

DOLOČANJE PRIORITET OBNOVE KANALIZACIJSKEGA OMREŽJA PO METODI MINIMALNEGA TVEGANJA

DETERMINING REHABILITATION PRIORITIES OF SEWER SYSTEMS USING MINIMUM RISK METHOD

Tomaž Ervin Schwarzbartl, univ. dipl. inž. stroj.

tschwarzbartl@vo-ka.si

JP Vodovod kanalizacija Ljubljana

Vodovodna 90, 1000 Ljubljana

Izr. prof. dr. Albin Rakar, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

Izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

joze.panjan@ul-fgg.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 004.6:338.465:628.2:659.2

Povzetek | Kanalski sistem predstavlja veliko infrastrukturno vrednost, ustrezno so visoka tudi porabljena finančna sredstva za njegovo vzdrževanje in obnovo. Razpoložljiva, praviloma omejena sredstva je zato treba kar najbolj optimalno porabiti. Pri tem si pomagamo z različnimi metodami določanja prioritete obnove. V svetu in tudi pri nas je danes GIS podprto načrtovanje rehabilitacije kanalizacijskega omrežja že standard. Za optimalno uporabo baze podatkov GIS so potrebne sistematične in celostne metode analize in vrednotenja podatkov. Za potrebe določanja prioritete obnove s pomočjo GIS smo razvili metodo minimalnega tveganja, ki jo na kratko predstavljamo v pričujočem članku.

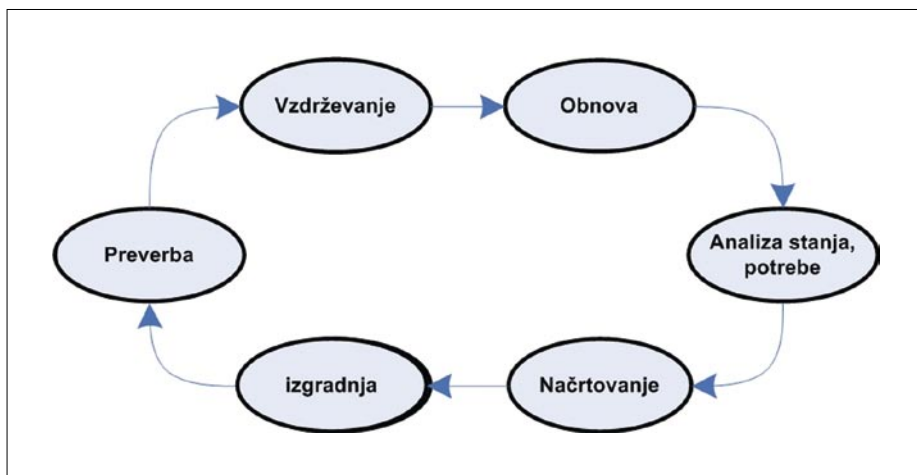
Summary | Sewer systems represent a big asset value and the corresponding costs for their maintenance and rehabilitation are adequately high. The available (limited) funds are supposed to be spent optimally with the help of different decision making methods for determining rehabilitation priorities. GIS supported planning of rehabilitation of sewer systems is nowadays an usual approach that needs adequate sustainable methods for analysing and evaluating of data. A minimum risk assesment method was developed for this purpose and is presented in this paper.

1 • UVOD

V Sloveniji se zadnje desetletje veliko dela na izgradnji manjkajočega kanalizacijskega omrežja, izgradnji čistilnih naprav v skladu z Operativnim programom za odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode, ki izhaja iz Nacionalnega programa varstva okolja na

področju politike varstva voda. S kanalizacijskim sistemom (KS) moramo zagotoviti, da bo zbrana onesnažena voda tudi res prišla do mesta čiščenja. Vzdrževanje in rehabilitacija omrežja pa se zato z izgradnjo šele začneta. Za pravilno in uspešno načrtovanje

rehabilitacije KS je treba upoštevati vse korake življenjskega kroga cevovoda (slika 1). Vse faze v delovanju kanalizacijskega sistema so med seboj povezane in se logično dopolnjujejo. Vsaka faza ima dolgoročen vpliv na to, kdaj in kako bo treba kanal obnoviti, kdaj in kako bo njegova tehnična življenjska doba potekla, kakšna bo predvidena življenjska doba in kakšni bodo celotni stroški v času njegovega delovanja.



Slika 1 • Življenjski krog kanalizacijskega sistema

Kanalski sistem kot vsak drugi, čeprav je zgrajen dobro, zapade sistemu staranja in prenehanja delovanja. Določen del kanalizacijskega omrežja vsako leto propade do stopnje, ko funkcionalno ni več sposoben opravljati svoje funkcije, del omrežja je ekonomsko neupravičeno popravljati zaradi predvidenih ponovnih poškodb in zmanjševanja zanesljivosti omrežja ter s tem povečanimi stroški točkovnih sanacij, v najslabšem primeru pa ima lahko zelo življenje ogrožajoče posledice, katerih reševanje je vedno zelo neprijetno in drago.

2 • METODE IN MATERIALI

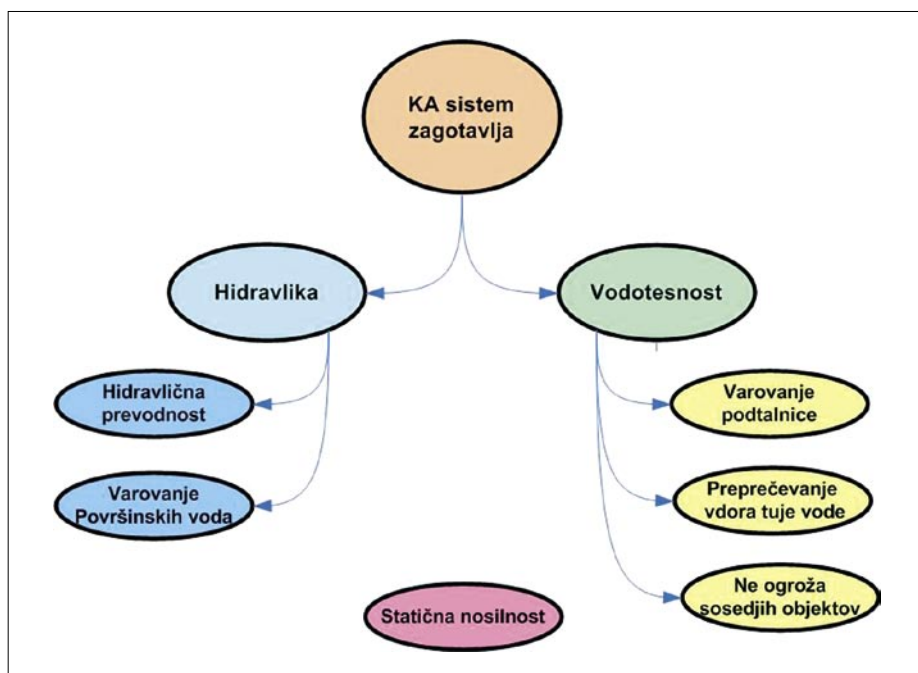
2.1 Pogoji za delovanje kanalizacijskega sistema

Sam kanalizacijski sistem mora zadostiti nekaterim pogojem delovanja, da lahko trdimo, da deluje v skladu s pričakovanji (slika 2).

