



With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs



INTERAKTIVNO OCENJEVANJE TVEGANJ NA PODROČJU KRITIČNE INFRASTRUKTURE Z UPORABO INTEGRIRANEGA GEOGRAFSKO INFORMACIJSKEGA SISTEMA - RISKGIS

INTERACTIVE RISK ASSESMENT IN THE FIELD OF CRITICAL INFRASTRUCTURE BASED ON INTEGRATED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM - RISKGIS

KONČNO POROČILO - OSNUTEK

FINAL REPORT - DRAFT

Izdelovalec / Organization



Datum / Date:

November 2013 / *November 2013*



With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs



Projekt / Project:

**INTERAKTIVNO OCENJEVANJE TVEGANJ NA PODROČJU KRITIČNE
INFRASTRUKTURE Z UPORABO INTEGRIRANEGA GEOGRAFSKO
INFORMACIJSKEGA SISTEMA - RISKGIS**

**INTERACTIVE RISK ASSESMENT IN THE FIELD OF CRITICAL
INFRASTRUCTURE BASED ON INTEGRATED GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM - RISKGIS**

Faza projekta / Project phase:

Končno poročilo

Final Report

Naslov naloge / Title of task:

KONČNO POROČILO - OSNUTEK

FINAL REPORT - DRAFT

Vodilni izvajalec / Coordinator:



Ljubljanski urbanistični zavod, d.d.
Verovškova ulica 64, Ljubljana

Sodelavci / Co-Beneficiaries:



Univerza v Mariboru
Fakulteta za logistiko
Mariborska 7, Celje

Sodelavci / Co-Beneficiaries:



**EVRO-ATLANTSKI SVET SLOVENIJE
EURO-ATLANTIC COUNCIL OF SLOVENIA**

Evro-Atlantski svet Slovenije
Kardeljeva ploščad 5, Ljubljana

Odgovorni nosilec naloge / Task responsible:

dr. Metka GORIŠEK, univ. dipl. inž. grad.

Direktor / Director:

Tadej Pfajfar, univ. dipl. inž. geod.

Kraj in datum / Place and date:

Ljubljana, November 2013 / *Ljubljana, November 2013*



With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs



Odgovorni nosilec naloge / *Task responsible:*

dr. Metka GORIŠEK

Sodelavci / *Associates:*

Jože LACKO
dr. Iztok PREZELJ
Igor LOGAR
Marjan LENARČIČ, LUZ d.d.
Roberto DEGAN, LUZ d.d.
Marko FATUR, LUZ d.d.
Mojca ŠETINA, LUZ d.d.
Špela LOŽAR, LUZ d.d.
Roman PLEŠKO, LUZ d.d.
Alenka PLANINC
Renato GOLOB
dr. Mitja Brilly
Poljanka PAVLETIČ
Marko CORN

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA LOGISTIKO, Celje
EVRO-ATLANTSKI SVET SLOVENIJE, Ljubljana
INŠTITUT ZA PROSTORSKI RAZVOJ d.o.o., Ljubljana
PROJEKTIVNI ATELJE - NG d.o.o., Ljubljana
DFG CONSULTING d.o.o., Ljubljana
GEODETSKI ZAVOD CELJE d.o.o., Ljubljana
AMEBA, Marko Corn s.p., Ljubljana

S sodelovanjem / *In Association with:*

V7 d.o.o., Velike Lašče
COPY d.o.o., Ljubljana
RESEA SKUPINA d.o.o., Ljubljana
CENTIVA d.o.o., Ljubljana



*With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs*



KAZALO

1. UVOD

2. RAČUNALNIŠKI PROGRAM ZA OCENJEVANJE TVEGANJ V ZVEZI Z OBJEKTI KRITIČNE INFRASTRUKTURE

3. IDENTIFIKACIJA RANLJIVIH KRIŽIŠČ IN ZGOŠČENOSTI POMEMBNEJŠE INFRASTRUKTURE NA PODROČJU REPUBLIKE SLOVENIJE

4. SIMULACIJA SOODVISNOSTI KRITIČNE INFRASTRUKTURE



1. UVOD

Projekt RISKGIS je bil namenjen proučitvi problema ocenjevanja tveganj v zvezi s kompleksno, multinivojsko, multisektorsko, soodvisno in mrežno kritično infrastrukturo. Namen projekta je zapolnitev niše na področju aplikacije GIS računalniških orodij na področje medsektorskega ocenjevanja tveganj na področju kritične infrastrukture. S tem projekt tudi omogoča izvajanje bolj celovite politike zaščite kritične infrastrukture.

Obstoječe metode za ocenjevanje tveganj (kritičnosti, ranljivosti in posledic v primeru nedelovanja) so v Evropi številne in izjemno raznolike; zato je otežkočena primerjava med identificirano kritično infrastrukturo po državah. Številni pristopi še vedno ne upoštevajo soodvisnosti pri določanju kritičnosti in tveganj. Soodvisnost je postala eden od ključnih parametrov ocenjevanja tveganj, metodologije na tem področju pa so zopet številne. Poleg tega narašča integracija področja GIS s področjem kritične infrastrukture, kar je priložnost za razvoj računalniških orodij, ki v GIS okolju omogočajo prikazovanje kritične infrastrukture in njihovih povezav, izračunavanje parametrov tveganja in njihovo prikazovanje in izvajanje simulacij. Projekt RISKGIS je tako rezultat integracije treh vedno bolj povezanih področji: ocenjevanje tveganj, kritična infrastruktura in geografski informacijski sistemi (GIS). Predlog za raziskave v tej smeri je bil oblikovan v zaključku projekta Definicija in zaščita kritične infrastrukture v RS, ki je potekal v letih 2006-2009.

Splošni cilj projekta RISKGIS je bil ustvariti in testirati interaktivno analitično in simulacijsko orodje/model za ocenjevanje tveganj in kritičnosti v različnih sektorjih kritične infrastrukture z upoštevanjem medsektorske soodvisnosti in »all-hazards« perspektive (ne glede na vrsto groženj). Konkretni projektni cilji so bili:

1. Oblikovanje integriranega in večslojnega geografskega informacijskega sistema za prioritete sektorje po Direktivi EC o identifikaciji EKI iz leta 2008:
 - promet (cestni, železniški, zračni in pomorski promet),
 - energetika (elektrika, plin, nafta) in
 - IKT (Informacijsko-komunikacijska tehnologija) vezan na promet in energetiko
2. Razvoj računalniške simulacijske arhitekture oziroma orodja za ocenjevanje tveganj in kritičnosti ob upoštevanju medsektorskih soodvisnosti, ki bo zmožno izračunavati določene faktorje soodvisnosti, faktorje tveganja ipd.
3. Testna izvedba ocene tveganja in kritičnosti (z upoštevanjem medsektorske soodvisnosti) na primeru RS, pri čemer se identificira bolj tvegane in kritične objekte od tistih z manjšo stopnjo tveganja, identificira in prikaže ranljiva križišča različnih infrastruktur v državi, vključno z geografsko zgoščenostjo teh križišč (geografske soodvisnosti med infrastrukturami) in izračunava različnih faktorjev.
4. Identifikacija in ocena kritičnih in rizičnih čezmejnih infrastrukturnih povezav.

Projekt se je empirično razdelil na tri dele, ki jih predstavljamo v nadaljevanju. Prvi del je računalniški program za ocenjevanje tveganj na kateremkoli objektu slovenske infrastrukture (vključno linijskem objektu) glede na vpisani scenarij. Drugi del se nanaša na analizo zgoščenosti in križanj infrastrukture na območju RS, medtem ko tretji del predstavlja



poskus oblikovanja simulacijskega sistema izpadov določenih infrastrukturnih objektov in prikazovanja posledic.

2. RAČUNALNIŠKI PROGRAM ZA OCENJEVANJE TVEGANJ V ZVEZI Z OBJEKTI KRITIČNE INFRASTRUKTURE

Ugotavljanje kritične infrastrukture je na ravni EU urejeno z Direktivo Sveta EU v Republik Sloveniji pa z Uredbo o zaščiti evropske kritične infrastrukture, ki velja za energetske in prometni sektor, ki pa se lahko smiselno uporablja tudi za ugotavljanje kritične infrastrukture ostalih sektorjev. V skladu z Uredbo mora kritična infrastruktura ustrezati opredelitvam določenih v definiciji kritične infrastrukture ter medsektorskim in sektorskim merilom oziroma kot je zapisano v predlogu dokumenta »Osnovni in sektorski kriteriji kritičnosti za določanje kritične infrastrukture državnega pomena v Republiki Sloveniji mora izhajati iz definicije kritične infrastrukture državnega pomena v Republiki Sloveniji, kar izhaja tudi iz sklepa Vlade s katerim je ta vsem ministrstvom in vladnim službam naloženo, da pri izvajanju priprav in drugih aktivnosti za zaščito kritične infrastrukture upoštevajo definicijo kritične infrastrukture v Republiki Sloveniji.

Kritična infrastruktura mora ustrezati opredelitvi, kot izhaja iz definicije kritične infrastrukture v Republiki Sloveniji, pri ugotavljanju Evropske kritične infrastrukture pa le v primeru ko bi okvara ali uničenje določene kritične infrastrukture imelo resne posledice vsaj v dveh državah članicah – čezmejni vpliv. V skladu z Uredbo Vlade RS morajo pristojna ministrstva izdelati oceno-analizo tveganj, kar pomeni obravnavo ustreznih scenarijev nevarnosti, da se ocenijo šibke in morebitne posledice okvare ali uničenja kritične infrastrukture.

Ugotavljanje kritičnih objektov in vozlišč v energetske, prometnem in sektorju informacijske in komunikacijske tehnologije temelji na pridobljenih podatkih od pristojnih upravljavcev oziroma lastnikov infrastruktur oziroma od javno dostopnih podatkov. Pri določanju potencialnih objektov kritične infrastrukture smo uporabili navedbe kritičnih objektov v Analizi stanja v zvezi z zaščito kritične infrastrukture na izbranih področjih v RS v okviru raziskovalnega projekta »Definicija in zaščita kritične infrastrukture v Republiki Sloveniji. Pri oblikovanju metodološkega modela za ugotavljanje kritične infrastrukture smo se oprli na dokumente EU, na sprejete dokumente v RS – Uredba o zaščiti evropske kritične infrastrukture ter Osnovni sektorski kriteriji kritičnosti za določanje kritične infrastrukture državnega pomena v Republiki Sloveniji.

Na osnovi pridobljenih podatkov od upravljavcev oziroma lastnikov infrastruktur oziroma od javno dostopnih podatkovnih baz ter ob smiselnem upoštevanju kritičnih objektov identificiranih v okviru raziskovalnega projekta »Definicija in zaščita kritične infrastrukture v Republiki Sloveniji« ter projekta »Varnost cestne infrastrukture: najpomembnejši objekti na slovenskem cestnem omrežju«, Zavod za gradbeništvo Slovenije, so podani predlogi infrastrukturnih objektov, ki tvorijo osnovo energetskega, prometnega sektorja in sektorja informacijske in telekomunikacijske tehnologije.

V sektorju energetike so predlagani objekti za proizvodnjo električne energije moči nas 10 MW, skladiščenje jedrskih snovi, objekti za prenos in distribucijo el. energije v rangi od 35 do 400 KV, nadzorni centri in elektronsko komunikacijske povezave na daljnovidih. V



podsektorju plin prenosni plinovodi nad 16 barov ter distribucijski plinovodi nad 10 barov, objekti na prenosnem omrežju ter plinska skladišča. V podsektorju nafta naftovod, skladišča nafte in naftnih derivatov.

Za v sektorju promet so bili izbrani objekti cestne in železniške infrastrukture tako za Slovenijo kot EU najpomembnejših prometnih smereh (avtocestni križ Republike Slovenije). V okviru objektov na cestah so uvrščeni mostovi, viadukti, nadvozi in podvozi, predori, objekti za zaščito dolžine več kot 50 metrov, na železniških progah pa objekti nad 50 metri dolžine, katerih porušitev bi lahko povzročila večjo materialno škodo, izločeni pa krajši, za katere je možna hitra nadomestitev. Zaradi manjših možnosti vzpostavitve obvoznih poti so med premostitvene objekte na železniškem omrežju vključeni tudi manjši objekti v primerjavi z cestnim omrežjem. Posebej so vključeni informacijski centri za nadzor in vodenja prometa tako na cestnem kot železniškem omrežju. V podsektorju letalski promet letališča ter Luka koper kot edino pristanišče.

V skladu z Uredbo o zaščiti evropske kritične infrastrukture, ki velja za energetske in prometni sektor ter se uporablja tudi za ugotavljanje kritične infrastrukture ostalih sektorjev je izvedena presoja ugotovljenih objektov iz predhodne faze na osnovi opredelitev določenih v definiciji kritične infrastrukture in ob smiselni uporabi osnovnih in sektorskih kriterijev za določanje kritične infrastrukture.

Tabela: ugotavljanje kritične infrastrukture

Zmogljivost infrastruktura	Vpliv nedelovanja določene zmogljivosti - infrastrukture na temeljne družbene funkcije oziroma sisteme z upoštevanjem osnovnih in sektorskih kriterijev			
	<i>Nacionalna varnost</i>	<i>Gospodarstvo</i>	<i>Zdravje</i>	<i>Varnost in zaščita</i>
Energetika – električna energija				
▪ Termoelektrarne				
- Šoštanj		●		
- Trbovlje		●		
- Velenje		●		
- TE-TOL		●		
▪ Jedrska elektrarna		●	O	O
▪ Plinska elektrarna				
▪ Hidroelektrarne				
- Dravske elektrarne		●		
- Savske elektrarne		●		
- Soške elektrarne		●		
▪ Prenos				
- Daljnovodi 400 kV		●		
- Transformatorske postaje 400 kV		●		
▪ Nadzorni centri		●		
▪ Skladišče jedrskih Snovi			O	O



Energetika - nafta				
▪ Prenosno omrežje		●		
▪ Naftno črpalno polje				
▪ Skladišča nafte in derivatov				
- Ortnek	O			
- Srmin		●		
- Zalog		●		
- Rače		●		
- Lendava		●		
Energetika - plin				
▪ Prenosno omrežje	●	●		
▪ Objekti na prenosnem omrežju	●	●		
▪ Plinska skladišča				
- Celje		●		
- Račje selo		●		
- Maribor		●		
- Ljubljana		●		
- Kozina		●		
Promet – cestni				
▪ Državne ceste	●	●		
▪ Premostitveni objekti nad 50 m	●	●		
▪ Nadzorni centri	●	●		
Promet - železniški				
▪ Glavne železniške proge	●	●		
▪ Premostitveni objekti nad 35 m	●	●		
▪ Nadzorni centri	●	●		
Promet - letalski				
▪ Letališča				
- Ljubljana	●	●		
- Maribor				
- Cerklje	O			
- Portorož				
Promet - pristanišča				
▪ Luka Koper	●	●		
ICT- fiksne komunikacije				
▪ Meddržavne kom.	●	●		
▪ Nadzorni centri	●	●		



ICT- mobilne komunika.		●		●
ICT - oddajniki				●
Infrastrukturna križišča	●	●		●

Legenda:

O – zmogljivost oziroma infrastruktura, katere nedelovanje ali uničenje ima za posledico izpolnjevanje osnovnih oziroma sektorskih kriterijev za določitev kritične infrastrukture.

● – zmogljivost oziroma infrastruktura, katere nedelovanje ali uničenje bi pomembno vplivalo oziroma imelo resne posledice na nacionalno varnost, gospodarstvo, zdravje ter varnost in zaščito, kot izhaja iz definicije kritične infrastrukture.

Predlog potencialne kritične infrastrukture obsega tiste infrastrukturne objekte katerih posledice nedelovanja ali uničenja so v skladu z osnovnimi in sektorskimi merili in tudi infrastrukturo, katere nedelovanje ali uničenje bi pomembno vplivalo oziroma imelo resne posledice na nacionalno varnost, gospodarstvo, zdravje ter varnost in zaščito ter ima tudi določen čezmejni vpliv. V predlog potencialne kritične infrastrukture so vključene tudi infrastrukturna presečišča ugotovljene kritične infrastrukture – točke oziroma zgoštevna območja kritičnih infrastrukturnih objektov. Predlagana potencialna kritična infrastruktura je predstavljala osnovo za nadaljnje faze projekta predvsem ocenjevanje njihove kritičnosti, ranljivosti in medsebojne soodvisnosti.

