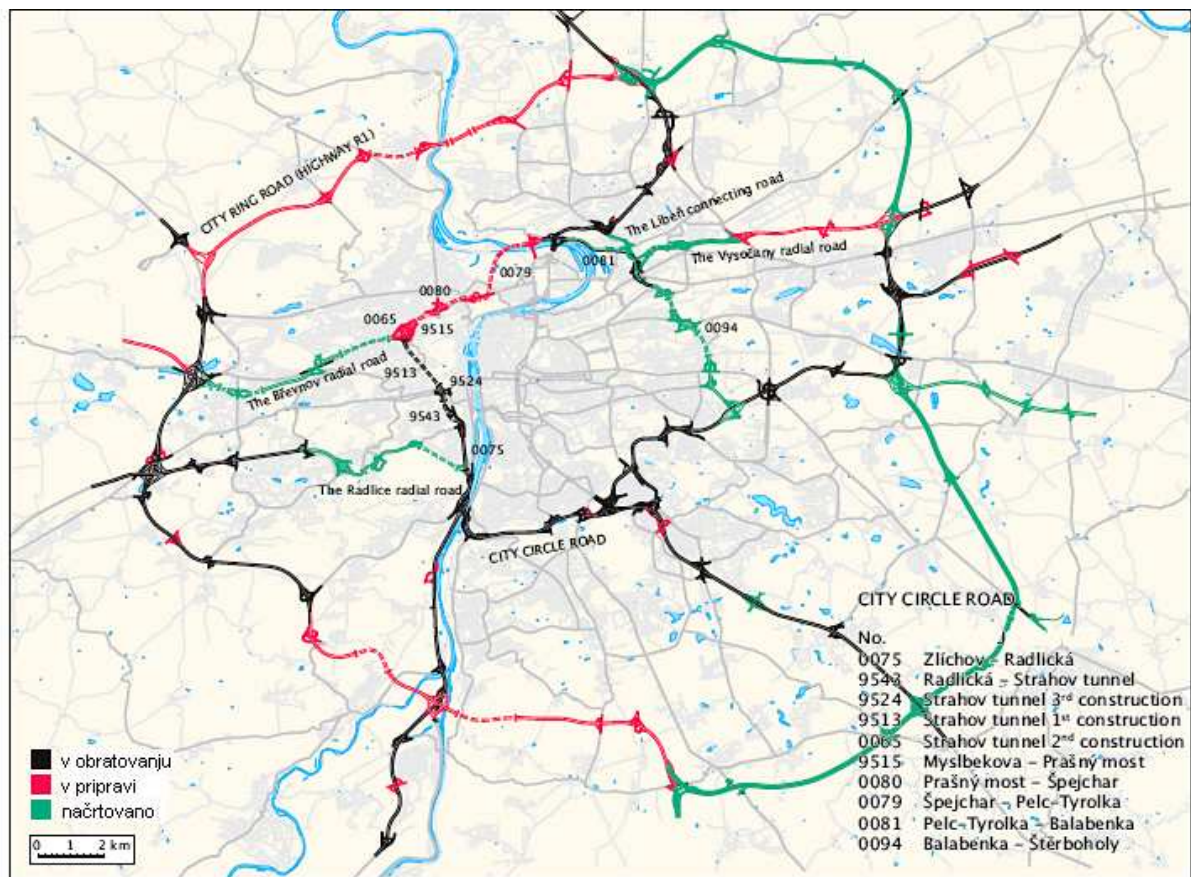
Poglavitni namen CRR in CCR ni v gradnji avtocest skozi mestno središče, temveč v vzpostavitvi sodobnega cestnega omrežja. Po dokončanju bosta zagotavljala hiter in tekoč pretok vozil skozi mesto – v neposredni bližini mestnega jedra. Ker poteka velik del sistema skozi predore, koncept tudi aktivno spodbuja urbani razvoj in revitalizacijo bližnjih območij (Mestsky okruh, 2007).

⁴² V letu 2006 je imela Praga preko 760.000 registriranih vozil, kar predstavlja 640 vozil/1000 preb. (510 osebnih/1000 preb.) (The yearbook of transportation, 2006).

⁴³ Skrajšano CRR.

⁴⁴ Natančna dolžina še ni določena, saj obroč še ni dokončan, nekateri odseki pa so še v fazi variantnih rešitev.

⁴⁵ Skrajšano CCR.



Slika: Mestni cestni obroč (City ring road) in mestna krožna cesta (City circle road) v Pragi. Shematski prikaz poteka obeh cestnih obročev okoli Prage. Sistem ni v celoti dokončan. Stanje na prikazu marec 2006 (vir:Dvořák, 2006, priredil avtor).

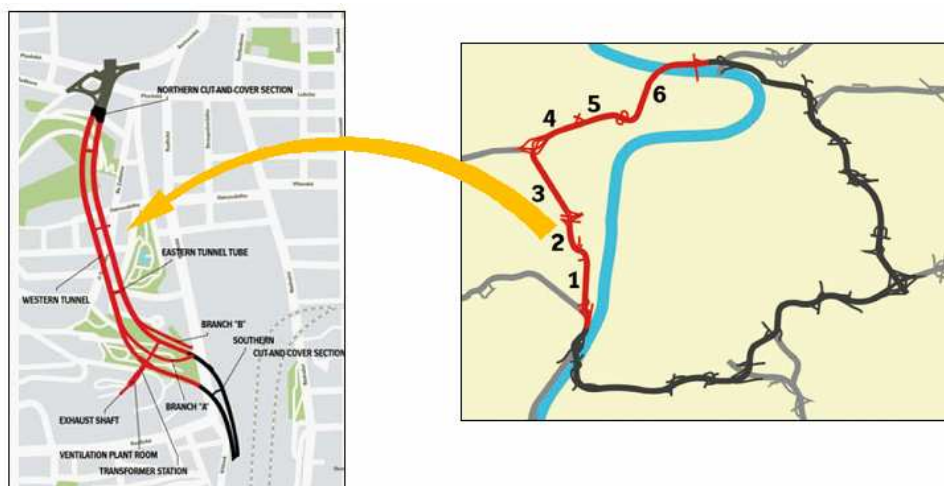
Figure: Prague network of main roads with City ring road and City circle road. Some parts of the system are still under construction. Condition on display dates March 2006

7.2 Predor Mrazovka kot del CCR (City Circle Road)

7.2.1 Opis trase predora

Ena najpomembnejših podzemnih struktur, zgrajenih na Češkem v zadnjih letih, je predor Mrazovka, ki je sestavni del severozahodnega dela CCR, ki je dolg 12,3 km, od katerih poteka 8,5 km pod zemljo, predori pa so zgrajeni delno po metodi *cut and cover*, delno pa po *NATM*. (Šajtar, Dvořák, 2004). Do sedanje končne rešive tega odseka je prišlo po dolgotrajnem proučevanju možnih rešitev kot posledica implementacije novega prometnega koncepta v Pragi po letu 1989. Sprva je bil CCR na tem delu načrtovan na površju, v devetdesetih letih

(dvajsetega stoletja, op.a.) pa sta se stroka in politika zedinili in usmerili v gradnjo pretežno v predorih. Končna rešitev je bila sprejeta leta 1992, gradnja predora Mrazovka se je začela v letu 1998, predor pa je bil predan prometu leta 2004 (Bartak et al., 2007).



Slika 8: Predor Mrazovka. Levo shematski prikaz predora, desno odseki severozahodnega dela CCR: 1 – Zlichov; 2 – Mrazovka; 3 – Strahov; 4 – Strešovice; 5 – Dejvice; 6 – Kralovska obora (vir: Dvořák et al., 2004; Šajtar, Dvořák, 2004, priredil avtor)

Figure 8: Schematic display of Mrazovka vehicular tunnel (left) and CCR sections in the north-western part of Prague (right)

Na severni strani se Mrazovka z viaduktom čez Plzensko cesto (Mozartov most) navezuje neposredno na predor Strahov, na jugu pa se navezuje na cesto, ki je bila zgrajena na območju nekdanjega manipulativnega prostora železniške postaje Smichov, in ki vodi proti jugu (skozi predor Zlichov preko viadukta Barrandov). Zaradi »razvejanja« (forking) v okviru predora, se ena veja v obliki vstopne in izstopne rampe pod vzpetino Pavi Vrch loči od glavnih cevi ter se preko jugovzhodnega portala priključuje na mrežo mestnih ulic (Radlicka cesta) (Bartak et al., 2007). Niveleta se zaradi specifičnosti umestitve predora, ki poteka pod dvema vzpetinama in sedlom med njima, spušča, v predoru doseže najnižjo točko, nato pa se dviguje do južnih portalov. Tak potek nivelete je sicer značilen za predore, ki potekajo pod vodnimi površinami.



Fotografija 1 (zgoraj): Mozartov most. Levo južni portal predora Strahov, skrajno desno pa severni portal predora Mrazovka. Fotografija 2 (spodaj levo): Južni portal predora Mrazovka. Fotografija 3 (spodaj desno): jugovzhodni portal predora Mrazovka, priključek na Radlicko cesto (foto: avtor, 2008)

Photo 1 (top): Mozart bridge with southern portal of Strahov tunnel on the left and with northern portal of Mrazovka tunnel on the right. Photo 2 (bottom left): southern portal of Mrazovka tunnel. Photo 3 (bottom right): south-eastern portal of Mrazovka tunnel

Vzpetini Mrazovka in Pavi Vrch sta neposeljeni. Mrazovka predstavlja naravno oazo za lokalno prebivalstvo v obliki parkovnih in rekreativnih površin. Pavi Vrch je na območju nad predorom evidentiran kot kulturna dediščina, historični vrtovi pa so institucionalno zaščiteni. Sedlo med omenjenima vzpetinama je urbanizirano in gosto pozidano. Stavbni fond predstavlja pretežno večstanovanjska zazidava (višinski gabarit večinoma do P + 4) s konca 19. in začetka 20. stoletja. V pritličnih etažah se pojavlja komercialni program.



Fotografija 4 (levo): Primer zazidave na sedlu med vzpetinama Mrazovka in Pavi Vrch (ulica Ostrovskeho).

Fotografija 5 (na sredini): Primer zazidave na sedlu med vzpetinama Mrazovka in Pavi Vrch (ulici Na Brezince in U Santoški). Fotografija 6 (desno): Primer zazidave na sedlu med vzpetinama Mrazovka in Pavi Vrch (ulica U Nikolajky).

Photo 4 (previous page – left): Example of building located on the pass between Mrazovka and Pavi Vrch (Ostrovskeho street). Photo 5 (previous page – in the middle): Example of building located on the pass between Mrazovka and Pavi Vrch (Na Brezince and U Santoški street). Photo 6: Example of building located on the pass between Mrazovka and Pavi Vrch (U Nikolajky street)

7.2.2 Gradbeno tehnične značilnosti predora Mrazovka

Zaradi zahtevne geološke značilnosti hribine, velikega obsega izkopanih predorskih cevi, specifične konfiguracije terena, goste poseljenosti območja nad traso predora ter nizkega nadkritja, se Mrazovka upravičeno uvršča na vodilna mesta med objekti te vrste v tem delu sveta.

Skupna dolžina zahodne predorske cevi znaša 1300 m, vzhodne pa 1254 m. Pretežni del predora je bil izkopen s klasičnimi metodami s postopnim izkopom (v skupni dolžini 2481 m), ostalo pa z metodo cut and cover.

Preglednica 4: Horizontalni gabariti predora Mrazovka (vir: Bartak et al., 2007; Dvořak et al., 2004; Jelinek in Klein, 2005)

Table 4: Horizontal elements of Mrazovka vehicular tunnel

	<i>del predora</i>	<i>dolžina cevi</i>	<i>dolžina</i>	<i>širina</i>
ZAHODNA CEV	dvopasovni predor	1300 m (1003 m)⁴⁶	246 + 50 m	3,5 m x 2 + robni pas
	tropasovni predor		653 m	3,5 m x 3 + robni pas
	kaverna ⁴⁷		54 m	
	pokriti vkop – jug		263 m	
	pokriti vkop – sever		34 m	
	pokriti vkop – JV portal		22 m	
	priključna cev		236 m	
VZHODNA CEV	dvopasovni predor	1254 m (837 m)	147 m	3,5 m x 2 + robni pas
	tropasovni predor		639 m	3,5 m x 3 + robni pas
	kaverna ⁴⁸		51 m	
	pokriti vkop – jug		380 m	
	pokriti vkop – sever		37 m	
	pokriti vkop – JV portal		27 m	
	priključna cev		153 m	

Prostori za servisne zmogljivosti, ki so bili zgrajeni sočasno s predorom in vključujejo podzemno prezračevalno postajo s transformatorjem, so umeščeni v kaverno, izkopano pod vzpetino Pavi Vrch, in preko prezračevalnih jaškov vodijo v zunanjo prezračevalno enoto na hribu. Glavni predorski cevi sta povezani s šestimi prečnimi povezovalnimi jaški (Bartak et al., 2007).

7.2.2.1 Horizontalni in vertikalni elementi predora

Celostna prometna rešitev CCR je predvidela več različnih prometnih prečnih profilov in sicer tri-, dvo- in enopasovnega (Dvořak et al., 2004). Prečni profil obeh glavnih predorskih cevi je ovalne oblike širine 16 metrov in prerezom 160 m², kar zagotavlja tri vozne pasove, ki od severnega portala pri Plzenski cesti potekajo do kavern (največje prostornine 340 m³), kjer se

⁴⁶ samo klasični rudarski del.

⁴⁷ v njej se kot izhodna cev na Radlicko cesto iz glavne predorske cevi odcepi dvopasovna predorska cev.

⁴⁸ kaverna je vključevalni objekt in predstavlja priključek desne vzhodne predorske cevi z Radlicke ceste.

razdelijo v dvopasovni predor, ki poteka v okviru CCR proti jugu in enopasovni rampi, ki se priključujeta na Radlicko cesto (mestna cestna mreža).

Največji vzdolžni naklon glavne predorske cevi (severno od kaverne) znaša 4,50 %, med tem ko doseže največji vzdolžni naklon predorskih ramp celo do 6 %. Najmanjši horizontalni radij dvopasovnega predora znaša 195 m, tropasovnega 400 m, enopasovne rampe pa 100 m. Višina svetlega profila znaša 4,8 m. Predor je projektiran za kapaciteto 80.000 vozil dnevno in hitrost 70 km/h (Bartak et al., 2007).

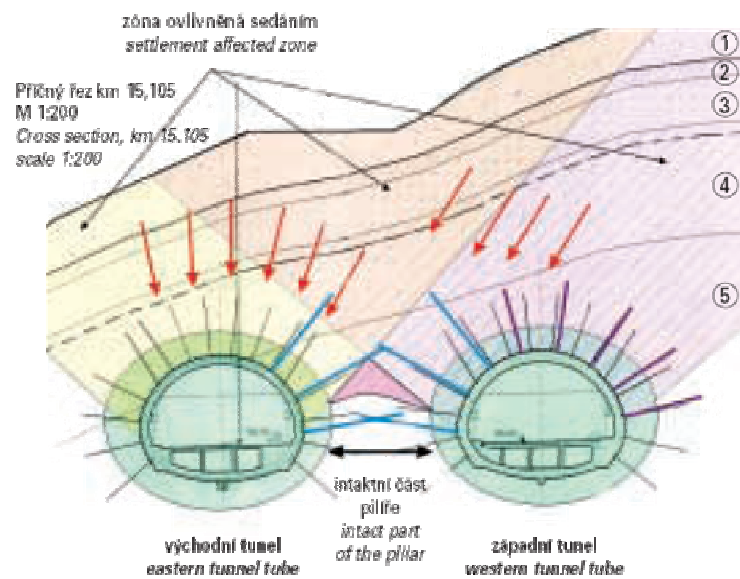
7.2.3 Geološko-tektonske in hidrološke značilnosti hribine v trasi predora

Geološke razmere na območju trase predora so bile pred pričetkom izkopa detajlno proučene, izkopan pa je bil tudi raziskovalni rov (Bartak et al., 2007).

Matično osnovo hribine sestavljajo paleozojski sedimenti iz obdobja ordovicija (severovzhodni del Barrandovske sinklinale), ki vzdolž trase na območjih, kjer niso prelomljeni oz. tektonizirani, zagotavljajo ustrezno nosilnost. Iz smeri severnega portala poteka trasa predora skozi območje Letna skrilavci, ki tvorijo Mrazovko, z dokaj debelim nanosom diluvialnih⁴⁹ sedimentov. Pod že omenjenim sedlom med Mrazovko in vzpetino Pavi Vrch poteka trasa skozi Libenske skrilavce, skozi katere na delu trase penetrira blok Řevniških kvarcitov (metamorfne kamnine, sestavljene pretežno iz kremna). Masiv vzpetine Pavi Vrch sestavljajo Letna skrilavci (Bartak et al., 2007; Bucek, 2003).

Karakteristične značilnosti hribine so posledica različnih procesov, ki so na tem območju potekali (in še potekajo) skozi čas in sicer preperevanja, peneplenizacije in tektonskih aktivnosti, ki so vodile k nastanku prelomnih con.

⁴⁹ diluvij – starejše obdobje kvartarja; pleistocen.

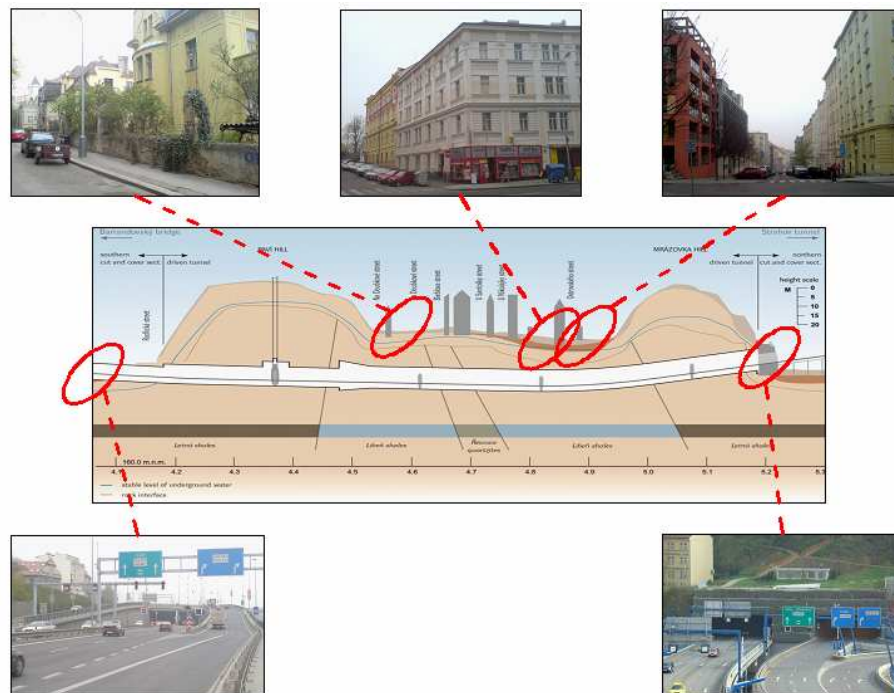


Slika: Prečni prerez predorskih cevi. Stacionaža km 15,105. Geološka sestava: 1 – deluvialni nanosi in zemljina na površju, 2 – kamenine v procesu razpadanja, 3 – preperela kamenina, 4 – delno preperela kamenina, 5 – kompaktna matična osnova.

Rdeče puščice prikazuje smer deformiranja in tok napetosti (vir: Bucek, 2003)

Figure9: Cross section of both tunnel tubes at km 15,105 with directions of deformations and stress flow display

Najzahtevnejše geološke razmere v kombinaciji z nizkim nadkritjem so značilne za območje okoli ulic Ostrovskeho in Na Doubkove, kjer nadkritje dosega skromnih 11 m, od česar so paleozojski sedimenti le debeline 9 m. Preostalo nadkritje (2 m) predstavljajo prodnato-piščeni nanosi in zemlja, ki jo je nasul človek. Največje nadkritje na drugi strani dosega 67 m in sicer na območju vzpetine Pavi Vrch (Bartak et al., 2007).



Slika 9: Vzdolžni prerez trase predora Mrazovka z značilno gelogijo. Fotografije prikazujejo označena območja na shemi (vir: Dvořak, 2006; foto: avtor, 2008; priredil avtor)

Figure 9: Longitudinal cross section of Mrazovka vehicular tunnel with its distinctive geology. Photos shown around the scheme were taken at the marked parts of terrain

S hidrološke perspektive tvori okoliška hribina nepropustno okolje, kjer se voda v nižje nivoje pretaka skozi vertikalne razpoke v prelomljenih conah masiva. Vsa voda, ki se pretaka skozi masiv, se napaja samo s padavinami, ki pronicajo pod površje, zaradi česar višina talne vode sezonsko fluktuirata (Bartak et al., 2007). Nivo podzemne vode sega do 30 metrov nad kono predora (sezonsko). Glede na dejstvo, da najnižje točke predora ne predstavlja vstopni portal, ni bilo možno vzpostaviti drenažnega sistema, ki bi podzemno vodo odvajal gravitacijsko. Rešitev predstavlja izvedba vodonepropustne membrane, ki je vgrajena med primarno in zaključno predorsko podlogo, za katero so ključni naslednji parametri: mrtva teža (nadkritje), geostatično in hidrostatično breme, krčenje betona ter temperaturne spremembe. Izvedba zaključne podloge je potekala vzporedno z vgradnjo vodoodpornega sistema s 3 milimetre debelo membrano in vbrizgavanjem malte v vmesni prostor med membrano in zaključno podlogo, kar je sledilo izvedbi primarne podloge z brizganim betonom. Malta ima pomembno vlogo zaradi krčenja betona in posledične nezmožnosti, da bi z njim zapolnili vse praznine med membrano in zaključno podlogo ter hkratne spremenljive površine substrata

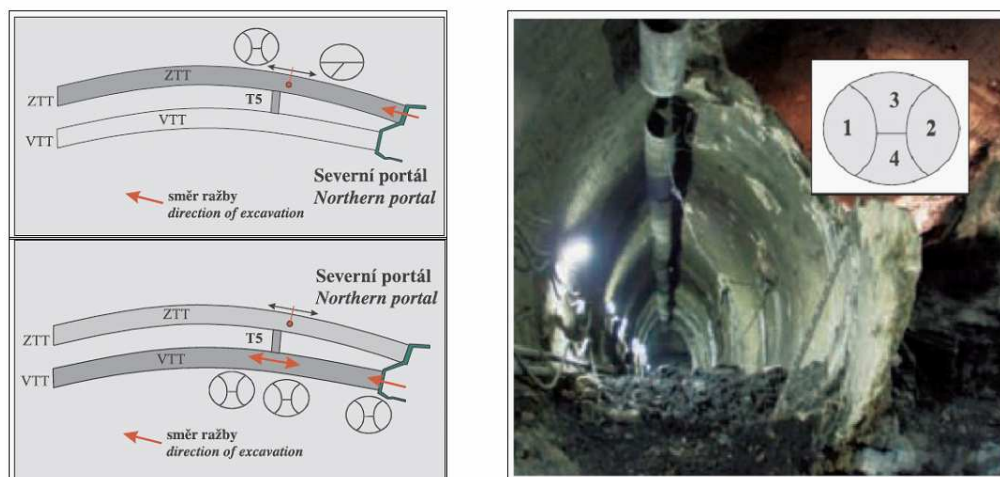
vodonepropustne membrane (Dvorak et al., 2004). Voda, ki jo v predor занесеjo vozila in morebitne druge tekočine se odvajajo z izčrpavanjem.

7.2.4 Metode gradnje predora Mrazovka in potek izkopa

Izbira metode izkopa predora Mrazovka je temeljila na izkušnjah, pridobljenih pri gradnji sosednjega predora Strahov in praške podzemne železnice. Geološke razmere, debelina hribine nad predorom in potreba po aplikaciji različnih prerezov v predoru so vodili v izbiro NATM (Bartak et al., 2007; Dvořak, 2006).

Na območju severnega portala so se v preteklosti zaradi nekonsolidiranih tal in precejšnje strmice pojavljali podori. Slabe geološke razmere je kasneje potrdil tudi sam izkop. Izkopavanje je potekalo z dveh strani – tropasovnih predorskih cevi s severne, dvopasovnih predorskih cevi, kavern in uvozno-izvoznih rampi pa z juga (oziroma jugozahoda). Odsek od severnega portala do kavern je bil izkopen pretežno mehansko in brez uporabe razstreliv, med tem ko je bilo razstrelivo zaradi trdnih Letna skrilavcev uporabljeno pri izkopavanju z južne strani (Bartak et al., 2007).

Sam začetek izkopavanja je stekel s severne strani in sicer v zahodni predorski cevi predvsem zaradi ekonomskih razlogov in večje hitrosti v horizontalnih sekvencah (trofazno – kalota, stopnica, dno), izkopani del pa je bil zavarovan s sidri, brizganim betonom in dvoslojno jekleno armaturno mrežo ter vodonepropustno membrano. Kmalu je bilo ugotovljeno, da z napredovanjem izkopavanja skozi območje močno tektoniziranih kamnin (zaglinjeni fosili, pretrti z večji zaporednimi prelomi), deformacije v okoliški hribini in posledično v nadkritju bistveno presegajo vrednosti predvidene po izkopu kalote, zaradi česar je nadaljevanje izkopa po samo 120 m potekalo v vertikalnih sekvencah (štiri/petfazno – levi in desni bočni izkop, kalota, (jedro), dno), saj je zaradi nizke debeline nosilne hribine obstajala grožnja posedkov, ki bi lahko ob nadaljevanju vodili v vidne poškodbe objektov na površju nad predorom. (Bartak et al., 2007; Bucek, 2003; Eisenstein, 2007; Hilar, 2003).



Slika 10: Izkop predora Mrazovka. Levo zgoraj prikaz spremembe metode izkopa zahodne predorske cevi iz horizontalnega v vertikalni fazni izkop in levo spodaj faznost v vzhodni predorski cevi. Desno je prikaz vertikalnega faznega izkopa (1 – levi bočni izkop, 2 – desni bočni izkop, 3 – kalota, 4 – jedro, stopnica in dno (vir: Bucek, 2003; Dvořák et al., 2004)

Figure 10: Mrazovka tunnel excavation. Table of excavation procedure with excavation completion display at the northern portal of the eastern tube (left). Vertical excavation sequence is shown on the right figure

Sprememba metode je rezultirala v sprejemljivih vrednostih posedkov na površju (gl. grafa na sliki na str. 79). Izkop v vzhodni predorski cevi se je začel istočasno iz smeri severnega portala in iz točke T5, ki predstavlja prečni prehod med obema predorskima cevema (gl. zgornjo sliko), v obe smeri – proti severu in proti jugu. Po izkopu zahodne predorske cevi je prišlo zaradi preobremenitve nosilnosti hribine med obema predorskima cevema do večjih deformacij na območju severnega portala. Do preobremenitve je prišlo zaradi nizkega nadkritja neugodne geološke sestave (tanek sloj erodiranih fosiliziranih kamenin s kvartarnim nanosom (Libenski skrilavci), milonitizacija), razdalje med obema predorskima cevema (saj je le ta manjša od premera ene cevi), nestabilnosti hribine zaradi izkopa zahodne cevi, nezadostnega sidranja preobremenjene hribine in relativno velikega naklona nad severnim portalom. Situacija je bila sanirana z vgradnjo dodatnih podpornih elementov (Bucek, 2003).