Pri tem imamo v mislih javne KS in interne KS z objekti na KS, kot so hišni priključki, jaški, revizijski objekti, razbremenilniki, zadrževalniki (tu pa niso mišljeni objekti s strojno opremo – ČN, ČP idr.). Vsak posamezni del mora delovati v skladu s predpisi in standardi in zato mora biti njihovo stanje ustrezno pregledovano in vzdrževano.

Poškodovano kanalizacijsko omrežje ima lahko za posledice:

- posedanje, porušitev (intenzivnost, bližina ogroženih objektov);
- prelivanje (kje se nahaja, kje se razliva, uporaba prelitega zemljišča, čas trajanja preplavitve);
- onesnaženje podzemne vode in zemlje (prepustnost zemljine, oddaljenost od drugih podzemnih vodov, sposobnost filtracije zemljine, vrste in sestave odpadne vode);
- onesnaženje površinskih voda (kvaliteta površinskih voda, onesnaženost odpadne vode, pretoki in čas trajanja onesnaževanja);
- zmanjšano stopnjo čiščenja (neprimerna sestava odpadne vode – nedovoljene substance, ali preveč razredčena voda na dotoku v ČN);
- neposredne stroške (npr. stroški za sanacijo ali povečani stroški energije (črpalke) zaradi infiltracije);



Slika 2 • Osnovni pogoji delovanja kanalizacijskega sistema

- posredne stroške (npr. škode na objektih in inventarju);
- socialno nezadovoljstvo;
- za javno zdravstvo in varnost;
- drugo škodo za okolico (npr. smrad, hrup ali poškodbe).

Vsem tem neželenim dogodkom se lahko izognemo s pravilno projektiranim omrežjem, dobro in kvalitetno izvedbo izgradnje (kjer

so pomembni nadzor in kvalitetni izvajalci), s primerno zasnovanim in izvajanim monitoringom, s preventivnim vzdrževanjem in sprotimi popravili ter sistematičnim načrtovanjem rehabilitacije omrežja na osnovi poznavanja stanja sistema.

Sistem načrtovanja mora omogočati in zagotavljati, **da bodo ob pravem času zamenjani pravi kanalski odseki z uporabo pravilne metode obnove ob minimalnih celotnih stroških**

– še preden se pojavi kritična napaka na sistemu, kot je zapisano v uvodnem pojasnilu evropskega projekta CARE – S. Z drugimi besedami: kanalski odsek mora biti zamenjan, preden nastopi nedopustna stopnja tveganja zaradi možnosti njegovega nepravilnega delovanja. Določeni morajo biti kanalski odseki, ki so potrebni obnove, časovni roki izvedbe obnove posameznega odseka na osnovi poznanih enotnih prioritet in stroški, ki bodo ob tem nastali (COST Action 19).

Na ta način se izognemo prehitrim obnovam, ki še niso potrebne (dodatni stroški neizkoriščene infrastrukture), in s pravočasno obnovo ali zamenjavo preprečimo pojavljanje poškodb na sistemu, posledično preprečimo stroške popravil, odškodnin in odpravljanja tako nastale škode ter onesnaženje okolja. Zakonodaja že v osnovi zahteva in opredeljuje obveznosti, osnovne principe in način dela upravljavca z javnim kanalizacijskim omrežjem z vrsto zakonov, predpisov, pravilnikov, odlokov in standardov. Za nas je zanimiva shema načrtovanja obnove kanalizacijskega odseka po standardu EN 752, ki loči hidravlične, okoljevarstvene in gradbene vidike.

Pri načrtovanju rehabilitacije omrežja je treba poleg tehničnih in strokovnih rešitev upoštevati tudi širši vidik upravljanja z javno infrastrukturo.

Prisotnih je namreč veliko različnih interesov in želja, ki so si med seboj nasprotujoči in je težko vsem hkrati zadostiti, kot npr. varovanje okolja in podtalnice, ter čim nižji stroški s strani uporabnikov ...

Poleg vseh interesnih skupin ne moremo mimo osnovnih karakteristik kanalizacijskega sistema samega, ki jih lahko opredelimo takole (Maurer, 2007):

- kanalizacijski sistem je neviden (pod zemljo),
- ima dolgo življenjsko dobo (30–100 in več let),
- močno medsebojno odvisnost – drevesna struktura,
- sistem je neobčutljiv – robusten – z visoko toleranco za napake,
- napake so zelo redko katastrofalne (v primerjavi z npr. plinom) in njihov vpliv težko nadzorovan,
- nepravilno delovanje ima lahko dolgoročne in obsežne posledice (onesnaženje).

Te karakteristike puščajo precej veliko fleksibilnost pri odločanju o potrebnosti rehabilitacije, še posebej, če podatki niso transparentno urejeni in enostavno dostopni. Upravljavci javne komunalne infrastrukture običajno zbirajo velike količine podatkov o omrežju (digitalni kataster, pregledi in ocene stanja,

podatki o uporabnikih, o drugih komunalnih vodih, podatki o nivojih in gibanju podtalnice, geološka sestava tal, poseljenost, vodotoki, večji točkovni potencialni onesnaževalci, relief terena ...), analiza in obdelava vseh teh podatkov pa je lahko šibka točka, še posebej za manjše upravljavce, ki nimajo na voljo dovolj specializiranih kadrov (čas in usposobljenost) ali ustrezne programske opreme.

2.2. Baza podatkov GIS

Pri računalniški analizi, vrednotenju in uporabi podatkov je posebno poglavje zasnova baze podatkov. Katere podatke potrebujemo, v kakšni obliki jih moramo zbrati, kako zanesljivi morajo biti viri podatkov itd., se določi že pri zasnovi baze podatkov, predvsem pa je pomembno, za kaj in s kakšnim namenom jih bomo uporabili ((Stein, 2005), (Panjan, 1998)).