Proces identifikacije in zaščite KI

Za izdelavo ocen kritičnosti, ranljivosti ter soodvisnosti ne obstoji enotna in standardizirana metoda, temveč se uporabljajo mnogokrat zelo različne znanstvene metode in pristopi. Pri oblikovanju metodološkega modela za ocenjevanje kritičnosti, ranljivosti in soodvisnosti kritične infrastrukture smo izhajali tujih in domačih virov oziroma teoretičnih opredelitev in podlag, ki se nanašajo na opredelitev procesa ocenjevanja tveganj in pojmov kritičnost, ranljivost in soodvisnost. Splošna izhodišča temeljijo na dokumentih EU (Green Paper on A European Program for Critical Infrastructure Protection, Direktivi Sveta EU o ugotavljanju in določanju evropske kritične infrastrukture ter o oceni potreb za izboljšanje njene zaščite), dokumentih Republike Slovenije (Uredba o zaščiti evropske kritične infrastrukture, Osnovni in sektorski kriteriji kritičnosti za določanje kritične infrastrukture državnega pomena v Republiki Sloveniji), oblikovanih kriterijev za določitev kritičnosti pri projektu »Definicija in zaščita kritične infrastrukture v RS in raziskavi »Varnost cestne infrastrukture: najpomembnejši objekti na slovenskem cestnem omrežju, ter kriteriji uporabljeni pri različnih analitičnih orodjih za ocenjevanj tveganj (Carver Risk Assessment Tool, RVAmodel – DEMAs model for risk and vulnerability analysis).

Uporabljen pristop upošteva splošna priporočila EU, ustrezno stopnjo primerljivosti s podobnimi raziskavami v Republiki Sloveniji in metodološko primerljivost s podobnimi pristopi za ugotavljanje tveganj kritične infrastrukture, ki so bili razviti v zadnjem obdobju.

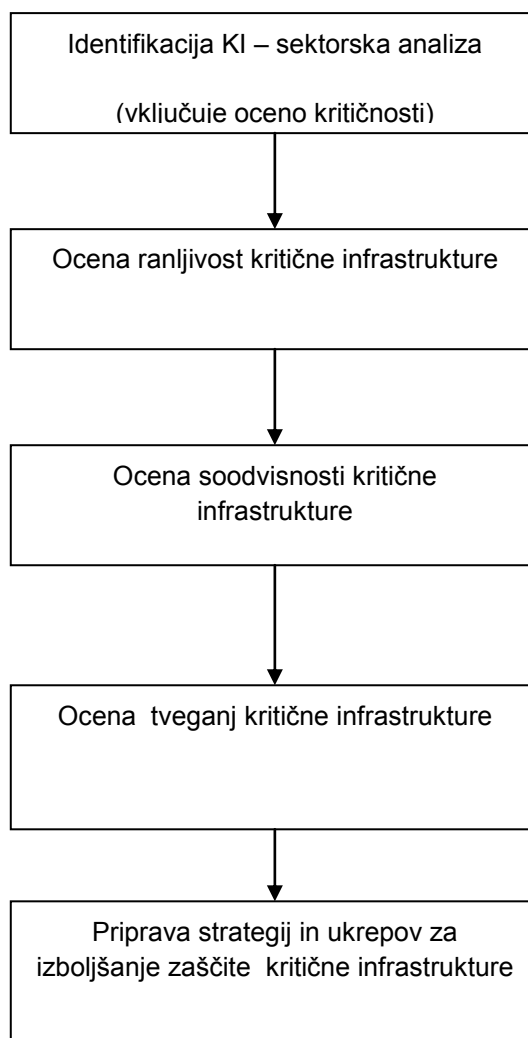
Pri opredeljevanju kritične infrastrukture in določitvi ukrepov za povečanje njene zaščite je nujen pogoj transparenten proces z jasno določenimi fazami in cilji. V splošnem lahko ta proces razdelimo na sledeče faze (Pavlov, Tagerev, 2007):



1. Identifikacija sektorjev, podsektorjev, infrastrukturnih zmogljivosti – objektov in določitve najbolj kritičnih (sektorska analiza). Identifikacija kritične infrastrukture v tej fazi vključuje tudi oceno kritičnosti (učinek na prebivalstvo, ekonomski učinek, učinek na okolje, psihološki in politični vpliv).
2. Ocena ranljivosti kritične infrastrukture v odnosu do groženj, kjer se v največji meri upoštevajo vsi možni dogodki in posledice vpliva uničujočega dogodka. Ranljivost lahko opredelimo kot šibke točke objekta, sistema, procesa. Z oceno ranljivosti je potrebno ugotoviti tiste pomankljivosti in šibkosti, ki bi jih potencialni vir grožnje lahko učinkovito izkoristil.
3. Ocenjevanje soodvisnosti med podsistemi in infrastrukturami. Analiza odnosov med objekti kritične infrastrukture in vplivi ter učinki, ki so posledice te soodvisnosti in so lahko fizične – funkcijske, geografske, komunikacijske in logične in imajo mnogokrat ključen pomen pri oblikovanju zaščitnih strategij in ukrepov.
4. Ocena tveganj je namenjena ugotovitvi realnega stanja ogrožanja in zaščite kritične infrastrukture, in temelji na objektivnih ugotovitvah predhodnih faz in je osnova za identifikacijo nadaljnjih zaščitnih ukrepov (identifikacija dejavnikov in vzrokov, ki omogočajo škodljive posledice z namenom preprečevanja in odpravljanja tveganj).
5. Priprava strategij, ukrepov in zmogljivosti za izboljšanje zaščite kritične infrastrukture



Proces zaščite kritične infrastrukture



Model integralne računalniške arhitekture

Osnovni cilj projekta je izdelava integriranega informacijskega okolja za interaktivno ocenjevanje tveganj ter identifikacijo in analizo soodvisnosti objektov kritične infrastrukture za prometni, energetske in komunikacijske sektorje z oceno mogočih čezmejnih vplivov (slika 1 in 2). Vplivi delovanja na določeno infrastrukturo imajo multiplikativen učinek na horizontalni sektorski kot medsektorski ravni. Osnovna značilnost tega dinamičnega vplivanja ene infrastrukture na drugo oziroma soodvisnosti kritične infrastrukture je predvsem kompleksnost.

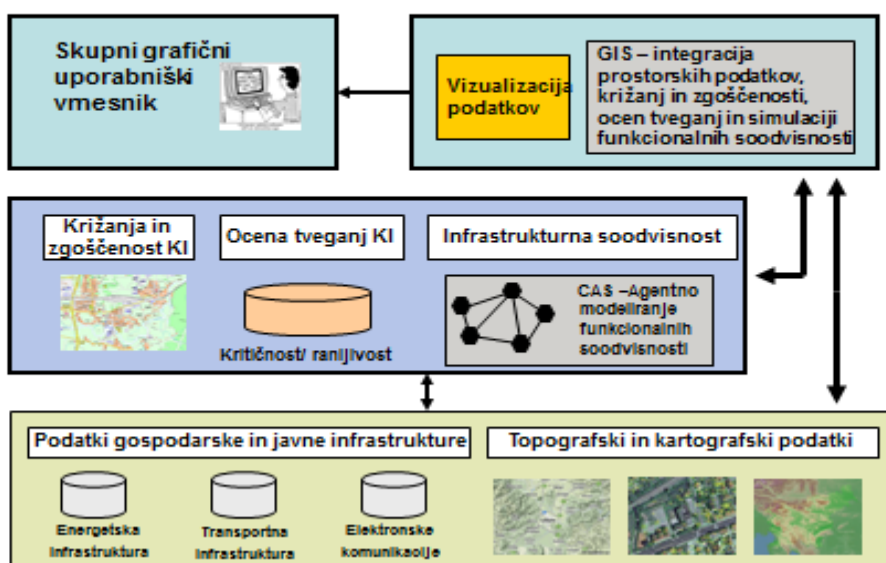


With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs



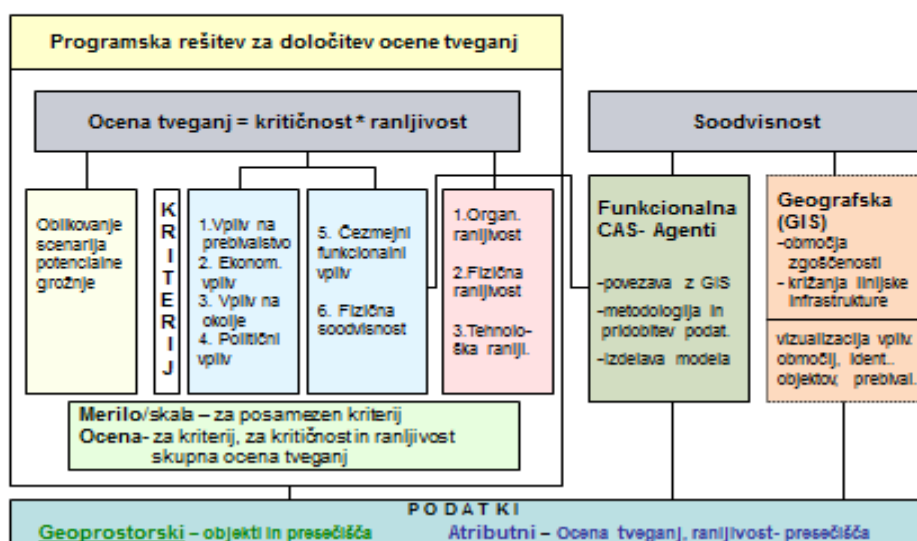
Slika: Skupna računalniška arhitektura RISKGIS projekta

Integralna računalniška arhitektura za interaktivno ocenjevanje tveganj in modeliranje soodvisnosti kritične infrastrukture



Slika: Struktura in procesi projekta

Struktura in proces ocenjevanja tveganj in modeliranja soodvisnosti kritične infrastrukture





Ključno vprašanje projekta se nanaša oceno tveganj in analizo odnosov med objekti kritične infrastrukture in vplivi ter učinki, ki so posledice te soodvisnosti. Kot je bilo že na začetku predstavljeno analitični pristopi ne omogočajo celovitega reševanja problema kompleksnosti infrastrukturne soodvisnosti. Pri analiziranju in modeliranju soodvisnosti kritične infrastrukture je bil uporabljen agentni pristop, ki temelji na interakciji avtonomnih objektov – agentov s specifičnim ravnanjem in je primeren predvsem za določanje fizičnih – funkcionalnih soodvisnosti.

Skupno računalniško okolje združuje osnovne podatke o objektih potencialne kritične infrastrukture v GIS okolju, identifikacijo križišč, relacijsko baza podatkov s programskimi rešitvami za izdelavo ocene tveganj kritične infrastrukture in simulacijsko okolje za modeliranje funkcionalnih soodvisnosti kritične infrastrukture.

Model ocenjevanja tveganj KI

Skupni model ugotavlja stopnje tveganja kritične infrastrukture temelji na rangiranju kritične infrastrukture, glede na kriterije, s katerimi se ugotavlja stopnja tveganja in na tej podlagi načrtovanje ukrepov za izboljšanje njene zašite in varovanja. Osnovni elementi za ocenjevanje so: kritičnost, ranljivost in ocenjevanje učinkov na drugo soodvisno infrastrukturo, ki so opredeljeni s posameznimi kriteriji in merljivimi vrednostmi znotraj kriterijev.

Ocenjevanje tveganj je v najširšem smislu postopek ocenjevanja verjetnosti nastanka tveganj in njihovih posledic. Precej splošno je razširjena opredelitev tveganja: tveganje = nevarnost*ranljivost*posledice, kjer kaže ranljivost obnašanje objekta pod vplivom določene nevarnosti. Na sploh obstaja več različic vrednotenja tveganj, najširše uporabljena različica pa opisuje tveganje kot produkt možnosti (nevarnosti) in ranljivosti. Tudi ta definicija ima lahko različne pomene glede na interesno območje. Če nevarnosti ne smatramo za verjetnost nastopa dogodka, ampak za dogodek sam, tedaj je tveganje verjetnosti nastopa dogodka posledica te nevarnosti. V direktivi o zaščiti evropske kritične infrastrukture je podana definicija ocene tveganj, ki pomeni obravnavo ustreznih scenarijev nevarnosti, da se ocenijo šibke točke (ranljivost) in morebitne posledice (kritičnost) okvare ali uničenja kritične infrastrukture. Na tej osnovi je oblikovan tudi osnovni metodološki model: tveganje = posledica * ranljivost.

Ocenjevanje infrastrukturnih objektov se izvaja na podlagi kriterijev in merljivih vrednosti ob upoštevanje scenarija dogodka katastrofalnega značaja in posledic vpliva, ki ga na objekt ima takšen dogodek.

Oblikovanje scenarijev

Osnova procesa ocenjevanja tveganj kritične infrastrukture predstavlja scenarij nepredvidenega škodnega dogodka. Proces je namenjen pripravi različnih scenarijev glede



na tip oziroma vrsto grožnje. V procesu oblikovanja scenarija se določijo osnovne vsebinske značilnosti in dejstva nepredvidenega dogodka, ki predstavljajo osnovo za neposredno ocenjevanje glede na kriterije in so hkrati pogoj za pridobitev podatkov za nekatere druge ocene..

Poleg osnovnih karakteristik dogodka mora scenarij jasno opredeliti čas nastanka dogodka v odnosu do okolja, delovnih procesov, trajanje dogodka v smislu samega nastanka – nenaden ali traja več časa ter mora poleg splošnih karakteristik dogodka vsebovati tudi jasno opisane posamezne specifičnosti. Opis dogodka mora podati dovolj jasne informacije, ki omogočajo nadaljnji postopek ocenjevanja posledic, ranljivosti in soodvisnosti kritične infrastrukture. S tem procesom se tvori baza mogočih scenarijev.

Kritičnost infrastrukture

Kritičnost infrastrukture lahko merimo s pričakovanim negativnim vplivom, ki ga povzroči nedelovanje ali uničenje določene infrastrukture. Večji kot je vpliv, bolj je kritična infrastruktura. Kritičnost se ugotavlja s sledečimi kriteriji:

- Potencialno število mrtvih ali ranjenih
- Funkcionalni vpliv na končne uporabnike
- Ekonomski vpliv – neposredna škoda na objektu
- Površina funkcionalno neuporabnega okolja
- Politični vpliv
- Vpliv na delovanje javnih služb
- Soodvisnost – vpliv na ostalo infrastrukturo
- Čezmejni funkcionalni vpliv
- Simbolni pomen

Potencialno število mrtvih ali ranjenih

Oceni se potencialno število žrtev (mrtvi in ranjeni) ob predpostavki, da se v območju nepredvidenega dogodka nahaja povprečno število ljudi.

Funkcionalni vpliv na končne uporabnike

Ocenjuje se funkcionalni vpliv nepredvidenega dogodka na končne uporabnike z oceno števila prizadetih prebivalcev.

Ekonomskivpliv – neposredna škoda na objektu

Upošteva se neposredna škoda na objektu oziroma stroški obnove ali izgradnje novega objekta z enakimi karakteristikami

Površina funkcionalno neuporabnega okolja

Ocenjuje se površina funkcionalno neuporabnega ozemlja (porušenje, nefunkcionalnost, onesnaženje) zaradi neposredne prizadetosti.



Politični vpliv

Ocenjuje se možnost vključevanja posameznih organov politične oblasti v izvajanje ukrepov za odpravljanje posledic nepredvidenega dogodka.

Vpliv na delovanje javnih služb

Ocenjuje se funkcionalni vpliv nepredvidenega dogodka na zagotavljanje javnih storitev (uprava, zdravstvo, šolstvo, zaščitno reševalni ukrepi).

Soodvisnost - vpliv na ostalo infrastrukturo

Ocenjuje se funkcionalni vpliv nepredvidenega dogodka na eni infrastrukturi na druge infrastrukture

Čezmejni funkcionalni vpliv

Z oceno se določi funkcionalni vpliv nepredvidenega dogodka na druge države.

Simbolni pomen

Oceni se pomen, ki ga ima objekt na okolje – prebivalstvo v smislu njegove simbolne reprezentativne vrednosti.

Kritičnost infrastrukture oziroma ugotavljanje posledic nepredvidenega škodljivega dogodka lahko merimo tudi širše in sicer s stališča časovne komponente, ki je potrebna za obnovo prizadetega okolja, vpliva na družbeno ureditev, na zagotavljanje splošnih javnih storitev (zdravstveno varstvo, šolstvo), na ugotavljanje psihološkega vpliva in na prikaz razmer v smislu javnega zaupanja, ki jih katastrofalni dogodek povzroči med prebivalstvom in se manifestirajo v javno izraženem nezadovoljstvu. Ocenjevanje naštetih posledic ni vključeno v osnovno shemo ocenjevanja, predstavlja pa osnovo za nadaljnjo poglobljeno analizo mogočih posledic.

Ranljivost kritične infrastrukture

Z ranljivostjo razumemo šibke točke, ki so najbolj izpostavljene škodljivemu delovanju z namenom uničenja ali poškodovanja določene dobrine oziroma infrastrukture. Model vsebuje tri osnovne sklope kriterijev, ki se nanašajo na fizično ranljivost, tehnološko in organizacijsko ranljivost. V okviru ranljivosti se ocenjujejo:

- Ukrepi varovanja
- Pripravljalno zaščitni ukrepi
- Strukturna ranljivost
- Fizična ranljivost – prisotnost nevarnih snovi
- Obnovljivost



- Nadomestljivost

Ukrepi varovanja

Oceni se način izvajanja ukrepov varovanja oziroma režim varovanja objekta.

Pripravljalno zaščitni ukrepi

Ocenjujejo se pripravljalne aktivnosti za ukrepanje ob nepredvidenem dogodku (načrti, organizacija, opremljenost, usposobljenost)

Strukturna ranljivost

Ocenjuje se občutljivost objekta (uničenje poškodovanje) na nepredviden dogodek.