Figure 11 (previous page): Longitudinal cross section of grouting compensation situation under Ostrovskeho street (left) and photo of the grouting compensation shaft (right)

Težave so se pojavljale tudi pri izkopu kavern, saj na tem območju površina prečnega prereza v 50 metrih zraste s 160 m² na končnih 340 m² (širina se poveča s 16,5 m na 23,5 m). Tudi kaverne so bile izkopane z vertikalnimi sekvencami. Hribina med uvozno-izvozno rampo in dvocevnim predorom je bila ojačana s posebnimi plastičnimi sidri in organomineralno smolo.

Posebno težavo je predstavljal tudi izkop z metodo cut and cover, saj so dela (večinoma gre za južni del) potekala na prometno zelo obremenjenem urbaniziranem območju, gradnja pa je morala upoštevati prometne zahteve glede prevoznosti vzdolž Radlicke ceste. Gradnja je zato potekala fazno in sicer vzporedno z gradnjo rudarskega dela predora, saj so odseki, zgrajeni po metodi cut and cover predstavljali dostop do gradbišča (Underground construction, 2007).

7.2.4.1 Geotehnični monitoring

Procesa izgradnje predora po metodi NATM ni mogoče šteti za končnega brez verifikacije obnašanja hribine in primarne podpore med izkopom. Projekt predora Mrazovka je podvržen najbolj široko zastavljenemu monitoringu v zgodovini češke predorogradnje. Izvedenih je več kot petsto raziskovalnih točk na terenu in dodatnih več kot šeststo na objektih, nameščenih pa je tudi več deset ekstenzometrov in inklinometrov.

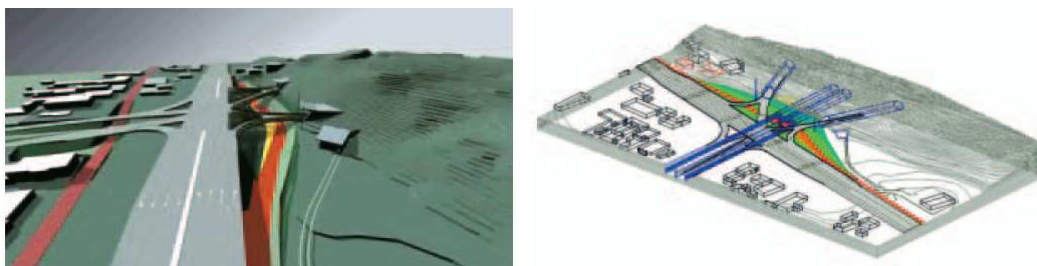
Rezultati meritev so bili primerjani z rezultati matematičnih modelov strukturnih analiz (Bartak et al., 2007).

8 OCENA MOŽNIH VPLIVOV PREDOROV NA NARAVNO IN DRUŽBENO OKOLJE V MESTIH – PRIMER PREDORA ŠENTVID V LJUBLJANI

8.1 Mikrolokacija predora Šentvid – analiza prostora

Avtocesta preide iz Gorenjske smeri iz ruralnega v urbanizirano območje v ostri ločnici, saj galerija Šentvid neposredno trči ob Šišenski krak Ljubljane. Trasa v Šentvidu poteka pod gorenjsko železnico in Celovško cesto. Šentvid je staro naselje, prvič omenjeno že v 9. stoletju, skozenj pa je vodila pomembna tovorna pot. Naselje je postalo del Ljubljane šele z urbanizacijo ob Celovški cesti v 60. in 70. letih 20. stoletja. Danes je Šentvid sestavni del Ljubljane in hkrati središče ene izmed njenih sedemnajstih četrtnih skupnosti. Jedro središča predstavlja območje med železnico, Celovško cesto in galerijo Šentvid (Prušnikova ulica). Prostoru daje poudarek cerkev Sv. Vida. Suburbana poselitev (predvsem razpršena gradnja) je razvrednotila identiteto stare vasi Šentvid, delno pa tudi krajinske pejsaže. V prostor se se naselile industrijske in komunalne dejavnosti, ki dodatno obremenjujejo prostor (Dimitrovska Andrews, 2000).

Večji del predora Šentvid poteka skozi Šentviški hrib, ki je pretežno porasel z samoniklim gozdom in je del krajinskega parka Polhograjski Dolomiti. Južni portal predora Šentvid je umeščen v sosednji četrtni skupnosti Dravljje. Za razliko od Šentvida je to območje pretežno namenjeno kmetijski rabi površin, poselitev pa je prisotna pretežno v obliki samostoječih hiš. Širi se suburbanizacija. Središče četrtne skupnosti je odmaknjeno proti vzhodu.



Slika 12: Maketa Celovške ceste s portaloma priključnih ramp (vir: Avtocestni odsek..., 2007)

Figure 12: Celovška road with northern portals of Šentvid tunnel

8.1.1 Značilnost poselitve in organizacije dejavnosti na območju

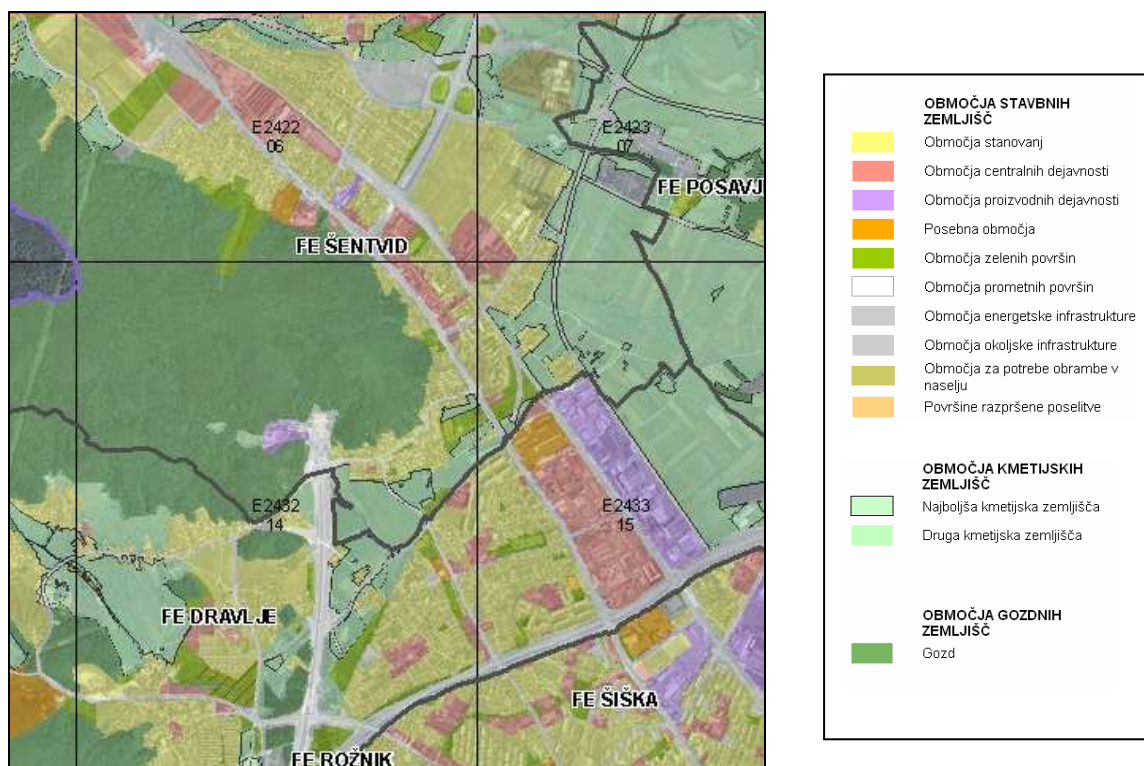
Za poselitev na območju Šentvida je značilno, da se še danes širi vzdolž Celovške ceste v smeri Medvod. Poleg starega jedra se stanovanjska raba razprostira še vzdolž Kosmačeve ulice proti Brodu, zahodno od Celovške ceste pa v Guncljah. Obstoječa zazidava je predvsem ob Celovški cesti nekvalitetna in v današnjem času deluje neurejeno in stihijsko. Po propadu večine industrijskih obratov je ta del Ljubljane tudi poln degradiranih območij (na primer zemljišča nekdanjih podjetij Skip, Metalka, tudi gramoznica Stanežiče), ki pa bodo v prihodnosti dobila novo podobo. Velike spremembe se obetajo tudi na območju Škofovih zavodov, kjer danes prevladujejo vrtički in njive.



Fotografija 7: Separacija na lokaciji gramoznice Stanežiče. Fotografija 8: Gramoznica Stanežiče (foto: avtor, 2008)

Photo 7: Stanežiče gravel pit separation. Photo 8: Stanežiče gravel pit

Šentviški hrib je del krajinskega parka Polhograjski Dolomiti - območja s poudarjenim kakovostnim in dolgotrajnim prepletom človeka z naravo, ki ima veliko ekološko, biotsko ali krajinsko vrednost (71. člen ZON UPB2). Z odlokom je bil zaščiten že leta 1974, predstavlja pa tudi naravno vrednoto.



Slika 13: Predvidena namenska raba prostora v širši okolici predora Šentvid (vir: IPN MOL – osnutek, 2008)

Figure 13: Expected land use in the tunnel area

Južno od predora Šentvid se raba tal bistveno spremeni. Vzhodno od trase AC prevladujejo kmetijska zemljišča, obstoječa stanovanjska raba pa je omejena na območja ob Cesti Andreja Bitenca (vzhodno od južnega portala: Ulica 4. julija; zahodno od južnega portala: Jerajeva ulica, Bumikova ulica), Kamno Gorico in Podutik. Gozd prevladuje na območju Draveljske Gmajne (delež gozda se je zmanjšal zaradi izgradnje AC). Drugih rab je na območju le za vzorec. Gospodarska cona se razprostira zahodno od trase AC, neposredno ob južnem portalu predora Šentvid.



Fotografija 9: Stanovanjska gradnja v Kamni Gorici (1). Fotografija 10: Stanovanjska gradnja vzdolž trase AC (2). Fotografija 11: Stara domačija na Cesti Andreja Bitenca (3). Fotografija 12: Vrtički ob trasi AC (4) (foto: avtor, 2007)

Photo 9 (previous page): Housing in Kamna Gorica (1). Photo 10 (previous page): Housing in Kamna Gorica (2). Photo 11 (previous page): old house along Andreja Bitenca street (3). Photo 12 (previous page): vegetable gardens along the motorway (4)

8.2 Vpliv predora Šentvid na naravno okolje

Vsak cestni predor je del ceste, ki je umetna tvorba in je skupaj s prometom, ki se na njej odvija, stalen vir vplivov na prostor. Prometne obremenitve, ki nastajajo v času eksploatacije, nimajo vpliva na enako širok pas ob cesti, ampak so odvisne od strukture prometa, hitrosti, vzponov, absorpcijske zmožnosti okolja, itd. (Gruev, Juvanc, 2003).

Vplive vsake ceste se zdi smiselno razčleniti na tiste v času gradnje in tiste v času po predaji ceste prometu, saj se ob gradnji na in ob trasi odvijajo drugačni procesi, kot po zaključku gradnje in predaji prometu, zaradi česar je tudi vrsta in intenziteta posameznih vplivov izrazito drugačna. Drugo pomembno delitev predstavljajo vplivi ceste kot objekta na eni in prometa, ki se na njej odvija na drugi strani. Seveda pa tudi okolje in promet vplivata na cesto, vendar tega področja v okviru magistrskega dela ne obravnavam.

8.2.1 Vpliv ceste v predoru na okolje

- *Vpliv na lokalno hidrologijo*

Trasa predora poteka skozi geomehansko gledano zahtevno hribino (permokarbonske klastične kamnine), za katero je značilno, da je navadno brez podzemne vode, saj imajo plasti kremenovih peščenjakov in konglomeratov, ki ležijo med njimi, razpoklinsko poroznost in infiltrirajo manjše količine vode. Te se pojavljajo v nižjih delih pobočja kot šibki izviri, ki so med gradnjo pritekali v predorsko cev. Vodonosnik na območju Pržana ima nizke vrednosti koeficienta vodoprepustnosti in transmisivnosti, zaradi podtalnice tik pod površino pa se ga uvršča v 1. do 2. stopnjo ranljivosti, kar pomeni zelo ranljiv do ranljiv vodonosnik.

Podzemna voda je v Šentvidu v globini med 20 in 25 metrov in odteka v smeri vodarne Kleče. To območje je del 3. varstvenega območja vodnih virov Ljubljane, v 3. vodovarstveno območje pa je uvrščeno tudi vzhodno pobočje Šentviškega hriba, s katerega vode površinsko gravitirajo v prodne zasipe Ljubljanskega polja, dočim podtalnica kvartarnih naplavin ob

potokih Pržanec in Glinščica za vodno oskrbo ni zanimiva. Na osnovi opravljenih fizikalno-kemijskih analiz podtalnica na vodnem zajetju Kleče ni onesnažena s snovmi, ki bi lahko izvirale iz prometa.

V času gradnje predora je bilo potrebno zagotoviti vse zaščitne ukrepe za primer izlitja nevarnih tekočin in drugih snovi (naftni derivati, cementno mleko, itd.) v podtalnico. Poročilo o vplivih na okolje (2002) navaja, da med obratovanjem vplivov na stabilnost okolice in objektov ob avtocesti ne bo, meteorne vode pa se odvajajo v kanalizacijski sistem oziroma preko lovilcev maščob v ponikovalnico.

- *Vpliv na vegetacijo*

V času gradnje celotnega odseka so bili vplivi na tla in rastline hudi, v času obratovanja pa bodo zmerni. Za nove zasaditve je bila uporabljena avtohtona vegetacija. V času obratovanja vpliva na tla in vegetacijo nad traso predora ne bo. Trajna deponija izkopnega materiala ob avtocestnem odcepu Brod žal vizualno ne deluje naravno, saj tudi po zatratitvi ne »simulira« naravnega terena.

- *Vpliv na lokalne geološko-geomorfološke značilnosti*

Izgradnja predora pod Šentviškim hribom je potekala v bolj ali manj neprepustnih kamninah, zato direktnih vplivov na vodni medij v okolici ni bilo. Gradnja obeh predorskih cevi je imela v geološko geomehanskem pogledu na okolico zmeren vpliv (konsolidacija in površinski posedki). Gradnjo so, poleg izjemno zahtevne in nestabilne geološke sestave, spremljali tudi številni zruški (v desni cevi 14, v levi 31).

- *Vpliv na prehodnost območja za divje živali*

Območje nad traso predora je sestavni del krajinskega parka Polhograjski dolomiti, njegova zaključenost pa zaradi posega ni ogrožena. Vpliva na prehodnost divjih živali ni, razmere pa bodo ostale nespremenjene tudi po predaji predora prometu.

- *Vpliv na mikroklimo*

Ničelna onesnaženost zraka na območju trase AC je posledica prometa na širšem območju Podutika, Kosez in Šentvida, industrijskih virov onesnaževanja na območju Šiške in emisij

točkastih in drobnih kurišč na širšem območju. V času gradnje predora so se bivalne razmere v stanovanjskih območjih ob trasi poslabšale.

Zaradi počasnejšega spreminjanja temperature zraka v predoru, ki je posledica omejitve kratkoročnih zunanjih vplivov zaradi izoliranosti, bo lahko temperatura zraka in njegova vlažnost neposredno ob portalih drugačna od tiste zunaj vplivnega območja predora.

- *Vpliv na krajinske značilnosti, vidne kakovosti prostora in vpliv na relief*

Z vidika ohranjanja krajinskih značilnosti predstavlja predor najbolj prijazen poseg, ki nima vpliva na značilnosti prostora nad nadkritjem. Stanje krajinskega parka in reliefa nad traso predora Šentvid bo ostalo nespremenjeno. Vidne kakovosti se ohranjajo.

- *Drugi vplivi, ki so posledica gradnje predora in po njej izginejo*

Gre predvsem za:

- vibracije (potresanje tal in zračni udar) in hrup kot posledica uporabe vrtno minerskih operacij pri izkopu predora: V času gradnje predora se je obremenitev s hrupom v stanovanjskih območjih v bližini portalov povečala (območje Tacenske ulice v Šentvidu, območje Pržana). Obremenitev je bila največja v času vrtnanja predora, zemeljskih del, utrjevanja cestišča in brežin. Monitoring v času gradnje je bil izveden na desetih lokacijah (Poročilo o vplivih na okolje..., 2002);
- obremenitev obstoječih cest s tovornimi vozili, ki prevažajo gradbeni material in mehanizacijo (upočasnitev prometnega toka, zastoji);
- ureditev gradbišča z vsemi pripadajočimi objekti in infrastrukturo (na severni strani ob Celovski cesti jugovzhodno od bencinskega servisa, na južni pa ob portalu.) Objekte se po dokončanju odstrani, območje pa sanira;
- začasno prestavitev Celovške ceste in posledičnih pretočnih težav, ki pa so bile minorne, saj je bila prestavitev izvedena v širokem profilu (2 vozna pasova v vsako smer);
- deponiranje izkopanega materiala (Deponiji v priključkih Brod in Šmartno (Gameljne) sta opredeljeni v Uredbi o lokacijskem načrtu za avtocesto na odseku Šentvid - Koseze,

dodatno pa je bilo predvideno, da se presežke materialov, ki so še nastali, deponira na deponiji v Moravčah (SDLN, 2006)).



Fotografija 13: Zatravljena deponija na avtocestnem odcepu Brod (foto: avtor, 2007).

Photo 13: Renaturated excavation material disposal at the Brod exit

8.2.2 Vpliv prometa skozi predor na elemente naravnega okolja

Načrtovanje rabe prostora mora biti skladno z zahtevano stopnjo varovanja okolja, zato je skladno z Zakonom o varstvu okolja (ZVO-1, Ur.l. RS št. 41/2004) pri določanju namenske rabe prostora potrebno upoštevati standarde kakovosti okolja in okoljska izhodišča. Nove posege je potrebno načrtovati ob vedenju in poznavanju obstoječih in predvidenih obremenjenosti okolja, saj lahko v nasprotnem primeru prihaja do nasprotja med rabami v prostoru.

Pomembna izhodišča predstavljajo naslednje točke:

- gostota poselitve ob obstoječi prometni žili (Celovška cesta) bistveno presega gostoto poselitve ob bodoči trasi AC;
- hitrost pretakanja prometa po obstoječi prometni žili je bistveno manjša od predvidene na novem odseku;
- pretočnost prometa po obstoječi prometni žili je zaradi križišč bistveno manjša od predvidene na novem odseku;
- ob nadaljnjem povečevanju prometa zaradi povečane motorizacije in gradnje novih stanovanjskih sosesk bi bili prometni kolapsi na Celovski cesti še pogostejši. Nova AC bo omogočala prevajanje obstoječega in dodatnega prometa.

8.2.2.1 Hrup

Vplivi prometa skozi predor na povečano raven hrupa bodo zaznani le ob portalih. Največja sprememba glede ravni hrupa bo zagotovo na območju južnega portala, saj gre za spremembo iz stanja nič – daljinske ceste do sedaj na tem območju ni bilo, kar pomeni, da se bo stanje glede hrupa na celotnem odseku južno od portala zagotovo poslabšalo.

Drugačne rezultate se pričakuje na Šentviški strani. Glede na frekvenco prometa na Celovški cesti pred izgradnjo predora Šentvid bodo posledice izgradnje priključnih ramp imele ugoden vpliv na raven hrupa, saj se bo ta zaradi odvajanja skozi predor in posledične zmanjšane obremenitve na Celovški cesti, zmanjšal. Tudi na območju severnega portala (glavni predorski cevi) se bo raven hrupa zaradi zmanjšane prometa (pospeševanja) na priključni rampi v smeri Kranja in izostanka zastojev v času jutranje konice in poletne sezone, kljub predvidenem povečanju prometa, v smeri Ljubljane zmanjšala.

Zaradi manjše količine prometa se bo zmanjšala raven hrupa tudi vzdolž Celovške ceste (od ljubljanske obvoznice do predora Šentvid).

Kljub temu, da se bo stanje glede ravni hrupa poslabšalo na celotnem odseku med južnim portalom predora Šentvid in priključkom severne ljubljanske obvoznice, se bo stanje glede obremenitve s hrupom v celoti bistveno izboljšalo, saj je za razliko od območij vzdolž Celovške ceste, za območja vzdolž trase južno od portala značilna zelo redka poselitev, kar pomeni, da se bo število prizadetih občanov bistveno zmanjšalo. Hkrati bodo zaradi ukrepov (nasipi, protihrupna ograja) ter konstantnih hitrosti prebivalci teh območij obremenjeni bistveno manj, kot prebivalci ob Celovški cesti, ki niso zaščiteni z nobenim ukrepom. Hkrati pa raven hrupa na Celovški cesti povečujejo tudi semaforizirana križišča, ki (najbolj ob konicah) od vozil zahtevajo neprestano ustavljanje in pospeševanje, ki je z vidika povzročanja hrupa posebej problematično.

8.2.2.2 Onesnaženje zraka

Onesnaženje zraka se koncentrira na območju jaškov za odzračevanje iz predorov, še posebej pa pri portalih predorov. Posebno izraženi so lahko posredni vplivi, predvsem prenos nevarnih

elementov in spojin (svinec, itd.) v kmetijske rastline in s tem neposredno ali posredno v človeško prehrano (Marušič, 1997). IPN MOL ohranja kmetijsko rabo zemljišč vzdolž odprte trase odseka Šentvid-Koseze predvsem južno in vzhodno od južnega portala v Pržanu. Glede na to, da prometnice najvišjega ranga na tem območju prej ni bilo, bo lokalno lahko prišlo do večjega poslabšanja razmer glede onesnaženja zraka. Težave lahko potencira tudi prevladujoč zahodni do jugozahodni veter. Občasno bodo kratkotrajne koncentracije dušikovih oksidov lahko prekoračevale mejne vrednosti. Omilitveni ukrepi v času obratovanja ne bodo potrebni, v času gradnje pa je bilo potrebno izvajati ukrepe za preprečevanje prašenja z odkritih delov trase (Koseze-Pržan).

Zmanjšanje gostote prometa na Celovški cesti in povečanje pretočnosti bosta ugodno vplivala na izboljšanje kakovosti zraka vzdolž Celovške ceste in vzporednic, pa tudi na območjih, kjer danes prihaja do zastojev zaradi zastojev na Celovški cesti (Brod, Gunclje, Šentvid, itd.).

Pozitivni vplivi zmanjšanja onesnaženosti zaradi prometa so bistveno večji od negativnih vplivov, ki se koncentrirajo predvsem ob južnem portalu. Zaradi zmanjševanja izpustov svinca in drugih strupenih snovi kot posledice napredka pri izdelavi pogonskih agregatov, pa je dolgoročno tudi tam pričakovati izboljšanje kakovosti zraka.

8.2.2.3 Onesnaženje okolice

Za preprečevanje onesnaževanja so izvedeni vsi zaščitni ukrepi (predvsem čiščenje odvedene vode⁵¹ iz predora pred izpustom v kanalizacijo ali vodotok). Zaradi prometa bo kot posledica mešanja in dviganja zraka lahko prihajalo do prašenja in posledično do usedanja prašnih delcev in nekaterih strupenih snovi (na primer svinca, itd.) na ureditve nad portali in ob njih. Vpliv bo večji pri portalu v Pržanu, saj trasa v Šentvidu pred preходом v rudarski del predora poteka v pokritem ukopu pod železnico in Celovško cesto.

8.2.2.4 Onesnaženje talne vode

Onesnaženje talne vode je lahko v času obratovanja predora posledica vsaj dveh dogodkov:

⁵¹ neprečiščena meteorna voda ni primerna za neposredni izpust v vodotok zaradi primesi, ki so posledica prometa (ostanki gume; prah, težke kovine, itd. iz izpuhov; puščanje olja, goriva, hladilne tekočine, zavorne tekočine, itd.).

- izlitja nevarnih tekočin in drugih snovi v času obratovanja kot posledica nesrečnega dogodka v predoru;
- neprimerne ureditve odvodnjavanja v predoru.

Neprimerna ureditev odvodnjavanja je zaradi večfaznega postopka preveritve projektnih rešitev manj verjetna, za primer izlitja pa so predvideni scenariji, ki predvidevajo ustrezno reševanje in sanacijo okolja.

8.2.2.5 Neposredna fizična nevarnost

Največjo nevarnost povzroča možnost izbruha požara zaradi prometne nesreče⁵². Zaradi nevarnosti hitre širitve požara in strupenih plinov je izveden poseben sistem ukrepanja, ki zajema takojšnjo povezavo s Centrom za obveščanje, avtomatskim zaprtjem predora (signalizacija) in ustreznim prezračevanjem. Učinkovit sistem zaznavanja in javljanja povečane koncentracije dima predstavlja VSD (video smoke detection), ki »vidi« dim na njegovem izvoru, redčenje dima, prepih in prezračevanje pa vplivajo na njegovo delovanje. Temperaturo vzdolž celotne trase zaznava temperaturni senzorski kabel (Rebolj, 2006).

Konstrukcijo Galerije Šentvid zaradi velikega pomena železniške proge, ki poteka nad njo, ščitni dodatni protipožarni omet, ki je nanešen na celotno notranjo površino predorske cevi v galeriji, s čimer naj bi bila podaljšana stabilnost konstrukcije in preprečitev njenega kolapsa v primeru požara.

8.2.2.6 Vizualna degradacija

Zaradi prepovedi poseganja v prometni profil predora do vizualne degradacije ne more priti. Vožnja skozi predor sicer že po definiciji ne predstavlja doživljajskega presežka.

⁵² Neposredno grožnjo predstavlja tudi možnost odpadanja delov zaključnega sloja ometa ali delov prometne signalizacije. Tovrstni izredni dogodki so izjemno redki in so izključno posledica nezadostne izvedbe.

8.3 Vpliv predora Šentvid in prometa skozi predor na urbani razvoj in poselitev

Preučevanje vplivov novih avtocestnih odsekov se v glavnem omejuje na poudarjanje izboljšanja dostopnosti in s tem na verjetno boljšo povezanost gospodarskih in drugih dejavnikov v vplivnih območjih naselij in mest. Med urbani vplivi so posebno pomembni dolgoročni vplivi v območjih nastajajočih križišč, vozlišč in priključkov (Mušič, 1998). Nova avtocesta na teh mestih namreč postane magnetna cona za lociranje novih dejavnosti (Gaberšček, 1970). Kot tako lahko smatramo tudi območje križišča Celovške ceste in avtoceste A2, ki bo zagotovo postalo atraktivno območje za umestitev trgovsko poslovnih dejavnosti, pa tudi strnjenih stanovanjskih kompleksov⁵³. Na takih območjih se, kot je znano iz teorije, pojavljajo nova žarišča urbanizacije, ki se formirajo okrog regionalno pomembnih mestnih funkcij, ki zaradi dostopnosti, vidnosti in razpoložljivega prostora iščejo take lokacije. Nastajajo pa tudi multifunkcionalne koncentracije urbano-centralnih dejavnosti, konvencionalni oziroma segregirani coning pa se umika performančnemu, programsko in funkcionalno večplastnemu (Mušič, 1998).