Baza podatkov GIS o stanju sistema je osnova za vse analize in vsako dobro načrtovanje rehabilitacije omrežja s poudarkom na določanju prioritete obnove posameznih kanalizacijskih odsekov na osnovi ocene stanja. Zasnova baze podatkov GIS je vsekakor zamudna in relativno draga, predvsem pa jo je treba stalno vzdrževati. Toda brez nje si danes nobenega resnega načrtovanja omrežja ne moremo več zamisliti.

potek prehoda stanj, kot je ugotovljen pri pregledu s TV-kamero:

$$1 - F(t \leq c) = 1$$

$$1 - F(t > c) = \frac{(a+1)}{(a + \exp[b \cdot (t-c)])} \quad (1)$$

$$1 - F(t = \infty) = 0$$

Ocenjena vrednost prehoda stanj je določena na osnovi pregledanega vzorca istih kanalskih odsekov v različnih obdobjih njihovega življenjskega cikla. Ker smo na ljubljanskem kanalizacijskem sistemu do sedaj izvedli le en pregled celotnega kanalizacijskega omrežja za posamezen kanalizacijski odsek in se bo naslednji krog pregledov začel izvajati šele v naslednjih letih, ne moremo izhajati iz dejanskih podatkov o spremembah na omrežju. Zato smo za oceno krivulje staranja (slika 3) uporabili podatke, pridobljene pri nemških raziskovalcih, in jih glede na leto pregleda in za naše vzorčno območje primerjali in prilagodili vrednosti ((Herz, 1999), (Stein, 2005), (Baur, 2005)).

Ob predpostavki, da se bo kanal staral v skladu z do sedaj zabeleženo hitrostjo staranja, lahko

3 • MODELIRANJE STARANJA SISTEMA

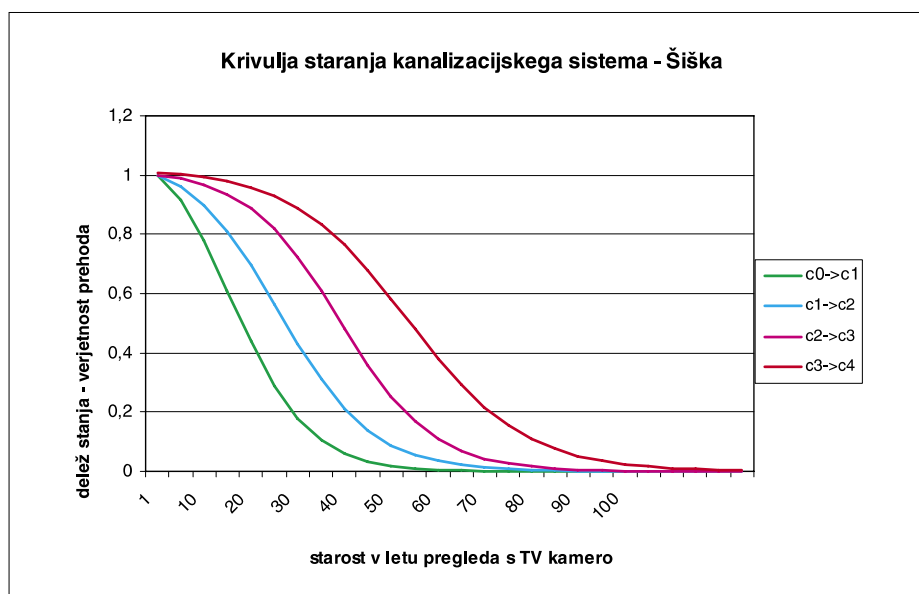
3.1 Staranje in življenjska doba kanalizacijskega omrežja – analiza trendov

Stanje kanalizacijskega omrežja želimo določiti iz podatkov. Za pridobivanje podatkov je vzpostavljen sistem nadzora in pregledov. V skladu z EN 752-5 je treba za ugotavljanje stanja oziroma izpolnjevanje zahtevanih pogojev delovanja kanalizacijskega sistema uporabiti vse dostopne informacije. Stanje sistema se nato določi na osnovi zbranih podatkov (običajno ciklični pregledi s TV-kamero na vsakih 10 let in interventni po potrebi), kjer podatkov ni, se lahko pristopi k modeliranju in simulaciji dogajanja v kanalizacijskem sistemu, vendar je tu natančnost ocene manjša. Hitrost staranja je pogojena z materialom cevovoda in pogoji vgradnje in obremenitve, pri tem je pomembno poznati predvideno življenjsko dobo kanalizacijskega odseka.

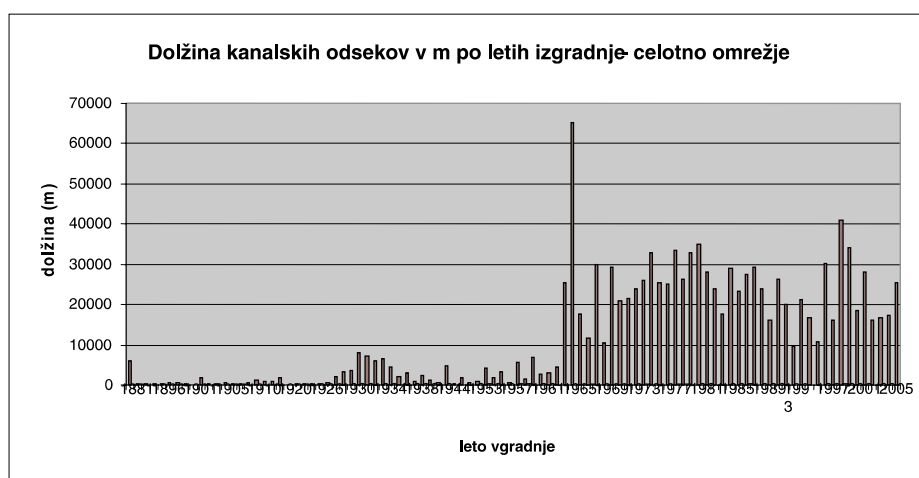
Določanje poteka staranja omrežja oziroma prehajanja iz posameznega razreda stan-

ja v drugega (klasifikacija ATV 143) lahko določimo s statističnim ovrednotenjem sprememb v obstoječem poznanim sistemu in z upoštevanjem verjetnosti, da se bodo drugi kanalski odseki v bodočnosti enako starali. Matematično lahko to popišemo z uporabo tako imenovanih funkcij staranja, ki jih je prvi predstavil in uporabil Herz (Herz, 1995). V konkretni uporabi za opis staranja uporabimo tako imenovano funkcijo prehoda razreda (FPR). FPR nam za posamezni kanalski odsek na osnovi njegovega razreda stanja dejansko da funkcijo staranja odseka glede na prehajanje iz enega razreda stanja (ATV 143) v drugega.