Fizična ranljivost – prisotnost nevarnih snovi

Ocenjuje se prisotnost – hranjenje in uporaba nevarnih snovi ter njihova gorljivost in eksplozivnost.

Obnovljivost

Ocenjuje se predviden čas za obnovitev prizadete/ poškodovane infrastrukture oziroma vzpostavitev njene osnovne funkcionalnosti ob nepredvidenem dogodku

Nadomestljivost

Ocenjuje se obseg nadomestljivosti izpadlih produktov/storitev ob nepredvidenem dogodku z nadomestnimi zmogljivostmi v odstotkih.

Izračun ocene tveganj

Ocena tveganj temelji na osnovnem metodološkem modelu: tveganje = kritičnost * ranljivost. Kritičnost in ranljivost se določa na podlagi kriterijev in meril. Vsak kriteriji je opredeljen z merili, ki so ovrednotena in oštevilčena z vrednostmi od 0 do 4, razen kriterija čezmejni funkcionalni vpliv, ki je ovrednoten z vrednostjo od 0 do 2 in kriterija simbolni vpliv, ki je vrednote od 0 do 1 pri čemer je vrednost 0 za ugotavljanje »stopnje tveganja« - najboljša vrednost, 4 pa najslabša. Objekt z več zbranimi točkami je torej bolj ogrožen/tveganj.

Postopek izračuna ocene tveganj sledi metodološkemu model, ki predstavlja produkt kritičnosti (posledic) in ranljivosti:

- najprej seštejemo ocene posameznih kriterijev kritičnosti/ranljivosti – vsota kriterijev (Vk):



- nato izračunamo index kritičnosti/ranljivosti, ki je razmerje med vsoto kriterijev kritičnosti/ranljivosti (V_k) in maksimalnim seštevkom meril kriterijev (K_{max}) ter pomnoženo z 10

$$\text{Index kritičnosti (Ik)} = (V_k/K_{max}) * 10$$

$$\text{Index ranljivosti (Ir)} = (V_{kr}/K_{rmax}) * 10$$

- na podlagi matematičnega izračuna interpretiramo kritičnost in ranljivost na štiri stopenjski lestvici:

$$\text{Majhna (M)} = 0 - 2,5$$

$$\text{Zmerna (Z)} = 2,6 - 5$$

$$\text{Resna (R)} = 5,1 - 7,5$$

$$\text{Velika (V)} = 7,6 - 10$$

ocena tveganj je produkt indeksa kritičnosti in ranljivosti ($O_t = (I_k) * (I_r)$)

Oceno tveganj interpretiramo v skupni matriki kritičnosti/ranljivosti z ugotavljanjem presečišča ocenjenih stopenj kritičnosti in ranljivosti.

Ocena tveganj = M – majhna, Z – zmerna, R – resna, V – velika

		KRITIČNOST			
RA		MAJHNA	ZMERNA	RESNA	VELIKA
NL	VELIKA	R	R	V	V
JI	RESNA	Z	R	V	V
VO	ZMERNA	Z	Z	R	R
ST	MAJHNA	M	Z	Z	R

Programska rešitev

Programske rešitve za interaktivno ocenjevanje tveganj kritične infrastrukture predstavljajo procesi in transakcije, ki omogočajo vzdrževanje matičnih podatkov, oblikovanje scenarija potencialne grožnje ter določitev ocene tveganj (kritičnost, ranljivost).

Glavni procesi:

Št. procesa	Oznaka	Glavni procesi in transakcije
1.	VZDMAT	Vzdrževanje matičnih podatkov
1.1.	VZDMATKI	Vzdrževanje matičnih podatkov o objektih in križiščih



		kritične infrastrukture
1.2.	VZDMATSEK	Vzdrževanje matičnih podatkov sektorjev in podsektorjev kritične infrastrukture
1.3.	VZDMATKRI	Vzdrževanje matičnih podatkov kritičnosti
1.4.	VZDMATRAN	Vzdrževanje matičnih podatkov ranljivosti
1.5	VZDSTKOEK	Vzdrževanje matičnih podatkov stopenj tveganj, kritičnosti, ranljivosti
2.	PRISCEN	Oblikovanje scenarija potencialne grožnje
2.1.	VZDMATGRO	Vzdrževanje matičnih podatkov vrst/tipov groženj
2.2.	PRIPSCE	Priprava scenarija
3.	DOLTVE	Določitev ocene tveganj
3.1.	DOLKRI	Določitev ocene kritičnosti
3.2.	DOLRAN	Določitev ocene ranljivosti

Vzdrževanje matičnih podatkov

Z vzdrževanjem matičnih podatkov se zagotavljajo osnovnih podatki, ki definirajo splošne karakteristike objekta na podlagi šifranta objektov skupne infrastrukture, podatki sektorjev in podsektorjev kritične infrastrukture ter podatki o kriterijih kritičnosti in ranljivosti.

Oblikovanje scenarija potencialne grožnje

Proces je namenjen vzdrževanju podatkov o vrstah oziroma tipu groženj kritični infrastrukturi ter pripravi scenarijev potencialne grožnje. Na ta način se oblikuje baza mogočih scenarijev. Scenarij skupaj z izbranim objektom predstavlja osnovo izvedbe ocenjevanja tveganj.

Določitev ocene tveganj

Ocena tveganj se izdelava za izbrani objekt na podlagi določenega scenarija. V šifrantu scenarijev izberemo ustrezen scenarij, ki je podlaga za nadaljnje ocenjevanje. V bazi podatkov oziroma GIS okolju poiščemo objekt, ki ga želimo oceniti. Objekt lahko ocenimo kot celoto, lahko pa ocenjujemo posamezne točke na objektu - ta način je primeren predvsem za ocenjevanje linijskih objektov. Izbrani objekt ocenjujemo tako, da vsakemu kriteriju kritičnosti in ranljivosti določimo ustrežno vrednost iz merila kriterija. K vsakemu ocenjenemu kriteriju vpišemo kratko obrazložitev izbrane vrednosti. Za ocenjevanje



funkcionalnih vplivov (čezmejni funkcionalni vpliv, vplivna delovanje ostale infrastrukture) uporabljamo rezultate simulacijskega modela, prikazane v GIS okolju. Po končanem ocenjevanju se za izbrani objekt ali točko izračunajo oceni kritičnosti in ranljivosti in ocena tveganj ter rezultati interpretirajo na osnovi štiristopenjske barvne lestvice – prikaz je viden tudi v GIS okolju.

Pilotni test na ozemlju Republike Slovenije

Testiranje programske rešitve oziroma modela za oceno tveganj je potekalo v dveh fazah. Na osnovi načrta izdelave programske rešitve (model podatkov, diagram poteka procesa) je bil izdelan osnovni model programske rešitve, ki je bil preverjen :

- a. s stališča ustreznosti ocenjevanja stacionarnih kot linijskih objektov
- b. določitve ustreznih kriterijev, vrednosti meril in vsebinskih obrazložitvev kriterijev
- c. strukture in vsebine scenarijev potencialne grožnje
- d. ustreznosti izračuna in interpretacije modela ocenjevanja

Na osnovi izvedenih testiranj in ustreznih metodoloških dopolnitev je bil po prvi fazi testiranj oblikovan model, ki je omogočal enotno ocenjevanje stacionarnih in linijskih objektov z uvedbo točkovnega ocenjevanja, strukturno in vsebinsko so bili dopolnjeni kriteriji, scenarij groženj ter model ocenjevanja.

Dopolnjen in vsebinsko usklajen model je bil tehnično preoblikovan in izdelan za delovanje v spletnem okolju, ki je celotnem programski rešitvi dalo popolnoma novo inovativno dimenzijo predvsem v povezavi z vključenostjo in možnostjo neposredne uporabe GIS okolja z osnovnim modelom ocenjevanja ter možnostjo vključevanja rezultatov simulaciji funkcionalnih vplivov.

Druga faza testiranj je obsegala izvedbo testiranj ocenjevanj stacionarnih in linijskih objektov elektroenergetskega, plinskega in prometnega sektorja. Za testiranje so bili izbrani objekti, ki predstavljajo reprezentativni vzorec sektorja ter so tudi geografsko različno umeščeni (območja zgoščenosti infrastrukturnih objektov, obmejna območja) . Testiranje je bilo usmerjeno v ponovno preverjanje ustreznosti vsebinskih in metodoloških rešitev ter v samo tehnično delovanje programske rešitve.

Celoten proces testiranj je bil časovno in vsebinsko precej obsežen. Ugotovitve testiranj in na tej osnovi dopolnjevanje rešitev je osnovni model bistveno vsebinsko in tehnično izboljšalo. Obstoječ model omogoča enotno ocenjevanje vseh vrst infrastrukturnih objektov z enotno uporabljenimi kriteriji, za uporabnika v učinkovitem enotnem spletnem okolju , ki združuje GIS tehnologije, podatkovne baze in simulacijsko okolje za analizo funkcionalnih vplivov.

Vključenost čezmejnih vplivov v oceno tveganj

Ugotavljanje čezmejnih vplivov je vsebovano v oceni kritičnosti, s kriterijem s katerim ovrednotimo vpliv posameznega objekta na infrastrukturo v sosednjih državah. Vrednost kriterija je izražena na tristopenjski lestvici. Izhodišče vrednosti kriterija je ocena, ki je podana v osnovni bazi podatkov linijskih objektov, ki že določa ali ima objekt določen



*With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs*



čezmejni vpliv. Za natančnejšo določitev ocene pa v primeru elektroenergetskega in plinskega omrežja uporabimo rezultate simulacijskega modela.



3. IDENTIFIKACIJA RANLJIVIH KRIŽIŠČ IN ZGOŠČENOSTI POMEMBNEJŠE INFRASTRUKTURE NA PODROČJU REPUBLIKE SLOVENIJE

V tem poglavju predstavljamo koncept geografske soodvisnosti med različnimi infrastrukturami, aplikacijo koncepta ranljivosti kritične infrastrukture na infrastrukturna križišča, metodološki pristop za identifikacijo najbolj ranljivih infrastrukturnih križišč in nekatere rezultate na podlagi aplikacije pristopa na območje celotne Republike Slovenije.

Geografske soodvisnosti in koncept križišč na področju kritične infrastrukture

Kritična infrastruktura zajema širok spekter različnih infrastrukturnih sektorjev. Motnje v enem infrastrukturnem sektorju se lahko bolj ali manj hitro in neposredno prenesejo na druge sektorje, o čemer govori koncept infrastrukturne soodvisnosti. Koncept se nanaša na korelacijo stanja vsaj dveh infrastruktur iz različnih sektorjev. Projektni cilji so nas navedli na uporabo koncepta geografske soodvisnosti (»geographic interdependency«), ki se pojavi, ko so elementi več infrastrukturnih sektorjev v neposredni prostorski bližini. Škodljivi dogodek (npr. teroristični napad ali naravna oziroma antropogena nesreča) lahko hkrati prizadene več infrastruktur, ki se nahajajo v neposredni bližini (zaradi dejstva neposredne prostorske bližine). Rinaldi in ostali so takšne dogodke poimenovali kot »common cause failures« (napake iz skupnega vzroka). V tej fazi projekta se nismo ukvarjali z drugimi soodvisnostmi, kot so fizična, kiber ali logična soodvisnost.

Kritična infrastruktura je različno ranljiva na teroristične napade in druge oblike ogrožanja. V projektu smo koncept geografske soodvisnosti različnih infrastrukturnih sektorjev povezali s konceptom strukturalne infrastrukturne ranljivosti. Strukturalna ranljivost se nanaša na dovzetnost za škodo ali v primeru terorističnega napada na teroristični napad, ki je pogojena z umeščenostjo infrastrukture v celotni sistem infrastrukture v proučevani državi (RS v našem primeru). Različne študije iz tujine so se osredotočale na identifikacijo najbolj ranljivih infrastruktur in jih prikazovale na različnih kartah v geografskem informacijskem prostoru (GIS), integrirale so različne GIS v novo GIS celoto za doseganje večje infrastrukturne preglednosti v geografskem prostoru, identificirale in rangirale so območja glede na geografske soodvisnosti, kolokacijo infrastruktur iz različnih sektorjev, določale in rangirale so območja, kjer se križa največ infrastruktur iz različnih sektorjev, oblikovale so spiske križišč različnih infrastruktur ipd.

V našem projektu smo koncept ranljivosti aplicirali na specifičen vidik geografskih soodvisnosti, to je na križišča infrastrukturnih linijskih objektov iz enega ali več infrastrukturnih sektorjev. Križišča različnih infrastruktur so varnostno in infrastrukturno relevantna, ker v celotnem nacionalnem infrastrukturnem sistemu predstavljajo ranljive točke, katerih uničenje oziroma nedelovanje ima zelo verjetno multiplikativni učinek v več različnih križajočih se infrastrukturah. Druge študije se do sedaj niso osredotočale na ta način na tovrstne vidike ranljivosti kritične infrastrukture, vendar pa utegnejo te točke predstavljati potencialno teroristično tarčo v prihodnosti. Z vidika teroristične cost-benefit analize predstavlja uničenje infrastruktur na točki križišča, kjer se križajo zelo pomembne infrastrukture, hkratni učinek v več družbenih in infrastrukturnih podsistemi. Relativno majhen napad lahko povzroči bistveno večjo škodo, kot bi bilo predvidljivo na prvi pogled



zaradi t.i. multiplikativnega učinka. V končni fazi lahko samo en tovrsten napad na infrastrukturo križišče povzroči eskalacijo nedelovanja v več infrastrukturnih omrežjih, kar lahko vodi v krizo širših družbenih razsežnosti. V tem smislu imajo rezultati pričujoče študije širšo pokazno in aplikativno vrednost na nivoju EU in tudi širše.

Metoda za določitev križanj in zgoščevanja pomembnejše infrastrukture

V RISKGIS projektu smo v GIS okolju določili križanja pomembnejših infrastrukturnih povezav na celotnem območju Republike Slovenije in določili najbolj ranljiva med njimi. Cilj je bil ustvariti nabor ranljivih križanj pomembnejše infrastrukture za celotno Slovenijo, poleg tega pa tudi oblikovati metodo določanja najbolj ranljivih križanj, ki bi bila prenosljiva oziroma uporabna v drugih državah EU in širše. Pri tem je treba upoštevati, da se je naloga osredotočila le na posamezne sektorje infrastrukture (promet, energetika in z njima povezana informacijska komunikacijska tehnologija) in da so možnosti razširitve tovrstnega modela praktično neomejene za celoten sektor (predvsem linijske) infrastrukture.

Metoda uporabljena v RISKGIS projektu izhaja iz dejstva, da ima vsak infrastrukturni vod oziroma objekt v infrastrukturnem sistemu določen pomen oziroma funkcijo, ki ga/jo lahko ovrednotimo. Za vrednotenje funkcijskega pomena posameznega objekta v sistemu smo uporabili lestvico od 1 do 100. Najbolj pomembni infrastrukturni vodi oziroma objekti predstavljajo ranljive točke infrastrukturnih sistemov - njihovo nedelovanje bistveno vpliva na delovanje celotnega sistema. Ranljivost križanja, kjer se hkrati nahaja več pomembnejših infrastrukturnih vodov in objektov, smo opredelili kot vsoto ovrednotenih funkcijskih pomenov (v nadaljnjem besedilu: uteži pomembnosti) vseh infrastrukturnih vodov in objektov, ki se križajo.

Poleg osnovne metode izračuna ranljivosti križanj smo v projektu RISKGIS preizkusili tudi dodatno variacijo metode izračuna ranljivosti križanj z dodatnim poudarkom na čezmejnih infrastrukturnih povezavah. Vsi infrastrukturni vodi, ki imajo čezmejni vpliv, torej so funkcijsko pomembni za povezavo s sosednjimi infrastrukturnimi sistemi, so poleg osnovne »uteži pomembnosti« dobili še »utež čezmejnega vpliva« v vrednosti 50. Ranljivost križanja se na podlagi dopolnjene metodologije izračuna kot vsota »uteži pomembnosti« in »uteži čezmejnega vpliva« vseh infrastrukturnih vodov in objektov, ki se križajo.

Križanja z najvišjo vrednostjo ranljivosti križanja predstavljajo križanja najpomembnejših infrastruktur v RS in v tem smislu točke, ki so najbolj ranljive na enkratni teroristični napad (lahko tudi nesrečo), ki bi multiplikativno prenesel škodo na več infrastruktur hkrati.

Zaradi obravnavanja križanj kot lokalnih entitet (križanja se "zgodijo" na lokacijsko natančno opredeljenih, mikrolociranih območjih) pa smo v projektu poskušali opredeliti tudi območja večjega zgoščevanja infrastrukture, kjer je bil glavni pomen ugotavljanje zgostitev infrastrukture in ne le neposrednih križanj. S tem smo (ob upoštevanju enakih vhodnih podatkov kot za križanja) določili območja, kjer je gostota infrastrukture večja, torej s tem tudi bolj ranljiva in "napadom izpostavljena" območja - in ne samo mikrolokacija, kot pri analizi križanj. Tovrstna analiza zgoščevanja je (enako kot metoda križanj infrastrukture) primerna predvsem za analizo linijskih vodov, saj ploskovni infrastrukturni objekti praviloma generirajo manjše število križanj druge infrastrukture zaradi izključne rabe območja, kjer se nahajajo.