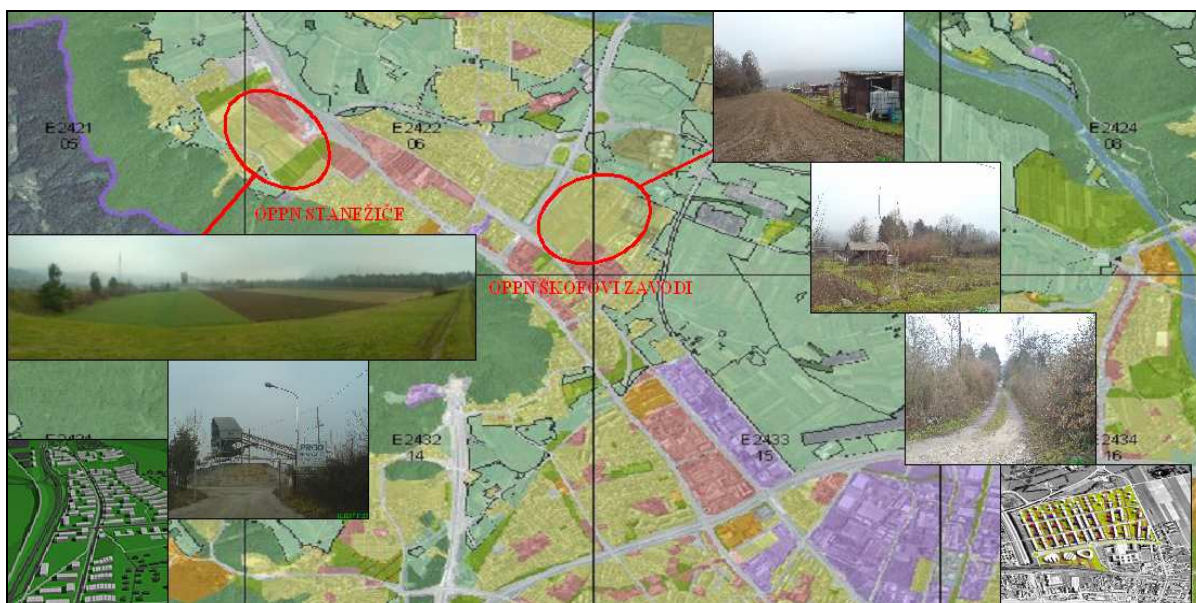
8.3.1 Vpliv na fizični razvoj mesta

Mestne obvoznice in avtoceste lahko povzročijo porast novogradenj na bližnjih zemljiščih, ki jim omogočijo boljšo dostopnost, hkrati pa ponujajo možnost za medsebojno povezanost hitro razvijajočih se predmestnih naselij. Višje gostote pozidave predstavljajo nujen pogoj za zmanjšanje obsega potovanj, zaradi česar je potrebno vzpostaviti standarde za povečanje obstoječih gostot ter preprečevati razvoj razpršene stanovanjske gradnje nizkih gostot, saj ta temelji predvsem na rabi osebnih avtomobilov (Plevnik, 1997).

Šentvid je četrtno središče, ki se krepi. Poudarja se morfološki model razvoja mesta v kraku. Dejavnosti središča se radialno širijo in razvijajo vzdolž Celovške ceste, grajeni prostor ob njej pa se zgoščuje. Na širšem območju Šentvida sta predvideni dve novi večji stanovanjski soseski (Stanežiče in Škofovi zavodi), ki bosta povzročili bistveno povečano koncentracijo stanovalcev na ožjem vplivnem območju, posledično pa tudi bistveno povečanje

⁵³ V teoriji nakupovalnim središčem sledijo zabavne in rekreacijske storitve, poslovne in turistične dejavnosti, pa tudi stanovanja. (Mušič, 1998).

pričakovanega obsega prometa. Soseske sicer niso predvidene zaradi predora Šentvid, je pa odločitev o spremembi rabe prostora, ki ga je v Šentvidu in okolici predvidela MOL, vplivala na dokončno odločitev za gradnjo polnega priključka.



Slika 14: Območji predvidene intenzivne stanovanjske zazidave (Stanežiče in Škofovi zavodi). Prikaz na karti rabe tal (rumena barva prikazuje območja stanovanj, rdeča pa območja centralnih dejavnosti) Fotografije prikazujejo sedanje stanje, pripeti pa sta tudi maketi možnih arhitektonskih rešitev (vir: IPN MOL – osnutek, 2008; biro Atelje-a, 2008; biro Genius Loci, 2008; foto avtor, 2007)

Figure 14: Intensive housing development areas (Stanežiče and Škofovi zavodi). Attached photos show present state of the land and models of possible architectonic solutions

Križišča pomembnih prometnih povezav, kar priključek Šentvid nedvomno bo, imajo tudi to lastnost, da privlačijo prometno generativne dejavnosti, njihova lokacija pa ima pomemben vpliv na obseg in dolžino potovanj ter na izbor prometnega sredstva (Plevnik, 1997). Na območju Šentvida se tako v obliki t.i. razvoja rjavih območij (brownfield development) obeta gradnja trgovskega centra Merkur in sicer na območju nekdanjega podjetja za kovinsko obdelavo, ki se je preselilo na drugo lokacijo, vsi bivši proizvodni objekti pa so že odstranjeni. Nakupovalni center bo sicer primarno namenjen zadovoljevanju potreb prebivalcev širšega šentviškega območja, saj je bilo ugotovljeno, da na območju primanjkuje možnosti za prodajo tehničnega blaga in gradbenega materiala ter sorodnih dejavnosti.

8.3.2 Vpliv na kakovost bivalnega okolja

Nivo kakovosti bivalnega urbanega okolja je odvisna od ohranjenosti prvin naravnega okolja, kot sta hrup (mir) in čist zrak (pa tudi tla) in od nivoja oskrbe (mobilnost kot posledica dobre cestne mreže, bližine prometnic višjega ranga ter ustreznih ureditev JPP, bližina storitev, bližina zelenih površin, ustrezna krajinska in arhitektonska zasnova in drugo).

Z dograditvijo predora Šentvid se bo zaradi njegovih neposrednih vplivov ponekod zmanjšala kakovost bivanja, saj bo prometnica umeščena v prostor, kjer ceste prej ni bilo. Gre predvsem za območje v vplivnem pasu okoli južnih portalov v Pržanu in naprej vzdolž AC A2 proti vozlišču z zahodno ljubljansko avtocesto. Na območju severnih portalov se bo kakovost bivalnega okolja zaradi izostanka zastojev izboljšala, zaradi vzpostavitve polnega priključka pa se bodo razmere nekoliko poslabšale le še v neposredni bližini portalov vstopne in izstopne rampe, kjer pa stanovanjskih objektov praktično ni.

Območje severnih portalov se vklaplja v mestni urbani prostor z zgoščeno prometno infrastrukturo, kjer se na razmeroma omejenem in ozkem prostoru pojavi večnivojsko vozlišče s številnimi objekti, ki so vezani na funkcionalno delovanje predora, kot tudi povezave za normalno delovanje Celovške ceste z vsemi pripadajočimi elementi in tehnologijo gradnje. Arhitekturno oblikovanje portalov poskuša zagotoviti kvalitetno prostorsko obravnavanje območja, katerega cilj je enoten in usklajen izgled med obravnavanimi segmenti. Oblikovanje območja vzdolž Celovške ceste upošteva značaj mestne vpadnice, predvsem pri zasnovi protihrupne zaščite, novih zasaditev ter posegov v zemljišča, obstoječe parkovne in zelene površine (SDLN, 2006).

Največji vplivi izgradnje predora Šentvid so posredni, saj se bo zaradi preusmeritve prometa razbremenila Celovška cesta z vzporednicami, s čimer se bodo zmanjšali emisije iz prometa, hrup in vibracije, zaradi česar se bo povečala kakovost bivalnega okolja vzdolž Celovške oziroma Prušnikove ter Vodnikove ceste kot nosilk urbanega programa (Pulko, 2004).

8.3.3 Vpliv na potencialne za rekreacijo in turizem

Šentviški hrib predstavlja v okviru krajinskega parka Polhograjski dolomiti eno izmed sestavin v sistemu zelenih površin mesta, zato je pomen njegove ohranitve večplasten. Zagotavlja obstoj naravne vrednote, zaradi samočistilnih sposobnosti zagotavlja boljši zrak za ta del Ljubljane, obenem pa je zaradi reliefne razgibanosti idealna točka za rekreacijo in oddih za lokalno prebivalstvo. Ker gre cesta pod hribom v predoru, ostaja območje popolnoma nedotaknjeno.

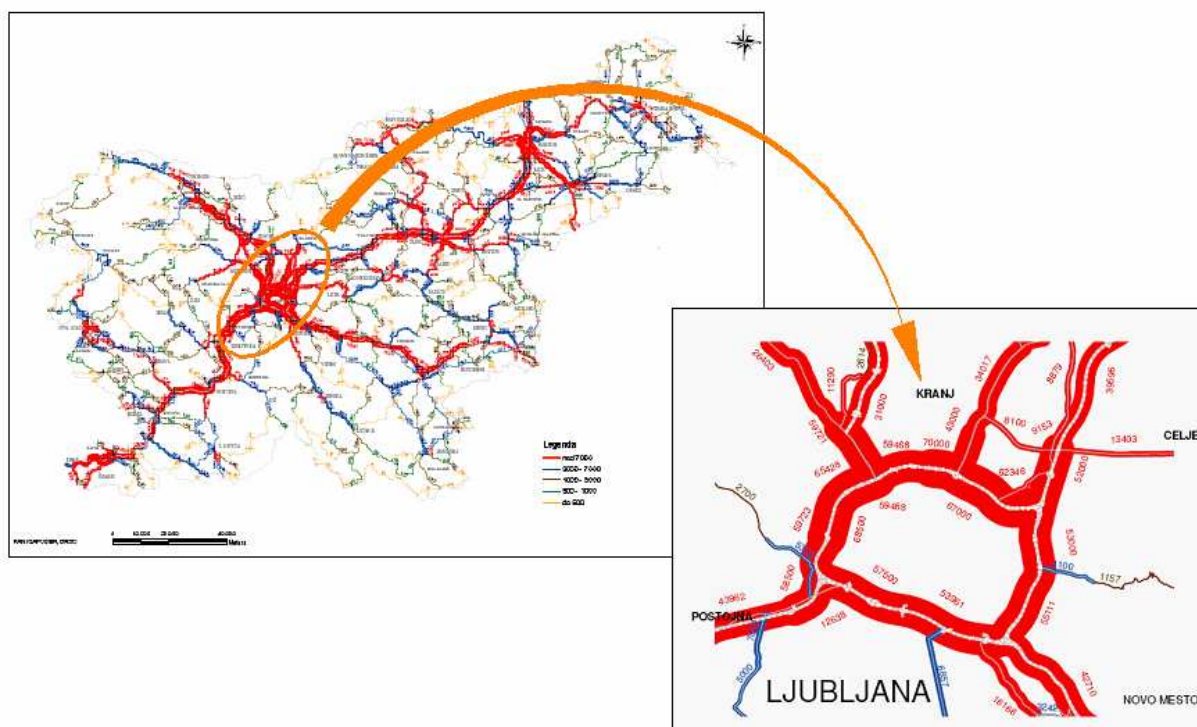
Glavni potencial območja se kaže predvsem v možnosti za sonaravno ureditev peš in kolesarskih poti na območju krajinskega parka ter v želji MOL in lokalne skupnosti po ureditvi športnega centra v Gunccljah. V osnutku IPN MOL je na območju nekdanje smučarske proge predvidena ureditev Športnega centra Guncclje, ki se ureja kot park, dopustna pa je tudi gradnja mestnega (realno gledano, umetnega) smučišča. Zaradi neposredne bližine priključka na AC v Šentvidu, bi bil center predvsem v primeru izvedbe smučišča, lahko atraktivna destinacija za rekreativce iz celotnega ljubljanskega bazena.

Kot potencial za rekreacijo lahko pogojno prištevamo še kolesarsko pot v okviru predvidene rekonstrukcije Celovške ceste z navezavo na državno daljinsko kolesarsko pot, ki poteka s severa (iz Rateč preko Kranjske gore, Bleda, Kranja), na katero se pred tem naveže še državna kolesarska pot iz smeri Šentjakoba in poteka v smeri Brezovice ter naprej proti Obali. Kolesarska steza je na območju predora predvidena pod priključnima rampama in nad vkopanim delom predora. Steza je speljana tako, da je zagotovljena največja dolžina, ki omogoča primeren naklon za kolesarsko stezo. Glavno vodilo pri oblikovanju prostora pod podhodi je bilo zagotoviti čim bolj pregleden enotno oblikovan prostor s čim širšim prečnim profilom, ki bo omogočal pešcem in kolesarjem varen prehod pod priključnima rampama predora. Površine ob kolesarski stezi so zasnovane kot delno zatravljene, delno pa kot tlakovane površine, ki se lahko uporabljajo kot prostor z urbanim programom. Prostor ni zasnovan kot klasičen park, ker zaradi svojih robov, ki ga določajo, bolj sodi v urbani prostor na stiku z ozelenjenim pobočjem. Obravnavano območje ni namenjeno zadrževanju, temveč prehodnosti skozi artikuliran prostor, ki naj bi za mimoidočega predstavljal prostorsko kvaliteto (Žigon et al., 2004).

8.3.4 Prometna razbremenitev mesta

Po nekaterih ugotovitvah se 80% vsega prometa pojavlja na 20% cest, predvsem v mestih, ki so hkrati največja žarišča onesnaženja okolja (cv: Mušič, 1998). Tipični primer take, polno obremenjene ceste je Celovška cesta, ki jo ob dnevnih (predvsem jutranjih) konicah, med sezonskimi poletnimi, spomladanskimi in jesenskimi konicami pa preko celega dne, preplavijo dnevni migranti, evropski turisti in prevozniki. Pot po Celovski cesti (ki jo dnevno prevozi 60.000 vozil), v jutrih in popoldanskih urah najbolj natrpani severozahodni vpadnici prestolnice, jih vodi preko več deset semaforiziranih križišč, mimo najbolj naseljenih Ljubljanskih sosesk do odcepa na severno mestno obvoznico, ki je sicer namenjena razbremenjevanju mestnega prometa.

Prometna obremenitev Celovške ceste že dolgo presega njeno absorpcijsko sposobnost, strma rast motorizacije pa vpliva na nadaljno rast motornega prometa. Posledice izrivanja mestnega prometa s strani tranzita čuti celotno mesto, ki večkrat letno prometno popolnoma ohromi. Povečanje prometa na Celovski cesti gre iskati predvsem v povečani osebni rabi vozil, naraščajočem trendu preseljevanja prebivalstva na mestna obrobja ter nenazadnje integraciji Slovenije v evropski prostor. Po zadnjih prometno-tehničnih študijah, ki upoštevajo realne kazalce povečanja dnevne kvote vozil na Celovski vpadnici, pa kaže, da bo v prihodnje ta prometna žila zadostovala le še za potrebe prebivalcev, ki živijo neposredno ob njej (Žigon et al., 2004).



Slika 15: Prometne obremenitve. Karta prometnih obremenitev v Sloveniji in shematski prikaz prometnih obremenitev v Ljubljani za leto 2006 (PLDP) (vir: DRSC – prometna obremenitev, 2008; priredil avtor).

Figure 15: Traffic volumes in Ljubljana region in 2006

Kljub težko obvladljivim prometnim težavam ob izgradnji podaljška galerije Šentvid pod Celovško cesto, lahko trdimo, da ima dvajsetletno zavlačevanje izgradnje navezave tudi dobro plat. S tedanjim znanjem, izkušnjami in nenazadnje razpoložljivo tehnologijo, bi bila izgradnja predora pod Šentviškim hribom namreč bistveno težje izvedljiva in na koncu tudi bistveno dražja, izvedeni predor pa po dvajsetih letih ne bi več popolnoma zadovoljeval prometno tehničnih potreb rastoče prestolnice⁵⁴ (Žigon et al., 2004).

⁵⁴ Za potrebe prometnega dimenzioniranja ceste se izdelala napoved prometa za predvideno plansko dobo 20 let (Gruev, Juvanc, 2003).

Preglednica 5: Podatki o prometnih obremenitvah na relevantnih odsekih v letih 2000 in 2006 (vir: DRSC – štetje prometa, 2008)

Table 5: 2000 and 2006 traffic volumes data on relevant sections

Odsek⁵⁵ (od-do)	vrsta vozil	leto 2000	2006
Medvode - Stanežiče	skupaj	25.519	26.403
	TV + BUS ⁵⁶	2.479	2.886
Stanežiče - Lj. (Šentvid)	skupaj	26.000	27.500
	TV + BUS	2.527	2.800
Lj. Celovška Dravlje	skupaj	60.000	59.721
	TV + BUS	3.618	6.276
AC A2	skupaj	22.452	27.800
Lj. (Brod – Šentvid)	TV + BUS	1.400	2.660

Na podlagi prometnega vrednotenja⁵⁷ je bilo ugotovljeno, da je za izboljšanje cestno-prometnih razmer na tem delu Ljubljane ključna izvedba polnega priključka Šentvid, saj bi se v primeru njegove neizvedbe migracijski tok iz smeri Medvod (Stanežič, Mednega), pa tudi Škofje Loke, še naprej odvijal po Celovski cesti, rešen pa bi bil le poletni migracijski tok in pa tok dnevnih migrantov z Gorenjske, ki so uporabniki avtoceste. Razlog za spremembo polovičnega priključka Šentvid v polnega so brez dvoma torej prometni učinki, ki poleg razbremenitve obstoječe cestne mreže pomenijo tudi večjo fleksibilnost omrežja oziroma njegovo manjšo ranljivost (Pulko, 2004).

⁵⁵ Podatki o prometnih obremenitvah so pripravljene na osnovi podatkov, pridobljenih s posameznimi ročnimi štetji prometa ter iz avtomatskih števecv prometa. Omogočajo izračun PLDP (število motornih vozil, ki v 24 urah peljejo mimo števnege mesta na povprečni dan v letu).

⁵⁶ vsa tovorna vozila in avtobusi

⁵⁷ Obravnavani so bili štirje časovni preseki - leta 2007, 2015, 2016 in 2027. Za leto 2007 in leto 2015 se upošteva etapna rešitev cestnega omrežja in je primerjana učinkovitost polovičnega priključka Šentvid + Stanežiče – Brod ter polnega priključka Šentvid brez Stanežiče – Brod. Za leto 2016 in leto 2027 se upošteva končna rešitev prometnega omrežja.

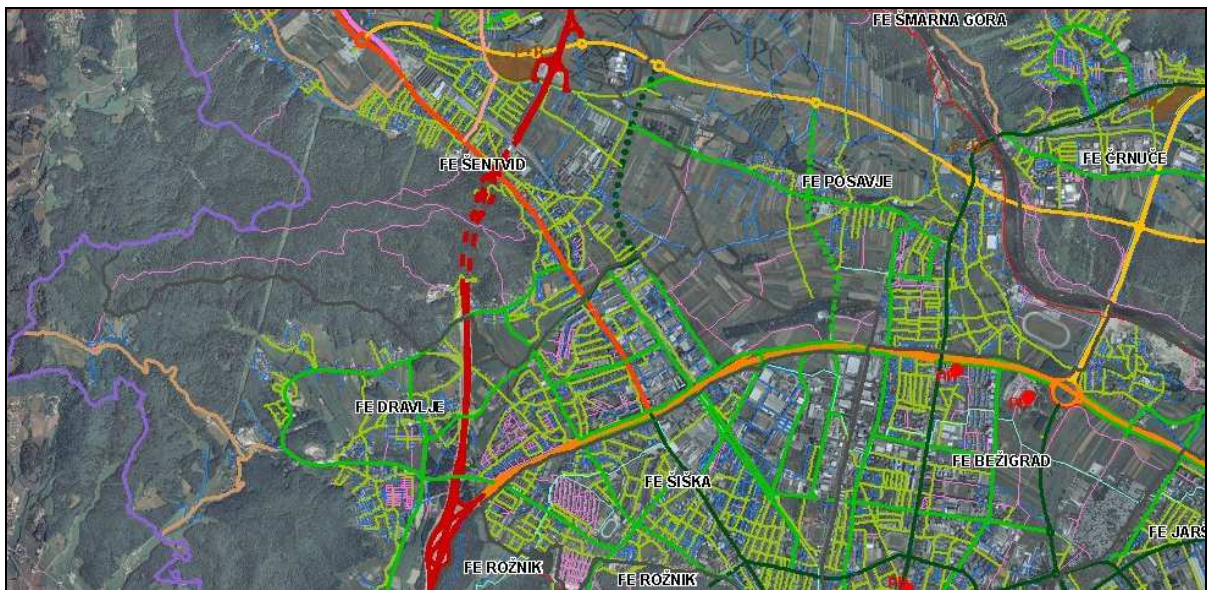
Preglednica 6: Predvideno povečanje prometa v predoru Šentvid pri etapni rešitvi prometnega omrežja v primerjavi s polovičnim priključkom ter povezovalno cesto (vir: Pulko, 2004)

Table 6: Expected traffic increase in Šentvid tunnel in event of phase solution compared to partial junction solution

leto	čas dneva	% povečanja
2007	jutranja konica	40 % (833 vozil/uro)
	opoldanska konica	34 % (559)
	popoldanska konica	27 % (619)
2015	jutranja konica	34 % (872)
	opoldanska konica	30 % (596)
	popoldanska konica	24 % (637)
2027	jutranja konica	22 % (717)
	opoldanska konica	17 % (347)
	popoldanska konica	20 % (620)

Veliki prihranki že za leto 2007 utemeljujejo potrebo po izgradnji polnega priključka istočasno z izgradnjo AC Šentvid – Koseze, saj ta v primerjavi s polovičnim v vseh obdobjih prinaša večstourne prometne prihranke. Največ prihrankov prinaša končno omrežje v obdobju od leta 2016 do 2027.

Glede na pričakovano porast prometa zaradi povečane stopnje motorizacije in intenzivne izrabe prostora na severozahodnem delu Ljubljane in okolice, tudi predor Šentvid s polnim priključkom ne zagotavlja povsem zadovoljivega odvijanja prometnih tokov po letu 2010. Zaradi tega je potrebno iskati tudi druge srednjeročne in dolgoročne rešitve, ki bi zmanjšale prometne zahteve na Celovski cesti skozi Šentvid, saj le ta predstavlja dejansko edino vpadnico iz smeri Gorenjske in v perspektivi ne bo sposobna servisirati vseh prometnih zahtev (SDLN, 2006).



Slika: Planirano omrežje cest na širšem območju Šentvida. Karta ni v merilu (vir: IPN MOL - osnutek, 2008)

Figure16: Road traffic map of broader Šentvid area

Na območju izvoza z AC A2 (Lj. Brod) je predvideno tudi parkirišče P+R (parkiraj in se pelji), ki bo del celovitega sistema tovrstnih parkirišč ob vstopih v mesto. Uspeh tovrstnih ukrepov sicer temelji na vzpostavitvi stimulativnega javnega transporta, ki pa ga Ljubljana nima⁵⁸.

8.3.5 Vpliv na prehodnost (lokalnega) območja

Zaradi gradnje predora Šentvid se prehodnost, razen na območju Pržana, ni poslabšala. Galerija Šentvid (1984) se pod Celovško cesto nadaljuje v obliki pokritega ukopa, nato pa preide v rudarski del predora. Prehodnost vzdolž Celovške ceste v okviru nove uredite hodnika za pešce in kolesarske steze pod uvozno in izvozno rampo ostaja enaka, predor pa seveda tudi nima nikakršnega vpliva na prehodnost območja nad traso. Območje je v času gradnje in po njej dostopno in prehodno po obstoječih peš poteh.

⁵⁸ Nekateri sicer trdijo, da postane javni promet zanimiv šele, ko so izčrpane vse možnosti avtomobilskega prometa zaradi (ne)zmožnosti parkiranja in prometnih zastojev ter omejitev peš in kolesarskega prometa (Pogačnik, 1998).

Prehodnost ob južnem portalu v Pržanu je omejena zaradi nadaljevanja odprte trase proti Kosezam. Na odprti trasi, ki je ponekod delno poglobljena, je za izboljšanje prehodnosti in prevoznosti v smeri vzhod-zahod vzpostavljenih več nadvozov in nadhodov.

9 OCENA MOŽNIH VPLIVOV PREDOROV NA NARAVNO IN DRUŽBENO OKOLJE V MESTIH – PRIMER PREDORA MRAZOVKA V PRAGI

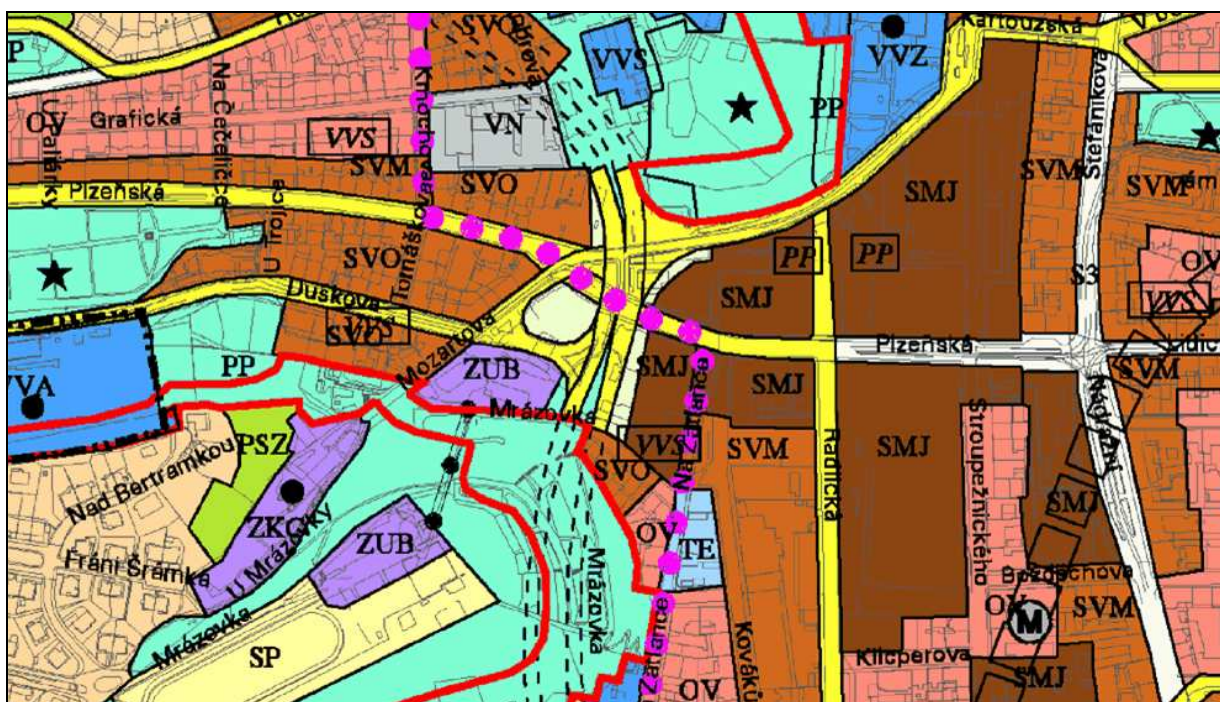
9.1 Mikrolokacija predora Mrazovka – analiza prostora

Smichov predstavlja enega izmed novo nastajajočih središč policentrične Prage. Poslovna središča zasebnih podjetij se na območju širijo zaradi dobre prometne povezanosti, obenem pa lokacija že danes nudi nastanitvene možnosti s spremljevalnimi storitvenimi dejavnostmi.