Funkcija staranja (preživetja) prikazuje, kakšen delež kanalov v določenem razredu stanja je glede na začetno stanje v določenem trenutku še prisoten v kanalizacijskem omrežju – je razlika med začetnim stanjem (1 oziroma 100 %) in časovnim integralom funkcije staranja (enačba 1), ki matematično popisuje



Slika 3 • Krivulje staranja za betonske cevi, DN < 600, vgrajene po letu 1960 – testni model, Šiška 2008



Slika 4 • Dolžina kanalskih odsekov glede na leto vgradnje



Slika 5 • Kumulativna dolžina vseh kanalov glede na leto izgradnje

napovemo obnašanje kanalskega odseka tudi v prihodnosti oziroma določimo lahko predvideno življenjsko dobo kanala. Seveda so posamezne karakteristike funkcije prehoda podobne le za enake cevne materiale in enake pogoje vgradnje. Tako tvorimo skupine podobnih cevovodov, katerih lastnosti lahko popišemo z enako krivuljo staranja. Z metodo staranja sistema ne moremo določevati točne prioritete obnove za točno določen odsek. Rezultati analize nam le v določeni stopnji statistične zanesljivosti omogočajo napoved trendov obnašanja sistema v prihodnosti in splošno oceno stanja cevovodov.

3.2 Analiza obstoječega stanja

Iz osnovnih podatkov digitalnega katastra kanalizacijskega sistema lahko določimo dolžine vseh kanalskih odsekov določene starosti (obdobje od 1881 do 2007), ki so v upravljanju JP VO-KA Ljubljana, kot je prikazano na sliki 4.

Prikaz vseh obstoječih kanalskih odsekov po starosti nam pokaže trend izgradnje kanalizacije v preteklosti in omogoča grobo oceno trendov staranja omrežja v prihodnje.

Na sliki 5 je prikazan kumulativni diagram obsega (dolžine) kanalizacijskega omrežja Ljubljane. Iz grafa je razvidno, da se je gradnja kanalizacije začela pospešeno izvajati po letu 1965 in se nato približno v enaki vrednosti nadaljevala vse do leta 2000. Na sliki 6 je prikazana predvidena dolžina kanalov, potrebnih obnove, za ljubljansko kanalizacijsko omrežje – varianta z upoštevanjem predvidene povprečne življenjske dobe kanala 60 let, upoštevanjem zahtevane tesnosti in srednjega tveganja za okolje.

Iz natančnejše analize podatkov, razvrščenih po materialu cevovoda, DN itd., lahko določimo obseg potrebne obnove sistema in planiramo potrebna sredstva za rehabilitacijo omrežja v skladu z, recimo, strategijo ohranjanja vrednosti omrežja. Znano je, da se obseg rehabilitacije zaradi premajhnih razpoložljivih finančnih sredstev prelaga v breme okolja (povečanega tveganja) in v zadolževanje naslednjih generacij prebivalcev Slovenije. Povečano tveganje pa ni edini problem takšnega odnosa do te družbene dobrine. Obnova kanalizacije je namreč zahteven poseg, saj za izvedbo potrebujemo veliko usklajevanja, sredstev in časa. Vsega omrežja ni mogoče obnoviti v, recimo, petih letih. Zato niso zamenjavanja, da od določene točke postaranja sistema ni več mogoče preprečiti npr. ekološke katastrofe. Ti splošni trendi stanja omrežja pa nam ne odgovorijo

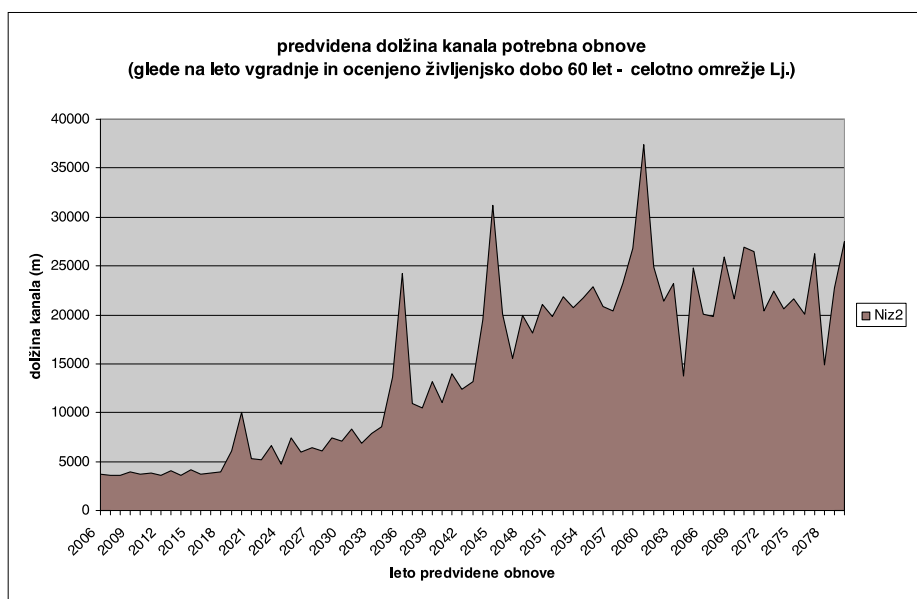
na vprašanje, kateri kanalizacijski odsek je treba najprej obnoviti, čeprav so osnova tudi takšnemu odločanju.

3.3 Določanje prioritet obnove

Da lahko odgovorimo na to vprašanje, smo razvili model določanja prioritet obnove na osnovi ugotovljenega stanja kanalizacijskih odsekov, ki predstavljajo največje skupno tveganje tako glede delovanja kanalskega sistema kot vplivov na okolje in človeka. Uporabili smo metodo najmanjšega tveganja, ki se v različnih drugačnih oblikah uporablja že nekaj desetletij v panogi varovanja podtalnice, varovanja ljudi pred naravnimi katastrofami, v preventivnem vzdrževanju strojne opreme, računalništvu itd., v zadnjih letih pa se je začela testno uporabljati tudi pri načrtovanju obnov vodovodnih sistemov (Tuhovčák, 2007). Metoda še ni razvita za kanalizacijske sisteme, čeprav se že pojavljajo prve napovedi za njeno implementacijo tudi za kanalizacijski sistem, zato smo jo razvili in dopolnili ter uporabili na lastnem modelu kanalizacijskega omrežja.