Kot vhodni podatek za določitev križanj in zgoščevanja pomembnejše infrastrukture na območju Republike Slovenije smo uporabili podatke o omrežjih in objektih gospodarske javne infrastrukture iz Zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture (v nadaljnjem besedilu: kataster GJI). Ker so v kataster GJI vključeni vsi infrastrukturni vodi in objekti na območju Republike Slovenije, smo morali v prvem koraku iz celotne podatkovne baze katastra GJI izločiti podatke o pomembnejši infrastrukturi. Pri določitvi kriterijev za izbor pomembnejše infrastrukture smo upoštevali projekt Definicija in zaščita kritične infrastrukture Republike Slovenije (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Obramboslovno raziskovalni center, oktober 2008) in nabor podatkov o infrastrukturnih vodih in objektih, ki se vodijo v podatkovni bazi katastra GJI. Glede na to, da podatkovna baza katastra GJI ne vključuje podatkov o funkciji infrastrukturnih vodov in objektov, smo kot glavni kriterij pri izboru upoštevali kapaciteto infrastrukturnih vodov in objektov (nedelovanje najbolj prenosno zmogljivih infrastrukturnih vodov in objektov ima potencialno velik vpliv na delovanje infrastrukturnih sistemov). Pri cestnem in železniškem omrežju smo dodatno upoštevali še kriterij obnovljivosti (težko obnovljivi deli infrastrukturnih sistemov npr. mostovi, viadukti, tuneli ipd. še dodatno vplivajo na čas nedelovanja infrastrukturnih sistemov). Pri obravnavanju mostov, viaduktov in tunelov smo upoštevali metodološko nedoslednost, saj smo tovrstne objekte, ne glede na dejstvo, da so sicer del ceste/železniške proge, obravnavali kot ločeni infrastrukturni objekt, saj menimo, da tak objekt (prek katerega poteka cesta/železniška proga) dejansko predstavlja ločeno, samostojno infrastrukturno entiteto, ki v primeru poškodbe/porušitve vpliva na osnovni infrastrukturni sistem (cesta/železnica), zaradi katere je ta objekt sploh postavljen. Pri analizi rezultatov se je potrdilo, da je tovrstna metodološka prilagoditev smiselna, saj je pomemben del lokacij, ki se izkazujejo kot najbolj ranljive, povezan prav z upoštevanjem mostov, viaduktov in tunelov kot samostojnih infrastrukturnih objektov/entitet. Zaradi neustreznih podatkov smo iz obravnave izločili elektronsko komunikacijsko omrežje, saj je nedoslednost pri evidentiranju elektronsko komunikacijske infrastrukture onemogočila medsebojno primerjavo in analizo sistema.

Kriteriji za izbor pomembnejše infrastrukture, ki jo obravnavamo v projektu, so prikazani v spodnji tabeli.

sektor	podsektor	Pomembnejši infrastrukturni vodi in objekti
ENERGETIKA	Električna energija	Proizvodnja (nad 10 MW): - termoelektrarna (vir: premog, zemeljski plin, kurilno olje) Šoštanj, Trbovlje, Brestanica, TE-TOL; v sklopu termoelektrarn upoštevana tudi lokalna skladišča nafte in naftnih derivatov za zagon elektrarn - nuklearna elektrarna (vir: jedrsko gorivo) NE Krško; v sklopu NE Krško upoštevano tudi skladišče jedrskih snovi Krško - hidroelektrarna (vir: voda); Holding Slovenske elektrarne, Dravske elektrarne Maribor, Savske elektrarne Ljubljana, Soške elektrarne Nova Gorica; v sklopu hidroelektrarn upoštevani tudi jezovi in pregrade na HE
		Prenos in distribucija: - daljnovodi in kablovodi 400, 220, 110 kV



		- razdelilne transformatorske postaje 400, 220, 110 kV
		Centri vodenja
	Zemeljski plin	- prenosni plinovodi 16 bar in več - distribucijski plinovodi nad 10 bar - objekti na prenosnem plinovodnem omrežju (mejna merilno regulatorska postaja, kompresorska postaja, merilno regulatorska postaja), - center vodenja - skladišča utekočinjenega naftnega plina (Celje, Maribor, Račje selo, Ljubljana, Kozina) - plinsko črpalno polje
	Nafta	- naftno črpalno polje - naftovod - skladišče nafte in naftnih derivatov (Srmin, Zalog, Ortnek, Rače, Lendava)
PROMET	Ceste	- državne ceste (avtoceste, hitre ceste, glavne ceste, regionalne ceste) - objekti na državnih cestah (most, viadukt, predor, pokrit vkop) daljši od 50 m - nadzorni centri
	Železnice	- železniška proga (glavne proge, regionalne proge) - objekti na železniških progah (most, predor, objekti za zaščito) daljši od 50 m - nadzorni centri (Ljubljana, Pragersko, Zidani most, Divača)
	Letališča	- območje letališča (Ljubljana, Maribor, Cerklje, Portorož) - centri za vodenje zračnega prometa
	Pristanišča	- območje pristanišča (Luka Koper)
DODATNI OBJEKTI		Centralno skladišče jedrskih snovi Brinje

Izbrano pomembnejšo infrastrukturo smo v naslednjem koraku rangirali po pomembnosti ob upoštevanju kapacitete/moči posameznih infrastrukturnih vodov in objektov. Na podlagi rangiranja smo posameznim vrstam infrastrukturnih vodov in objektov določili »uteži pomembnosti«, pri čemer je bilo rangiranje po pomembnosti posameznega infrastrukturnega objekta skladno z že omenjeno lestvico od 1 do 100. Tako so bile najpomembnejšim objektom, ki imajo izrazito meddržavno in državno funkcijo oziroma pomen v sistemu, pripisane vrednosti med 80 in 100, objektom državnega in medregionalnega pomena vrednosti med 60 in 80 ter objektom regionalnega in makrolokalnega nivoja vrednosti med 40 in 60. Cestne in železniške objekte smo rangirali na podlagi analize dolžin objektov, pri čemer objekti z večjo dolžino praviloma izkazujejo večji pomen v sistemu oziroma nižjo možnost nadomestljivosti.

Izbrani pomembnejši infrastrukturi smo določili tudi »utež čezmejnega vpliva«. Upoštevali smo, da imajo čezmejni vpliv vsa prenosna infrastrukturna omrežja visokih kapacitet, ki potekajo preko območja Republike Slovenije in se povezujejo z infrastrukturnimi omrežji



sosebnih držav. Ob tem je bilo z analizo ugotovljeno, da zaradi majhnosti Slovenije ni infrastrukturnih objektov s čezmejnimi vplivi, ki bi bili izrazito povezani z bližino državne meje (razen mejni prehodi na prometnih infrastrukturnih sistemih), saj lahko meddržavni pomen pripišemo vsem glavnim energetskim (meddržavnim) povezavam in glavnemu (tranzitnemu) prometnemu omrežju. S tem se ocena čezmejnih vplivov bistveno izenači z dosednjo oceno najpomembnejših infrastrukturnih objektov, ki so ocenjeni glede na funkcijo v sistemu, ki jo predstavljajo. Objekti, ki jim je pripisana funkcija "čezmejnih vplivov" so navedeni v naslednji tabeli.

sektor	podsektor	Pomembnejši infrastrukturni vodi in objekti
ENERGETIKA	Električna energija	<p>Proizvodnja (nad 10 MW):</p> <ul style="list-style-type: none"> - nuklearna elektrarna - NE Krško <p>Prenos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 400 in 220 kV daljnovodi od državne meje do prve razdelilne transformatorske postaje na območju Republike Slovenije, - 400 kV daljnovod med RTP Maribor in RTP Divača - 400 kV daljnovod med RTP Maribor in RTP Krško - razdelilne transformatorske postaje na izbranem prenosnem 400 in 220 kV omrežju (RTP Maribor, RTP Cirkovce, RTP Krško, RTP Podlog, RTP Beričevo in RTP Divača) <p>Center vodenja - Republiški center vodenja Eles</p>
	Zemeljski plin	<ul style="list-style-type: none"> - prenosni plinovodi, ki potekajo preko Republike Slovenije med državnima mejama z Avstrijo in Italijo (plinovodi M1 Ceršak - Rogatec, M2 Rogatec - Vodice in M3 Vodice - Miren) - prenosni plinovod od mejne merilno regulatorске postaje Rogatec do državne meje s Hrvaško - objekti na prenosnem plinovodnem omrežju - mejne merilno regulatorске postaje Šempeter, Rogatec in Ceršak, razdelilna merilna regulatorska postaja Vodice ter kompresorski postaji Kidričevo in Ajdovščina - center vodenja - Dispečerski center Ljubljana
PROMET	Ceste	<ul style="list-style-type: none"> - državne ceste - vse avtoceste in hitre ceste na območju Republike Slovenije ter vse glavne ceste I. in II. reda, ki potekajo od omrežja avtocest in hitrih cest do državne meje - nadzorni centri - Regionalni nadzorni center Ljubljana
	Železnice	<ul style="list-style-type: none"> - železniška proga - vse glavne železniške proge - nadzorni centri - center vodenja prometa v Ljubljani
	Letališča	<ul style="list-style-type: none"> - območje letališča - letališči Ljubljana in Maribor - centri za vodenje zračnega prometa - Kontrola zračnega prometa Slovenije
	Pristanišča	<ul style="list-style-type: none"> - območje pristanišča - Luka Koper



Za določitev križanj smo vsem infrastrukturnim vodom, ki so v podatkovni bazi katastra GJI predstavljeni z linijo, zarisali koridorje. Pri analizi širine koridorjev, ki so bile opredeljene za vsako posamezno vrsto infrastrukture posebej, se je izkazalo, da v primeru širših koridorjev prihaja do problema prekrivanja (vzporednega prekrivanja oziroma križanja) koridorjev pri vzporednem poteku infrastrukturnih vodov, ki se dejansko v naravi ne križajo. Zaradi navedena razloga smo za določitev križanj izbrali minimalne širine koridorjev, ki so nepodredno povezane s fizičnim prostorom, ki ga zavzamejo ti objekti in znašajo:

- za 400 in 220 kV daljnovode 30 m (15 m levo in desno od osi),
- za 110 kV daljnovode 15 m (7,5 m levo in desno od osi),
- za 110 kV kablovode 7 m (3,5 m levo in desno od osi),
- za plinovode 3 m (1,5 m levo in desno od osi),
- za ceste so upoštevane dejanske širine posameznih odsekov cest iz banke cestnih podatkov (v nadaljnjem besedilu: BCP). Za del odsekov, kjer v BCP ni podatka o širini ceste, so podatki dopolnjeni na podlagi digitalnega ortofoto posnetka in primerjave s sosednjimi odseki,
- za objekte na avtocestah in hitrih cestah 14 m (7 m levo in desno od osi),
- za objekte na glavnih cestah I. in II. reda 9 m (4,5 m levo in desno od osi),
- za objekte na regionalnih cestah I., II. in III. reda 8 m (4 m levo in desno od osi),
- za železniško progo in za objekte na železniški progi 6 m (3 m levo in desno od osi).

Glavni problem pri določitvi križanj predstavlja dejstvo, da podatkovna baza katastra GJI ni organizirana/urejena kot "funkcijski GIS". To pomeni, da posamezna funkcijska povezava ni predstavljena ločeno kot samostojna entiteta v prostoru, saj je bilo vodilo pri zajemu podatkov za GJI njihova lokacijska natančnost. Posledica tega dejstva je, da križanj različnih funkcijskih povezav ne moremo enostavno določiti s presekom linij. Podatkovna baza katastra GJI je organizirana kot geografska podatkovna baza. Pri elektroenergetskih povezavah je daljnovod predstavljen z eno linijo, na istem daljnovodu pa lahko poteka ena ali več enakih ali različnih funkcijskih povezav. Pri plinovodnem omrežju je z linijo predstavljena cev plinovoda, pri čemer lahko v isti trasi potekata dve cevi, ki predstavljata isto funkcijsko povezavo (gre le za povečanje kapacitete prenosa) ali različno funkcijsko povezavo (npr. cev prenosnega in distribucijskega omrežja). V primeru cestnega omrežja je ena funkcijska povezava lahko predstavljena z eno linijo (dvopasovne ceste) ali z dvema linijama (štiripasovne ceste). V primeru železniškega omrežja je ena funkcijska povezava lahko predstavljena z eno linijo (enotirne proge) ali z dvema linijama (dvtirne proge). Zaradi načina predstavitve podatkov v podatkovni bazi katastra GJI lahko torej prihaja do primerov, da ena linija predstavlja več funkcijskih povezav in obratno, da je ena funkcija povezava predstavljena z več linijami. Pri nadaljnjem razvijanju modelov določitve križanj in zgoščevanj infrastrukture bo zato nujno v prihodnosti uveljaviti takšne sisteme baz podatkov, ki bodo poleg nujne prostorske konotacije obvezno vsebovali tudi funkcijski pomen ter da bodo infrastrukturni objekti vodeni/prikazani tako, da bodo uporabni tudi za funkcijske analize (npr. pomen posamezne infrastrukture za delovanje drugih objektov v smislu medsebojne soodvisnosti), ne samo za evidentiranje v prostoru.

Zaradi opisanih omejitev podatkovne baze katastra GJI smo križanja določili s presekom koridorjev in območij objektov vseh vrst pomembnejših infrastruktur, pri čemer smo pri križanjih infrastrukturnih vodov iste vrste upoštevali predpostavko, da se različne funkcijske povezave znotraj iste vrste infrastrukturnih vodov vedno križajo izven nivojsko. Nivojska



križišča, odcepe, razcepe ipd. smo zanemarili in jih nismo upoštevali kot križanja. V primeru križanj koridorjev infrastrukturnih vodov z območji objektov iste vrste, s katerimi se povezujejo v enoten sistem, teh križanj nismo upoštevali (takšen primer je npr. križanje daljnovoda z območjem razdelilne transformatorske postaje, v katero se vključuje). V primerih, ko je do križanj prišlo pri vzporednem poteku infrastrukturnih vodov, ki se dejansko v naravi ne križajo, teh križanj nismo upoštevali.

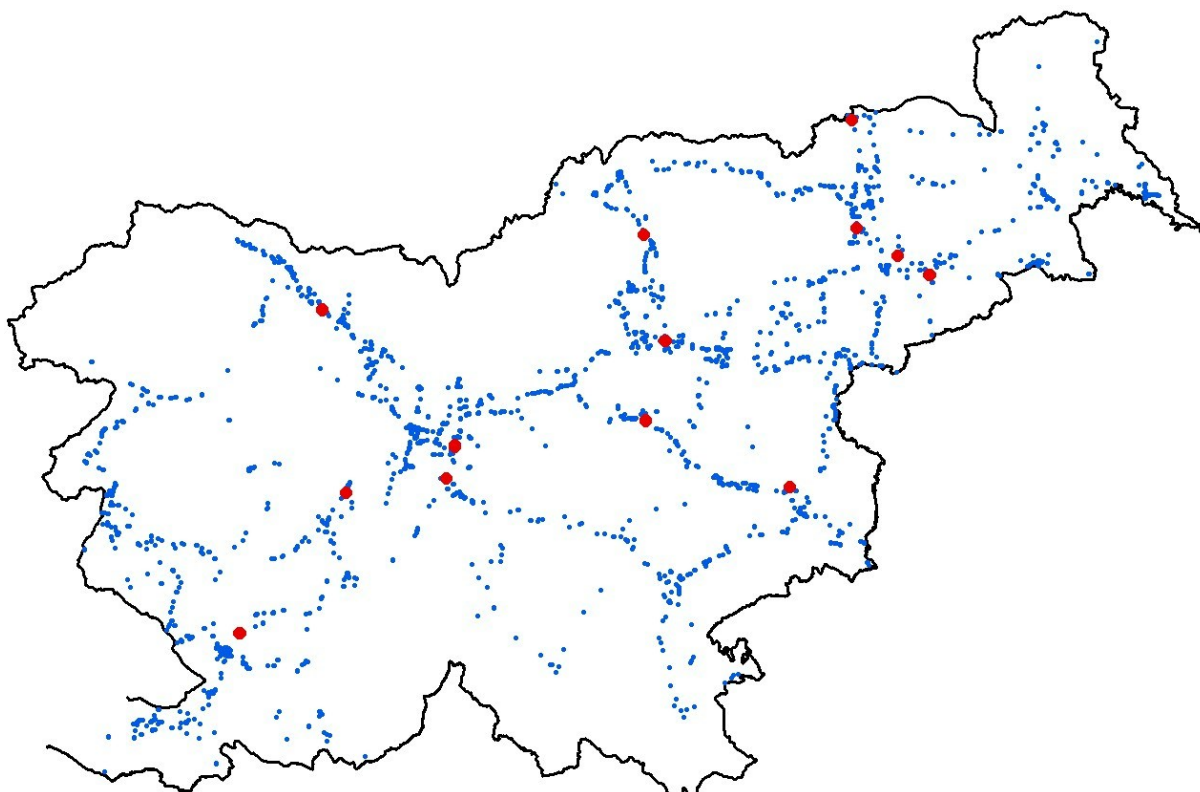
V zadnjem koraku smo za vsako križanje izračunali ranljivost križanja po obeh metodah (osnovno in z dodatnim upoštevanjem čezmejnega vpliva). Podatke o križanjih smo vključili v novo podatkovno bazo križanj pomembnejše infrastrukture na območju Republike Slovenije.