Predor poteka pod dvema gričema (Mrazovka in Pavi Vrch) in pod gosto poseljenim slemenom med njima. Na severu se nadaljuje preko Mozartovega mostu naprej v predor Strahov. Na jugu se predor konča pod Radlicko ulico, kjer se nadaljuje na odsek Zlichov – Radlicka, ki poteka vzporedno s Križovo ulico vzdolž zahodnega dela železnice.

9.1.1 Značilnost poselitve in organizacije dejavnosti na območju

Severni portal je umeščen v neposredno bližino največjega cestnega vozlišča med dvema predvidenima radialnima povezavama (Radlicka in Brevnovska), ki je zasnovano s priključki neposredno med predoroma Mrazovka in Strahov. Vozlišče je zato velik porabnik prostora, dodatno dimenzijo pa mu dajejo tudi dvigi nivelet priključkov, saj je križišče zasnovano na viaduktu. Čista stanovanjska raba se zato umika vozlišču in je locirana višje vzdolž Plzenske ulice (na sliki označena kot OV), zahodno od severnega portala. Plan prostorskega razvoja mesta Praga (2005) za to območje zaradi prometne frekvence in njenih posledic predvideva pretežno mešano rabo s prevladujočimi storitvenimi dejavnostmi in trgovino (SVO), mešano rabo v lokalnem središču SMJ (stanovanjska raba, nastanitvene kapacitete, poslovni prostori, uradi, šole in vrtci, itd.) ter sodobna območja mešane rabe (SVM) s poudarjenim urbanim karakterjem (stanovanjska raba v višjih etažah ter trgovina v pritličju; poslovni prostori, uradi, šole in vrtci, zdravstvena oskrba, kulturne ustanove in drugo). Večinoma gre za razvoj rjavih območij (brownfield development).



Slika: Raba tal po Planu prostorskega razvoja mesta Prage na širšem območju vozlišča med južnim portalom predora Strahov in severnim portalom predora Mrazovka. M 1:4.000 (vir: City development plan, 2005)

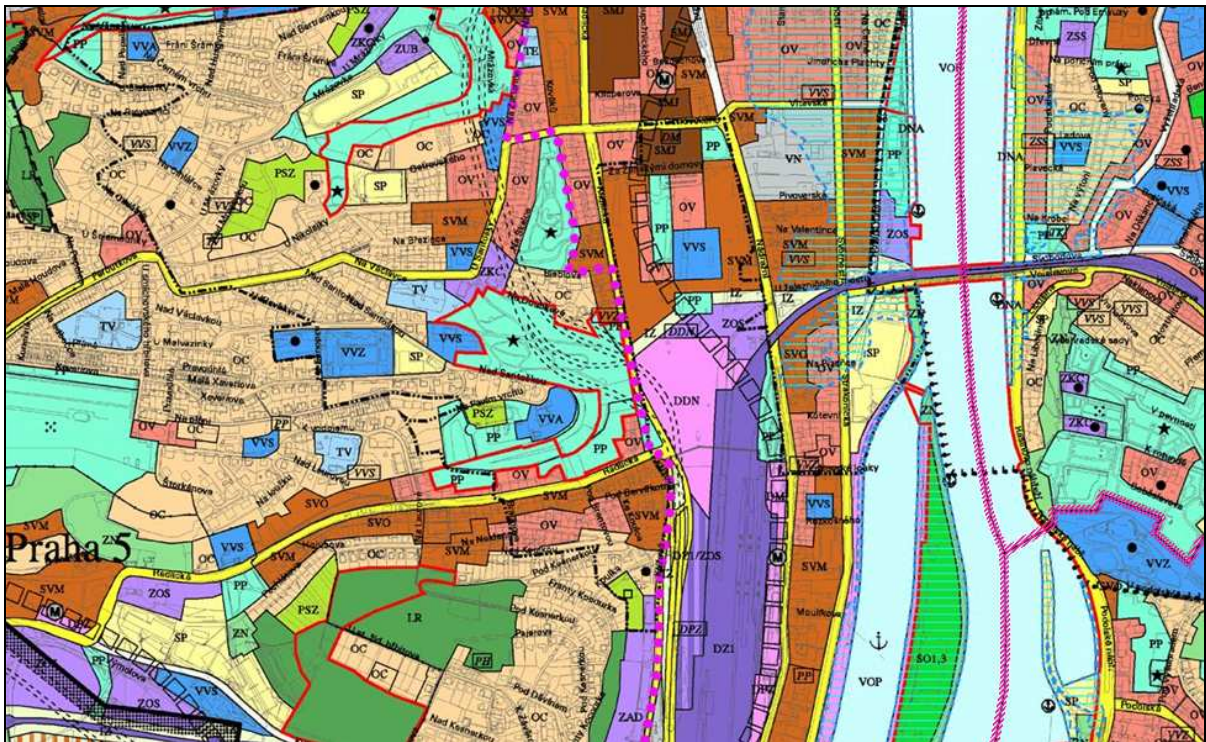
Figure: City of Prague land use map for Mrazovka and Strahov tunnel areas

Južno od severnega portala se vzdolž trase kaže transformacija degradiranih območij zaradi propada industrije, vezane pretežno na železnico s pripadajočimi dejavnostmi. Tu so locirana sodobna območja mešane rabe (na sliki označena kot SVM in SMJ), ki se umeščajo med območja pretežno stanovanjske rabe (OV), katerih stavbni fond sega v čas s konca 19. in začetka 20. stoletja. Območje sedla med Mrazovko in Pavi Vrchom je skoraj v celoti namenjeno stanovanjski rabi (OV), ta raba pa tradicionalno prevladuje tudi zahodno od trase predora. Tudi tu sega starost objektov večinoma v začetek prejšnjega stoletja.

Vzhodno od jugovzhodnega portala (vstopno-izstopni rampi) in južnega portala ter Radlicke ulice je prostor še vedno degradiran, dejavnosti, ki so se ohranile, pa še vedno služijo svojemu prvotnemu namenu – servisiranju železnice. Plan tudi v prihodnje za to območje predvideva logistično in skladiščno dejavnost. Tako je območje predvideno za železniško infrastrukturo (DZ1 – železniški tiri, servisne dejavnosti, poslovne dejavnosti železnice) ter pretovarjanje in kontejnerske terminale (DDN). Ob Vltavi je predvidena mešana raba (SVO in SVM), ki pa je

za razliko od prej omenjenih rab zaenkrat le na nivoju plana in ne odraža realnega stanja v prostoru.

Zahodno od južnega portala se nahaja večje strnjeno območje pretežno stanovanjske zazidave (OV), proti jugu pa so predvidena večja območja za umestitev kompleksov širšega spektra javne uprave (ZAD) ter okolju prijazna industrija s skladiščno dejavnostjo (VN).



Slika16: Raba tal po Planu prostorskega razvoja mesta Prage vzdolž trase predora Mrazovka. M 1:10.000 (vir: City development plan, 2005)

Figure: City of Prague land use map for the area along Mrazovka tunnel

9.2 Vpliv predora Mrazovka na naravno okolje

9.2.1 Vpliv ceste v predoru na okolje

- *Vpliv na lokalno hidrologijo*

Okoliška hribina predora tvori nepropustno okolje, kjer se voda v nižje nivoje pretaka le skozi vertikalne razpoke v prelomljenih conah masiva. Vsa voda, ki se pretaka skozi masiv, se napaja samo s padavinami, ki pronicajo pod površje, zaradi česar višina talne vode sezonsko fluktuirajo, nivo podzemne vode pa sega do 30 metrov nad krono predora (sezonsko).

V času gradnje predora je bilo potrebno zagotoviti vse zaščitne ukrepe za primer izlitja nevarnih tekočin in drugih snovi (naftni derivati, cementno mleko, itd.) v podtalnico. Na nekaterih mestih je zaradi posegov v hribino prišlo do začasnega upada nivoja piezometra, ki se je kasneje vrnil na staro raven. Dolgoročne spremembe nivoja talne vode je pričakovati le nad tistim delom trase, kjer je bilo za zagotovitev stabilnosti objektov na površju, potrebno podbetoniranje temeljev, s čimer je prišlo do zapolnitve praznih prostorov v nekonsolidirani zemljini in posledično do spremembe nivoja talne vode.

V času obratovanja vpliva na lokalno hidrologijo ni. Meteorno vodo iz tunela sicer zaradi konkavne oblike ni možno odvajati gravitacijsko, jo pa črpajo vodne črpalke in odvajajo v kanalizacijsko omrežje.

- *Vpliv na vegetacijo*

Območje okoli obeh portalov je močno urbanizirano, vidna so tudi degradirana območja - ostaline nekdanje težke industrije. Gradnja predora na parkovne ureditve in zaščitene historične vrtove nad traso predora ni imela velikega vpliva. Zaradi podora s severnega pobočja Mrazovke je bila sicer potrebna nova hortikultura ureditev območja, ki pa je sedaj v celoti izvedena.

Vpliva na vegetacijo po predaji prometu ni, saj ni prišlo do povečanja emisij plinov kot posledice prometa, saj se je ta le preusmeril z vzporednih cest v predor.

- *Vpliv na lokalne geološko-geomorfološke značilnosti*

Do zmernega vpliva je prišlo v času gradnje zaradi posedkov in sicer v času izkopa s strani severnega portala do menjave metode izkopa (iz treh horizontalnih v pet vertikalnih), ki je v nadaljevanju izkazovala boljše rezultate. Nevarnost posedanja je pretila tudi na območju najnižjega nadkritja (pod urbaniziranim območjem), zaradi česar so bili izvedeni dodatni ukrepi (ojačitve temeljev, podbetoniranje, uporaba več podpornih elementov, itd.).

Po končani gradnji vpliva na lokalne geološko-geomorfološke značilnosti ni, saj je teren stabiliziran.

- *Vpliv na prehodnost območja za divje živali*

Nad traso predora prehodnost za divje živali ostaja na enaki ravni kot pred posegom. Glede na umestitev Mrazovke in Pavi Vrcha v urbanem okolju, divjih živali ni veliko.

- *Vpliv na mikroklimo*

Vpliva na mikroklimo ob južnem portalu zaradi predora praktično ni, saj območje predstavlja veliko mestno prometno (cesta in železnica) vozlišče, zaradi česar je zrak bolj onesnažen, promet pa tudi generira mešanje zračnih tokov. Vstop v predor je tu speljan v pokritem ukopu. Tudi območje »kanjona« med severnim portalom Mrazovke in južnim portalom predora Strahov je bilo že prej močno prometno obremenjeno. V določenih vremenskih razmerah bi zaradi termike lahko prihajalo do vpliva na temperaturo v okolici severnega portala Mrazovke.

- *vpliv na krajinske značilnosti, vidne kakovosti prostora in vpliv na relief*

Stanje nad predorom po izgradnji predora je enako tistemu pred njo. Ohranjene so vse naravne prvine in vidne kakovosti. Do kratkotrajne spremembe reliefa je prišlo zaradi podora ob pričetku gradnje na območju severnega portala. Po sanaciji je območje vrnjeno v prvotno stanje.

- *Drugi vplivi, ki so posledica gradnje predora in po njej izginejo*
- vibracije in hrup kot posledica uporabe vrtno minerskih operacij pri izkopu predora (potresanje tal in zračni udar). Prizadeto je bilo predvsem območje na južnem delu trase, saj drugod izkopne tehnike niso vključevale miniranja;
- obremenitev obstoječih cest s tovornimi vozili, ki prevažajo gradbeni material in mehanizacijo (upočasnitev prometnega toka, zastoji). Zaradi obširnega odseka predora, ki poteka v pokritem ukopu pod Radlicko cesto, je bila le ta dalj časa prestavljena in slabše prepustna;
- ureditev gradbišča z vsemi pripadajočimi objekti in infrastrukturo: objekte so po dokončanju odstranili, območje pa sanirali;
- deponiranje izkopenega materiala: izkopni material so odvažali na dislocirano deponijo.

9.2.2 Vpliv prometa skozi predor na elemente naravnega okolja

Pomembna izhodišča predstavljajo naslednje točke:

- za Prago je značilna visoka koncentracija prebivalstva na relativno majhnih območjih vzdolž glavnih prometnic;
- stopnja motorizacije raste eksponentno, osebni avtomobilski promet je glavni vir onesnaženja in hrupa v mestu;
- cestno omrežje je nezadostno zaradi pomanjkanja visokopredvodnih cest višjega ranga.

Po izgradnji predora Mrazovka se je okoljska obremenitev na celotnem območju okrožja Smichov zmanjšala, še posebej na območju ulic Strakonicka, Plzenska, Radlicka in Vrchlickeho.

9.2.2.1 Hrup

Zaradi manjše količine prometa se je zmanjšal tudi nivo hrupa na širšem območju vzdolž trase predora. Glavnina hrupa se danes generira na območju med Mrazovko in predorom Strahov. Zaradi denivelacije poteka trase (predor-viadukt-predor) povečanega hrupa na nivoju terena pod traso ni zaznati. Nivo hrupa se bistveno poveča šele nad severnim portalom predora

Mrazovke in južnim portalom predora Strahov. Zaradi rabe površin nad portaloma (površine za oddih in rekreacijo) je to dejstvo zelo moteče.

9.2.2.2 Onesnaženje zraka

CCR tako kot vsaka druga cestna povezava predstavlja neposredni vir onesnaženja zraka v njegovi neposredni bližini, hkrati pa zaradi preusmerjanja prometa z drugih komunikacij posredno vpliva na zmanjšanje števila onesnaževalcev (vozil) na teh komunikacijah, s čimer bistveno prispeva k izboljšanju kakovosti zraka na območju.

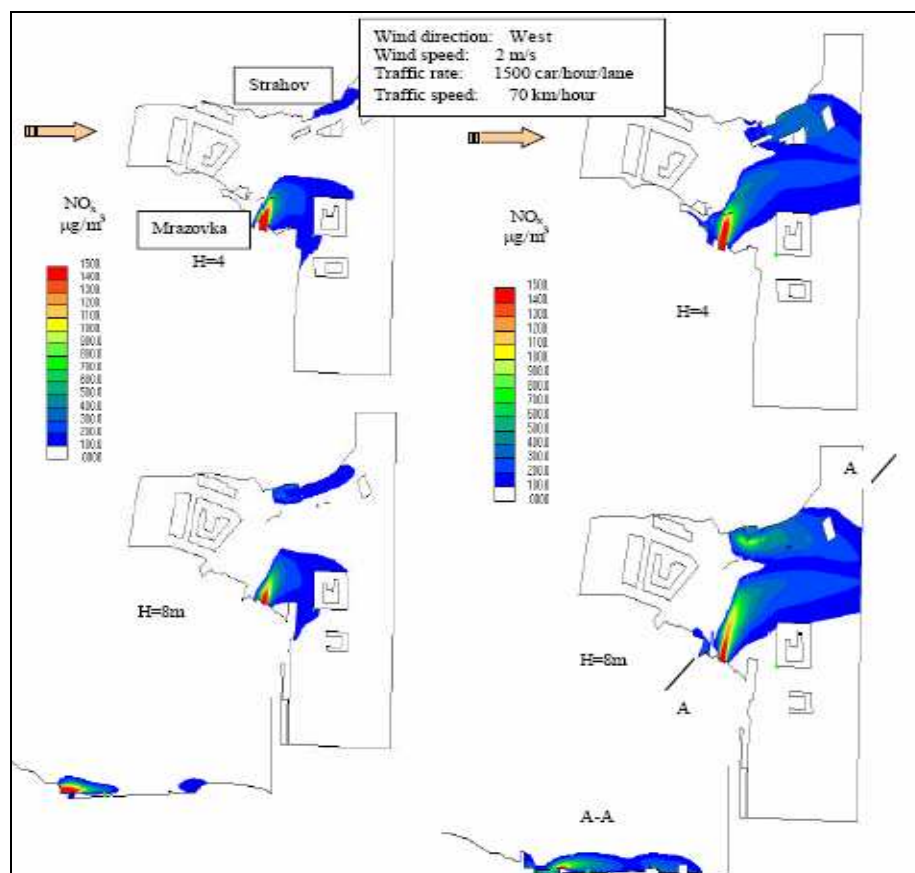
Zaradi boljše pretočnosti prometa so se zmanjšale emisije iz izpuhov vozil, kar je še večjega pomena zaradi dolinskega značaja razbremenjenega območja.

9.2.2.2.1 Neposredni (direktni) vpliv

Povečanje koncentracij polutantov je posledica vzpostavitve prometa skozi predor in zmanjšanja njegove pretočnosti na nekaterih drugih odsekih (na primer Plzenska ulica).

Glede onesnaženja zraka s polutanti je zaradi specifične terena najbolj obremenjeno območje kanjona med severnim portalom predora Mrazovka in južnim portalom predora Strahov. Južni portal predora Mrazovka je zaradi lege v odprtem terenu in neposredne bližine uvozne in izvozne klančine, ki sta umeščeni le nekaj deset metrov južno od portala, le element součinkovanja pri onesnaženju z emisijami izpušnih plinov. Zaradi neposredne bližine železniškega terminala, ki je oddaljen le nekaj deset metrov, je element součinkovanja pri onesnaženju zraka na tem območju še več. Območje ni gosto poseljeno. Enako velja za uvozno/izvozni rampi, ki pa sta tudi precej manj obremenjeni s prometom. Zaradi naštetega večjo pozornost namenjam območju okrog severnega portala.

Leta 2000 je bila implementirana metoda simuliranja, ki temelji na računalniškem modelu. Metoda je bila temelj prognoze emisij ogljikovega monoksida (CO) in dušikovih oksidov (NO_x) (Jicha et al., 2000).



Slika 176: Računalniška simulacija emisij NOx v kanjonu med predoroma Mrazovka in Strahov. Modela na levi strani prikazujeta stanje ob delujočem prezračevalnem sistemu, desna pa brez. Zgornja modela simulirata stanje na višini 4m, spodnja pa na 8m. Prečna prereza ob delovanju in nedelovanju prezračevalnega sistema sta na dnu slike (vir: Jicha et al., 2000)

Figure 176: NOx concentration field with tunnel ventilation system in operation (left) and with tunnel ventilation system out of order

Iz modela je razvidno, da pri vseh prikazanih variantah severni portal predora Mrazovka predstavlja bistveno večji vir emisij kot južni portal predora Strahov. Razlog tiči v dejstvu, da trasa doseže najnižjo točko v predoru Mrazovka (in ne pri portalu, kot je za predore sicer značilno), zaradi česar je severni portal Mrazovke na točki dvigovanja nivelete. Trasa CRR se nato vzpenja preko Mozartovega mostu tudi skozi celotno dolžino predora Strahov. Značilno je namreč, da vozila z notranjim izgorevanjem ozračje onesnažujejo najbolj ravno pri vožnji navkreber.

Model je sicer dober pokazatelj načelnih smeri in površine vpliva možnega onesnaženja z omenjenimi emisijami. Zaradi specifične umeščenosti prečno na kanjon načeloma oba predora

součinkujeta in vplivata na povečane koncentracije emisij izpušnih plinov (saj se druge škodljive snovi gibljejo v isto smer) predvsem proti zahodu (v smeri bolj odprtega terena). Prizadeti so tako večinoma predeli s prevladujočimi centralnimi in komercialnimi dejavnostmi. Intenziteta in velikost prizadetega območja sta odvisna od števila vozil (gostejši promet povzroči večje prizadeto območje), hitrosti vozil (višja hitrost povzroči večje prizadeto območje), smeri in hitrosti vetra (ob gostem prometu vpliv vetra izzveneva, saj prometni tok emisije »vleče« s seboj v smeri poteka trase (Jicha et al., 2000).

Potrebno je sicer naglasiti, da v predoru Mrazovka, odkar je bil predan prometu v letu 2004, prezračevalni sistem po zagotovitvi projektanta ni bil zagnan še niti enkrat (bil je le testiran z navidezno nesrečo in požarom pred predajo prometu). Sistem je osnovan tako, da poriva zrak skozi celotno vzhodno predorsko cev, ga preko prečnika tik pred severnim portalom preusmeri v zahodno cev, na koncu katere (gre za konec rudarskega dela) ga preusmeri v vertikalni odvodni jašek proti izpuhu na Pavi Vrchu. Ker sistem ni vključen, se z voznim tokom ustvarja »naravno prezračevanje« v smeri vožnje v posamezni cevi. Zaradi navedenega bi se moral uresničevati scenarij, prikazan na desni strani zadnje slike, vendar se predvsem zaradi bistveno boljšega voznega parka od predvidenega v modelu, ne uresničuje. Stalne merilne naprave, locirane na Mozartovem mostu kljub pričakovanjem ne zaznavajo prekoračenih vrednosti emisij NO_x in CO.

Smiselno je naglasiti, da se ponekod v svetu (na primer na Japonskem) že danes poslužujejo tehnologij, ki onesnažen zrak iz predora v celoti zadržijo v predoru in ga nato preko posebnih filtrov popolnoma očiščenega vrnejo v okolje. Vpliv na onesnaženost okolja z emisijami je v teh primerih ničen. Podoben rezultat lahko zaradi novih tehnologij prezračevanja in čistih virov za pogon vozil pričakujemo čez desetletja v vseh predorih.

9.2.2.2.2 Posredni vpliv

Izgradnja cestnega omrežja najvišjega ranga (CCR, CRR in radialne povezave) predstavlja skupaj z implementacijo visoko tehnološkega JPP odločilni faktor za dolgoročno zmanjšanje onesnaženja zraka v Pragi. Del tega omrežja je tudi predor Mrazovka.

Izboljšanje stanja na območju se je pokazalo že takoj po predaji odseka predor Zlichov-Mrazovka-predor Strahov prometu (Air Quality Management, 2006):

- po predaji odseka predor Zlichov-Mrazovka-predor Strahov prometu so bile zaznane nižje koncentracije polutantov v večje delu mesta v primerjavi s časom pred tem;
- bistveno zmanjšanje emisij je predvideno za območja okoli mostu Barrandovský (južno od Smichova), Anđel (poslovno in komercialno središče Smichova) in ob ulicah med Smichovim in Strahovim (smer jug-sever);
- izboljšanje pretočnosti prometa rezultira v izboljšani kakovosti zraka zaradi manjših emisij v središču Prage in njenem vzhodnem delu.

Model prostorske distribucije polutantov kaže na dejstvo, da je območje z zmanjšanimi koncentracijami polutantov kot posledica vzpostavitve prometa na tem odseku, večje, kot tisto s povečanimi koncentracijami. Skupen vpliv izgradnje predora Mrazovka v sklopu tega odseka CCR je zato mogoče oceniti kot ugoden. Izboljšanje tehnologij motorjev z notranjim izgorevanjem in njegovih alternativ ter predvsem dograditev CCR bo dodatno ugodno vplivalo k izboljšanju zraka na celotnem območju mesta.

9.2.2.3 Onesnaženje okolice

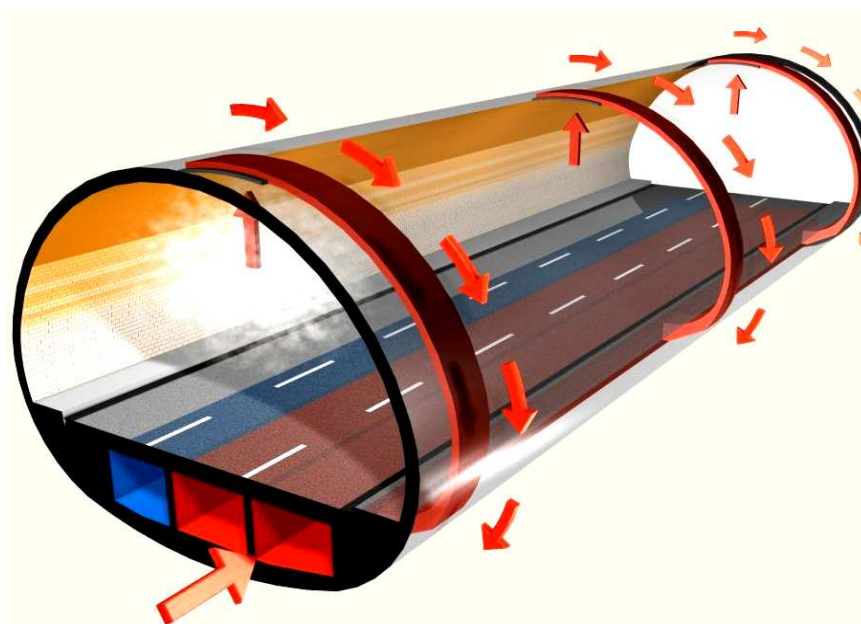
Do prašenja in odlaganja strupenih snovi (na primer težkih kovin) zaradi prometa prihaja predvsem na območju severnega portala. Prizadeto območje je nekoliko večje zaradi dvignjene trase nad teren in posledično večje površine, na katero se prah useda. Območje južnega portala je središče cestnega vozlišča, zaradi česar so novi vplivi na onesnaženje zanemarljivi. Ožje območje v celoti predstavlja prometno infrastrukturo.

9.2.2.4 Onesnaženje talne vode

Celotna trasa predora Mrazovka je vodoneprepustna. Odvodnjavanja vode, ki pride v predor z vozili in ob pranju, zaradi vertikalnega poteka nivelete (konkavna) ni mogoče odvajati gravitacijsko, ampak s prečrpavanjem. Ustrezno očiščeno vodo se odvaja v kanalizacijski sistem. Vpliva na talno vodo tako ni.

9.2.2.5 Neposredna fizična nevarnost

Največjo fizično grožnjo predstavljajo prometne nesreče ali okvare vozil. V predoru je za ta namen izveden tehnološko napreden sistem javljanja in opozarjanja. V primeru požara v predoru se sproži avtomatiziran sistem ukrepanja. Sistem zazna povišanje temperature in koncentracije strupenih plinov. Prometna signalizacija ustavi promet pred portali, obvesti se ustrezne službe, posebna razsvetljava v predoru pa omogoči ujetim, da lažje najdejo zasilne izhode (prečnike med predorskima cevema).



Slika 187: Prezračevalni sistem ob požaru (vir: Šajtar, 2005)

Figure 187: Fire ventilation

Sproži se tudi poseben prezračevalni sistem, ki strupen dim vleče proti stropu, ga po posebnem sistemu ob oboku odvede do posebnih požarnih jaškov, ki so nameščeni pod vozišče in potem ločeno iz predora.

9.2.2.6 Vizualna degradacija

Notranja ureditev predora Mrazovka je poskus olajšanja vožnje skozi »nenaraven«
prostor. Različne barve, ki se vzdolžno nizajo skozi posamezne odseke predora, naj bi lajšale podzavestno zaznavo prostora in usmerjale poglede v smeri poteka trase.

Posegi v prometni profil so tudi na Češkem v vseh predorih nedovoljeni.