Običajni kriteriji za določanje prioritet obnove za srednjeročno plansko obdobje so pogojeni:

- z ustrezno hidravlično prevodnostjo odseka,
- z vrsto odpadne vode – padavinska, stopnja onesnaženosti komunalne vode,
- s starostjo odseka,
- z razredom stanja kanalskega odseka,
- s številom in velikostjo poškodb glede na klasifikacijo po ATV 143 (razred stanja) oziroma SIST EN 13508,
- z lego v vodovarstvenem območju,
- z območjem z visoko podtalnico,



Slika 6 • Predvidena dolžina kanalov, potrebnih obnove, ob upoštevanju predvidene povprečne življenjske dobe 60 let – ljubljansko kanalizacijsko omrežje

- s številom oskrbovanih strank,
- z evidentiranimi preplavitvami, zastoji,
- s preliv v vodotoke (zadrževanje, samočiščenje),
- z ocenjeno količino infiltrirane oziroma eksfiltrirane vode (in opisom poškodbe),
- z zunanjimi naročniki (investitorji), ki zaradi novogradnje menjavajo obstoječe starejše omrežje,
- z možnostjo pridobitve vseh potrebnih soglasij, služnosti oziroma gradbenega dovoljenja,
- s pobudami strank, občin in večjih predvidenih porabnikov,
- z nadaljevanjem že začelih gradenj v predhodnem obdobju,

- s časovnimi uskladitvami izvajanja obnov dotrajanih odsekov vodovoda in kanalizacije z drugimi komunalnimi vodi in ureditvami cestišč ter gradbenimi posegi,
- z dokončanjem nalog, za katere so že zagotovljena finančna sredstva.

Posamezni kriteriji se uporabljajo v skladu z obstoječo zakonodajo, tehničnim pravilnikom in konkretno situacijo na terenu – komu in čemu je kanal namenjen, kje se nahaja, predvideni stroški izgradnje in vzdrževanja ter kdo bo zagotovil finančna sredstva. Ti kriteriji so načeloma enaki tudi pri podprtem načrtovanju obnove GIS, le da so tu podatki sistematično zbrani, analizirani in ovrednoteni (v našem primeru s strani tveganja).

4 • OPIS METODE NAJMANJŠEGA TVEGANJA – MNT

4.1 Opis zasnove MNT

Samo ime nekoliko zavaja, saj na stopnjo tveganja lahko vplivamo glede na svoje želje, potrebe in zmožnosti, če tveganje poznamo, in se na osnovi tega odločamo o ukrepih. Pri zasnovi metodologije načrtovanja rehabilitacije sistema smo upoštevali naslednja dejstva iz prakse:

Glavne omejitve za dobro izvedbo projektov v praksi so običajno:

- obstoječi podatki so zbrani iz različnih virov in baz podatkov (ATV-M 143-2, SIST

EN 13508, poročila ...), ki niso med seboj združljivi,

- čas (dodatno opravilo, problem organizacije dela in sodelovanja služb),
- pomanjkanje razpoložljive delovne sile (motivacija, plačilo, kadri in usposobljenost).

Zato je morala biti metoda zasnovana kot časovno čim manj potratna, enostavna za uporabo, razumljiva, ravno tako pa je morala omogočati zajem in vrednotenje podatkov iz različnih virov.

Določitev parametrov tveganja lahko enostavno predstavimo kot presek med nevarnostnim in škodnim potencialom (slika 7): Določitev prioritet obnove poteka po osnovni shemi določanja največjega tveganja, ki potrebne podatke zajema v skupni bazi podatkov o elementih sistema in potencialnih nevarnostih ter njihovemu vrednotenju (slika 8).

Ovrednotenje tveganja, ki ga iz pridobljenih podatkov dobimo, je pogojeno s politiko določanja državnih in lokalnih prioritet glede standarda ohranjanja okolja in varnosti prebivalcev. Na osnovi določitve tveganja se določi **ukrepe** za zniževanje tveganja in vzpostavljajna zelenega stanja sistema.

Višjo prioriteto obnove imajo tisti kanalizacijski odseki, ki predstavljajo največje skupno tveganje in jih je zato najhitreje treba obnoviti (popraviti).

Zahteve za predvideno rehabilitacijo izhajajo iz zahtev zakonodaje, kot je:

- tesnost kanalizacijskega sistema,
- hidravlična prevodnost,
- okoljsko nevtralen sistem,
- nikakršen vpliv na okoliške objekte.

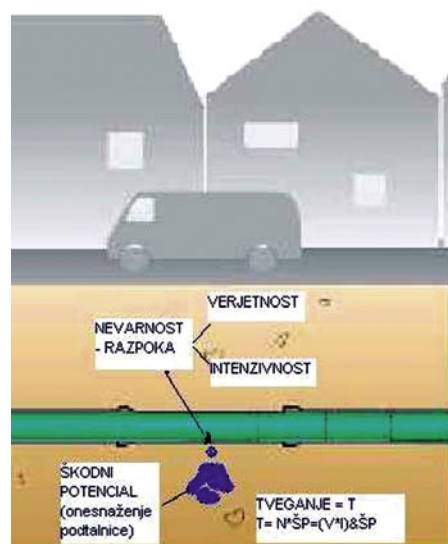
Nevarnosti smo razdelili na tri sklope skladno s standardom EN 752-5:

- **netesnost** (razpoke, premiki cevi, napačni priključki ...) – ogrožanje (onesnaženje) podtalnice – eksfiltracija, infiltracija (ČN);
- **slabo stanje sistema** (korozija, porušitev, staranje ...) – porušitev – trendi obnove;
- **nedelovanje** (blokada, sifoni, posedanje, sedimenti, korenine, preplavitve, prelivanje ...) – neželeni dogodki.