Poleg križanj, ki kot rečeno zajamejo predvsem mikrolokacijski vidik neposrednih križanj infrastrukture, je bila zaradi obravnavanja vzporednih potekov infrastrukture (pri križanjih smo jih zaradi že navedenih razlogov zanemarili) izvedena tudi analiza zgoščevanja infrastrukture na določenem območju. S tem namreč opredelimo območja, kjer se zaradi približevanja (in ne neposrednega križanja) ranljivost infrastrukture na posameznem območju, s tem pa tudi ranljivost območja samega, poveča zaradi izpostavljenosti za morebitni napad s ciljem povzročitve čim večje škode (večja gostota praviloma predstavlja večjo privlačnost za generacijo dogodka). Fenomena zgoščevanja infrastrukture ne moremo opredeliti z določitvijo križanj, temveč smo v ta namen opredelili območja večjega (ali manjšega) zgoščevanja infrastrukture, torej območja z veliko gostoto infrastrukture, ki je izražen z dolžino linijskih vodov na posamezno ploskovno enoto. Izbrane so bile različne velikosti območij (dimenzij od 10x10 m do 10x10 km, večje dimenzije zaradi ozemeljske velikosti Slovenije niso smiselne, se pa lahko uporabijo v površinsko večjih državah), za katere je bila izdelana analiza gostote infrastrukture tako, da se je v ploskvi temu območju vsaj očitnega kroga ugotavljala dolžina vseh infrastrukturnih vodov (vir podatkov je enak kot za križanja, pri čemer se upošteva tudi "uteževanje" infrastrukture v funkcijskem in čezmejnem smislu), rezultat gostote na ploskovno enoto pa se je prikazal v petstopenjskem grafičnem prikazu ("barvi") tega območja. Tako so bila določena območja večje (in manjše) gostote infrastrukture na določenih območjih, pri čemer se je treba zavedati, da je rezultat takšnega pristopa rasterski podatek ("gostota na ploskovno enoto") in ne več vektorska - lokacijsko absolutno natančna - ploskovna entiteta križanja. S tovrstno analizo lahko ob spreminjanju velikosti ploskovne enote območja s preprostejšo metodo ugotavljamo tako območja križanj kot tudi vzporednih potekov infrastrukture tako na mikro nivoju kot tudi (s povečevanjem površine območja) makro - regionalnem oziroma državnem nivoju.

Določitev križanj in zgoščevanja pomembnejše infrastrukture na območju Republike Slovenije

(a) Določitev križanj infrastrukture

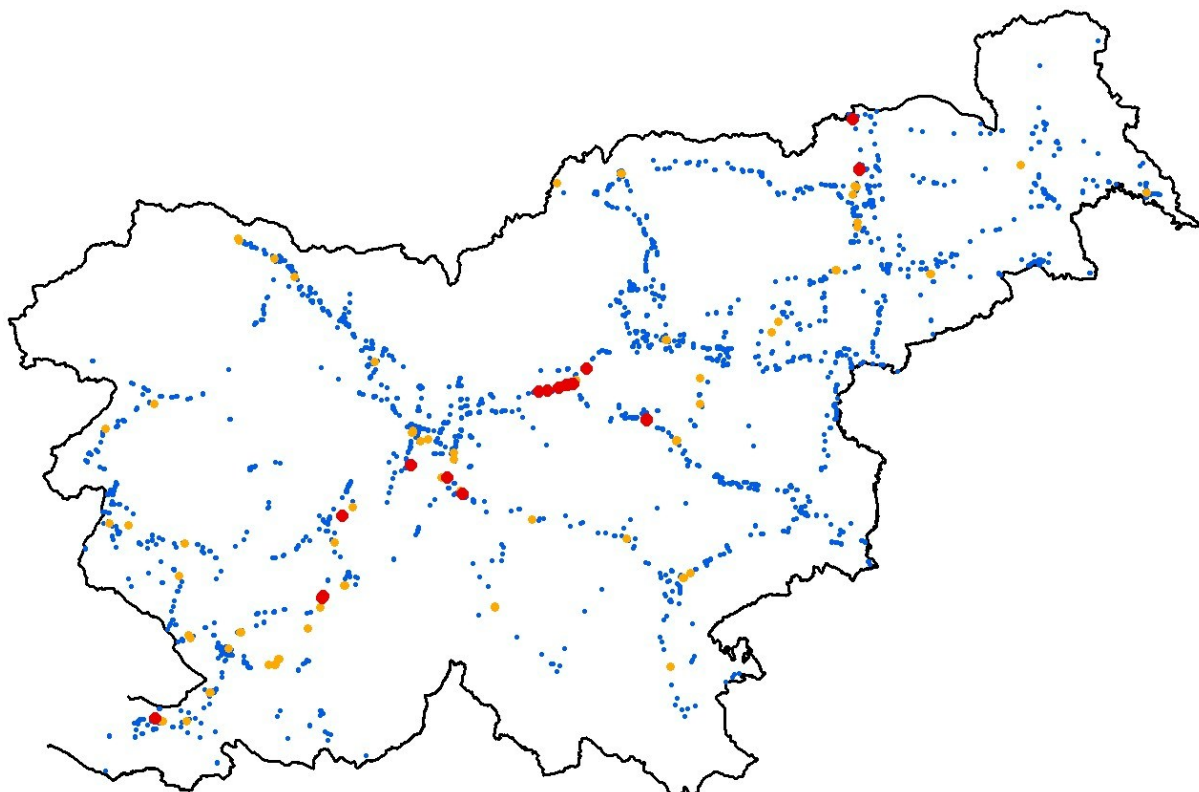
Na podlagi rezultata določitve območij križanj je na območju Republike Slovenije skupno 2.477 križanj pomembnejše infrastrukture, ki se pojavljajo v 94 različnih kombinacijah. Na 13 območjih križanja se križajo tri pomembnejše infrastrukture in na preostalih 1.464 območjih dve pomembnejši infrastrukturi. Križanja so prikazana na spodnji sliki.



Slika: Križanja pomembnejših infrastruktur na območju Republike Slovenije prikazana glede na število infrastruktur, ki se križajo (rdeča barva - 3 infrastrukture; modra barva - dve infrastrukturi)

Rangiranje ranljivih križanj pomembnejše infrastrukture

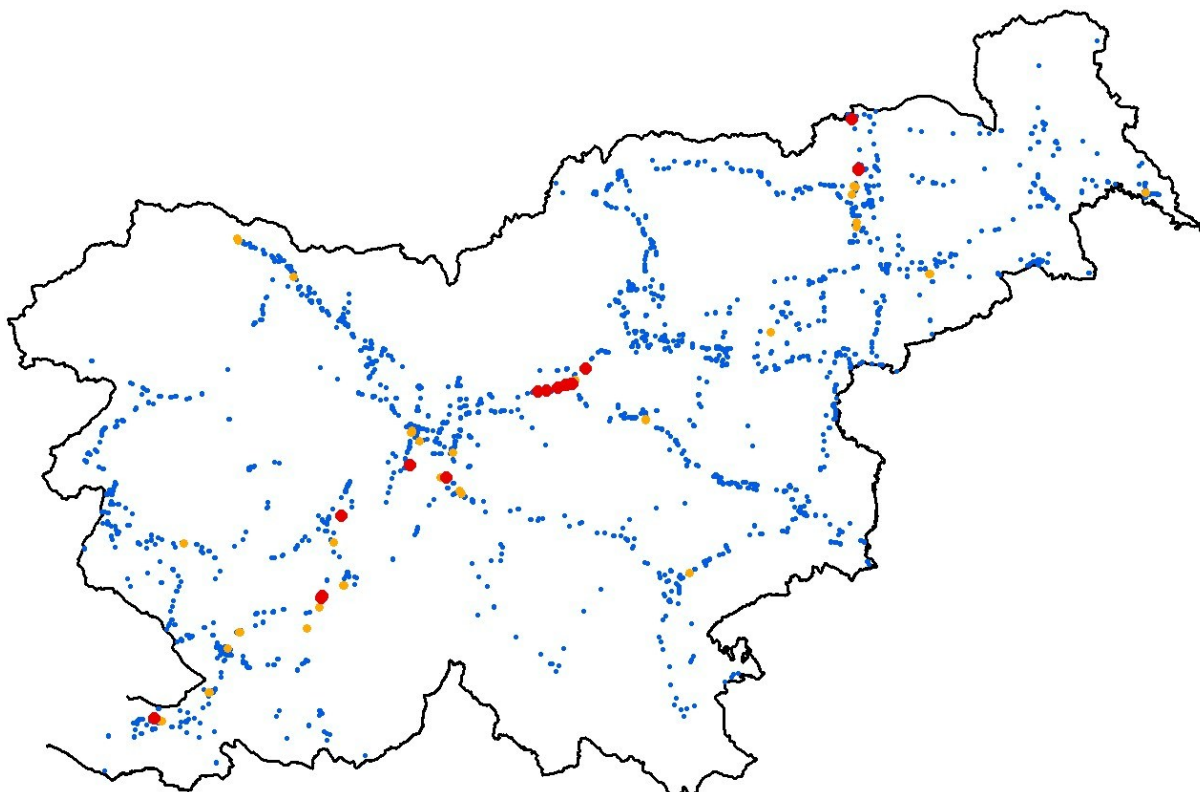
Na podlagi izračunane ranljivosti križanja smo križanja razporedili v tri kategorije od najbolj ranljivih do manj ranljivih. Za najbolj ranljiva križanja smo upoštevali križanja, ki imajo izračunano ranljivost križanja večjo ali enako 300 (pri ranljivosti križanja vsaj 300 se v isti lokaciji križajo 3 funkcionalno najpomembnejše infrastrukture, kot samostojni objekt se obravnava tudi že omenjene mostove, viadukte in tunele). V drugo kategorijo smo uvrstili križanja, ki imajo izračunano ranljivost križanja večjo od 200 in manjšo od 300 (kjer se križajo vsaj tri infrastrukture, od tega dve funkcionalno pomembnejši). V tretjo kategorijo smo uvrstili križanja, ki imajo izračunano ranljivost križanja manjšo ali enako 200.



Slika: Križanja pomembnejših infrastruktur na območju Republike Slovenije prikazana glede na izračunano ranljivost križanja (rdeča barva - ranljivost križanja večja ali enaka 300; oranžna barva - ranljivost križanja večja od 200 in manjša od 300; modra barva - ranljivost križanja manjša ali enaka 200)

Rangiranje ranljivih križanj pomembnejše infrastrukture z upoštevanjem čezmejnega vpliva

Na podlagi izračunane ranljivosti križanja smo križanja razporedili v tri kategorije od najbolj ranljivih do manj ranljivih. Za najbolj ranljiva križanja smo upoštevali križanja, ki imajo izračunano ranljivost križanja večjo ali enako 400 (pri ranljivosti križanja vsaj 400 se npr. v isti lokaciji križajo tri funkcionalno najpomembnejše infrastrukture, kot samostojno infrastrukturo/objekt se obravnava tudi že omenjene mostove, viadukte in tunele, pri tem pa sta vsaj dve infrastrukturi čezmejnega pomena). V drugo kategorijo smo uvrstili križanja, ki imajo izračunano ranljivost križanja večjo od 300 in manjšo od 400 (kjer se npr. križajo vsaj tri infrastrukture, od katerih sta dve najpomembnejši in čezmejnega pomena). V tretjo kategorijo smo uvrstili križanja, ki imajo izračunano ranljivost križanja manjšo ali enako 300.



Slika: Križanja pomembnejših infrastruktur na območju Republike Slovenije z upoštevanjem čezmejnega vpliva prikazana glede na izračunano ranljivost križanja (rdeča barva - ranljivost križanja večja ali enaka 400; oranžna barva - ranljivost križanja večja od 300 in manjša od 400; modra barva - ranljivost križanja manjša ali enaka 300)

Z dodatnim upoštevanjem čezmejnega vpliva smo dobili podoben rezultat kot po osnovni metodi izračuna ranljivosti križanja, le da je številsko manj križanj, ki so se uvrstila v prvo in drugo kategorijo (izločena so križanja, kjer se križajo infrastrukture, ki nimajo čezmejnega vpliva). Iz kategorije najbolj ranljivih križanj sta z dodatnim upoštevanjem čezmejnega vpliva izpadli dve križanji.

(b) Določitev območij zgoščevanja infrastrukture

Ker so rezultati določitve območij zgoščevanja podani v rastrski obliki, so bile analizirane različne velikosti ploskev, s katerimi je obravnavano celotno območje Slovenije. Dimenzije ploskev - območij zgoščevanja - variirajo v dimenzijah 10x10 m (zaradi analiziranja rezultatov, ki jih pridobimo z analizo križanj), 50x50 m, 200x200 m, 1x1 km, 5x5 km do 10x10 km (večje površine zaradi "teritorialne majhnosti" Slovenije niso smiselne), rezultat pa je izveden tako za uteženi primer infrastrukture brez in s čezmejnimi vplivom. Ugotovljeno je bilo, da rezultati pri manjših površinah (glej sliko za raster 1x1 km) po pričakovanju neposredno sledijo linijam infrastrukturnih vodov in zajemajo tako vzporedne poteke kot križanja, pri čemer se izpostavljene predvsem poteki avtocest ter plinovodov in daljnovodov ob njih. Za ostala območja zaradi relativne majhne razlike v gostoti (zaradi

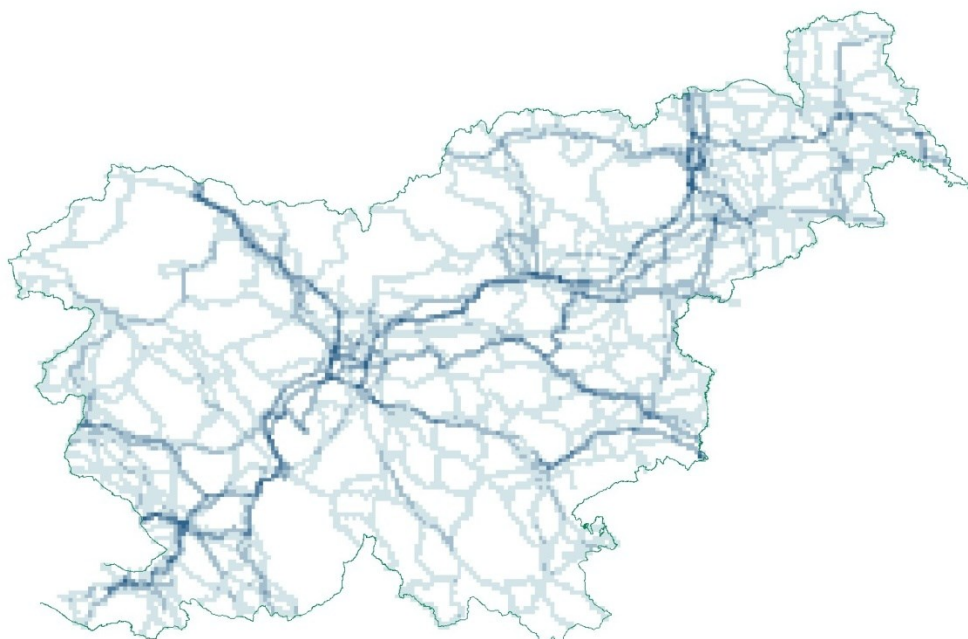


With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs



majhne prostorske enote, na katero se gostota izračunava) ni mogoče izrazito izpostaviti pomembnejših, bolj ranljivih območij.