9.3 Vpliv predora Mrazovka in prometa skozi predor na urbani razvoj in poselitev

Zaradi diriganega, neorganskega razvoja mest, ki je bil značilen za komunistične režime v vzhodnoevropskih državah po drugi svetovni vojni, se je v teh mestih suburbanizacija pojavila več desetletij kasneje kot v zahodnoevropskih mestih. Razmah je tako dosegla v devetdesetih letih. Težava je v tem, da procesi suburbanizacije povečujejo odvisnost od osebnega avtomobila.

9.3.1 Vpliv na fizični razvoj mesta

Predel mesta, skozi katerega poteka del CCR na odseku predor Zlichov-predor Strahov je po implementaciji kapitalizma doživel velike prostorske spremembe. Smichov je namreč že v začetku 19. stoletja bil industrijski predel Prage, v času socializma pa se je na tem območju zaradi bližine železniškega terminala razvijala predvsem industrija, povezana z železniško infrastrukturo. V devetdesetih letih dvajsetega stoletja je industrijska dejavnost propadla, prostorska podoba pa se je popolnoma spremenila. Večino naložb v razvoj rjavih območij danes predstavlja storitveni sektor: poslovni objekti (sedeži tujih korporacij), bančne ustanove, hoteli in trgovsko-zabavišni centri.



Fotografija 14 (na prejšnji strani zgoraj levo): Tipične »brownfield« naložbe na Nadražni ulici v okrožju Smichov. Fotografija 15 (na prejšnji strani zgoraj desno): Poslovni objekti so zrasli na območjih nekdanjih proizvodnih površin. Okrožje Smichov. Fotografija 16 (na prejšnji strani spodaj levo): Poslovno-trgovski objekti na ulici Karla Engliša v Smichovu. Fotografija 17: Ulica Nadražni. V zadnjih dveh desetletjih je doživela velike spremembe (foto: avtor, 2008)

Photos 14, 15, 16, 17: Smichov district brownfield development

Smichov, eno izmed četrti policentrične Prage, ima danes središče južno od severnega portala predora Mrazovka, kar predelu omogoča izredno dobro mobilnost, ki je ključna za poslovanje korporacij in se bo z dograditvijo CCR in CRR še izboljšala, hkrati pa omogoča kakovostno oskrbo komercialnih središč. Posrečena kombinacija peš cone in razvitega intermodalnega javnega potniškega prometa predstavlja dodano vrednost. V kombinaciji z relativno bližino historičnega središča Prage je zato umestitev navedenih dejavnosti logična.

Izgradnja CCR ima na fizični razvoj mesta posredne vplive. Zaradi odlične prometne povezanosti ima Smichov priložnost, da postane z nadaljnim vlaganjem v razvoj degradiranih predelov (rjava območja, ki jih je na razpolago še veliko) eden vodilnih poslovno-komercialnih predelov Prage z visokim potencialom za nadaljni razvoj turistične dejavnosti (v smislu gradnje nastanitvenih objektov). Predor Mrazovka pa ima poleg zagotavljanja dobre prometne dostopnosti tudi to značilnost, da za razliko od prometnic na površju, ne potrebuje območij izključne, nadzorovane in omejene rabe in v tem močno urbaniziranem predelu torej deluje varčevalno v smislu racionalne rabe prostora, s čimer je njegov vpliv zaradi njegove fizične prisotnosti v prostoru primerjalno gledano minimalen (območja okoli portalov).

9.3.2 Vpliv na kakovost bivalnega okolja

Po predaji predora Mrazovka prometu so se zaradi preusmeritne dela tranzitnega toka z lokalnih cest in s tem posledično nižje ravni hrupa, emisij strupenih plinov, vibracij, itd., precej izboljšale bivalne razmere vzdolž celotne trase in širše, saj je zaradi povezanosti predora Strahov in Zlichov prometnica dobila širše vplivno območje.

Pozitivni vplivi so tudi v primeru predora Mrazovka zagotovo prevladali nad negativnimi, ki so v času po predaji prometu omejeni predvsem na relativno majhno območje kanjona med

predoroma Strahov in Mrazovka, ter na območje ob Radlicki cesti pri južnem portalu predora Mrazovka.

Bistveno večje težave pa so se pojavljale v času samega izkopa. Zaradi nizkega nadkritja in nestabilne zemljine je bilo potrebno ojačati konstrukcijo objektov nad traso, saj je obstajala bojazen, da bo ob izkopu prihajalo do prekomernih posedkov. Predikcije so bile celo tako slabe, da je bilo zaradi nevarnosti porušitve potrebno evakuirati prebivalstvo (vir: Butovič, 2008).



Fotografije zgoraj : Začasna ojačitev konstrukcije objektov nad traso predora (vir: Butovič, 2004)

Upper photos: Securing of the buildings above tunnel alignment

Varnostni ukrepi, izvedeni med gradnjo, so se izkazali kot učinkoviti. Objekti pod ulico Ostrovskeho so utrpeli le manjše vidne poškodbe (razpoke, okna so se težje zapirala, itd.), poškodb nosilne konstrukcije pa ni bilo. S sanacijo teh poškodb so kasneje tudi izgled povrnili v prvotno stanje, tako da je danes stanje enako tistemu pred pričetkom gradnje.



Fotografije zgoraj: Razpoke na objektih kot posledica izkopa predora Mrazovka (vir: Butovič, 2004)

Upper photos: Cracks on buildings as a result of tunnel excavation

9.3.3 Vpliv na potenciala za rekreacijo in turizem

Vzpetini Mrazovka in Pavi Vrch predstavljata južni del nekakšne zelene reliefno razgibane osi, ki je mestoma sicer prekinjena z urbanizacijo in predvsem prometnimi povezavami, in jo tvorijo (s severa proti jugu) še Grajski grič, Petrin grič s Parkom vrtnic in park Sacre Coeur z botaničnim vrtom. Zaradi vloge naravne oaze v sicer močno urbaniziranem predelu, nudi odlično točko za oddih lokalnega prebivalstva predela Smichov.

Plan prostorskega razvoja mesta Praga za območje Mrazovke predpisuje arhitekturno oblikovana zelena območja, zato je območje prepredeno z več kilometri rekreativnih poti, vzdolž katerih se predstavljajo tudi dopolnilni programi (razgledišča, počivališča, otroška igrišča in drugo). Glavnina urejenih parkovnih in rekreativnih površin je skoncentrirana na pobočje nad severnim portalom predora Mrazovka, ki je bilo v času njegove gradnje zaradi plazenja v celoti sanirano in prenovljeno. Ob vznožju (neposredno ob severnem portalu) in na vrhu Mrazovke stojita hotela, ki ju povezuje vzpenjača, pogled z nje na vozlišče med predoroma Strahov in Mrazovka pa ponujajo kot turistični doživljaj.

Tudi Pavi Vrch je prepreden s peš potmi, ki pa so slabo vzdrževane, zato je ta predel med prebivalstvom manj priljubljen. Območje sicer krasijo zaščiteni historični vrtovi, Plan prostorskega razvoja mesta Prage pa zaradi tega tu ne predvideva površin za rekreacijo.



Fotografija 18: Ena izmed arhitektonsko oblikovanih peš poti na Mrazovko. Fotografija 19: Razgibano sprehajališče s prostorom za oddih in razglediščem. Fotografija 20: Otroško igrišče ob glavni sprehajalni poti. Fotografija 21: Pogled z razgledišča na predor Strahov in Mozartov most (foto: avtor, 2008)

Photo 18: One of Mrazovka well designed walkways. Photo 19: A promenade with resting places and a vantage point. Photo 20: Children's playground along the main walkway. Photo 21: A view of Strahov tunnel and Mozart bridge

V času odločanja glede najprimernejšega poteka trase na območju Mrazovke je bil podan predlog s strani investitorja (vir: Šajtar, 2008), ki bi predora Strahov in Mrazovka združil v en objekt, tako da bi bila trasa na delu sedanjega Mozartovega mostu izvedena v pokrit obliki, s čimer bi dosegli nekatere izjemno ugodne učinke na okolje:

- bližina severnega portala predora Mrazovka in južnega portala predora Strahov v območju vmesne doline že sedaj predstavlja točko koncentracije hrupa, onesnaženega zraka in vibracij, ki je v primeru njune povezanosti ne bi bilo. Ob pričakovanem povečanem prometu po izgradnji manjkajočega odseka SZ dela CCR, ki bo preusmeril tranzitni promet v smeri sever-jug s središča mesta, pa bo stanje še slabše;
- za odvajanje onesnaženega zraka iz obeh predorov sta postavljena dva izpušna jaška (nad predorom Strahov in na Pavi Vrchu). V primeru enega predora bi bilo možno izvesti le en prezračevalni sistem z enim jaškom. Jaška zaradi velike višine (več deset metrov) in betonske konstrukcije tudi ne predstavljata kakovostnega prostorskega poudarka;
- poleg možnih povezav peš poti parka Sacre Cœur in Mrazovke bi združitev predorov v en objekt omogočila tudi bistveno izboljšano percepcijo sprehajalcev in rekreativcev na teh območjih, saj v današnji obliki območji nad portaloma zaradi velikega hrupa in onesnaženja zraka ne nudita optimalnih razmer za sprostitev, čemur sta med drugim namenjena;

Zaradi administrativnih zapletov in povečanja stroškov ter nuji po čimprejšnji izgradnji odseka, je prevladala obstoječa rešitev, ki torej obremenjuje predvsem območje med severnim portalom predora Mrazovka in južnim portalom predora Strahov. Obstoječa rešitev sicer še vedno v zadostni meri omogoča zadovoljevanje potrebe lokalnega prebivalstva po sprostitvi in rekreaciji, zaradi predvidenega povečevanja prometa pa se bo stanje srednjeročno le še slabšalo. Dolgoročno se bo sicer zaradi vedno tišjih in okolju prijaznih vozil kljub povečani gostoti prometa stanje verjetno izboljšalo.

Opozoriti je sicer potrebno, da realizirana rešitev po drugi strani omogoča lažje reševanje v primeru nesreč, pa tudi potencialno ogroženo območje je precej manjše. Tudi s psihološkega

vidika je rešitev ustrezna, saj Mozartov most predstavlja predih med dvema podzemnima objektoma ter omogoča ustrezen razgled s trase.

9.3.4 Prometna razbremenitev mesta

Praga postaja moderna metropola, katere vitalni del predstavlja vzdržen sistem cestnega transporta. Izgradnja CCR, oziroma vsaj njegovega SZ dela, bo po desetletjih omogočila povezavo v smeri sever-jug, ki bo predstavljala sodoben prometni koncept, temelječ na popolni prepovedi tranzitnega prometa skozi historično mestno jedro. Glavna pridobitev vseh prebivalcev Prage se bo izkazala v zmanjšanju onesnaženja s hrupom in izpušnimi emisijami. Izginile bodo tudi nepregledne kolone stoječih vozil, s končnim rezultatom v velikih zmanjšanih stroških zaradi prihranka časa, goriva in denarja.

Velike spremembe v količini prometa se pričakuje po dokončanju celotnega CCR (oziroma vsaj njegovega severozahodnega dela).

Preglednica 7: Štetje prometa v letih 2003 in 2004 na nekaterih relevantnih odsekih (vir: Pivec, 2004)

Table 7: 2003 and 2004 traffic volumes for some relevant road sections

Odsek ⁵⁹ (od-do)	vrsta vozil	pred odprtjem predora Mrazovka		po odprtju predora Mrazovka	sprememba	
		leto 2003	spomladi 2004	jeseni 2004	jesen / pomlad	
					število	%
Predor Mrázovka	skupaj	0	0	31.900	+ 31.900	
	TV + BUS	0	0	1 550	+ 1.550	
Predor Strahovský	skupaj	22.650	22.500	35.450	+12.950	+ 58
	TV + BUS	1.050	1.050	1.600	+ 550	+ 52
Patočkova (Pod Královkou – Predor Strahov)	skupaj	31.150	31.600	26.200	+ 4.600	+ 15
	TV + BUS	1.750	2.000	2.300	+ 300	+ 15

⁵⁹ Meritve so bile opravljene po metodi »prej in po«. Meritve pred otvoritvijo predora Mrazovka so potekale v aprilu in maju 2004, podatki po odprtju pa se nanašajo na meritve v oktobru 2004. Meritve so potekale ob torkih, sredah in četrkih med 6:00 in 22:00.

Patočkova (Predor Strahov – Myslbekova)	skupaj	34.900	35.400	41.550	+ 6.150	+ 17
	TV + BUS	2.250	2.250	2.600	+ 350	+ 16
Plzeňská (Tomášková – Holečkova)	skupaj	15.500	15.500	18.000	+ 2.500	+ 16
	TV + BUS	850	800	850	+ 50	+ 6
Dušková (Brožíkova – Tomášková)	skupaj	14.500	14.450	14.500	+ 50	0
	TV + BUS	750	700	800	+ 100	+ 14
Radlická (Plzeňská – Ostrovského)	skupaj	35.000	31.000	23.700	- 7.300	- 24
	TV + BUS	1.700	1.550	1.150	- 400	- 26
Radlická (Za Žen. domovy – Mrázovka)	skupaj	26.950	30.200	20.200	-10.000	- 33
	TV + BUS	1.600	1.750	1.000	- 750	- 43
Nádražní (Za Žen. domovy – U Král. louky)	skupaj	7.950	7.900	5.900	- 2.000	- 25
	TV + BUS	850	700	450	- 250	- 36
Strakonická (Hořejší nábřeží – U Král. louky)	skupaj	34.900	33.250	27.050	- 6 200	- 19
	TV + BUS	1.750	1.650	1.300	- 350	- 21
CCR – predor Zlíchov (Radlická – Strakonická)	skupaj	34.750	35.900	55.300	+19.400	+ 54
	TV + BUS	2.450	2.450	3.300	+ 850	+ 35
izvoz Karmelitská (Vítězná – Malostranské nám.)	skupaj	16.600	16.800	16.200	- 600	- 4
	TV + BUS	500	500	500	0	0
Křižovnická (Divadelní – nám. Jana Palacha)	skupaj	25.200	24.950	23.150	- 1.800	- 7
	TV + BUS	750	800	850	+ 50	+ 6
Jiráskův most	skupaj	43.500	45.250	44.500	- 750	- 2
	TV + BUS	1.550	1.600	1.650	+ 50	+ 3
Palackého most	skupaj	15.450	14.200	14.350	+ 150	+ 1
	TV + BUS	300	300	300	0	0
V Botanice (E.Peškové – Štefánikova)	skupaj	24.250	21.800	22.000	+ 200	+ 1
	TV + BUS	1.050	900	900	0	0
Kartouzská (Štefánikova – Radlická)	skupaj	26.600	25.300	24.400	- 900	- 4
	TV + BUS	1.150	1.150	950	- 200	- 17
Vltavská (Nádražní – Svornosti)	skupaj	18.100	18.950	18.500	- 450	- 2
	TV + BUS	1.050	900	800	- 100	- 11
Vaničkova (Chaloupeckého – Jezdecká)	skupaj	12.650	13.100	11.200	- 1.900	- 15
	TV + BUS	500	500	450	- 50	- 10

Edine meritve obremenjenosti cest na širšem območju so bile izvedene jeseni leta 2004. Podatki nakazujejo nekatere bistvene spremembe tokov prometa po odprtju predora. Dva meseca po tem, ko je skozi Mrazovko stekel promet, je skozenj peljalo povprečno 31.900 vozil (na delavnik med 6:00 in 22:00 uro), s čimer se predor prišteva med srednje obremenjene prometnice v Pragi. Delež osebnih vozil znaša 95 %, 5 % pa predstavljajo avtobusi in tovorna vozila, med katerimi prevladujejo lahka tovorna vozila s skupno težo do 6 ton (okrog 70 %).

Predor Mrazovka je v prvi vrsti prevzel del prometa v Smichovu, predvsem na povezavah, ki potekajo v smeri sever-jug (ulice: Radlicka, Nadražni, Strakonicka). Količina zmanjšanega prometa na teh povezavah ustreza 57 % prometa skozi Mrazovko. Preostalih 43 % predstavlja promet z bolj oddaljenih območij. V ravnini severno od mostu Legije (ulice: Křižovnická, Karmelitska, Strahov predor, Vaničkova), saj so pred odprtjem Mrazovke omenjene prometnice povprečno prevajale 54.900 vozil, po njem pa Křižovnická, Karmelitska in Vaničkova, beležijo padec prometa za 8 %, medtem ko se je le-ta bistveno povečal skozi Strahov predor (+ 58 % oziroma skoraj 13.000 vozil več), ki predstavlja Mrazovki sosednji odsek CCR, saj se povezuje z njim preko Mozartovega mostu. Spojitev odsekov CCR (predor Strahov – Mrazovka – CCR v odprti trasi – predor Zlichov) je tudi na drugih odsekih povzročila povečanje prometa za več kot polovico (predor Zlichov + 54 %, oziroma okrog 20.000 vozil).

Posledica povečanja prometa skozi Strahov predor je tudi povečanje prometa na Patočkovy ulico, na katero se le-ta naveže (za 17 % oz. 15 %). Po dograditvi nadaljnjih odsekov (predor Strahov se sedaj (2008) namreč izteče v ulico Patočkovy) bo del prometa z ulice Patočkovy zagotovo prenešen na CCR. Promet se je zaradi izvozne rampe, ki je speljana od predora Mrazovka do križišča med Radlicko in Kartouzsko ulico, za okoli 3.000 vozil povečal tudi na Plzenski ulici v smeri centra mesta (na odseku Kartouzka – Holečkova), saj povezava predstavlja tudi začetek prometne poti predor Mrazovka – Kartouzka – Radlicka – Plzenska – Košire. Razbremenitev Plzenske ulice in dodatne razbremenitve celotnega Smichova se pričakuje z izgradnjo Radlicke in Brevnovske radialne povezave na CRR.

Največji upad prometa je bil zabeležen na Radlicki ulici in sicer na odseku med Plzensko in Križovo (gre v bistvu za odsek med obema portaloma) in znaša med 24 % in 33 % (med 7.000 in 10.000 vozil), medtem ko je promet na vzporedni Strakonicki ulici (na odseku med Železniškim mostom in Zlichovom) upadel za okoli 19 % (6.000 vozil).

Na t.i. malem Smichovskem ringu v smeri vzhod-zahod (V Botanice – Kartouzka) in zahod-vzhod (Ostrovskeho – Vltavska) v tem času do statistično pomembnih sprememb ni prišlo, kar kaže na pomen predora Mrazovka (pa tudi predora Strahov) kot neke vrste lokalne obvozne ceste v smeri njegovega poteka (sever-jug), širšega učinka razbremenitve v smeri vzhod-zahod pa ni zaznati, saj je tudi preko mostov čez reko Vltavo (most Legije, Jiraskuv most, most Palackeho) ostal praktično nespremenjen in znaša okoli 72.000 vozil na dan (vir numeričnih podatkov: Pivec, 2004).

Zaradi prenosa tranzitnih prometnih obremenitev z lokalne cestnoprometne mreže na CCR se je zmanjšala tudi možnost kolizije z drugimi vrstami prometa, predvsem z javnim prevozom (avtobusi in tramvaji na odsekih, kjer si delijo vozno površino z drugimi motornimi vozili), s čimer se je povečala njihova pretočnost.

9.3.5 Vpliv na prehodnost (lokalnega) območja



Predori imajo že po definiciji majhen vpliv na prehodnost območja, saj razen pri portalih ne predstavljajo spremembe glede na predhodno stanje. Prehodnost je zato v večjem delu nespremenjena.

Na območju severnega portala je zaradi neposrednega prehoda predora Mrazovka v smeri predora Strahov preko Mozartovega mostu ulico prehodnost kljub odprti trasi ostala nespremenjena, zaradi vzpostavitve novega priključka Radlicke ceste na CCR ob južnem portalu pa prehod na tem območju ni več možen, vendar to ni več posledica izgradnje predora, ampak izgradnje priključka na hitro cesto.

10 PRIMERJAVA PREDOROV ŠENTVID IN MRAZOVKA

Preglednica 8: Primerjava nekaterih ključnih lokacijskih, prometno-tehničnih in drugih podatkov o predoru Šentvid in Mrazovka

Table 8: Comparison of the key positioning technical and other data on Šentvid and Mrazovka tunnels

predor		Šentvid	Mrazovka
leto predaje prometu		2008 (1. faza)	2004
investitor		DARS	Mesto Praga
cena izgradnje		135 mio. EUR	179 mio. EUR
PODATKI O LOKACIJI			
lokacija		Ljubljana	Praga
mikrolokacija		Šentvid, Pržan – SZ krak Ljubljane, obrobje mesta, območje suburbanizacije	Smichov – lokalno središče policentrične Prage, širše mestno središče
tip predora		orografski	orografski
orientacija portalov glavnih cevi		sever-jug	sever-jug
orientacija portalov priključnih cevi		sever	jugovzhod
raba tal	nad predorom (rudarski del)	gozd (krajinski park)	parkovne in rekreativne površine, stanovanjski objekti, kulturna dediščina
	severni portal	gosto poseljeno območje z dvema močnima prometnima žilama - železnico in Celovško cesto	cestna infrastruktura, mešana raba
	južni portal	kmetijska raba, suburbanizacija	cestna in železniška infrastruktura, stanovanja, mešana raba
PROMETNO-TEHNIČNE KARAKTERISTIKE			
vrsta predora ⁶⁰	glede na dolžino	dolg	dolg
	glede na smer vožnje	enosmerni	enosmerni
	glede na število predorskih cevi	dvocevni	dvocevni
rang ceste v predoru			
vrsta prometa		tranzit, (lokalni)	tranzit, (lokalni)
zasnovana hitrost		100 km/h	70 km/h
kapaciteta ceste (vozil/dnevno)			80.000
število glavnih predorskih cevi		2	2
število prometnih pasov v cevi		3/2	3/2
število uvoznih in izvoznih ramp v predoru		1+1	1+1
število kavern		2	2

⁶⁰ Klasifikacija po Uredbi o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje cestnih predorov v Republiki Sloveniji (2006).

voziščna konstrukcija		asfalt	cement-beton
dolžina predorskih cevi (m)	vzhodna	1033	1254
	zahodna	1060	1300
	vzhodna kaverna	68	51
	zahodna kaverna	56	54
	vstopna rampa	244	153
	izhodna rampa	370	236
širine sestavin cestišča v prečnem prerezu (m)	glavna cev (2 pas)	9,2	3,5 m x 2 + robna pasova
	glavna cev (3 pas)	12,7	16
	uvozna rampa	7,2	
	izvozna rampa	7,2	
največji prečni prerez glavne predorske cevi (m ²)		140	160
največj prečni prerez kaverne (m ²)		320	340
višina svetlega profila (m)		4,7	4,8
največji vzdolžni nagib glavne cevi		2,2 %	4,5 %
prečni nagib vozišča glavne predorske cevi		min. 2,5 %	
vertikalni potek nivelete		tangencialno	konkavna zaokrožitev nivelete med dvema tangentama z nasprotnim predznakom nagiba
horizontalni potek nivelete		prema, horizontalni radij min. 1500 m	horizontalni radij min. 400 m (tropasovni predor), prema, radij min. 195 m (dvopasovni predor)
metoda gradnje	rudarski del	NATM	NATM
	nerudarski del	cut and cover	cut and cover
geologija	starost kamnin	perm, karbon (paleozoik)	ordovicij (paleozoik)
	prelomne cone	da	da
višina nadkritja (m)		10-110	11-67

Preglednica 9 : Primerjava vplivov predorov Šentvid in Mrazovka ter poripadajočega prometa na okolje in urbani razvoj

Table 9: Comparison of environmental and urban impacts for Šentvid and Mrazovka tunnels

vrsta vpliva	PREDOR ŠENTVID	PREDOR MRAZOVKA
VPLIV CESTE V PREDORU NA OKOLJE		
<i>Vpliv na lokalno hidrologijo</i>	<ul style="list-style-type: none"> - v času gradnje predora je bilo potrebno zagotoviti vse zaščitne ukrepe za primer izlitja nevarnih tekočin in drugih snovi (naftni derivati, cementno mleko, itd.) v podtalnico. Izgradnja je potekala v bolj ali manj neprepustnih kamninah, zato direktnih vplivov na vodni medij v okolici ni bilo. - med obratovanjem vplivov na stabilnost okolice in objektov ob avtocesti ne bo - meteorne vode se odvajajo v kanalizacijski sistem oziroma preko lovilcev maščob v ponikovalnico. 	<ul style="list-style-type: none"> - v času gradnje predora je bilo potrebno zagotoviti vse zaščitne ukrepe za primer izlitja nevarnih tekočin in drugih snovi (naftni derivati, cementno mleko, itd.) v podtalnico. Na nekaterih mestih je zaradi posegov v hribino prišlo do začasnega upada nivoja piezometra, ki se je kasneje vrnil na staro raven. Dolgoročne spremembe nivoja talne vode je pričakovati le nad tistim delom trase, kjer je bilo za zagotovitev stabilnosti objektov na površju, potrebno podbetoniranje temeljev, s čimer je prišlo do zapolnitve praznih prostorov v nekonsolidirani zemljini in posledično do spremembe nivoja talne vode. - v času obratovanja vpliva na lokalno hidrologijo ni. Meteorno vodo iz predora sicer zaradi konkavne oblike ni možno odvajati gravitacijsko, jo pa črpajo vodne črpalke in odvajajo v kanalizacijsko omrežje.
<i>Vpliv na vegetacijo</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Za nove zasaditve se uporabi avtohtono vegetacijo. V času obratovanja vpliva na tla in vegetacijo nad traso predora ne bo. 	<ul style="list-style-type: none"> - območje okoli obeh portalov je močno urbanizirano, vidna so tudi degradirana območja - ostaline nekdanje težke industrije. Gradnja predora na parkovne ureditve in zaščitene historične vrtove nad traso predora ni imela velikega vpliva. Zaradi podora s severnega pobočja Mrazovke je bila sicer potrebna nova hortikultura ureditev območja, ki pa je sedaj v celoti izvedena. - vpliva na vegetacijo po predaji prometu ni
<i>Vpliv na lokalne geološko-geomorfološke značilnosti</i>	<ul style="list-style-type: none"> Gradnja obeh predorskih cevi je imela v geološko geomehanskem pogledu na okolico zmeren vpliv (konsolidacija in površinski posedki). Gradnjo so, poleg izjemno zahtevne in nestabilne geološke sestave, spremljali tudi številni zruški. 	<ul style="list-style-type: none"> - do zmernega vpliva je prišlo v času gradnje zaradi posedkov in sicer v času izkopa s strani severnega portala do menjave metode izkopa, ki je v nadaljevanju izkazovala boljše rezultate. Nevarnosti posedanja je pretila tudi na območju najnižjega nadkritja (pod urbaniziranim območjem), zaradi česar so bili izvedeni dodatni ukrepi (ojačitve temeljev, podbetoniranje, uporaba več podpornih elementov, itd.). - po končani gradnji vpliva na lokalne geološko-geomorfološke značilnosti ni, saj je teren stabiliziran.
<i>Vpliv na prehodnost območja za divje živali</i>	<ul style="list-style-type: none"> - vpliva na prehodnost divjih živali ni, razmere pa bodo ostale nespremenjene tudi po predaji predora prometu. 	<ul style="list-style-type: none"> - nad traso predora prehodnost za divje živali ostaja enaki ravni pred posegom. Glede na umestitev Mrazovke in Pavi vrcha v urbanem okolju, sicer divjih živali ni veliko.
<i>Vpliv na mikroklimo</i>	<ul style="list-style-type: none"> - V času gradnje predora so se bivalne razmere v stanovanjskih območjih ob trasi poslabšale. Zaradi počasnejšega spreminjanja temperature zraka v predoru, ki je posledica omejitve kratkoročnih zunanjih vplivov zaradi izoliranosti, bo lahko temperatura zraka in njegova vlažnost neposredno ob portalih drugačna od tiste zunaj vplivnega območja predora. 	<ul style="list-style-type: none"> - vpliva na mikroklimo ob južnem portalu zaradi predora praktično ni, saj območje predstavlja veliko mestno prometno (cesta in železnica) vozlišče, zaradi česar je zrak bolj onesnažen, promet pa tudi generira mešanje zračnih tokov. Vstop v predor je tu speljan v pokritem vkopu. - - območje »doline« med severnim portalom Mrazovke in južnim portalom predora Strahov je bilo že prej močno prometno obremenjeno. V določenih vremenskih razmerah bi zaradi termike lahko prihajalo do vpliva na temperaturo v okolici severnega portala Mrazovke.
<i>Vpliv na krajinske značilnosti, vidne kakovosti prostora in vpliv na relief</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ni vpliva 	<ul style="list-style-type: none"> - stanje nad predorom po izgradnji predora je enako tistemu pred njo. Ohranjene so vse naravne prvine in vidne kakovosti. Do kratkotrajne spremembe reliefa je prišlo zaradi podora ob pričetku gradnje na območju severnega portala. Po sanaciji je območje vrnjeno v prvotno stanje.
<i>Drugi vplivi, ki so posledica gradnje predora in po njej izginejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> - vibracije (potresanje tal in zračni udar) in hrup kot posledica uporabe vrtno minerskih operacij pri izkopu predora. V času gradnje predora se je obremenitev s hrupom v stanovanjskih območjih v bližini portalov povečala (območje Tacenske ulice v Šentvidu, območje Pržana). Obremenitev je bila največja v času vrtnja predora, zemeljskih del, utrjevanja cestišča in brežin. - obremenitev obstoječih cest s tovornimi vozili, ki prevažajo gradbeni material in mehanizacijo (upočasnitev prometnega toka, zastoji); - ureditev gradbišča z vsemi pripadajočimi objekti in infrastrukturo (na severni strani ob Celovški cesti jugovzhodno od bencinskega servisa, na južni pa ob portalu.) Objekte se po dokončanju odstrani, območje pa sanira; - začasno prestavitve Celovške ceste in posledičnih pretočnih težav, ki pa so bile minorne, saj je bila prestavitve izvedena v širokem profilu (2 vozna pasova v vsako smer); - deponiranje izkopanega materiala (Deponiji v priključkih Brod in Šmartno (Gameljne) sta opredeljeni v Uredbi o lokacijskem načrtu za avtocesto na odseku Šentvid - Koseze, dodatno pa je predvideno, da se presežki materialov, ki bodo nastali, deponirajo na deponiji v Moravčah. 	<ul style="list-style-type: none"> - vibracije in hrup kot posledica uporabe vrtno minerskih operacij pri izkopu predora (potresanje tal in zračni udar). Prizadeto je bilo predvsem območje na južnem delu trase, saj drugod izkopne tehnike niso vključevale miniranja; - obremenitev obstoječih cest s tovornimi vozili, ki prevažajo gradbeni material in mehanizacijo (upočasnitev prometnega toka, zastoji). Zaradi obširnega odseka predora, ki poteka v pokritem vkopu pod Radlicko cesto, je bila le ta dalj časa prestavljena in slabše prepustna; - ureditev gradbišča z vsemi pripadajočimi objekti in infrastrukturo: objekte so po dokončanju odstranili, območje pa sanirali; - deponiranje izkopanega materiala: izkopni material so odvažali na dislocirano deponijo.