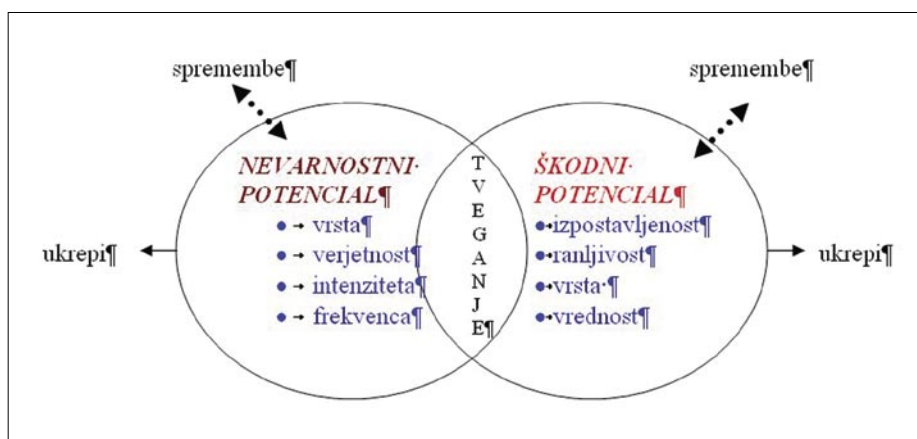
Posledice izhajajo neposredno iz nevarnosti in so lahko v grobem:

- onesnaženje – eksfiltracija onesnažene vode (netesnost),
- prelivanje in razlivanje onesnažene vode (blokada, zamašitve),
- poškodovanje ljudi in okoliških objektov (porušitev ...),
- infiltracija – vdor tuje vode v kanalizacijski sistem (netesnost),

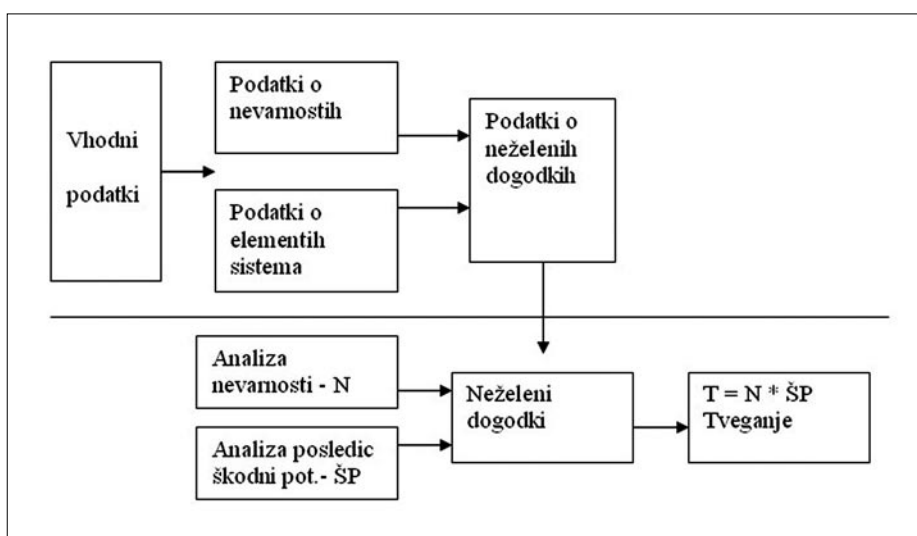
Kot je razvidno že iz sheme določitve tveganja, so posamezni sklopi nevarnosti in posledic opredeljeni še z njihovo frekvenco pojavljanja in možno oziroma izkazano intenziteto na določeni točki v sistemu.



Slika 9 • Primer onesnaženja okoliške zemljine



Slika 7 • Parametri določitve tveganja, prirejeno po ((Đurovič in Mikoš, 2004), (Romang, 2004))



Slika 8 • Določanje tveganja in zajem podatkov, prirejeno po (Tuhovčák, 2007)

Onesnaženje okoliške zemljine in posredno podtalnice je odvisno od dejanske količine iztečene vode (Wolf, 2008), od stopnje onesnaženosti odpadne vode in od frekvence pojavljanja iztekanja (lega poškodbe in nivo napolnjenosti kanala), od okoliške zemljine (prepustnost – glina – prod), od nivoja podtalnice (globina pod/nad nivojem kanala) in dejanske koriščenosti podtalnice (vodovarstveni pasovi, zajetje pitne vode ...). Za vsako nevarnost mora zato biti izdelana strokovna ocena tveganja, ki pa je vedno odvisna od strokovne usposobljenosti in izkušenj ocenjevalca in je zato vsaj nekoliko subjektivna in podvržena napakam.

Verjetnost nastopa poškodbe določamo na dva načina: ugotovljeno stanje nam da sliko o dejanskem trenutnem stanju (verjetnost = 1), z ugotavljanjem predvidenega stanja v prihodnosti na osnovi krivulj staranja (Hertz, 1995)

pa določamo verjetnost nastajanja poškodb v prihodnje in predvideno tveganje v naslednjem srednjeročnem obdobju (glavni spremenljivki sta starost in vrsta cevododa).

4.2 Vrednotenje in določitev normiranih vrednosti tveganja za kanalski odsek

Določitev tveganja za skupno ugotovljeno nevarnost na kanalskem odseku določimo po formuli:

$$T_{k=1-3}(j) = \sum_{i=1}^n N_i(j) * \dot{S}P_i(j) \quad (2)$$

$T_k = 1-3$ – tveganje

1-3 – sklopi nevarnosti – k:

1 – eksfiltracija, infiltracija

2 – porušitev, statična nosilnost (korozija, starost)

3 – neželeni dogodki, nedelovanje

N – evidentirana nevarnost $\uparrow$ na odseku j
 ŠP – določen škodni potencial na območju nahajanja odseka j za napako $\uparrow$

Na sliki 10 so prikazane vrednosti evidentiranih točk tveganja po metodi minimalnega tveganja na osnovi evidentiranih nevarnosti pri pregledu s TV-kamero in neželenih dogodkov na območju modela dela kanalizacijskega omrežja Ljubljana Šiška.

Dejanske vrednosti, ki so bile izračunane ali ocenjene in uporabljene pri analizi poškodb, stopnji infiltracije, resnosti ovire itd., so zaradi omogočanja primerljivosti posameznih sklopov nevarnosti med seboj normirane na maksimalno vrednost 10 točk, razlike v pomembnosti med posameznimi sklopi nevarnosti pa so upoštevane z utežjo U (slika 11).

$$TOC(j) = \sum_{k=1}^3 U_k(j) * T_k(j) \quad (3)$$

TOC – skupna vrednost tveganja za kanalski odsek j

U – utež za posamezno vrsto nevarnosti k na območju nahajanja cevovoda j

T – skupno tveganje, določeno iz predhodnih izračunov, glede vseh evidentiranih nevarnosti n in škodnega potenciala na kanalskem odseku j