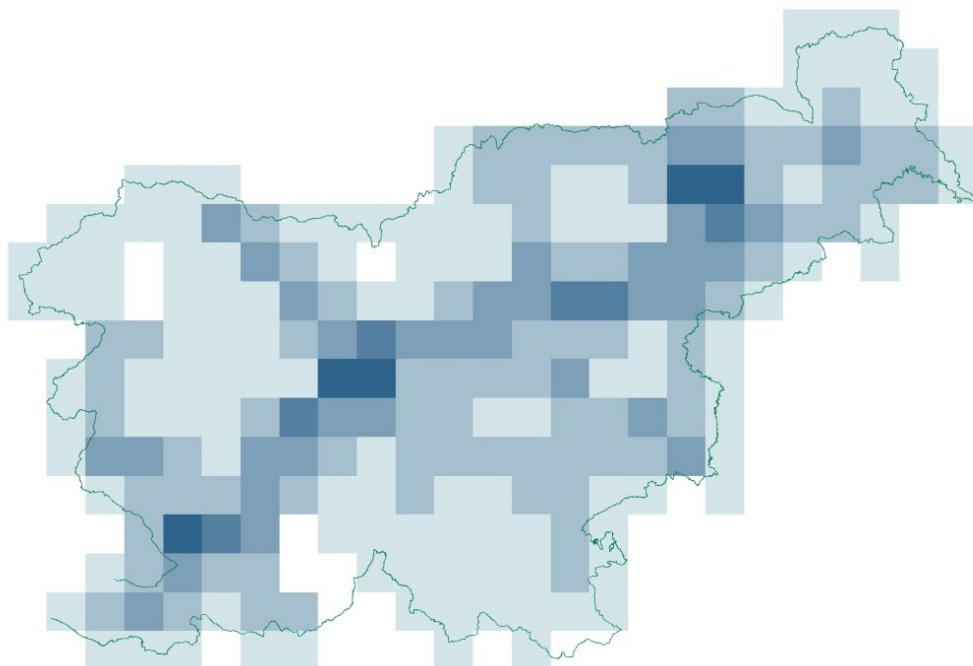
Izkazuje se, da je uporabnost tovrstnega rastrskega prikaza primerna za ugotavljanje zgoščevanja infrastrukture na subregionalnem in lokalnem nivoju.



Slika: Zgoščevanje infrastrukture na območju Republike Slovenije; prikaz v rastru 1x1 km (temnejša barva - večja gostota infrastrukture in s tem ranljivost infrastrukture in območja, svetlejša barva - manjša gostota infrastrukture)

Ob povečevanju ploskovne enote za izračun gostote se tudi stanje spreminja in rezultat na območjih, večjih od 1 km (glej sliko za raster 10x10 km), že kaže določena območja zgoščevanja, ki praviloma kažejo delno na zgoščevanje infrastrukture v večjih urbanih aglomeracijah oziroma v njihovi bližini (Ljubljana, Maribor). Hkrati pa so opredeljena tudi nekatera pomembna območja zgostitev na območjih zgoščevanj večjih infrastrukturnih sistemov, npr. infrastrukturna zgostitev na širšem območju Divače, širše območje Celja s potekom funkcionalno najpomembnejših infrastrukturnih (linijskih) objektov.

Pri takšni rastrski obravnavi se izkazuje, da je uporabnost tovrstnega rastrskega prikaza primerna za strateške odločitve o prostorskem načrtovanju (na strateški ravni, npr. za potek nove cestne povezave od AC Ljubljana - Koper do Jelšan je z vidika medsebojnega vpliva infrastruktur in njihovega zgoščevanja primernejši potek iz Postojne kot iz Divače) in opredelitev bolj ranljivih območij na regionalnem oziroma državnem nivoju.



Slika: Zgoščevanje infrastrukture na območju Republike Slovenije; prikaz v rastru 10x10 km (temnejša barva - večja gostota infrastrukture in s tem ranljivost infrastrukture in območja, svetlejša barva - manjša gostota infrastrukture)

Pri obravnavanju zgoščevanja infrastrukture je treba opozoriti na distribucijo rezultatov, saj se rezultati praviloma zgostijo pri nizkih gostotah, saj določen del ozemlja sploh nima infrastrukture (tam je gostota 0), pa tudi območja z nizko gostoto za namen naloge niso pomembna, saj nas zanimajo območja z višjo/visoko gostoto infrastrukture. Pri območjih z visoko gostoto pa je pomembno določiti mejo, pri kateri se rang rezultata spremeni (meja, pri kateri se ena ploskev uvrsti v višji, druga pa v nižji razred zgoščenosti infrastrukture) tako, da se obravnava velikost rezultatov pri posameznem primeru velikosti območja ter glede na prevladujoči rang rezultatov določiti meje med razredi gostote.

Uporabnost rezultatov in usmeritve za nadaljnje delo

Določitev križanj omogoča uvedbo dodatnega kriterija pri določanju ranljivosti posameznega infrastrukturnega objekta (predvsem linijskega) z vidika medsebojnega vpliva infrastrukturnih objektov. V modelu za ocenjevanje ranljivosti in kritičnosti infrastrukture predstavljajo križišča tako enega od slojev za ocenjevanje tveganj. Tako lahko križanja, če so ocenjena z visoko stopnjo ranljivosti, predstavljajo enega od kriterijev za določitev posamezne infrastrukture kot kritične glede na metodologije določitve kritične infrastrukture v RS.

V pričujočem projektu smo opredelili križanja, ki so rezultat fizičnega, neposrednega kontakta ene infrastrukture z drugo. Model je možno razširiti tako, da posamezni infrastrukturni vod generira različne vplive (npr. območje vpliva pri npr. eksploziji) ter se za vsak infrastrukturni vod opredeli vplivno območje posameznega dogodka - ter posledično ugotavlja vpliv na ostale infrastrukture v bližini oziroma potencialni daljninski vpliv ter s tem



ranljivost teh objektov. Tovrstna analiza bi še posebej zahtevala funkcijsko podatkovno bazo s prepletom soodvisnosti med posameznimi infrastrukturami v istem infrastrukturnem sistemu ter elementi ostalih infrastrukturnih sistemov.

Posebno pozornost bi bilo treba nameniti ureditvi podatkovnih baz GJI, da bi bile prilagojene za uporabo pri analizi funkcijskih soodvisnosti. Zaradi pomanjkljivosti tovrstnih podatkov v tej fazi tega ni bilo moč storiti, vendar je pomembna ugotovitev tega projekta, da je nujno aktivirati podatkovno bazo GJI, ki se jo uporablja pretežno za prostorsko lociranje infrastrukture, v aktivni funkcijski GIS, ki bi hkrati s pozicijsko natančnostjo pravilno opredelil tudi funkcijske povezave (npr. da bi bila dva objekta RTP medsebojno povezana prek elektroenergetskega voda in da bi izpad kateregakoli od teh treh elementov sistema avtomatično generiral nedelovanje ostalih dveh). Le tako bo možen prehod od podatkovno statičnega podatka sedanje baze GJI v aktivno in dinamično okolje, v katerem bo možno izvajati simulacije posameznih dogodkov ter ugotavljati vplive, ki bi jih posamezni dogodki generirali v smislu domino efekta.

S pričujočim projektom opozarjamo upravljavce GJI, da so križanja infrastrukture eden izmed pomembnih elementov tveganja pri obratovanju infrastrukturnih objektov. Menimo, da je treba v prihodnosti ustvariti podatkovno bazo takih križanj (v najširšem obsegu), določiti najpomembnejša (najbolj ranljiva) križanja ter predvideti ukrepe za zmanjšanje ranljivosti posameznih križanj (povečanje varnosti in nadzora, strukturalne/tehnične izboljšave objektov, organizacijske izboljšave upravljavcev in lastnikov).

Poglavitni rezultat analize zgoščenosti GJI v Sloveniji mora služiti kot vhodni podatek za umestitev objektov v prostor, kjer mora postati en od kriterijev tudi (morebitna prevelika) zgoščenost infrastrukture. Dosedanji principi umeščanja infrastrukture v prostor so bili praviloma povezani z izkoriščanjem skupnih, praviloma že obstoječih infrastrukturnih koridorjev. Pri tem pa področje varnosti zaradi zgostitve infrastrukture oziroma povečanja ranljivosti obstoječih infrastrukturnih objektov praviloma ni bilo obravnavano. Tako je treba pri vodenju novih infrastrukturnih koridorjev posebno pozornost nameniti možnosti, da se posamezna infrastruktura, v kolikor bi lahko povečala ranljivost obstoječe infrastrukture in območja, po katerem poteka, izvede v drugih prostorskih koridorjih z manjšim ranljivostnim potencialom.

Podatke o zgoščevanju infrastrukture na določenem teritoriju se lahko uporabi tudi pri določanju varnostnega ranga posameznega območja/teritorialne enote, praviloma regijskega nivoja, ki na področju sektorja zaščite in reševanja predstavlja enega ključnih elementov za celoviti pristop k potencialnim nesrečam/dogodkom, ki zahtevajo ukrepanje. Zgoščevanje infrastrukture v neposredni bližini gosto poseljenih aglomeracij (stavb za bivanje in delo) je zaradi morebitnega vpliva na človeške žrtve še posebej pomembno.

Na koncu vendar ne nazadnje je potrebno še opozorilo o celovitosti projekta: projekt je izdelan le za sektorja prometa (transporta) in energetike. Z upoštevanjem infrastrukturnih objektov ostalih sektorjev se lahko rezultati križanj ali vplivov spremenijo, prilagodijo lokalnim razmeram itd, zato je pri nadaljnjem delu pomembno preveriti vpliv ostalih sektorjev na pričujoče rezultate (pri tem ne smemo pozabiti, da so v tem projektu obravnavani sektorji pretežno državnega ali regionalnega nivoja in s tem pomembnejši od posameznih infrastrukturnih objektov lokalnega nivoja). Opazna je odsotnost sektorja



*With the financial support of the
Prevention, Preparedness and Consequence Management
of Terrorism and other Security-related Risks Programme
European Commission – Directorate-General Home Affairs*



informacijske in komunikacijske tehnologije (IKT - objekti elektronskih komunikacij), ki v modernem svetu pri vedno večji odvisnosti od pretoka in razpoložljivosti informacij predstavljajo enega najboljčutljivejših sektorjev v družbi. Zato je nujno, da se na ravni podatkovnih baz ustvari hierarhično in natančno urejen sistem IKT, da bo možno enoznačno ugotoviti ranljivost tega sistema predvsem zaradi dejstva, da se omrežja IKT ustvarjajo tako znotraj tradicionalnega sektorja ponudnikov telekomunikacijskih storitev, ob tem pa ostali infrastrukturni sistemi, katerih razvejanost omogoča dostopnost do praktično vsakega porabnika, prav tako omogočajo komunikacijske povezave, katerih pomen je treba za potrebe delovanja države in družbe kot celote upoštevati kot možno alternativo v primeru morebitnih neželenih dogodkov.



4. SIMULACIJA SOODVISNOSTI KRITIČNE INFRASTRUKTURE

Integralni, računalniško podprt simulacijski modul za podporo odločanja na področju varovanja in zaščite kritične infrastrukture predstavlja enega od temeljnih delov projekta. Zasnovan je kot integralno orodje za simulacijo in modeliranje procesov in njihove soodvisnosti znotraj in med sistemi kritične infrastrukture. Z njegovo pomočjo je moč analizirati širjenje posledic nepredvidenega(nih) dogodka(ov) v enem sistemu na druge sisteme ter ocenjevati tveganja za njihovo (ne)delovanje, ugotavljati učinke sprejetih omilitvenih ukrepov za preprečevanje tveganj ter tako povečevati stopnjo varnosti kritične infrastrukture.

Način preučevanja različnih relacij in soodvisnosti kritične infrastrukture v projektu RISKGIS predstavlja v RS nov in inovativen pristop, ki je sicer bil delno predstavljen v dosedanjih študijah in razpravah vendar samo do nivoja sektorskih povezav. Projektni pristop usmerjen k izgradnji integralnega systemskega modela, ki temelji na enotnem geografskem informacijskem sistemu z uporabo javnih podatkovnih baz, agentnem načinu modeliranja ter simulaciji osnovnih funkcij tako znotraj infrastrukturnih sistemov kot vpliva nedelovanja na druge infrastrukturne sisteme, je v Sloveniji prvi poizkus obravnavanja tovrstne problematike v smeri ustvarjanja enotnega teoretičnega in praktičnega okvirja za učinkovitejše reševanje izzivov pri identifikaciji in zaščiti kritične infrastrukture. Projekt predstavlja odklop od splošnih razprav o pomenu, identifikaciji in zaščiti kritične infrastrukture h konkretnem preučevanju in ocenjevanju posameznih elementov kritične infrastrukture, njihovih povezav in vplivov v realnem okolju.

Analiza kritične infrastrukture je primarno usmerjena v analizo njene soodvisnosti. Po Rinaldiju (2001) soodvisnosti lahko delimo na geografsko, fizično, logično in kibernetsko.

Geografska soodvisnost se nanaša na lokacijsko bližino ene infrastrukture do druge in pomeni vpliv, ki ga ima določen nepredviden dogodek na te infrastrukture zaradi njene bližine. Eksplozija ali požar določene infrastrukture vpliva na spremembo stanja bližnje infrastrukture – posledice eksplozije na infrastrukturi, ki je prostorsko locirana v okolici dogodka. Soodvisnosti v tem primeru enostavno izhajajo iz prostorske – fizične bližine, ko stanje določene infrastrukture lahko vpliva na stanje druge. Fizična poškodba določene infrastrukture povzroči in vpliva na poškodbe infrastrukture v neposredni fizični bližini.

Fizična se nanaša na izmenjavo produktov oziroma dobrin in pomeni funkcionalno odvisnost ene infrastrukture od druge. Fizična odvisnost izhaja iz funkcionalne povezave med dvema infrastrukturama – agentoma. Izhod pri eni infrastrukturi (proizvod, storitev) je vhod pri drugi in nujen pogoj za njeno delovanje.

O kibernetski soodvisnosti govorimo takrat kadar je stanje ene infrastrukture odvisno od informacij prenesenih skozi informacijsko infrastrukturo. Kibernetska soodvisnost je relativno nov pojav in je rezultat vsesplošne komunikacijske in računalniške opremljenosti in povezanosti. Delovanje večjih modernih infrastrukturnih sistemov (npr. elektroenergetski sistemi, transportni sistemi) ni mogoče brez ustrezne komunikacijske in informacijske



podpore, ki omogoča njihovo avtomatsko upravljanje. V teh primerih je delovanje teh infrastruktur odvisno od komunikacijsko informacijske strukture. Osnovni izhodno vhodni produkt med infrastrukturami je informacija.

Logične soodvisnost se na naša na ekonomsko in politično soodvisnost oziroma na vse druge soodvisnosti, ki niso vsebovane v prvih treh. Lahko jo razumemo bolj kot nadzorno obliko, ki povezuje agente v eni infrastrukturi z agenti v drugi brez direktne fizične, kibernetske ali geografske povezanosti.

Analiza soodvisnosti ima lahko časovne ali ekonomske dimenzije. Poškodba oziroma nedelovanje ene infrastrukture ima lahko trenutni vpliv na funkcioniranje ostale infrastrukture (energetski izpadi) oziroma v ekonomskem smislu kakšni so neposredni stroški poškodbe in kako to vpliva na ekonomijo v širšem smislu. Po Galiju (2010: 15-24) so najpogostejše uporabljeni metodološki analitični pristopi in sicer kvalitativni modeli, input output modeli, metode sistemske dinamike, hierarhični holografski modeli in topološki modeli. V novejšem času se vse pogostejše metode simulaciji med katere uvrščamo metodo zvezne simulacije, petrijeve mreže ter agentne modele.

Simulacije sistemov so načini reševanja problemov z metodo eksperimentiranja na računalniškem modelu. Namen simulacije je ugotoviti funkcioniranje celote ali delov sistema pri določenih pogojih in omejitvah. Omejitve predstavlja naše znanje in poznavanje modela. Poznamo elemente, ne poznamo pa vzrokov in posledic, le-te pa nam pomaga prikazati simulacija sistema. Računalniška simulacija je torej elektronski ekvivalent dejanskega sistema.

Celoten proces simulacije sistemov razdelimo na naslednje korake:

- izgradnja modela
- izvajanje modela
- analiza rezultatov simulacije

V simulacijskem modeliranju so se najprej uporabljali za ta namen razviti programski jeziki, danes pa se vse več uporabljajo programska orodja, ki temeljijo na eni od grafičnih metod. Prednosti vizualnih interaktivnih grafičnih sistemov so predvsem v tem, da omogočajo dober pregled nad logičnim obnašanjem simulacijskega programa, z vizualnim nadzorom poteka simulacije lahko izločimo nekatere neperspektivne modele ter delujejo večinoma z logičnimi spremenljivkami.

Pri analiziranju in modeliranju soodvisnosti kritične infrastrukture se je v novejšem obdobju uveljavlja predvsem agentni pristop, ki temelji na interakciji avtonomnih objektov (gradnikov sistema) – agentov s specifičnim ravnanjem v okviru okolja, ki mu pripadajo in določeno geografsko lokacijo. Agentno modeliranje soodvisnosti kritične infrastrukture je uporabno tako za ugotavljanje fizičnih – funkcionalnih soodvisnosti, ki se nanašajo na fizikalne lastnosti infrastruktur, ugotavljanje fizikalnih, bioloških ali socialnih procesov kakor za ugotavljanje in analiziranje vzorcev obnašanja gradnikov sistema, pa najsi gre za fizikalne elemente ali socialne skupine oz. posameznike.



Razvoj agentno orientiranih modelov lahko predstavimo kot novo paradigmo pri modeliranju in simulacij kompleksnih sistemov. V literaturi obstaja več definicij, kaj termin »agent« sploh predstavlja, glede na različne pristope, pričakovanja in vizije. Agent, včasih imenovan programski agent, oziroma inteligentni agent, je avtonomna programska entiteta, kjer besedi »inteligentni« in »agent« opisujeta karakteristične značilnosti v smislu konstantnih ali spremenljivih vrednosti in celo vzorcev vedenja.