VPLIV PROMETA SKOZI PREDOR NA ELEMENTE NARAVNEGA OKOLJA		
<i>Hrup</i>	<ul style="list-style-type: none"> - stanje glede obremenitve s hrupom se bo v celoti bistveno izboljšalo, saj se bo število prizadetih občanov bistveno zmanjšalo. - vplivi prometa skozi predor na povečano raven hrupa bodo zaznani le ob portalih (predvsem južnega, saj gre za spremembo iz stanja nič) - posledice izgradnje priključnih ramp bodo imele ugoden vpliv na raven hrupa, saj se bo ta zaradi odvajanja skozi predor in posledične zmanjšane obremenitve na Celovški cesti, zmanjšal. Tudi na območju severnega portala (glavni predorski cevi) se bo raven hrupa zaradi zmanjšane prometa (pospeševanja) na priključni rampi v smeri Kranja in izostanka zastojev v času jutranje konice in poletne sezone, kljub predvidenemu povečanju prometa, v smeri Ljubljane zmanjšala. - zaradi manjše količine prometa se bo zmanjšala raven hrupa tudi vzdolž Celovške ceste (od ljubljanske obvoznice do predora Šentvid). 	<ul style="list-style-type: none"> - zaradi manjše količine prometa se je zmanjšal nivo hrupa na širšem območju vzdolž trase predora. - glavnina hrupa se danes generira na območju med Mrazovko in predorom Strahov. Zaradi denivelacije poteka trase (predor-viadukt-predor) povečanega hrupa na nivoju terena pod traso ni zaznati. Nivo hrupa se bistveno poveča šele nad severnim portalom predora Mrazovke in južnim predora Strahov. Zaradi rabe površin nad portaloma (površine za oddih in rekreacijo) je to dejstvo zelo moteče.
<i>Onesnaženje zraka</i>	<ul style="list-style-type: none"> - pozitivni vpliv zmanjšanja onesnaženosti zaradi prometa so bistveno večji od negativnih vplivov - onesnaženje zraka se koncentrira na območju jaškov za odzračevanje iz predorov, še posebej pa portalih predorov. - lokalno bo lahko prišlo do večjega poslabšanja razmer glede onesnaženja zraka na območju južnega portala. Težave lahko potencira tudi prevladujoč zahodni do jugozahodni veter. Občasno bodo kratkotrajne koncentracije dušikovih oksidov lahko prekoračevale mejne vrednosti. - omilitveni ukrepi v času obratovanja ne bodo potrebni - zmanjšanje gostote prometa na Celovški cesti in povečanje pretočnosti bosta ugodno vplivala na izboljšanje kakovosti zraka vzdolž Celovške ceste in vzporednic, pa tudi v območjih, kjer danes prihaja do zastojev zaradi zastojev na Celovški cesti (Brod, Gunclje, Šentvid, itd.). 	<ul style="list-style-type: none"> - model prostorske distribucije polutantov kaže na dejstvo, da je območje z zmanjšanimi koncentracijami polutantov kot posledica vzpostavitve prometa na tem odseku, večje, kot tisto s povečanimi koncentracijami. Skupen vpliv izgradnje predora Mrazovka v sklopu tega odseka je zato mogoče oceniti kot ugoden. - vsaka cestna povezava predstavlja neposredni vir onesnaženja zraka v njegovi neposredni bližini, hkrati pa zaradi preusmerjanja prometa z drugih komunikacij posredno vpliva na zmanjšanje števila onesnaževalcev (vozil) na teh komunikacijah, s čimer bistveno prispeva k izboljšanju kakovosti zraka na območju. - zaradi boljše pretočnosti prometa so se zmanjšale emisije iz izpuhov vozil, kar je še večjega pomena zaradi dolinskega značaja razbremenjenega območja. - povečanje koncentracij polutantov je posledica vzpostavitve prometa skozi predor in zmanjšanja njegove pretočnosti na nekaterih drugih odsekih (na primer Plzenska ulica). - zaradi specifične terena je najbolj obremenjeno območje kanjona med severnim portalom predora Mrazovka in južnim portalom predora Strahov. - južni portal predora Mrazovka je zaradi lege v odprtem terenu in neposredne bližine uvozne in izvozne klančine, ki sta umeščeni le nekaj deset metrov južno od portala, le element součinkovanja pri onesnaženju z emisijami izpušnih plinov. Zaradi neposredne bližine železniškega terminala, ki je oddaljen le nekaj deset metrov, je element součinkovanja pri onesnaženju zraka na tem območju še več. Območje ni gosto poseljeno. - uvozno/izvozni rampi sta precej manj obremenjeni s prometom.
<i>Onesnaženje okolice</i>	<ul style="list-style-type: none"> - za preprečevanje onesnaževanja so izvedeni vsi zaščitni ukrepi (predvsem čiščenje odvedene vode iz predora pred izpustom v kanalizacijo ali vodotok). - zaradi prometa bo kot posledica mešanja in dviganja zraka lahko prihajalo do prašenja in posledično do usedanja prašnih idelcev in nekaterih strupenih snovi (na primer svinca, itd.) na ureditve nad in ob portale. 	<ul style="list-style-type: none"> - do prašenja in odlaganja strupenih snovi (na primer težkih kovin) zaradi prometa prihaja predvsem na območju severnega portala. Prizadeto območje je nekoliko večje zaradi dvignjene trase nad teren in posledično večje površine, na katero se prah useda. - območje južnega portala je središče cestnega vozlišča, zaradi česar so novi vplivi na onesnaženje zanemarljivi. Ožje območje v celoti predstavlja cestno infrastrukturo, nad portalom, ki vodi v pokriti vkop, pa poteka Radlicka cesta.
<i>Onesnaženje talne vode</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ob izlitju so predvideni scenariji, ki predvidevajo ustrezno reševanje in sanacijo okolja. Vpliva na onesnaženje talne vode ni. 	<ul style="list-style-type: none"> - odvodnavanja vode, ki pride v predor z vozili in ob pranju, zaradi vertikalnega poteka nivelete (konkavna) ni mogoče odvajati gravitacijsko, ampak s prečrpavanjem. Ustrezno očiščeno vodo se odvaja v kanalizacijski sistem. Vpliva na talno vodo tako ni.
<i>Neposredna fizična nevarnost</i>	<ul style="list-style-type: none"> - največjo nevarnost povzroča možnost izbruha požara zaradi prometne nesreče. Zaradi hitre širitve požara in strupenih plinov je izveden poseben sistem ukrepanja, ki zajema takojšnjo povezavo s Centrom za obveščanje, avtomatskim zaprtjem predora (signalizacija) in ustreznim prezračevanjem. 	<ul style="list-style-type: none"> - v predoru je za izveden tehnološko napreden sistem javljanja in opozarjanja. V primeru požara v predoru se sproži avtomatiziran sistem ukrepanja. Sistem zazna povišanje temperature in koncentracije strupenih plinov. Prometna signalizacija ustavi promet pred portali, obvesti se ustrezne službe, posebna razsvetljava v predoru pa omogoči ujetim, da lažje najdejo zasilne izhode (prečnike med predorskima cevema). Sproži se tudi poseben prezračevalni sistem, ki strupen dim vleče proti stropu, ga po posebnem sistemu ob oboku odvede do posebnih požarnih jaškov, ki so nameščeni pod vozišče in potem ločeno iz predora.
<i>Vizualna degradacija</i>	<ul style="list-style-type: none"> - zaradi prepovedi poseganja v prometni profil predora do vizualne degradacije ne more priti. - portali predora zaradi točkovne narave ne predstavljajo vizualne degradacije, ob izvozu iz portala se pridobi moment 	<ul style="list-style-type: none"> - notranja ureditev predora Mrazovka je poskus olajšanja vožnje skozi »nenaraven« prostora. Različne barve, ki se vzdolžno nizajo skozi posamezne odseke predora, naj bi lajšale podzavestno zaznavo prostora in usmerjale poglede v smeri poteka trase. - posegi v prometni profil so tudi na Češkem v vseh predorih nedovoljeni. - Izvedena je bila posebna arhitekturna rešitev severnega portala, ki deluje mogočno, pa vendar prijazno. Ob izvozu iz portala se v smeri predora Smichov pridobi moment

VPLIV PREDORA IN PROMETA SKOZI PREDOR NA URBANI RAZVOJ IN POSELITEV		
<i>Vpliv na fizični razvoj mesta</i>	<p>- priključek Šentvid kot križišče pomembnih prometnih povezav privlači prometno generativne dejavnosti, njihova lokacija pa ima pomemben vpliv na obseg in dolžino potovanj ter na izbor prometnega sredstva.</p> <p>- na širšem območju Šentvida sta predvideni dve novi večji stanovanjski soseski (Stanežiče in Škofje zavodi), ki predstavljata bistveno povečano koncentracijo stanovalcev na ožjem vplivnem območju, posledično pa tudi bistveno povečanje pričakovanega obsega prometa. Soseske sicer niso predvidene zaradi predora Šentvid, je pa odločitev o spremembi rabe prostora, ki ga je v Šentvidu in okolici predvidela MOL, vplivala na dokončno odločitev o gradnjio polnega priključka.</p>	<p>- izgradnja odseka ima na fizični razvoj mesta posredne vplive. Zaradi odlične prometne povezanosti ima okrožje Smichov priložnost, da postane z nadaljnim vlaganjem v razvoj rjavih območij eden vodilnih poslovno-komercialnih predelov Prage z visokim potencialom za nadaljni razvoj turistične dejavnosti (v smislu gradnje nastanitvenih objektov).</p> <p>- predor za razliko od prometnic na površju ne potrebuje območij izključne, nadzorovane in omejene rabe in v tem močno urbaniziranem predelu torej deluje varčevalno v smislu racionalne rabe prostora, s čimer je njegov vpliv zaradi njegove fizične prisotnosti v prostoru primerjalno gledano minimalen (območja okoli portalov)</p>
<i>Vpliv na kakovost bivalnega okolja</i>	<p>- zaradi neposrednih vplivov se bo ponekod zmanjšala kakovost bivanja, saj se bo prometnica umestila v prostor, kjer ceste prej ni bilo (območje v vplivnem pasu okoli južnih portalov v Pržanu)</p> <p>- na območju severnih portalov se bo kakovost bivalnega okolja zaradi izostanka zastojev izboljšala, zaradi vzpostavitve polnega priključka pa se bodo razmere nekoliko poslabšale le še v neposredni bližini portalov vstopne in izstopne rampe, kjer pa stanovanjskih objektov praktično ni.</p> <p>- posredni vplivi: zaradi preusmeritve prometa se bo razbremenila Celovška cesta z vzporednicami, s čimer se bodo zmanjšale emisije iz prometa, hrup in vibracije, zaradi česar se bo povečala kakovost bivalnega okolja vzdolž Celovške oziroma Prušnikove ter Vodnikove ceste kot nosilk urbanega programa</p>	<p>- zaradi preusmeritve dela tranzitnega toka z lokalnih cest v predor in s tem posledično nižje ravni hrupa, emisij strupenih plinov, vibracij, itd., so se precej izboljšale bivalne razmere vzdolž celotne trase in širše, saj je zaradi povezanosti predora Strahov in Zlichov prometnica dobila širše vplivno območje.</p> <p>- pozitivni vplivi so zagotovo prevladali nad negativnimi, ki so v času po predaji prometu omejeni predvsem na relativno majhno območje »kanjona« med predoroma Strahov in Mrazovka, ter na območju ob Radlicki cesti pri južnem portalu predora Mrazovka.</p> <p>- v času izkopa je bilo zaradi nizkega nadkritja in nestabilne zemljine potrebno ojačati konstrukcijo objektov nad traso, saj je obstajala bojazen, da bo ob izkopu prihajalo do prekomernih posedkov. Predikcije so bile celo tako slabe, da je bilo zaradi nevarnosti porušitve potrebno začasno evakuirati prebivalstvo. Varnostni ukrepi, izvedeni med gradnjo, so se pokazali za učinkovite. S sanacijo manjših poškodb je danes stanje enako tistemu pred pričetkom gradnje.</p>
<i>Vpliv na potenciale za rekreacijo in turizem</i>	<p>- glavni potencial območja se kaže predvsem v možnosti za sonaravno ureditev peš in kolesarskih poti na območju krajinskega parka Polhograjski dolomiti. Ker gre cesta pod hribom v predoru, ostaja območje krajinskega parka popolnoma nedotaknjeno.</p> <p>- zaradi neposredne bližine priključka na AC v Šentvidu, bi bil Športni centra Gunclje, ki se ureja kot park (po osnutku IPN MOL), dopustna pa je tudi gradnja mestnega (realno gledano, umetnega) smučišča predvsem v primeru izvedbe smučišča, lahko atraktivna destinacija za rekreativce iz celotnega ljubljanskega bazena.</p> <p>- kot potencial za rekreacijo lahko pogojno prištevamo še kolesarsko pot v okviru predvidene rekonstrukcije Celovške ceste z navezavo na državno daljinsko kolesarsko pot, ki poteka s severa (iz Rateč preko Kranjske gore, Bleda, Kranja), na katero se pred tem naveže še državna kolesarska pot iz smeri Šentjakoba in poteka v smeri Brezovice ter naprej proti Obali. Obravnavano območje ni namenjeno zadrževanju, temveč prehodnosti skozi artikuliran prostor, ki naj bi za mimoidočega predstavljal prostorsko kvaliteto</p>	<p>- plan prostorskega razvoja mesta Praga za območje Mrazovke predpisuje arhitekturno oblikovana zelena območja, zato je območje preprejeno z več kilometri rekreativnih poti, vzdolž katerih se predstavljajo tudi dopolnilni programi (razgledišča, počivališča, otroška igrišča in drugo). Glavnina urejenih parkovnih in rekreativnih površin je skoncentrirana na pobočje nad severnim portalom predora Mrazovka, ki je bilo v času njegove gradnje zaradi plazenja v celoti sanirano in prenovljeno.</p> <p>- ob vznožju (neposredno ob severnem portalu) in na vrhu Mrazovke stojita hotela, ki ju povezuje vzpenjača, pogled z nje na vozlišče med predoroma Strahov in Mrazovka pa ponujajo kot turistični doživljaj.</p>
<i>Prometna razbremenitev mesta</i>	<p>- za izboljšanje cestno-prometnih razmer na tem delu Ljubljane je ključna izvedba polnega priključka Šentvid, saj bi se v primeru njegove neizvedbe migracijski tok iz smeri Medvod (tudi Stanežiče, Medno), pa tudi Škofje Loke, še naprej odvijal po Celovski cesti, rešen pa bi bil le poletni migracijski tok in pa tok dnevnih migrantov z Gorenjske, ki so uporabniki avtoceste. Prometni učinki poleg razbremenitve obstoječe cestne mreže pomenijo tudi večjo fleksibilnost omrežja oziroma njegovo manjšo ranljivost</p>	<p>- po dokončanju SZ dela CCR bo urejena povezavo S – J, ki bo predstavljala sodoben prometni koncept, ki bo omogočila popolno prepoved tranzitnega prometa skozi historično mestno jedro. Glavna pridobitev vseh prebivalcev Prage se bo izkazala v zmanjšanju onesnaženja s hrupom in izpušnimi emisijami. Izginile bodo tudi nepregledne kolone stoječih vozil, s končnim rezultatom v velikih zmanjšanih stroških zaradi prihranka časa, goriva in denarja.</p> <p>- podatki nakazujejo nekatere bistvene spremembe tokov prometa po odprtju predora (predvsem zmanjšanje obremenjenosti lokalnega cestnega omrežja v smeri sever-jug)</p> <p>- aradi prenosa tranzitnih prometnih obremenitev z lokalne cestnoprometne mreže na CCR se je zmanjšala tudi možnost kolizije z drugimi vrstami prometa, predvsem z javnim prevozom (avtobusi in tramvaji na odsekih, kjer si delijo vozno površino z drugimi motornimi vozili), s čimer se je povečala njihova pretočnost.</p>
<i>Vpliv na prehodnost (lokalnega) območja</i>	<p>- prehodnost se zaradi gradnje, razen na območju Pržanja, ni poslabšala. Prehodnost vzdolž Celovške ceste v okviru nove uredite hodnika za pešce in kolesarske steze pod uvozno in izvozno rampo ostaja enaka,</p> <p>- predor nima nikakršnega vpliva na prehodnost območja nad traso. Območje je v času gradnje in po njej dostopno in prehodno po obstoječih peš poteh.</p> <p>- Prehodnost ob južnem portalu v Pržanju je omejena zaradi nadaljevanja odprte trase proti Kosezam. Na odprti trasi, ki je ponekod delno poglobljena, je vzpostavljenih več nadvozdov in nadhodov.</p>	<p>- predori imajo že po definiciji majhen vpliv na prehodnost območja, saj razen pri portalih ne predstavljajo spremembe glede na predhodno stanje. Prehodnost je zato v večjem delu nespremenjena.</p> <p>- na območju severnega portala je zaradi neposrednega prehoda predora Mrazovka v smeri predora Strahov preko Mozartovega mostu prehodnost kljub odprti trasi ostala nespremenjena,</p> <p>- zaradi vzpostavitve novega priključka Radlicke ceste na CCR ob južnem portalu, prehod na tem območju ni več možen, vendar to ni več posledica izgradnje predora, ampak izgradnje priključka na hitro cesto.</p>

11 PRESOJA POSTAVLJENIH HIPOTEZ

1. *Poglavitni cilji gradnje predorov v urbanih območjih so izboljšanje bivalnih razmer vzdolž trase, zmanjšanje vplivov na naravno okolje, zmanjšanje prometnih obremenitev in posledično izboljšanje mobilnosti ter omogočanje rabe nad traso predora;*

Potreba po gradnji sodobnih prometnic je z eksplozivno rastjo motorizacije v urbanih območjih in ciljnega prometa vse večja. Količina prometa v mestih narekuje, da se le-ta seli v podzemlje, s čimer razbremenjuje površje, hkrati pa na njem omogoča druge vrste rabe. V urbanih območjih predori zagotavljajo primerjalno bolj varen, ekološko neoporečen in tekoč promet v okviru masovnih tranzitnih sistemov, saj se tranzitni promet preseli pod površje, zaradi česar se vzdolž trase zmanjša hrup, izboljša se kakovost zraka, nenazadnje pa je zagotovljena tudi možnost uporabe prostora na površju za druge namene (trgi, parki, itd.). Neposredni vplivi cestnih predorov so omejeni le na žarišča okoli vstopnih in izstopnih portalov, ki pa jih je zaradi točkavnosti dosti lažje nadzorovati, z razvojem novih tehnologij (pogonski agregati, prezračevalni sistemi v predorih) pa bo možno njihov vpliv približati ničli. Hitre in atraktivne transportne povezave tako postajajo pomembni impulzi regionalnemu in nacionalnemu ekonomskemu razvoju.

Hipotezo na podlagi naštetega potrdim.

Okoliški prebivalci in potencialni uporabniki cestnih predorov zaradi pozitivnih učinkov z njihovo gradnjo navadno soglašajo. Zaradi eksponentne rasti motorizacije, z njo povezanega prometa in vseh negativnih vplivov, ki proces spremljajo, v sedanosti lokalno prebivalstvo dostikrat celo zahteva ustrezno podzemno rešitev. Večje težave navadno nastanejo kasneje, v procesu trasiranja, saj predori v urbanem prostoru nemalokrat potekajo v pokritih ukopih, nad katerimi je potrebno v času gradnje prekiniti z vsakršno rabo, objekte, porušiti, prebivalstvo pa izseliti⁶¹. Ustrezno je potrebno urediti tudi lastniška razmerja. Po končani gradnji takih predorov je sicer nad njihovim nadkritjem omogočena raba, ki je navadno v javnem interesu (bulvarji, parki, promenade in drugo).

⁶¹ Dostikrat trasa pokritega ukopa sicer poteka pod obstoječim cestnim telesom, ki je vir negativnih vplivov.

2. Cestni predor predstavlja v urbaniziranem okolju boljšo alternativo odprti trasi.

Odločitev o gradnji cestnega predora je vedno posledica:

1. želje po nadomestitvi obstoječe cestne povezave na nivoju terena ali
2. potrebe po gradnji nove prometnice zaradi razbremenitve obstoječe cestne mreže.

Podzemni prostor omogoča umestitev cestne infrastrukture, ki jo je težko ali nemogoče locirati na površju ali pa je okoljsko nezaželena. Nudi naravno zaščito pred zunanjimi vplivi (mehansko, toplotno in akustično) ob hkratni zaščiti okolja na površju pred vplivi prometa, zaradi pejzaža, ki ga ustvarja razčlenjeno površje, pa je tudi z vizualnega aspekta nemoteč, saj se stika s površjem le ob portalih. Cestni predori temeljijo na načelih trajnostnega razvoja, saj stremijo k minimiziranju nevarnosti za okolje, varčevanju energije, povečanju funkcionalne diverzitete urbanega okolja, povečanju mobilnosti in zaščiti urbanega in naravnega okolja.

Največjo težavo v urbanem okolju zaradi pomanjkanja prostora na odprti trasi predstavlja lociranje odcepov in priključkov, zmanjšana je tudi preglednost. Cesta v odprti trasi lahko prizadene raščeno okolje in ga razvrednoti; razreže enotno funkcijsko območje, odreže prejšnje komunikacije, življenske vezi, lahko podre in zmede funkcionalno organizacijo mesta in družbeno sociološko ravnovesje nekega okolja.

Pogosto je tako gradnja predora posledica pomanjkanja prostora na površju ali pa nesprejemljivosti med lokalnim prebivalstvom, razlog pa je nemalokrat tudi potreba po nekonfliktnosti različnih transportnih sistemov in želja po kar največji povezljivosti med njimi (intermodalni javni transport). S predorom se sprosti veliko območje vzdolž trase, ki ga za razliko od ceste v odprti trasi, predor ne zaseda in ne potrebuje, obenem pa so zaradi tega začetni stroški pri predorih signifikantno nižji, saj ni stroška nakupa zemljišč, potrebni pa niso niti drugi ukrepi (razlastitve, komasacije, vzpostavitve služnosti, itd.). Gre za sledeča območja (zemljišča): območje izključne rabe, ki obsega prostor, ki je potreben za zgraditev in eksploatacijo ceste; območje nadzorovane rabe, ki predstavlja zemljiško posest, ki se nahaja vzdolž ceste in na kateri je zaradi zagotavljanja načrtovane izgradnje, položaja, stabilnosti, funkcionalnosti, trajnosti ceste in varnosti prometa na njej ter omilitve ali izključitve vplivov ceste na ta zemljišča, gospodarjenje trajno omejeno za posamezne vrste dejavnosti; območje

omejene rabe, ki obsega prostor, kjer se pojavljajo škodljivi učinki (vplivi cestnega telesa in cestnega prometa); in območje začasno omejene rabe, ki obsega rabe v času planske etape gospodarjenja s cestami. Nad cestnimi predori se zato lahko pojavljajo rabe, ki so v javnem interesu; na primer parki, promenade, odprti javni prostori (trgi, ploščadi in drugo), rekreativne poti, itn. V primerih nadomestitve obstoječe prometnice oziroma njenega premika v predor se po izgradnji drastično izboljšajo tudi bivanjske razmere vzdolž trase, saj vpliv prometa izgine, nadomestijo pa ga že omenjene rabe. Enega največjih projektov te vrste predstavlja Bostonski Central Artery. Po drugi strani pa je mogoča v primerih predorov kot novih prometnic ohranitev obstoječe rabe vzdolž trase (razen pri portalih).