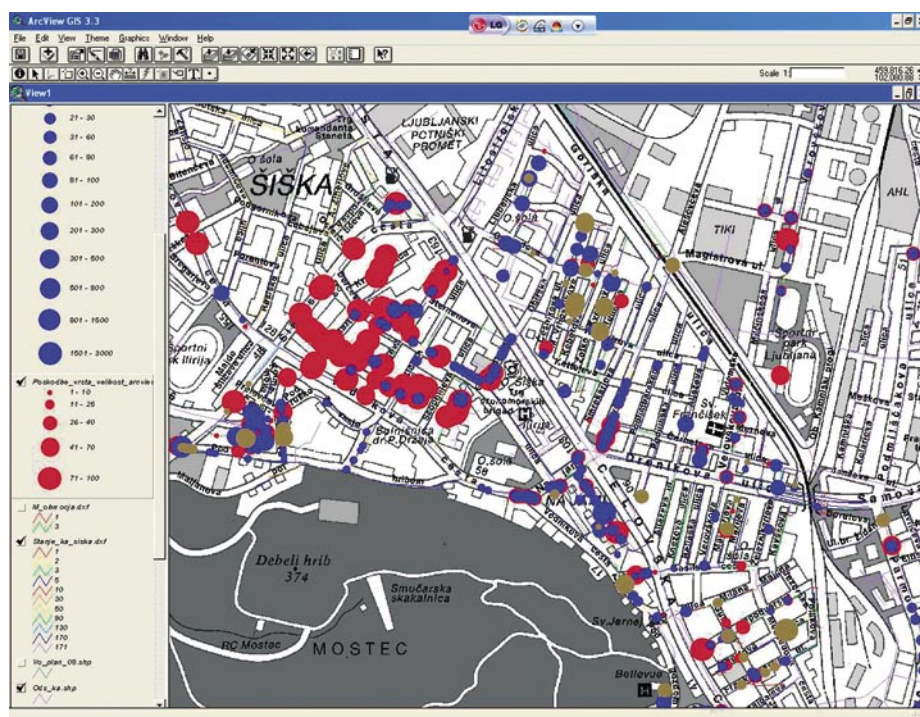
Uteži se določajo prostorsko (GIS) ali glede na vrsto poškodbe.

Vodovarstveno območje	Utež U_1 – tesnost
VVO 1	3
VVO II A	1,8
VVO II B	1,4
VVO III	1,2

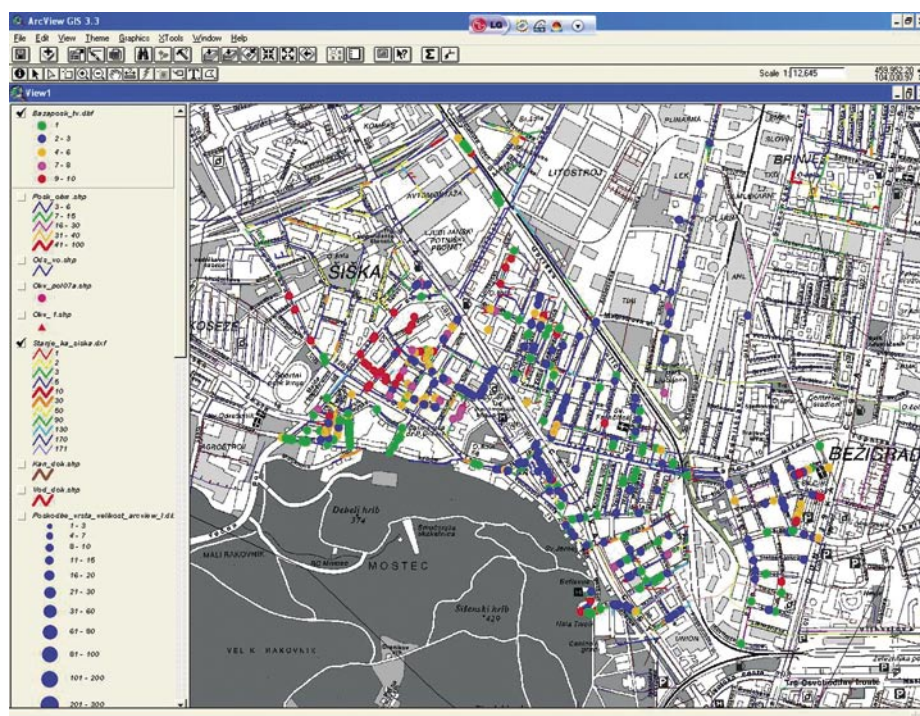
Preglednica 1 • Primer Uteži U_1 za vodovarstveno območje za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja

Dolžina kanalskega odseka določa tveganje na tekoči meter (m) kanala – normirano veličino, ki jo lahko med posameznimi kanalskimi odseki primerjamo. Kanalske odseke določimo običajno v dolžini 25–50 m (razdalja med dvema revizijskima jaškoma).

Ocenjeno skupno vrednost tveganja smo pripisali posameznim kanalskim odsekom s pomočjo programskega orodja GIS ArcView. Primerljivost podatkov, zajetih v različnih časovnih obdobjih (zajem s TV-kamero vsakih ca. 10 let), se simulira in popravlja z uporabo



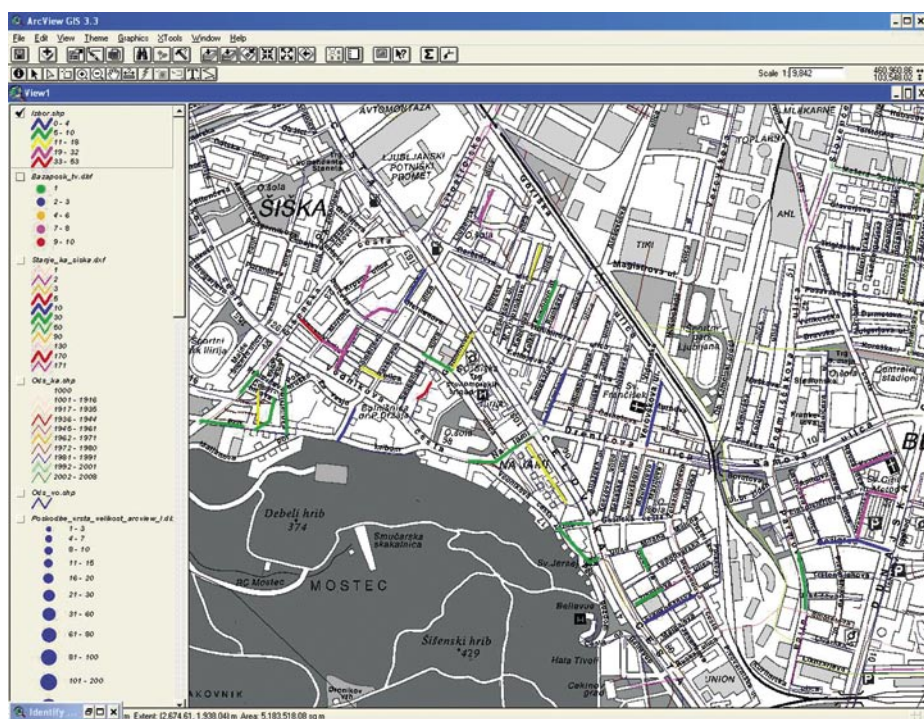
Slika 10 • Vrednotenje tveganja glede na vplivne faktorje izkazanih nevarnosti (še ni normiranih vrednosti)



Slika 11 • Normirane vrednosti za izkazana tveganja na kanalizacijskem sistemu – model Šiška

krivulj staranja (točka 3.1), kjer se običajno upošteva povečanje tveganja za 2 do 3 % na leto.