Agentno modeliranje se nanaša na ugotavljanje temeljnih lastnosti agentov ter modeliranje interakcij med njimi – kdo je ali bi lahko bil v povezavi s kom in dinamičnim urejanjem mehanizma interakcij. Z uporabo mrežne topologije, tako fizične kakor logične, se agenti lahko povezujejo oz. učinkujejo drug na drugega na osnovi funkcionalne soodvisnosti oziroma prostorske bližine. Če je mreža geopozicionirana v realnem prostoru, lahko učinke spremljamo v konkretnem prepoznavnem geografskem okolju države ali druge poljubne entitete.

Ugotovitve študije »Comparative Evolution of Modeling and Simulation Techniques for Interdependent Critical Infrastructure« (Laboratory for Safety analysis, Zurich, 2008) kažejo, da je agentni pristop najpogosteje uporabljena metoda na področju preučevanja modeliranja in simulaciji kritične infrastrukture. V omenjeni študiji je bilo analiziranih 33 projektov s področja modeliranja in simulaciji kritične infrastrukture in vsak tretji projekt je temeljil na uporabi agentne metodologije. Največ napora pri proučevanju kritične infrastrukture je bilo vložena v preučevanje funkcionalnih soodvisnosti v energetskem, informacijsko telekomunikacijskem sektorju in sektorju transporta.

V odnosu do tradicionalnih metod agentni pristop zagotavlja naravno okolje za preučevanje kompleksnih sistemov, še posebej njihove dinamike. Je dovolj prilagodljiv za prostorske simulacije (elektroenergetski sistemi, transportni sistemi, računalniška omrežja v geografskih informacijskih sistemih), saj imajo agenti tudi sposobnost gibanja v različnih smereh in hitrostih znotraj izbranega okolja. Implementacija interakcij agentov poteka v odnosu do prostora, omrežij ali v kombinaciji heterogenih struktur.

Glavne prednosti agentnega pristopa pri analizi soodvisnosti kritične infrastrukture so predvsem v sposobnosti in možnosti :

- preučevanja kompleksnosti in dinamičnosti kritične infrastrukture – analitične metode ne omogočajo celovitega reševanja problemov, medtem ko so agentni sistemi namenjeni prvenstveno preučevanju ravnno kompleksnih dinamičnih sistemov,
- agentnega pristopa, ki izhaja značilnosti samega agenta (interakcija in vplivanje na druge agente, prilagajanje ravnanja na podlagi predhodnih interakcij, umeščenost v prostor) in
- integracije statičnega okolja (prostorski in vsebinski atributi) z dinamičnim okoljem (agenti z lastnimi karakteristikami).

Za razvoj agentno orientiranih modelov obstoji mnogo različnih sistemov, ki pa jih v glavnem lahko uvrstimo v tri kategorije glede na način oziroma politiko uporabe in sicer odprtokodne, brezplačne in licenčne. Poleg teh osnovnih kriterijev je potrebno pri izboru primernega orodja upoštevati še razširjenost uporabe, sposobnost vzdrževanja sistema,



stopnjo razvoja, uporabniško podporo, število aplikacij posebej s proučevanega področja in možnost dostopa do izvorne kode. V primeru proučevanje kritične infrastrukture je pomemben dejavnik tudi integracija z GIS orodij in funkcionalnostmi (Castle, Crooks: 2006).

Pri izboru ustreznega orodja za modeliranje kritične infrastrukture projekta RISKGIS so bila upoštevana sledeča izhodišča: - glede na način uporabe – odprtokodni sistemi, uporabnost na različnih področjih (energetika, ekonomija, družboslovje), stopnja razvoja, implementirane rešitve na področju zaščite in varovanja kritične infrastrukture ter povezljivost z GIS okoljem.

Med razpoložljivimi odprtokodnimi sistemi (Swarm, Mason, Repast S) in ob pregledu nekaterih drugih orodij (Net logo), glede na izhodiščne kriterije, ima Repast Symphony najširši nabor potrebnih funkcionalnosti za razvoj simulacijskih modelov na principu agentnega pristopa. Vsako od omenjenih orodij ima določene prednosti, vendar najbolj celovito okolje za razvoj nudi Repast Symphony, ki je tudi najširše uporabljeno na različnih področjih vključno s področjem simulacij kritične infrastrukture. Poleg tega je podprto s širokim naborom zunanjih orodij za povezavo z zunanjimi orodji za statistične analize in vizualizacijo rezultatov simulacij ter omogoča integracijo z relacijskimi bazami podatkov ter GIS okoljem (Open Map, Esri ArcGIS).

Simulacije motenj izvajanja procesov na infrastrukturnih objektih

V projektu RISKGIS smo si zadali cilj razviti enotno simulacijsko arhitekturo ter orodje za ocenjevanje tveganj, ki obravnava koncept ranljivosti infrastruktur v povezavi s funkcionalno soodvisnostjo na področju delovanja elektroenergetskega prenosnega omrežja ter plinovodnega sistema na realni nacionalni mreži geopozicioniranih infrastrukturnih elementov.

S pojmom infrastruktura razumemo objekte, naprave, procese, okolje in postopke, ki zagotavljajo medsebojno, eno ali dvosmerno izmenjavo produktov. Pojem produkt uporabljamo v najširšem pomenu besede za izdelke, informacije, stanja, energijo ipd. Izhodni produkt pri enem infrastrukturnem objektu je hkrati vhodni element pri drugem ter nujen pogoj za njegovo delovanje.

Fizično oz. funkcionalno soodvisnost opazujemo kot izmenjavo produktov procesov, ki potekajo med infrastrukturnimi elementi (objekti) posameznega sistema, ki so povezani v omrežja. Pri tem velja predpostavka, da sistemi težijo k ravnovesju oz. so vodeni tako, da pri normalni porabi produktov, ki jih zagotavljajo, skupna razpoložljivost zadovoljuje skupno povpraševanje v vsaki točki omrežja, spojne poti pa so dimenzionirane tako, da omogočajo prenos zadostnih količin produkta. Elektroenergetski prenosni distribucijski sistem ter sistem distribucije plina sta po predpisih zasnovana tako, da omogočata delovanje tudi pri izpadu delovanja enega od elementov (načelo n-1). Tako npr. izpad proizvodnje na enem objektu nadomesti s povečano proizvodnjo na drugih objektih ali iz uvoza. Prekinitev ene spojne poti nadomesti s povečanim pretokom na drugih spojnih poteh. Zaradi določenih omejitev omrežja pa ni nujno, da je navedene postopke mogoče zmeraj uporabiti, ne da bi hkrati omejili ali celo ustavili dobavo produktov določenim porabnikom. V določenih



scenarijih pa lahko pride do izpada več objektov hkrati. V primeru večjih naravnih nesreč lahko pride do sočasnega izpada več infrastrukturnih objektov določenega sistema. V navedenih primerih »produkti« sistema ne potujejo od enega objekta k drugemu, izhodni produkt prvega objekta ni hkrati vhodni produkt pri drugem, funkcionalna povezava dveh soodvisnih objektov je prekinjena.

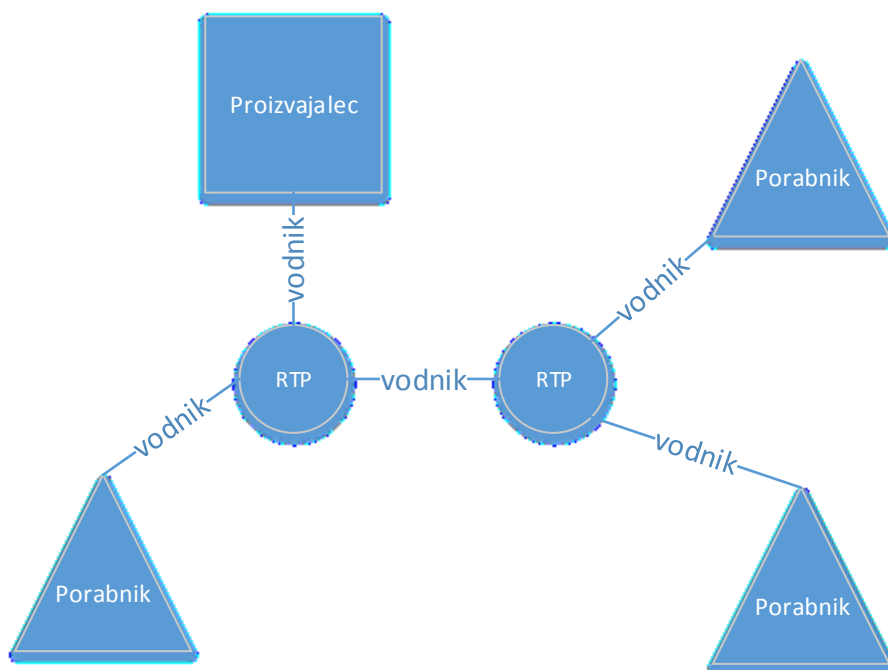
Za modeliranje funkcionalne soodvisnosti smo procese razčlenili na osnovne gradnike, v okviru katerih se le-ti odvijajo. Nadalje smo opredelili vse tiste lastnosti, ki določajo značilnosti in vedenje posameznega gradnika (agent) ter to zapisali v obliki ustrezne funkcije s karakterističnimi vrednostmi in omejitvami. Model infrastrukture je definiran kot agentni sistem, kjer agenti predstavljajo posamezne samostojne enote (pod modele), ki medsebojno komunicirajo. Vsak agent se obnaša po določenih pravilih, ki mu jih določimo in komunicira z drugimi prav tako določenimi agenti. Relacije med agenti so zapisane z matematičnim modelom, ki ga je mogoče prilagoditi tako, da ustreza modelu poljubnega realnega sistema. Za modeliranje soodvisnosti objektov smo uporabili metode modeliranja z uporabo agentov (Agent-based modeling, North et al) s programskim orodjem REPAST.

Pilotni primeri

Model visokonapetostnega elektroenergetskega prenosnega omrežja

1 Model visokonapetostnega elektroenergetskega prenosnega omrežja je poenostavljen na nivo zagotavljanja ravnotežja med proizvodnjo in porabo električne energije. Osnovni agenti elektroenergetskega sistema so zaradi poenostavitve porabniki, proizvajalci, vodniki, razdelilne transformatorske postaje in interkonekcije z drugimi elektroenergetskimi sistemi. V modelu so porabniki agregirani v 9 osnovnih skupin, vsak vodnik je funkcionalno povezan na ustrezni dve razdelilno transformatorski postaji, nadalje obravnava 34 proizvajalcev, 141 RTP-jev ter 9 transformatorskih postaj, kjer se povezuje s tujimi sistemi. Slika prikazuje poenostavljeno shemo enostavnega elektroenergetskega sistema modeliranega z agenti.

Slika: Primer elektroenergetskega sistema modeliranega z agenti



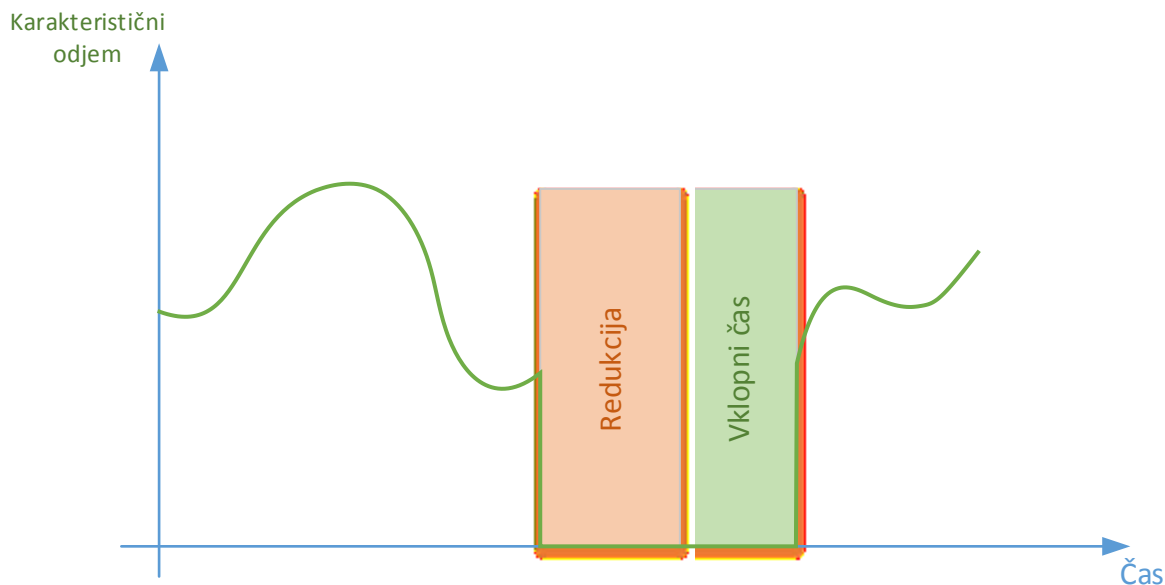
Primer sestavlja agent tipa proizvajalec električne energije, trije agenti tipa porabnik, dva agenta tipa razdelilna transformatorska postaja (RTP) in pet agentov tipa vodnik. Vsak od agentov komunicira z agentom s katerim je povezan (vodnik-porabnik,...) in ko sistem deluje v normalnem obratovalnem stanju mora biti poraba električne energije vseh porabnikov enaka proizvodnji električne energije vseh proizvajalcev.

2 Porabnik

Porabniki predstavljajo ponore električne energije v elektroenergetskem sistemu kot so gospodinjstva, industrijski objekti, poslovni objekti in drugi. Njihovo obnašanje je pasivno iz stališča porabe električne energije saj jo vedno porabljajo po njihovih lastnih željah.

Primer karakteristične odjema prikazuje naslednja slika, na kateri lahko tudi vidimo primer redukcije oz. izključitve porabnika iz omrežja s strani systemskega operaterja ter njegovo ponovno priključitev na električno omrežje.

Slika: Primer karakterističnega odjema ter prikaz pojava redukcije ter ponovne vzpostavitve porabe porabnika



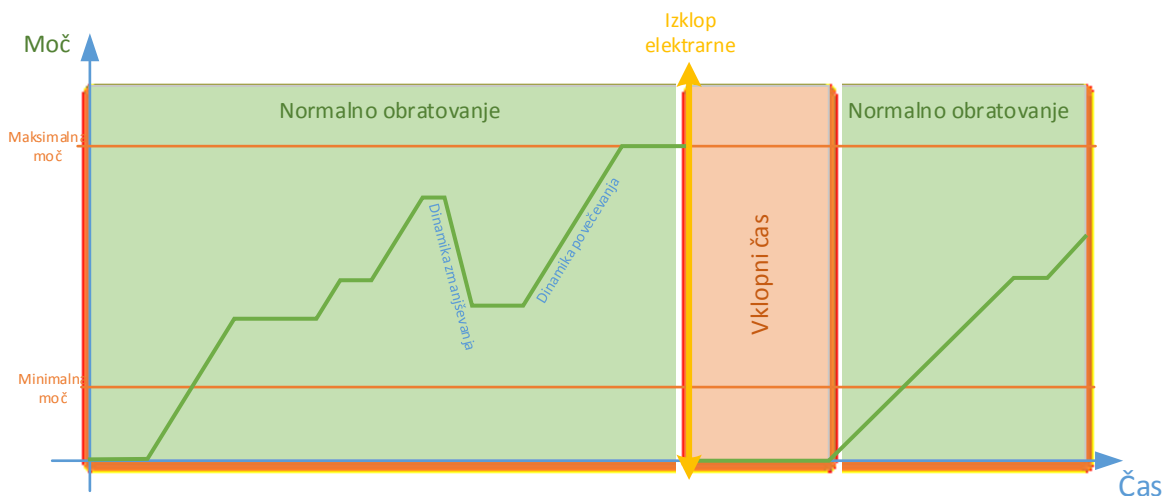
Trajanje redukcije je odvisno od systemskega operaterja in ne od porabnika. Po koncu redukcije in po koncu vklopnega časa porabnik normalno porablja električno energijo, ki jo določa njegov karakteristični odjem. Vhodne spremenljivke predstavljajo ukaze, ki jih lahko posredujemo porabniku v kolikor bi želeli vplivati na njegovo delovanje. Izhodne spremenljivke predstavljajo trenutno stanje porabnika.

3 Proizvajalec

Proizvajalci predstavljajo izvore električne energije v elektroenergetskem sistemu kot so nuklearne, hidro elektrarne, termo elektrarne na fosilna goriva in druge. Proizvajalci skrbijo za ravnovesje med porabo in proizvodnjo električne energije, kar pomeni, da sproti glede na potrebe prilagajajo proizvodnjo električne energije.

Primer na naslednji sliki prikazuje dinamiko proizvodnje električne energije ter ponovno vzpostavitev delovanja v primeru izklopa, kjer mora preteči zagonski čas, da se lahko elektrarna ponovno zažene.