Predori imajo po definiciji tudi manjši vpliv na okolje kot ceste v odprtih trasah, saj imajo manjši vizualni vpliv, omejeni in kontrolirani so izpusti strupenih plinov, lokalizirane so vibracije in hrup kot posledice prometa, hkrati pa predori omogočajo ohranitev naravne vegetacije, kar pomeni manjši vpliv na lokalni in globalni ekološki cikel. Rastlinski in živalski habitati ter evapotranspiracija in respiracija vegetacije se namreč ohranjajo v večjem okviru kot pri nadzemnih trasah. Šibko točko izgradnje predorov sicer predstavlja alokacija velikih količin izkopnega materiala, ki pa ga je mogoče uporabiti v druge namene ali pa odložiti, degradirano območje pa renaturirati.

Na nekaterih geomorfološko razgibanih območjih (na primer vzpetine, ki tvorijo zelene kline pri mestih s krakasto zasnovno) uporaba predorov tudi izboljšuje oziroma sploh omogoča promet, saj skrašuje transportne poti (odprta trasa je zaradi »obvoza« daljša), s čimer se znižujejo stroški in čas vožnje. Hkrati je ohranjena prvotna prehodnost območja (za ljudi in divje živali).

Kot vsak antropogen poseg pa tudi gradnja cestnih predorov prinaša nekatere negativne posledice. Bistvene težave, ki jih prinaša načrtovanje cestnih predorov, je možno strniti v več dejavnikov.

1. Predori na cestah predstavljajo za voznika oviro, ki temelji predvsem na psiholoških, pa tudi na fizioloških reakcijah. Močan prehod, ki je sicer odvisen tudi od hitrosti vozila, zahteva

od voznika močno koncentracijo, saj se mora njegovo oko navaditi na temnejši prostor v zelo hitrem času. Težava je najbolj očitna seveda podnevi.

Tudi zaradi velikega števila ljudi, ki imajo zaradi prirojenega odpora do podzemnih prostorov zaradi zgodovinsko pogojenega psihološkega razvoja človeka, strah pred tovrstnimi prostori ali pa jih ob kontaktu z njimi popade celo napad utesnjenosti, mora biti psihološki dejavnik pomemben kriterij pri iskanju tehničnih rešitev glede teh objektov. Prvi korak lahko predstavlja izoblikovanje uvoznega portala v obliki (paraboličnega, polkrožnega, pravokotnega, trapeznega, itd.) lijaka⁶².

2. Naslednji dejavnik je zaščita podzemnega okolja, ki je prav tako kot površje ranljivo na več načinov. Zaradi krhkosti podzemnega prostora predstavlja ranljivost podzemne vode in vodonosnikov najbolj pomemben del te zaščite. Izkoriščanje podzemlja je tudi ireverzibilen proces (za razliko od nadzemnih objektov podzemnih namreč ni mogoče porušiti), kar hkrati pomeni, da je s posegom geološka struktura za vedno spremenjena.

3. Zelo pomemben dejavnik so tudi portali predorov, ki kažejo na odnos med predorom in površjem. Predstavljajo prehod med nadzemnimi in podzemnimi deli transportnih poti, zaradi česar zahtevajo posebno pozornost s funkcionalnega, strukturnega, estetskega in ekološkega aspekta.

4. Naslednjo težavo predstavljajo metode izkopa in izgradnje, saj je v nekaterih hribinskih razmerah izvedba izjemno zahtevna (na primer pri nizkih nadkritjih v nestabilnih kamninah, pod urbaniziranimi območji), ki pa zaradi hitrega razvoja metod in tehnik ter orodij zgublja na pomenu in bo čez nekaj desetletij verjetno nepomembna.

5. Pomemben je tudi ekonomski dejavnik, saj se kljub razvoju podzemnih konstrukcij v zadnjih desetletjih, pojavljajo nekatera tveganja (finančna tveganja, tveganje, da pridobitev ne bo sprejeta do mere, kot je bilo pričakovano, tveganja, povezana z nepredvidenimi geološkimi in geomehanskimi spremembami, udori talne vode, kvar vrtalne mehanizacije, pogodbeni rizik (dodatna dela, zamude, sodni spori in zahtevki), okoljski rizik (vpliv na kakovost podzemne vode, poškodbe na stavbah zaradi posedka, onesnaženje zraka, hrup), obratovalno tveganje).

⁶² delno po Gaberščik, 1970.

Ekonomski vidik ostaja glavna prepreka še hitrejšemu razvoju uporabe podzemnega prostora, saj je le ta zaradi višjih začetnih stroškov na nek način kaznovan, ko se ga primerja s tistim na površju. Premalo se, predvsem zaradi želje po vsesplošnem kvantificiranju, namreč upošteva prednosti zaradi izboljšane okolja v življenski dobi objekta, ki hkrati omogoča primerjalno varnejši promet. Boljšega zraka, naravnih habitatov in zmanjšane deleža obolevnosti zaradi vpliva prometa se namreč ne da prešteti v evrih, gradbeni material in ure dela pa. Po definiciji je namreč izgradnja podzemnih struktur dražja od nadzemnih. Zaradi dokončnosti, ki je značilna za vse predore, je velikega pomena tudi dejstvo, da je za razliko od cest na površju, predore težko širiti, oziroma to terja izredno velike stroške, ki lahko dosegajo tiste za novo izgradnjo, zaradi česar je ključna že planerska faza.

Gradnja predorov predstavlja brez upoštevanja ekonomskega vidika v mestih vedno boljše alternativo odprti trasi, saj prinaša bistvene prednosti v varovanju okolja in posledično višjo kakovost bivanja. Z razvojem metod in tehnik (na primer laserski vrtalniki), vedno večjo okoljsko ozaveščenostjo ljudi, zahtevo po visoki kakovosti bivanja in zaradi vedno večjega pomanjkanja prostih površin v mestih, bo sčasoma tudi ekonomski vidik izgubljal na pomenu.

3. Gradnja cestnih predorov je kljub ekonomski neupravičenosti lahko upravičena zaradi kvalitativnih učinkov, ki so težko merljivi ali sploh nemerljivi;

Stimuliranje izgradnje podzemnih struktur je močno povezana z družbenim vrednotenjem nadzemnih struktur z vidika okoljske degradacije, saj večine prednosti, ki jih prinaša podzemna možnost glede na nadzemno, ni mogoče denarno ovrednotiti. Primerjava stroškov med omenjenima možnostima bi morala poleg dobro definiranih stroškov obratovanja skozi življensko dobo objekta, upoštevati tudi različne prednosti, ki jih nudi podzemna alternativa - predvsem glede varovanja okolja.

Kvalitativni učinki, ki jih prinaša podzemni potek trase v primerjavi z odprto traso:

- manjše število smrtnih žrtev in poškodovanih udeležencev v prometu zaradi preprečitve kolizije uporabnikov (ni pešcev in kolesarjev);

- manjše število prometnih nesreč med vozili zaradi omejitve hitrosti, ki jo vozniki v večini zaradi psihološkega učinka redkeje presegajo;
- ohranitev obstoječe rabe nad traso predora, s čimer se v primeru zelenih, rekreativnih in drugo javnih površin ohranjajo površine širšega družbenega pomena. V primeru ohranitve stavbnega fonda ni potrebe po premestitvi dejavnosti ali celo preselitvi prebivalstva, s čimer so lahko povezani konflikti večjih razsežnosti;
- vzdolž trase se zagotovi bistveno višja kakovost bivanja, saj so razen ob portalih nivo hrupa in vibracij ter emisije izpušnih plinov bistveno nižji;
- višja kakovost bivanja prinaša širše posledice: na primer višje cene zemljišč, boljše počutje in zdravje ljudi, ki vodita v višjo storilnost in nižje stroške za zdravstvo in drugo;
- na odprti trasi je prehodnost za ljudi omejena na prehode za pešce, nadhode in podhode, kar vodi v prisilno kanalizacijo pešcev, predori pa na drugi strani omogočajo poljubno, oziroma ohranjajo obstoječo prehodnost. Kvaliteta gibanja je tako neprimerljiva;
- odprta trasa lahko tudi v mestih zarezje v naravno okolje, s čimer prekine naravne prehode za divjad. V predorih tudi ne prihaja do trkov s številnimi žuželkami in ptiči, saj se jih ti na daleč izogibajo;
- cesta na nivoju terena kot objekt za neuporabnike ne predstavlja vizualnega presežka (z vidika uporabnika je sicer lahko drugače – efekt doživljanja iz vozila), pri predorih pa so vidni le portali, ki se ob ustrezni arhitekturni in hortikulturni ureditvi zlijejo z okolico, lahko pa predstavljajo celo kakovosten prostorski poudarek;
- zaradi velike površine je cesta na odprti trasti tudi dejavnik, ki spreminja mikroklimo v neposredni bližini. V mestih, kjer že po definiciji primanjkuje zelenih površin, kot blažilcev učinkov mestne klime, je to še bolj očitno. Značilno je izsuševanje ter zlasti povečanje temperature (ekstremno v poletnem času). Ustvarjajo se tudi vetrovi v smeri enakomernih prometnih tokov. Nad traso predora teh učinkov seveda ni.

Projektiranje predorov je dolgoročno (tudi sto let vnaprej), ekonomska merila pa ne vsebujejo kazalnikov, ki bi kvalitativne prednosti predorov vrednotile tako daleč v prihodnost in se

osredotočajo predvsem na stroškovno plat⁶³. Razvoj mest v prihodnosti je sicer nejasen, jasno pa je, da predori predstavljajo del infrastrukture, brez katere je nezmožnost razvoja očitna.

Hipotezo, da je gradnja cestnih predorov kljub ekonomski neupravičenosti po uveljavljenih kriterijih, lahko upravičena zaradi kvalitativnih učinkov, ki so težko merljivi ali sploh nemerljivi, potrdim.

4. Predora Šentvid v Ljubljani in Mrazovka v Pragi sta z gradbenega in prometno-tehničnega vidika podobna.

Predorov po definiciji ni mogoče primerjati, možna je le primerjava posameznih elementov. Glede tega ugotavljam, da je veliko elementov, po katerih sta si predora Šentvid in Mrazovka zelo podobna. Na to nenazadnje nakazuje že dejstvo, da je skupina slovenskih inženirjev z DARS-a in DDC-ja v času odločanja glede Šentviškega predora obiskalo Prago, kjer so jim češki kolegi razkazali projekt Mrazovke, ki je bil v tistem času že v polnem teku (predan prometu v l. 2004).

Dejstvo je, da gre v obeh primerih za enosmerna dvocevna predora na hitri cesti. Oba predora sta dolga dober kilometer, od katerega v enem delu promet poteka po dveh, v drugem pa po treh voznih pasovih v vsaki cevi. Glavna značilnost, ki ju družijo, je viličenje v dveh kavernah, kjer se priključna oz. izvozna rampa loči od glavne predorske cevi. Tu se tudi spremeni število voznih pasov, saj bi bilo z vidika prometne varnosti neprimerno, da bi se morala vozila na vozni pas dokončno vključiti še v predoru, zaradi česar je vključevalni pas pri obeh predorih podaljšan do konca predora. Enako velja tudi za izvoz v predoru. Enaka je tudi orientacija vstopnih in izstopnih portalov, ki imata usmeritev sever-jug, nekoliko drugačna je le umestitev portalov uvozne in izvozne rampe, saj so potrebe zaradi specifik mikrolokacije drugačne. V šentviškem primeru je potreba po napajanju in razbremenjevanju predora na severni, pri Mrazovki pa na jugovzhodnem delu.

⁶³ Problem ekonomičnosti je v dejstvu, da se to računa za plansko dobo 20 let, pri predoru pa to zagotovo ustrežno, saj bi se morale tudi koristi seštevati za obdobje daljše od 20 let. Predor je torej kot dolgoročna investicija lahko tudi ekonomsko upravičen, če se pri vrednotenju upošteva realna doba trajanja in posredne koristi, ki jih danes sploh (še) ne upoštevajo pri teh izračunih.

V isto kategorijo spadajo tudi metode in tehnike izkopa predorskih cevi. Izbira metode gradnje je odvisna predvsem od geometrijskih zahtev (dolžine in prečnega profila predora, višine nadkritja in oblike površja), geoloških in geotehničnih razmer na širšem območju načrtovane gradnje, načrtovane rabe prostora nad predorom ali že izrabljenega prostora, povezanega z občutljivostjo morebitnih objektov za deformacije, ki bi nastale med gradnjo predora (t.i. settlement), rezultatov ekonomske presoje gradnje in presoje tveganja gradnje ter drugih okoliščin (na primer občutljivost za miniranje, hrup). Oba predora sta bila zato grajena delno po NATM (rudarski del), delno pa po cut and cover metodi (nerudarski del), pred pričetkom pa je bil v obeh primerih tudi izveden raziskovalni rov, ki je kasneje postal del posameznega predorskega sistema. Geološka sestava hribine je v obeh primerih paleozojske starosti (Šentvid – perm, karbon; Mrazovka – ordovicij), skladi pa so ponekod tektonizirani in večkrat pretrti.

Glavne razlike med predoroma se kažejo v vertikalnem in (delno) horizontalnem poteku nivelete glavnih predorskih cevi, saj je Šentviški predor z vidika predorogradnje klasičen (najnižjo točko predora predstavlja eden izmed portalov), predor Mrazovka pa je poseben, saj niveleta vertikalno poteka v konkavni zaokrožitvi med dvema tangentama z nasprotnim predznakom nagiba, kar pomeni, da je najnižja točka na trasi v samem predoru. To je sicer značilno za depresijske predore, pri Mrazovki pa gre za specifikko zaradi konfiguracijo terena nad traso. Ta ima obliko dveh gričev z vmesnim sedlom, ki je poleg vsega še urbanizirano, in potrebo po vzponu v smeri severa zaradi navezave na predor Smichov, katerega južni portal leži višje od kote severnega portala Mrazovke. To dejstvo vodi tudi v ekstremen največji vzdolžni nagib glavne cevi, ki pred severnim portalom znaša celo 4,5 %, kar je za to kategorijo ceste izjemno veliko (največji vzdolžni nagib v predoru Šentvid je 2,2 %). Horizontalno poteka niveleta v predoru Šentvid v premi in v loku z min. radijem 1500 m, v Mrazovki pa v loku z min. radijem 400 m (tropasovni predor), v premi in v loku z min. radijem 195 m (dvopasovni predor).

Predori že po definiciji niso primerljivi med seboj. Vsak ima edinstvene samosvoje značilnosti, ki so povezane z geološkimi in geomehanskimi karakteristikami hribine. Razlikujejo se po dolžini, prerezih, višini nadkritja, obliki, metodah gradnje in glede na

zahteve lokalne zakonodaje. Zaradi naštetega je možno primerjati le posamezne elemente, splošna primerjava med različnimi predori pa ni možna.

5. Vplivi izgradnje obeh predorov na urbani razvoj Ljubljane in Prage v času gradnje in obratovanja niso primerljivi.

Med urbani vplivi so posebno pomembni dolgoročni vplivi v območjih nastajajočih križišč, vozlišč in priključkov. Polni priključek Šentvid in vozlišče predor Mrazovka-Plzenska cesta-predor Strahov sicer lahko uvrstimo v to kategorijo, vendar so razlike zaradi specifične umestitev obeh objektov v prostor očitne.

Predor Šentvid je umeščen v urbanizirano okolje le na svojem severnem delu, v Pržanu pa se nadaljuje v odprto traso skozi suburbanizirano območje s pomembnim deležem kmetijskih površin. Predor Mrazovka predstavlja bistveno drugačen primer, saj je trasa v celoti umeščena v razvito urbanizirano območje širšega središča Prage. **Zaradi razlike v velikosti obeh metropol in mikrolokacije objektov ima predor Mrazovka, merjeno v širini območja, ki ga servisira in razbremenjuje, precej večji vpliv na urbani razvoj Prage, kot ga ima predor Šentvid na razvoj Ljubljane.** Primerjava vplivov pokaže:

1. da bo na fizični razvoj Ljubljane predor Šentvid vplival lokalno (območje neposredno ob severnem portalu in vzdolž Celovške ceste proti severu). Zaradi odlične prometne povezanosti, ki jo omogoča tudi predor Mrazovka (v okviru sistema) ima okrožje Smichov priložnost, da postane z nadaljnim vlaganjem v razvoj degradiranih predelov eden vodilnih poslovno-komercialnih predelov milijonske Prage z visokim potencialom za nadaljni razvoj turistične dejavnosti;
2. da oba objekta ugodno vplivata na kakovost bivalnega okolja, vendar so pozitivni učinki predora Šentvid omejeni na severozahodni ljubljanski krak (ob Celovski cesti). Zaradi suburbaniziranega prostora na južni strani predora pa se bodo tam bivalne razmere po odprtju predora poslabšale. Ob odprtju predora Mrazovka so se izboljšale bivalne razmere na območju celotne trase (in širše v smeri severa), razen ožjega območja med predoroma Mrazovka in Strahov (ki je v naravi predvsem prometna infrastruktura), po dokončanju severozahodnega dela CCR pa se bo

zaradi preusmeritve tranzitnega prometa bistveno izboljšale razmere tudi v središču Prage. Pozitivni vplivi so torej metropolitanski;

3. da potencial za rekreacijo in turizem ostaja v obeh primerih ugoden. Bližina ceste visokega ranga omogoča lažji dostop, s čimer se potencial lažje izkorišča;
4. da sta oba objekta nujen sestavni del cestnih povezav, ki omogočajo boljšo povezanost in prometno razbremenitev mesta. Predor Šentvid razbremeni severozahodni del Ljubljane, Mrazovka pa okrožje Smichov in nekatera sosednja območja. Celotni razbremenilni potencial bo izkoriščen ob dokončanju celotnega CCR;
5. vpliva na prehodnost nad traso predora ni. Prehodnost je, razen na območju prehoda v odprto traso, pri obeh predorih taka kot pred gradnjo.

Zaradi gostejše pozidave na območju portalov so bili tudi vplivi na urbano okolje v Pragi večji in intenzivnejši kot v Ljubljani. Bistveno težavo je povzročala tudi poselitev nad traso predora Mrazovka, ki je v primeru šentviškega predora ni. Večje težave so povzročali še odvozi izkopanega materiala na dislocirano deponijo, pomanjkanje gradbišnega prostora, dolgotrajnejše zapore Radlicke ceste, itd.

6. *Oba predora bosta bistveno pripomogla k izboljšanju cestnoprometnih razmer na širšem mestnem območju.*

Zadržek pri hipotezi predstavlja dejstvo, da več cest vodi v še več prometa, vendar namen naloge ni polemizirati glede ustreznosti širjenja cestnega prometa v mestih oz. uvajanje njegovih racionalnejših nadomestkov (na primer hitre železnice).

Predor Šentvid bo del daljinske avtoceste A2, ki se bo navezoval na zahodno ljubljansko avtocesto, s čimer bo nase navezal predvsem tranzitni promet iz/v smeri Gorenjske, Avstrije in Zahodne Evrope, preusmeril pa bo tudi dnevne migracijske tokove proti središču Ljubljane in sezonske migracijske tokove (poleti) s Celovške, pa tudi njej vzporednih cest. Pot po Celovski cesti dnevno prevozi 60.000 vozil dnevno, jih vodi preko več deset semaforiziranih križišč, mimo najbolj naseljenih ljubljanskih sosesk do odcepa na krožno obvoznico, ki je sicer namenjena razbremenjevanju mestnega prometa. Gre torej za izrivanja mestnega

prometa s strani tranzita, ki ga čuti celotno mesto, saj večkrat letno prometno popolnoma ohromi. Po zadnjih prometno tehničnih študijah, ki upoštevajo realne kazalce povečanja dnevne kvote vozil na Celovški vpadnici, kaže, da bo v prihodnje ta prometna žila zadostovala le še za potrebe prebivalcev, ki živijo neposredno ob njej, zaradi česar je izgradnja predora Šentvid nujna, saj bo preprečila stalno infarktno stanje, ki smo mu občasno že priča. Bistveno je poudariti, da je ključnega pomena izvedba polnega priključka, saj sevečji del dnevnih migrantov pripelje iz smeri Medvod, pa tudi Broda, po realizaciji nekaterih velikih stanovanjskih projektov na tem območju, pa bo migrantov še več. Polni priključek v primerjavi s polovičnim v vseh obdobjih prinaša prometne prihranke, največ v obdobju od leta 2016 do 2027. Prometno vrednotenje (cv: Pulko, 2004) kaže, da bi polni priključek že danes v predor na primer ob jutranji konici pritegnil 40 % več prometa.

Praga po drugi strani postaja moderna metropola, katere vitalni del predstavlja vzdržen sistem cestnega transporta. Izgradnja CCR, predvsem njegovega SZ dela bo omogočila povezavo v smeri sever-jug, ki bo temeljila na popolni prepovedi tranzitnega prometa skozi historično mestno jedro.

Dokazano pa ima izvedba predora Mrazovka že pred dokončanjem celotnega ringa ugodne učinke na lokalno zmanjšanje količine prometa. Meritve obremenjenosti cest na širšem območju iz leta 2004 kažejo nekatere bistvene spremembe tokov prometa po odprtju predora. Dva meseca po tem, ko je skozi Mrazovko stekel promet, je skozenj peljalo povprečno 31.900 vozil (ob delovnikih med 6:00 in 22:00 uro), s čimer se predor prišteva med srednje obremenjene prometnice v Pragi. Delež osebnih vozil znaša 95 %, 5 % pa predstavljajo avtobusi in tovorna vozila, med katerimi prevladujejo lahka tovorna vozila s skupno težo do 6 ton (cca. 70 %). Predor je v prvi vrsti prevzel del prometa v Smichovu, predvsem na povezavah, ki potekajo v smeri sever-jug. Količina zmanjšanega prometa na teh povezavah ustreza več kot polovici prometa skozi Mrazovko, preostali delež pa predstavlja promet z bolj oddaljenih območij.

Zaradi prenosa tranzitnih prometnih obremenitev z lokalne cestnoprometne mreže na CCR se je zmanjšala tudi možnost kolizije z drugimi vrstami prometa, predvsem z javnim prevozom

(avtobusi in tramvaji na odsekih, kjer si delijo vozno površino z drugimi motornimi vozili), s čimer se je povečala njihova pretočnost.

Predora Šentvid in Mrazovka sta ključnega pomena za normalizacijo cestnoprometnih razmer v Ljubljani in Pragi. Odsek Šentvid-Koseze s predorom Šentvid in polnim priključkom bo izboljšal razmere v celotnem severozahodnem delu Ljubljane, predvsem pa Celovško cesto z vzporednicami in severno Ljubljansko obvoznico, medtem ko bo Mrazovka po dokončanju CCR nosila breme celotnega tranzita v smeri sever-jug, s čimer se bodo izboljšale cestnoprometne razmere v širšem središču milijonske Prage.

Oba predora bosta bistveno pripomogla k izboljšanju cestnoprometnih razmer na širšem mestnem območju, pri čemer bo predor Šentvid razbremenil predvsem severozahodni krak Ljubljane, Mrazovka pa do dokončanja CCR razbremenuje predvsem cestno omrežje na Smichovski strani Vltave, glavino bremena pa bo prevzela šele ob dokončanju celotnega ringa, oziroma vsaj njegovega severozahodnega kraka, ko bo prevzela tranzitni promet v smeri sever-jug, ki sedaj poteka skozi mestno središče.

12 SKLEP

Ugotavljam, da podzemni prostor ob vse večjem pomanjkanju prostora v mestih odpira nove možnosti in postaja razvojni potencial prihodnjega razvoja mest. Glavna prepreka še hitrejšemu razvoju izgradnje cestnih predorov pa je ekonomski dejavnik, saj je izgradnja predora vsaj v današnjem času še vedno bistveno dražja od ceste v odprti trasi. Premalo se, predvsem zaradi želje po vsesplošnem kvantificiranju, upošteva prednosti izvedbe predorov zaradi izboljšane okolja v življenski dobi objekta, ki hkrati omogoča primerjalno varnejši promet. Na podlagi proučevanja predorov Šentvid in Mrazovka lahko temeljne primerjalne prednosti predorov strnem v naslednje točke:

- **manjši vplivi na okolje** (manjše onesnaženje zraka, tal in podtalnice, nižja raven hrupa in vibracij, ohranjanje lokalnih biotopov in prehodnosti za divje živali, omejeni vplivi na mikroklimo, itd.);
- **ugodni vplivi na razvoj urbanega okolja** (bistveno višja kakovost bivalnega okolja, prometna razbremenitev, neprimerljivo boljše prehodnost območja, več prostih površin za druge rabe, boljše razmere za rekreacijo in turizem, itd.);
- **drugi kvalitativni učinki** (primerjalno večja prometna varnost, boljši zdravstveni parametri med okoliškim prebivalstvom, višje cene mestnih zemljišč, višja kakovost gibanja, ohranitev prostorskih kvalitet, itd.).

Cestni predori torej zagotavljajo primerjalno bolj varen, ekološko neoporečen in tekoč promet v okviru masovnih tranzitnih sistemov, saj se tranzitni promet preseli pod površje, zaradi česar se vzdolž trase izboljša kakovost bivanja. Zmanjša se hrup in izboljša kakovost zraka, hkrati pa je omogočena tudi uporaba prostora na površju v javno korist (uredi se na primer trge, parke, bulvarje).

Kljub vsem svojim pozitivnim stranem je potrebno naglasiti, da predstavljajo cestni predori za slehernega voznika tudi oviro, ki temelji tako na psiholoških kot fizioloških reakcijah. Vožnja skozi predor zahteva od voznika močno koncentracijo, saj se mora njegovo oko navaditi na temnejši prostor v zelo kratkem času. Tudi zaradi velikega števila ljudi, ki imajo

prirojen odpor do podzemnih prostorov, mora biti psihološki dejavnik pomemben kriterij pri iskanju tehničnih rešitev zanje.

Menim, da predstavlja gradnja predorov brez upoštevanja ekonomskega vidika v mestih brez dvoma boljše alternativo odprti trasi, saj prinaša bistvene prednosti v varovanju okolja, boljše življenske razmere, vodenje prometa v predoru pa je tudi bolj varno. Z razvojem metod in tehnik izkopa, vedno večjo okoljsko ozaveščenostjo ljudi, zahtevo po visoki kakovosti bivanja in zaradi vedno večjega pomanjkanja prostih površin v mestih bo gotovo tudi ekonomski vidik tudi v prihodnje izgubljal na pomenu.

13 POVZETEK

Podzemni prostor ob vse večjem pomanjkanju prostora v mestih odpira nove možnosti in postaja razvojni potencial prihodnjega razvoja mest. Tehnološki napredek in aktivne vladne politike, naklonjene trajnostnemu prostorskemu razvoju, bodo predstavljali osnovo za stimuliranje podzemne gradnje, ki bo zaradi večanja osveščenosti glede varnosti, bivalnih razmer in varovanja okolja, povečanega pritiska na preostale proste površine, ter ob nadaljevanju rasti mobilnosti in zdrave gospodarske rasti, v prihodnosti zagotovo strmo rasla. Velik potencial zaradi velike širine, ki jo zavzemajo, ima tudi cestna infrastruktura, natančneje cestni predori.