Posamezne barve (slika 11) predstavljajo skupno doseženo stopnjo tveganja evidentirane poškodbe in ne več vrste nevarnosti kot



Slika 12 • Predlog prioritete obnove omrežja na osnovi izkazanega skupnega tveganja za posamezne kanalizacijske odseke

v sliki 10. Iz vsote vseh evidentiranih tveganj, ki predstavlja skupno tveganje za kanalski odsek (tveganje/m), določimo v naslednjem koraku rang kanalskih odsekov, potrebnih obnove. Kanalizacijskih odsekov, ki glede na izbrane kriterije dosegajo vrednosti tveganja 0–0,2 točke/m, v bližnji prihodnosti še ne bo smotno obnoviti, čeprav že predstavljajo tveganja za okolje in človeka. Odseke, ki so zbrali od 0,2 do 0,28 točke/m cevovoda, pa bo treba čim prej obnoviti. Za odseke, ki so dosegli nad 0,3 točke/m, je optimalni čas za obnovo že potekel in jih je treba nujno takoj obnoviti. Na podlagi navedenih ugotovitev smo izdelali predlog obnove kanalizacijskega omrežja z vidika stanja sistema in okoljskega tveganja (slika 12), v katerem smo najkritičnejše odseke smiselno povezali za potrebe predvidene obnove. Ob upoštevanju hidravličnih zahtev in drugih omenjenih kriterijev (točka 5) lahko sedaj določimo prioritete obnove kanalizacijskih odsekov.

5 • SKLEP

Na kratko smo predstavili osnovna izhodišča rehabilitacije kanalizacijskega sistema, osnovo staranja in trendov stanja kanalizacijskega sistema ter metodo določanja prioritete obnove na osnovi minimalnega tveganja. Metoda minimalnega tveganja je dovolj objektivna, natančna in enostavna ter kot taka domača inženirski pra-

ksi. Pri tej metodi, ki izhaja iz poznavanja stanja sistema, je mogoče uporabiti vse obstoječe podatke o sistemu in jih vključiti v oceno stanja kanalizacijskega odseka, odseke med seboj primerjati in določiti prioriteto obnove na osnovi ugotovljenega tveganja, ki ga kanalski odsek predstavlja za okolje in človeka.

Tako smo za območje testnega modela KS v Šiški določili prioritete obnove kanalskih odsekov, ki pa jih še ne moremo ovrednotiti oziroma primerjati glede na celotno omrežje in nam trenutno kažejo le delno sliko dejanskega stanja omrežja. Stroški izvedbe (kriterij – vodotesna kanalizacija) sedaj potrebne rehabilitacije KS tega območja, ki predstavlja 4,7 % celotnega omrežja, je ovrednotena na 1.172.000 evrov.

6 • LITERATURA

- AISUWRS, Assessing and Improving the Sustainability of Urban Water Resources and Systems – Ocenitev in izboljšanje trajnostnega/celostnega upravljanja z zalogami pitne vode in sistemi za oskrbo s pitno vodo, evropski raziskovalni projekt, http://cordis.europa.eu/data/PROJ_FP5.
- Baur, R., Statistical Analysis of Inspection Data for the Asset Management of Sewer Networks, Technische Universität Dresden, Wojciech Zielichowski – Haber, Politehnika Wroclawska, Krupp Ingo, EU project – CARE-S, 2005.
- CARE, S, Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks, računalniško podprto načrtovanje rehabilitacije kanalizacijskega omrežja, evropski raziskovalni projekt, <http://care-s.unife.it>.
- COST Action 19, Proactive Crisis Management of Urban Infrastructure, proaktivno krizno upravljanje z javno infrastrukturo, evropski raziskovalni projekt, http://simba.ifak-md.de/cost_c19.
- Đurović, B., Mikoš, M., Preventivno obvladovanje tveganj zaradi naravnih, nevarnosti – postopki v alpskih državah in Sloveniji, Acta hydrotechnica 22/36, Ljubljana, 2004.
- Herz, R., Alterung und Erneuerung von Infrastrukturbeständen, Ein Kohortenüberlebensmodell, Erschienen in Jahrbuch für Regionalwissenschaft, Band 14/15, 1995.

- Maurer, M., Water Infrastructure Management, ETH- FS08, Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2006.
- Panjan, J., Temelji geografskega informacijskega sistema za vodovode in kanale v Sloveniji (za varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami), Ujma (Ljubljana), št. 12, str. 133–135, 1998.
- Romang, H., Wirksamkeit und Kosten von Wildbach-Schutzmassnahmen, Geographica, bernensia G 73, Geographisches Institut der Universität Bern. 211 p., 2004.
- Stein, R., Trujillo A., Analysis of long-term effects of maintenance strategies, Stein & Partners GmbH, 2005.
- Stein, R., Trujillo A., Shuan G., Qualitätssicherung der Inspektions und Bestandsdaten von Entwässerungssystemen durch analytische Plausibilitätssprüfungen, 2005.
- Tuhovčák, L., Ručka, J., Hazard identification and risk analysis of water supply systems, LESAM 2007, IWA 2nd Leading Edge Conference on Strategic Asset Management, Lisbon, Portugal, 17.–19. oktober, 2007.
- Wolf, L., Leaking sewers as a long term test case for wastewater infiltration, Combining screening programs for micropollutants and integrated model systems, CSIRO, Land & Water Seminar Series, Perth, 8. 4. 2008.
- Woodhouse, J., PAS-55, Asset Management: concepts & practices by John Woodhouse, Managing Director, TWPL IMC-2006, December 5-8, 2006, in Daytona Beach Florida, 2006.