Slika: Primer proizvodnje električne energije proizvajalca



4 Interkonekcija

Interkonekcija predstavlja povezavo elektroenergetskega omrežja s sosednjim elektroenergetskim omrežjem. Posebnost Interkonekcije je, da se lahko obnaša kot porabnik ali pa kot proizvajalec. Njeno obnašanje je definirano podobno kot je karakteristični odjem električne energije porabnika z razliko, da je možen tudi negativni odjem oz. proizvodnja električne energije. Kadar interkonekcijski agent porablja energijo pomeni, da naše elektroenergetsko omrežje energijo izvažata kadar pa jo proizvaja pa pomeni, da naš sistem uvažata energijo iz sosednjega.

5 Razdelilna transformatorska postaja

Razdelilne transformatorske postaje (RTP) so spojišča vodnikov in razdeljujejo električno energijo po omrežju. RTP vsebujejo prav tako izklopno logiko po kateri izklapljajo vodnike v primeru redukcij električne energije.

6 Vodnik

Vodniki povezujejo vse agente v skupno elektroenergetsko omrežje. Vsak vodnik lahko povezuje samo dva agenta. Vsak vodnik ima tudi maksimalno moč obremenitve, ki v primeru presega te vrednosti izklopi prenos energije.

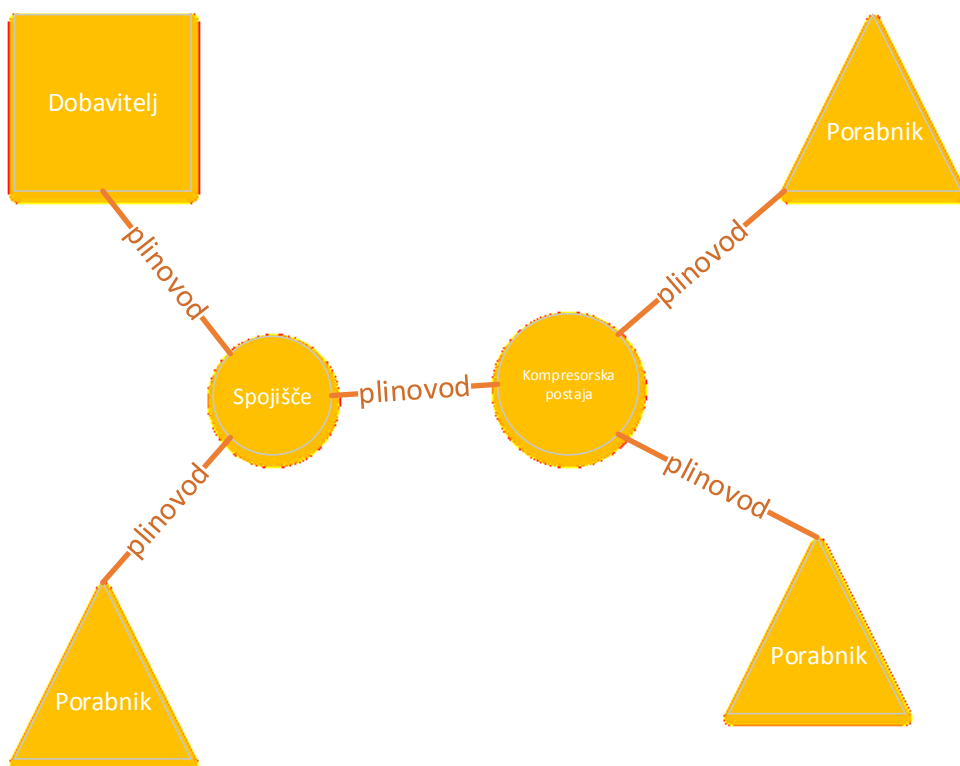
Model plinovodnega sistema

Model plinovodnega sistema je poenostavljen na preračunavanje pritiskov in pretokov po posameznih odsekih plinovodnega sistema. Celoten plinovodni sistem sestavljajo agenti, ki so funkcionalno povezani med seboj. Agente lahko razdelimo na pet tipov: plinovodna cev, spojišče, dobavitelj plina, porabnik plina in kompresorska postaja.

Naslednja slika prikazuje primer enostavnega plinovodnega sistema modeliranega z agenti.



Slika: Primer plinskega sistema modeliranega z agenti

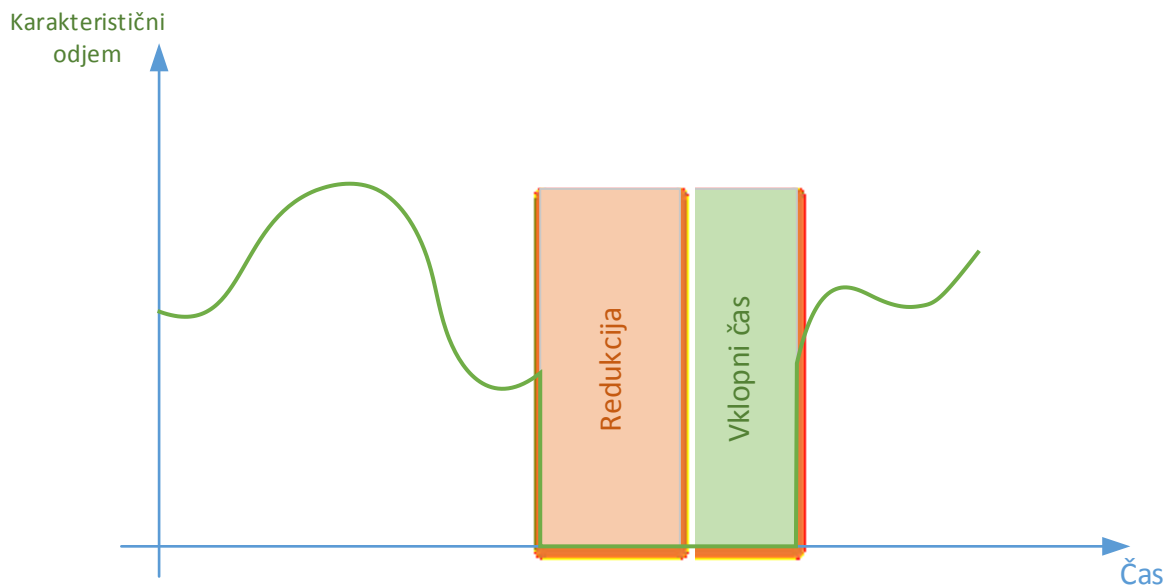


Primer sestavljajo agenti dobavitelj, trije porabniki, ena kompresorska postaja in plinska infrastruktura, ki zagotavlja pretok plina. Vsi agenti so povezani med seboj preko funkcijskih povezav in skupaj tvorijo plinski sistem, ki mora v normalnem obratovalnem stanju zagotavljati dobavo plina vsem porabnikom.

Porabnik

Porabniki predstavljajo ponore plina, kot so gospodinjstva, industrijski objekti, poslovni objekti in drugi, ki porabljajo plin za ogrevanje, proizvodnjo električne energije ali pa v predelovalne namene. Njihovo obnašanje je pasivno v smislu porabe pline saj vedno porabljajo plin po trenutni potrebi. Primer karakterističnega odjema prikazuje graf na naslednji sliki.

Slika: Primer karakterističnega odjema ter prikaz pojavitve redukcije ter ponovne vzpostavitve porabe plina porabnika



Trajanje redukcije je odvisno od systemskega operaterja in ne od porabnika. Po koncu redukcije in po koncu vklopnega časa porabnik normalno porablja plin, kot ga določa njegova karakteristična poraba. Vhodne spremenljivke predstavljajo ukaze, ki jih lahko posredujemo porabniku v kolikor bi želeli vplivati na njegovo delovanje. Izhodne spremenljivke predstavljajo trenutno stanje porabnika.

Dobavitelj

Dobavitelji predstavljajo izvore za dobavo plina v plinovodnem sistemu iz plinovodnih sistemov drugih držav oz. virov plina. Dobavitelji skrbijo za ravnovesje med porabo in dobavo plina, kar pomeni, da sproti glede na potrebe prilagajajo dobavo plina. Dobavitelji tudi skladiščijo plin tako, da sistem napolnijo predhodno z plinom ter s tem dvignejo pritisk v sistemu.

Plinovodno spojišče

Spojišča plinovodov razdeljujejo plin po plinovodnem omrežju.

Plinovod

Plinovodi povezujejo vse agente v skupno plinsko omrežje. Vsak plinovod lahko povezuje samo dva agenta. Vsak plinovod ima tudi maksimalni pritisk, ki ga prenese in pa kapaciteto shranjenega plina, ki je odvisna od njegove dolžine in premera.

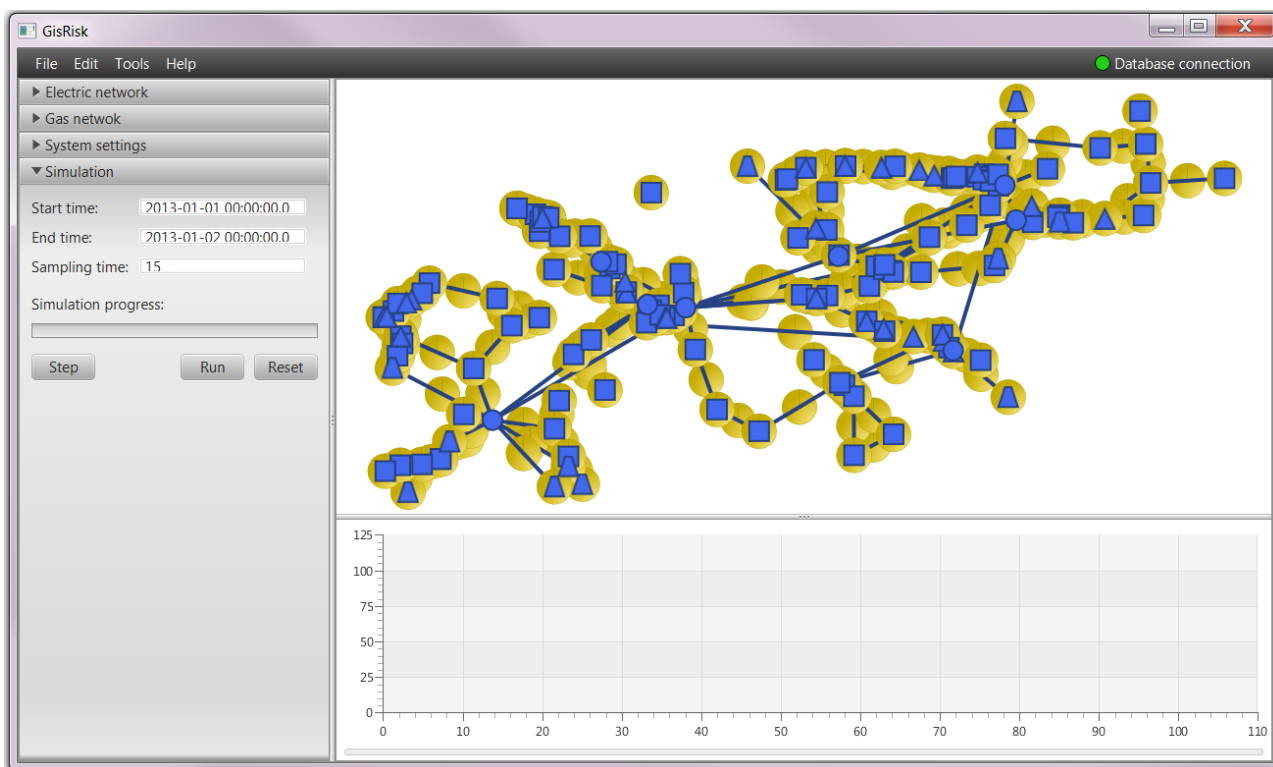
Simulacija soodvisnosti

Simulacija ugotavljanja kritičnih točk delovanja posameznega omrežja deluje po načelu zveznega prikaza soodvisnosti proizvodnje in porabe z upoštevanjem dejanskih količin ter omejitev, ki jih predstavljajo karakteristike distribucijskih elementov, ki so obravnavane po njihovih nazivnih vrednostih. Pri normalnem delovanju proizvodnja zadovoljuje dinamične



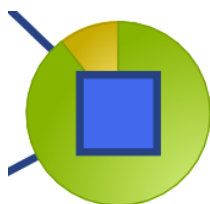
potrebe uporabnikov z uporabo transportnih poti, ki so ustrezno dimenzionirani, a imajo hkrati tudi omejitve v obliki minimalnih in maksimalnih vrednosti pretoka. Kritične točke sistema ugotavljamo tako, da iz delovanja izklopimo enega ali več elementov ter nato opazujemo delovanje sistema v različnih časovnih presekih. Zaradi omejitev proizvodnje ter transportnih poti simulacija pokaže vse realne točke, na katerih je dobava izpod predvidenega nivoja. Posledice nedelovanja lahko opazujemo na celotni infrastrukturni mreži.

Slika: Prikaz elektroenergetskega sistema na grafu.

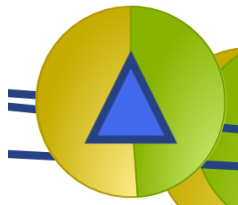


Graf prikazuje stanje elektroenergetskega sistema, je modre barve njegovi objekti pa predstavljajo:

- Porabniki so označeni s kvadratom, krog v ozadju pa predstavlja tortni diagram njegove porabe. Zelena barva predstavlja delež energije, ki jo porabnik prejme, rumena barva pa delež energije, ki bi jo porabnik še želel prejeti, da bi zadovoljil svojo potrebo vendar mu je sistem ne more zagotoviti.



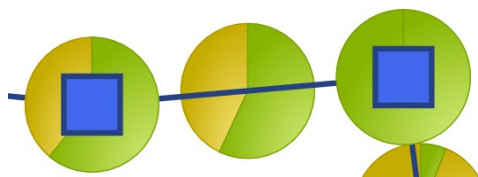
- Proizvajalci so označeni s trikotnikom, krog v ozadju pa predstavlja njihovo trenutno moč relativno na njihovo maksimalno moč.



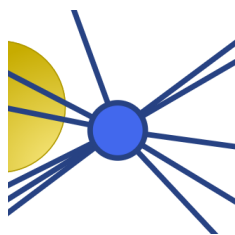
- Interkonekcije so označene s trapezom. Krog v ozadju predstavlja: v primeru, da je interkonekcija izvoznik energije, količino prejete energije relativno na željeno izvozno energijo in v primeru da je uvoznik količino energije ki bo jo želel uvoziti vendar je ne more zaradi stanja omrežja.



- Daljnovodi so označeni z modro črto. Krog na sredini daljnovoda pa predstavlja njihovo trenutno obremenitev relativno na prenosno zmogljivost.



- Razdelilne transformatorske postaje so označene s krogom



Robni pogoji in omejitve

Simulacija delovanja/nedelovanja omrežij se izvaja za potrebe ugotavljanja kritičnih objektov in funkcij »kritične infrastrukture«, kjer se kot kritična pojmuje tista infrastruktura, ki »obsega tiste zmogljivosti, ki so ključnega pomena za državo in bi prekinitve njihovega delovanja ali njihovo uničenje pomembno vplivalo oziroma imelo resne posledice na nacionalno varnost, gospodarstvo, temeljne družbene funkcije, zdravje, varnost in zaščito ter družbeno blaginjo, ocenjene po merilih, ki jih določi Vlada Republike Slovenije«. ¹

¹ Uredba EKI SLO.



Ker je osnovni namen simulacije delovanja sistemov ugotoviti posledice nedelovanja (nezmožnosti izvajanja funkcij) v okviru pragov, ki so določeni z uredbo, je model postavljen tako, da zadovoljuje navedene kriterije. Zaradi navedenega se predvsem porabniki (široka potrošnja) obravnavajo agregirano s podatki zadnjega odjemnega mesta, za katerega se vodijo podatki in so javno dostopni.

Struktura modela je zasnovana tako, da omogoča obravnavo karakterističnih režimov proizvodnje in porabe, prioritet in specifik, ki izhajajo iz nakupno-prodajnih aranžmajev, vendar dejanski podatki niso v celoti dostopni. Za potrebe simulacije se uporabljajo prirejeni podatki, za katere pa ni nujno, da odražajo dejansko stanje. Njihova vrednost je tako bolj ali manj zreducirana na študijski nivo.

Zaključek (za področje simulacij)

S simuliranjem različnih situacij smo ugotovili, da sta oba opazovana sistema ustrezno dimenzionirana za primer izpada enega od elementov (načelo n-1). V primeru nedelovanja več elementov hkrati smo ugotovili primankljaj dobave na območjih, kjer je najmanj alternativnih spojnih poti. Neposrednega vpliva motenj prekomejnih dobav na uporabnike v mejnem pasu druge države ni mogoče ugotoviti, saj bi za to potrebovali podatke za celotno distribucijsko mrežo. Ugotovimo lahko le obseg prekomejnega trgovanja.

Simulacijska arhitektura in orodja, ki smo jih razvili v projektu RISKGIS tako omogočajo ugotavljanje posledic nedelovanja infrastrukturnih objektov zaradi geografske bližine kakor tudi zaradi funkcionalne soodvisnosti. Vse pojave spremljamo na skupni geografsko-informacijski platformi, kar omogoča določanje objektov kritične infrastrukture, katerih nedelovanje ima največje posledice za delovanje države.