Glavna prepreka še hitrejšemu razvoju izgradnje cestnih predorov je ekonomski dejavnik, saj je predor zaradi višjih začetnih stroškov v primerjavi z odprto traso na nek način kaznovan. Po definiciji je namreč izgradnja predora precej dražja (razmerje odprta trasa : pokriti vkop je povprečno 1:2, razmerje odprta trasa : »rudarski« predor pa povprečno 1:3). Premalo se, predvsem zaradi želje po vsesplošnem kvantificiranju, upošteva prednosti predorov zaradi izboljšane okolja v življenski dobi objekta, ki hkrati omogoča primerjalno varnejši promet. Zaradi dokončnosti, ki je značilna za vse predore, je velikega pomena tudi dejstvo, da je za razliko od cest na površju, predore težko širiti, oziroma to terjaja izredno velike stroške.

Na odločitev o umestitvi cestnega predora v urbaniziranem prostoru navadno vplivajo drugačni razlogi kot za tiste v neposeljenih območjih. Poleg pomanjkanja prostora se tu prepletajo še stremenje po funkcionalni zaokoroženosti, čistem okolju, visoki ravni bivanja, prehodnosti, itn. Stimuliranje izgradnje prometnic v predorih je torej močno povezano z družbenim vrednotenjem nadzemnih tras z vidika okoljske degradacije, saj večine prednosti, ki jih prinaša podzemna možnost v primerjavi z nadzemno, ni mogoče denarno ovrednotiti. Primerjava stroškov med omenjenima možnostima bi morala poleg dobro definiranih stroškov obratovanja skozi življensko dobo objekta, upoštevati tudi različne prednosti, ki jih nudi podzemna alternativa - predvsem glede varovanja okolja. Cestni predori zagotavljajo primerjalno bolj varen, ekološko neoporečen in tekoč promet v okviru masovnih tranzitnih sistemov, saj se tranzitni promet preseli pod površje, zaradi česar se vzdolž trase izboljša

kakovost bivanja, saj se zmanjša hrup in izboljša kakovost zraka, hkrati pa je omogočena tudi uporaba prostora na površju za druge namene (trgi, parki, itd.).

Kot posledica različnih geografskih in drugih dejavnikov ter različnega zgodovinskega razvoja mest, ki so vplivali na umeščanje cestnih predorov v urbani prostor, se je tako izoblikovalo več tipov mestnih predorov (*po celotni trasi, orografski, v soteski, v ožini med mestom in obalo, s povezavo več dolin ali obalnih ravníc, s povezavo pod reko, s prekritjem depresije v reliefu mesta in radikalni kombinirani tip*).

Kljub vsem svojim pozitivnim stranem cestni predori predstavljajo za slehernega voznika oviro, ki temelji predvsem na psiholoških, pa tudi na fizioloških reakcijah. Izjemno hiter prehod iz »naravnih razmer« odprte trase v »nenaravne razmere« predora zahteva od voznika močno koncentracijo, saj se mora njegovo oko navaditi na temnejši prostor v zelo kratkem času. Tudi zaradi velikega števila ljudi, ki imajo zaradi prirojenega odpora do podzemnih prostorov zaradi zgodovinsko pogojenega psihološkega razvoja človeka, strah pred tovrstnimi prostori, mora biti psihološki dejavnik pomemben kriterij pri iskanju tehničnih rešitev zanje.

Tudi za cestni predor je kot za vsako cesto značilno, da ima kot antropogen tujek določene vplive na prostor. Zaradi infrastrukturne vloge, za katero je značilna uporaba za promet, so ti vplivi večplastni. Vplivi ceste v predoru na okolje prizadenejo prvine elementov naravnega okolja, vplivi prometa skozi predor so odvisni od količine in hitrosti odvijanja prometa, vplivi predora in prometa skozi predor na urbani razvoj ter poselitev pa zadevajo tiste učinke, ki pozitivno ali negativno vplivajo na elemente urbane strukture. Njihove prostorske razsežnosti so lahko mikrolokalne, lokalne, regionalne ali nadregionalne (metropolitanske).

Proučevanje dveh po gradbenih in prometno-tehničnih lastnostih podobnih predorov (dolžina glavnih predorskih cevi je pri obeh nekaj čez 1000 m, sta enosmerna, dvocevna z izvozno in uvozno kaverno), Šentvida v Ljubljani in Mrazovke v Pragi, je pokazalo, da mikrolokacija umestitve in širši urbani okvir bistveno učinkujeta na razlike v velikosti območja vpliva posameznega predora na urbane prvine. Vrste učinkov so sicer podobne, vendar pa je predvsem pri vplivu na kakovost bivalnega okolja in prometno obremenitev mesta očitno, da segajo ugodni vplivi predora Mrazovka bistveno dlje, kot v primeru predora Šentvid. Razlog

za to je moč najti v dejstvu, da je predor Mrazovka umeščen v popolnoma urbaniziran prostor, predor Šentvid pa zgolj »prereže« enega izmed krakov Ljubljane, trasa ceste pa se v obeh smereh nadaljuje v slabo urbaniziran oziroma podeželski prostor. Hkrati je predor Šentvid del daljinske AC, predor Mrazovka pa je del krožne napajalne ceste visokega ranga, ki bo skupaj s širšim avtocestnim obročem in radialnimi povezavami v prihodnosti v celoti servisiral mesto. Pomembno je tudi pripomniti, da je Praga milijonsko mesto, celotna Ljubljanska urbana regija pa dosega komaj pol milijona prebivalcev.

Tudi glede vplivov na elemente naravnega okolja so zaradi istih razlogov ugodni vplivi preusmeritve prometa v predor Mrazovka bistveno bolj daljnosežni. Hrup, emisije strupenih plinov, onesnaževanje okolice, itd. so se v obeh primerih zmanjšali, vendar bo v Pragi po dokončanju CCR izboljšanje razmer doseglo celotno mesto, v primeru šentviškega predora pa se bodo bistveno izboljšale razmere le na severozahodu Ljubljane.

Ne glede na to, da je vpliv različnih predorov odvisen od njihove mikrolokacije in širšega urbanega okvirja, sklepam, da predstavlja gradnja predorov brez upoštevanja ekonomskega vidika v mestih vedno boljšo alternativo odprti trasi, saj prinaša bistvene prednosti v varovanju okolja in posledično višjo kakovost bivanja. Premestitev glavnih mestnih tranzitnih žil v podzemlje ponekod že postaja nujnost. Z razvojem metod in tehnik, vedno večjo okoljsko ozaveščenostjo ljudi, zahtevo po visoki kakovosti bivanja in zaradi vedno večjega pomanjkanja prostih površin v mestih bo sčasoma tudi ekonomski vidik izgubljal na pomenu.

14 SUMMARY

As the surface space in cities is becoming more and more scarce, the underground offers new possibilities and is becoming becomes the key future development potential of the urban areas. Technological advancement and active sustainable spatial development government policies will form the basis for motivated underground construction. It will without doubt grow rapidly in the future due to heightened awareness concerning safety, living conditions and environment preservation combined with growing pressure on remaining undeveloped land, increasing mobility and stable economic growth. Road infrastructure and more specifically road tunnels represents another great potential because of large width it occupies.

Economic factors remain the main obstacle to faster development of road tunnel construction. Higher initial costs of tunnel construction when compared to open routes often result in decision for the latter. On average, cut and cover tunnel construction costs exceed open route construction costs by factor 2 and in the case of a mined tunnel by factor 3. Advantages, such as environment preservation and traffic safety are rarely taken into consideration as they are difficult to quantify. In addition, great role is attributed to the fact, that tunnel construction is final and, compared to surface roads, widening is extremely difficult and expensive.

Road tunnel placement in urban areas is usually subjected to different considerations than in uninhabited areas – lack of space is being intertwined with strive for functional wholeness, clean environment, higher quality of life, throughput, etc. Encouraging underground traffic routes is therefore strongly related to social valuation of surface routes in perspective of environmental degradation as most of the underground road construction advantages cannot be expressed as monetary value. Cost analysis of the two options should include all advantages in addition to already well defined life span costs, particularly those related to preservation of environment. In comparison, road tunnels provide for safer, environmentally friendlier and smoother traffic along main transit systems as transit is being relocated underground resulting in better living conditions, substantial noise reduction and higher air quality along surface roads. Simultaneously, use of surface areas becomes available for other purposes, such as squares, parks, etc.

Resulting from historical city development, as well as different geographical and other contributing factors, several city road tunnel types have been identified (full alignment, orographic, in canyon, between city and shore, connecting several valleys or coastal plateaus, under river bed, covered depressions in urban relief, radical combined type).

Despite all their positive properties, road tunnels represent an obstacle for drivers due to human psychological and physiological reactions. Increased drivers' attentiveness is necessary because of extreme and fast transition between "natural circumstances" on the open route and "unnatural circumstances" within a tunnel as their eyes strain to adapt to darker environment in very short time. In addition, the human inborn discomfort in confined and subterranean spaces upgraded with historically conditioned psychological development should be considered a decisive criterion when searching for technical solutions.

Due to their anthropogenic origin, road tunnels, as any road, produce certain spatial impacts. Because of their infrastructural role characterised by traffic these impacts are multi-layered. While tunnelled roads affect elementary components of physical environment, traffic impacts are dependent on traffic volumes and velocity. Tunnel and traffic induced impacts on urban development and settlement are being reflected as positive or negative influences urban structure elements. Their spatial dimensions can range from micro-localized, localized, regional, and to metropolitan.

A closer analysis of the two road tunnels - Šentvid in Ljubljana and Mrazovka in Prague, which are similar in terms of their construction and traffic related technical characteristics (both main tunnel tubes exceed 1 kilometer in length; both tunnels are one-way, double tube, with on-ramp and exit ramp cavern, etc.) has shown, that their micro placement within the broader urban context correlates with the size of affected urban area. Although their influences are similar, it is obvious, that effects on quality of life and traffic loads are by far more favourable in the case of Mrazovka when compared with Šentvid. Size and urbanisation stage seem to play the key role; while Mrazovka is placed in highly developed area in broader Prague city centre, Šentvid simply connects Ljubljana's North and West open route branches laid out in predominantly suburban and rural areas on both sides of the tunnel. The Šentvid tunnel is an integral part of the long distance A2 motorway, whereas Mrazovka is an essential

section of the City circle road motorway network that will, in concurrence with City ring road and radial connections, provide a complete service to the metropolis in the future. It is also important to note that population of Prague exceeds one million inhabitants, while the whole Ljubljana urban area is populated by approximately 500.000 inhabitants.

Because of the same reasons, diversion of transit through Mrazovka results in significantly greater positive influences on elements of the natural environment. Noise levels, poisonous gas emissions and surrounding pollution have all decreased; yet, in the case of Mrazovka, the whole metropolis will experience beneficial effects after road network completion, while in the case of Šentvid, they are limited to North-Western part of Ljubljana.

It is my conclusion that, when construction costs abstracted, tunnels always provide a better alternative to open routes in urban areas due to substantial environmental advantages and consequentially improved quality of life, regardless of their influences being dependent on micro location and wider urban setting. Relocating main transit arteries below surface is already necessary in some places. With on-going development of construction methods and techniques, increasing ecological awareness, rising demands for better quality of life and scarcity of available land in urban areas, financial aspects will most certainly become less and less important.

VIRI

- Air Quality Management*. Guidebook. 2006. URL: <http://citeair.rec.org/downloads/Products/AirQualityManagement.pdf> (citirano 17.5.2008)
- Avtocestni odsek ŠENTVID – KOSEZE*. 2007. Ljubljana, DARS, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji: 4 str.
- BAČNAR, D., 2002.** *Simulacija razvoja v prostoru zaradi vpliva graditve avtoceste*. Urbani izziv, 13, 1: 90-94.
- BALOH, B., 2002.** *Miniranje v predorih*. Tehnični informator SCT. Ljubljana, 53: 13-19.
- BARTAK, J., 2007.** *Editorial*. Collection of keynotes. ITA-AITES World tunnel congress 2007, Prague, Czech Republic: 1-2.
- BARTAK, J. (ed.), ŠOUREK, P. (ed.), KARLIČEK, J. (ed.). 2007.** *Underground construction in the Czech Republic*. Prague, SATRA, spol. s.r.o.: 328 str.
- BARTOL, T., 2000.** *Vrste znanstvenih in strokovnih dokumentov / virov*. V: Navodila za oblikovanje pisnih diplomskih in podiplomskih izdelkov na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Ljubljana: str. 1-4.
- Biro Atelje-a. Nove Stanežiče v Ljubljani – natečaj*. URL: <http://www.atelje-a.info> (citirano 10.5.2008)
- BROCH, E., 1999.** *Rock tunnelling*. 1974 – 1999 ITA-AITES 25 years. Lausanne, ITA-AITES: 22-30.
- BUCEK, R., 2003.** *Řešení stabilitních problémů v oblasti severního portálu tunelu Mrázovka*. Tunel, 12, 3: 18-22.
- BUTOVIČ, A., 2004.** *Design and construction of the drilling part of tunnel*. Praga, interno gradivo podjetja SATRA, spol s.r.o.. CD-ROM.
- BUTOVIČ, A., 2008.** *Geološke značilnosti in proces izkopa predora Mrazovka*. Praga. (osebni vir, april 2008)
- Ceste in promet*. Cestarski dnevi 95. 1995. Celje, DARS: 208 str.
- City development plan of Prague 2000, 2005*. Praga, Mestna hiša mesta Praga. CD-ROM.
- DARS, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji*. URL: <http://www.avtoceste.si/> (citirano 7.1.2008)

DIMITROVSKA ANDREWS, K., 2000. *Procesi urbanizacije v Sloveniji in posledice na urbana omrežja.* Urbani izziv 11, 1: 3-13.

DIMITROVSKA ANDREWS, K., MIHELIČ, B., STANIČ, I., 2001. *Razpoznavna struktura mesta: primer Ljubljane.* Urbani izziv, 12, 2: 5-16.

DRSC – prometna obremenitev. URL:

http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Stetje_prometa/ (citirano 5.4.2008)

DVOŘAK, J., ŠOUREK, P., MOSLER, J., 2004. *Definitivní konstrukce automobilového tunel Mrázovka v Praze.* Tunel, 13, 3: 21-26.

DVOŘAK, J., 2006. *Stav přípravy a realizace sítě hlavních komunikací v Praze se zaměřením na tunelové stavby na městském okruhu a radiálách.* Tunel, 15, 3: 37-48.

EISENSTEIN, Z., 1999. *Urban tunnelling challenges & progress.* V: Past, present and future of tunnelling. 1974 – 1999 ITA-AITES 25 years. Lausanne, ITA-AITES: str. 35-38.

EISENSTEIN, Z., 2007. *Tunnels in metropolis.* Collection of keynote lectures. ITA-AITES World tunnel congress 2007, Prague, Czech Republic: 3-12.

EISENSTEIN, Z., 2008. *Urban tunnelling challenges & progress.* URL: <http://www.ita-aites.org/> (citirano 10.2.2008)

FIKFAK, A., 1999. *Spreminjanje vloge mestnega načrta. Urbanistična teorija, arhitekturno projektiranje ali kaj več?* Urbani izziv, 10, 2: 3-16.

FISCHER, H.C., 1999. *Planning and underground space.* V: Past, present and future of tunnelling. 1974 – 1999 ITA-AITES 25 years. Lausanne, ITA-AITES: str. 6-12.

GABERŠČIK, B., 1971. *Oblikovanje prostora avtocest.* Ljubljana, Urbanistični inštitut SR Slovenije: 268 str.

Genius Loci. Škofovi zavodi – natečaj. URL: <http://www.genius-loci.si> (citirano 10.5.2008)

GIRNAU, G., 1999. *Tunnelling: from the viewpoint of clients and operators.* V: 1974 – 1999 ITA-AITES 25 years. Lausanne, ITA-AITES: str. 13-17.

GRUEV, M., JUVANC, A., 2003. *Sodobno načrtovanje cestne infrastrukture.* Urbani izziv, 14, 1: 60-66.

HAACK, A., 1999. *Political and social aspects of present and future tunnelling.* V: Past, present and future of tunnelling. 1974 – 1999 ITA-AITES 25 years. Lausanne, ITA-AITES: str. 44-50.

- HILAR, M., 2003. *NATM support in Prague's weak rock*.** Numerical analysis of NATM support. Tunnels & Tunnelling international. URL: <http://www.tunnels.mottmac.com/>
(citirano 21.2.2008)
- History of tunnells*.** URL: <http://home.no.net/lotsberg/data/old.html> (citirano 22.6.2008)
- IPN MOL – Izvedbeni prostorski načrt Mestne občine Ljubljana - osnutek*.** E-razgrnitev. URL: <http://ipnmol.gis.ljubljana.si/> (citirano 10.5.2008)
- IVANKO, Š., 1996. *Upravni praktikum I: Metodološki seminar*.** Ljubljana, Visoka upravna šola: 170 str.
- JELINEK, P., KLEIN, Z., 2005. *Pokládka výztuže sekundárního ostění tunelů Mrázovka a Panenská*.** Tunel, 14, 3: 20-25.
- JICHA, M., KATOLICKY, J., POSPISIL, J., 2000. *Air Quality in Urban Areas: Traffic Induced Pollutants Concentration and Dispersion*.** A contribution to subproject SATURN. Annual report 2000. URL: <http://aix.meng.auth.gr/saturn/annualrep00/Miroslav.PDF>
- JUVANC, A., ČERNIGOJ, P., ČERTANC, N., DRNULOVC, J., LIPAR, P., MARUŠIČ, I., VODOPIVEC, V., 1990. *Območje izključne in omejene rabe na cestah*.** Ljubljana, Prometnotehniški inštitut FAGG: 71 str.
- JUVANC, A., 2006. *Prečni profil ceste*.** Ljubljana. (študijska literatura, 2006)
- JUVANC, A., 2007. *Projektiranje cest*.** Ljubljana. (študijska literatura, 2007)
- KOTNIK, R., MARKELJ, V., TURK, I., KRISTANIČ, P., PIPENBAHER, M., KOREN, P. 2007. *Pokriti vkopi*.** Tehnični informator SCT. Ljubljana, 69: 11-22.
- LAVRIČ, B., 2004. *Galerija Šentvid*.** Tehnični informator SCT. Ljubljana, 59: 41-46.
- LEMLEY, J., 1999. *Further advancing the »art of the possible«*.** 1974 – 1999 ITA-AITES 25 years. Lausanne, ITA-AITES: 18-21.
- LIKAR, J., VESEL, G., DERVARIČ, E., JEROMEL, G., 2006. *Time dependent processes in rocks*.** RMZ – Materials and Geoenvironment, 53, 3: 285-301.
- MARJETIČ, A., AMBROŽIČ, T., BOGATIN, S., KLOPČIČ, J., LOGAR, J., ŠTIMULAK, A., MAJES, B., 2006. *Geodetske meritve v predoru Šentvid*.** Geodetski vestnik, 50, 1: 11-24.
- MARUŠIČ, J., 1997. *Urejanje obcestne krajine*.** Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Urad RS za prostorsko planiranje: 130 str.
- Mestsky okruh, 2007*.** Praga, SATRA, DVD-ROM.

- MOČILNIKAR, K., 2004.** *Sidranje v predorih*. Tehnični informator SCT. Ljubljana, 60: 15-21.
- MUŠIČ, V.B., 1993.** *Urbanistični vidiki zasnove avtocest v Sloveniji s posebnim ozirom na dokončanje dolenskega kraka in urbanistično krajinska izhodišča za kompleksno projektiranje na območju Novega mesta in Trebnjega*. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Zavod Republike Slovenije za prostorsko planiranje: 30 str.
- MUŠIČ, V.B., 1998.** *Avtoceste so tu*. Urbani izziv, 9, 2: 66-70.
- NORDMARK, A., GODARD, J.P., 1997.** *Tunnelling; A factor in the development of infrastructures*. Tribune, 2: 11.
- PARKER, H.W., 2007.** *Planning and site investigation in tunnelling*. 1^o Congresso Brasileiro de Tuneis e Estruturas Subterraneas. URL: <http://www.ita-ites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/onfPapersExCo/74.PDF> (citirano 30. 12. 2007)
- PELIZZA, S., 1999.** *TBM bored long rock tunnels*. V: Past, present and future of tunnelling. 1974 – 1999 ITA-AITES 25 years. Lausanne, ITA-AITES: str. 39-43.
- PIVEC, L., 2004.** *Vliv otevření tunelu Mrázovkana dopravu v dotčené oblasti říjen 2004*. Praga, Ústav dopravního inženýrství lavního města Prahy: 4 str.
- Planning and mapping of underground space – an overview*. Official report of the international tunnelling association. 2000. Tunnelling and underground space technology, 15, 3: 271-286.
- PLEVNIK, A., 1997.** *Pomen integracije urbanističnega in prometnega načrtovanja*. Urbani izziv, 32,33: 50-59.
- POGAČNIK, A., 1998.** *Osebni avtomobil uresničuje davne sanje človeštva (ali: o pametnih urbanistih in neumnih voznikih osebnih avtomobilov)*. Urbani izziv, 9, 2: 58-59.
- POGAČNIK, A., 1999.** *Urbanistično planiranje: univerzitetni učbenik*. 3. predelana izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 252 str.
- POGAČNIK, A., 2008.** *Proces urbanizacije in promet skozi čas*. Ljubljana (osebni vir, junij 2008)
- POLAK, P., MIKA, V., 2004.** *Stříkaný beton při výstavbě dopravních tunelů*. Tunel, 13, 3: 7-14.
- POPIT, A., 2007.** *Predor Šentvid*. Tehnični informator SCT. Ljubljana, 68: 11-15.

Poročilo o vplivih na okolje za AC odsek Šentvid – Koseze. 2002. Imos Gea, Družba za okoljevarstveni inženiring, svetovanje in projektiranje, d.o.o.: 11 str.

Poročilo o vplivih na okolje za spremembo AC odseka Šentvid – Koseze. Povzetek s sklepno oceno sprejemljivosti. Ljubljana, IMOS GEATEH: 17 str.

POWELL, D., CLAYTON, C., 2007. *SCL tunnelling in stiff clays: recent experience and future needs.* ITA-AITES World tunnel congress 2007, Prague, Czech Republic: 33-50.

Predori, SCT. URL: <http://www.sct.si/> (citirano 20.1.2008).

Prostorska zasnova Mestne občine Ljubljana. 2002. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana.
URL: <http://ppmol.org/urbanizem5/upload/ProstorskaZasnovaMO-koncno-gradivo1.htm>
(citirano 23.9.2007)

PULKO, M., 2004. *Avtocestni priključek v predoru Šentvid na avtocestnem odseku Šentvid – Koseze.* V: Design and maintenance of underground structures. 7th international symposium on tunnel construction and underground structures: 273-281.

REBOLJ, M., 2006. *Sistem za detekcijo požara v predorih.* V: Safety, management and control. 8th international symposium on tunnel construction and underground structures: str. 9-17.

RODEŽ, S., 2007. *Pedor Šentvid – novi izzivi v predorogradnji. Pogovarjali smo se z Michelom Nardinom in Francoisom Vermeillom, partnerjema družbe PMG.* Tehnični informator SCT. Ljubljana, 68: 43-47.

ROZSYPAL, A., ZEMANEK, I., 2003. *Hazardous passage of Mrazovka tunnel under a reinforced concrete structure.* Technology roadmap for rock mechanics, South Africa Institute of mining and metallurgy, 2003: 991-994.

Spremembe in dopolnitve lokacijskega načrta za avtocesto na odseku Šentvid – Koseze (SDLN). Stališča do pripomb in predlogov z javne razgrnitve predloga sprememb in dopolnitev lokacijskega načrta za avtocesto na odseku Šentvid – Koseze, okoljskega poročila in osnutka okoljevarstvenega soglasja. 2006. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 31 str.

STERLING, R. L., GODARD, J. P., 2000. *Geoengineering considerations in the optimum use of underground space.* ITA-AITES, Lausanne: 18 str.

Strategic plan of the city of Prague. 1999. Praga, Mestna uprava: 107 str. URL: <http://magistrat.praha-mesto.cz/> (citirano 29.1.2008)

Strateški prostorski načrt Mestne občine Ljubljana. Dopolnjen osnutek. 2007. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana: 198 str.

ŠAJTAR, L., 2005. *SAFE-T-FIRST. Tunnel Mrázovka – Tunnel Control Equipment.* Praga, interno gradivo podjetja SATRA, spol s.r.o. CD-ROM.

ŠAJTAR, L., 2008. *Predor Mrazovka – od ideje do realizacije.* Praga. (osebni vir, april 2008)

ŠAJTAR, L., DVOŘÁK, J., 2004. *Studie bezpečnosti provozu tunelových staveb západní části městského okruhu v Praze.* Tunel, 13, 1: 19- 24.

The yearbook of transportation. Prague 2006. 2007. Praga, Institute of transportation engineering of the city of Prague: 68 str.

THEWES, M., 2007. *TBM tunneling challenges – redefining the state of the art.* Collection of keynote lectures. ITA-AITES World tunnel congress 2007, Prague, Czech Republic: 13-21.

Vladni portal z informacijami o življenju v Evropski uniji. URL: <http://evropa.gov.si/schengen/> (citirano 5.1.2008)

WOOD, M., 1987. *The economics of tunnelling: Problems and opportunities.* Tunnelling and underground space technology, 2, 2: 131-135.

ZHAO, J., 2007. *Tunnelling in rocks – present technology and future challenges.* Collection of keynote lectures. ITA-AITES World tunnel congress 2007, Prague, Czech Republic: 22-32.

ŽIGON, A., ŽIBERT, M., JEMEC, P., 2004. *Projektiranje predorskega sistema Šentvid.* V: Design and maintenance of underground structures. 7th international symposium on tunnel construction and underground structures: 125-147.

ŽMAVC, J., 2005. *Projektiranje cest. Voziščne konstrukcije; Prometne obremenitve; Določitev in razvrstitev:* Smernice za projektiranje. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring, Družba za svetovanje in inženiring, d.o.o.: 17 str.

Zakonodajni viri

PRAVILNIK o projektiranju cest. UL RS št. 91/2005: 9303-9318.

UREDBA o merilih za kategorizacijo javnih cest. UL RS št. 49/1997: 4215-4219.

UREDBA o lokacijskem načrtu za avtocesto na odseku Šentvid–Koseze. UL RS št. 72/2002: 7973-7994.

UREDBA o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje cestnih predorov v Republiki Sloveniji. UL RS št. 48/2006: 5189-5225.

UREDBA o spremembah in dopolnitvah Uredbe o lokacijskem načrtu za avtocesto na odseku Šentvid–Koseze. UL RS št. 70/2007: 10024-10032.

ZAKON o ohranjanju narave /ZON-UPB2/. UL RS št. 96/2004: 11541-11566.

ZAKON o javnih cestah /ZJC-UPB-1/. UL RS št. 33/2006: 3497-3515.

ZAKON o prostorskem načrtovanju /ZPNačrt/. UL RS št. 33/2007: 4585-4602.

ZAKON o urejanju prostora /ZureP-1/. UL RS št. 110/2002: 13057-13084.

ZAKON o varstvu okolja /ZVO-1/. UL RS št. 41/2004: 4818-4853.