

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Vodarstvo in  
komunalno inženirstvo

Kandidat:

**Domen Lajevec**

**Analiza vplivov onesnaženih voda s soljo iz  
cestišč na vodno okolje in čiščenje na  
komunalnih čistilnih napravah**

**Diplomska naloga št.: 106**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

**Somentor:**

dr. Darko Drev

Ljubljana, 29. 5. 2008

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **DOMEN LAJEVEC** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»ANALIZA VPLIVOV ONESNAŽENIH VODA S SOLJO IZ CESTIŠČ NA VODNO  
OKOLJE IN ČIŠČENJE NA KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAVAH«.**

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

Ljubljana, 12.5.2008

Podpis:

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 628.32:656.1:661.8(043.2)
- Avtor:** Domen Lajevec
- Mentor:** izr. prof. dr. Jože Panjan
- Naslov:** Analiza vplivov onesnaženih voda s soljo iz cestišč na vodno okolje in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah
- Obseg in oprema:** 66 str., 15 pregl., 2 graf., 6 sl., 5 en.,
- Ključne besede:** sredstva za zimsko vzdrževanje cest, vpliv soljenja cest, vpliv soli na biološko čiščenje, vpliv soli na vodno okolje,

### **Izvleček**

Diplomsko delo obravnava tematiko zimskega vzdrževanja cest, njegov vpliv na vodno okolje in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah. V prvem delu so predstavljeni preparati, ki se uporabljajo za zimsko vzdrževanje cestne infrastrukture. V tem delu so zbrani podatki o porabi sredstev, predvsem natrijevega klorida, za zimsko posipanje cestišč in vzdrževanje obcestnih objektov. Analiza porabe je opravljena tako za tujino, kjer sta podrobneje obravnavani Evropa in ZDA, kot tudi za Slovenijo. Za posipne soli, ki se uporabljajo v Sloveniji, so navedene količine, ki jih za to dejavnost v zimskem obdobju potrebujejo: Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji, Direkcija Republike Slovenije za ceste in Komunalno podjetje Ljubljana. Na podlagi omenjenih količin je izdelana primerjava porabe v Sloveniji s porabo v Evropi in ZDA. V drugem delu diplomskega dela je prikazan vpliv uporabe posipnih soli in drugih preparatov na vodno okolje in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah. Pri vodnem okolju so izpostavljene predvsem podtalnica in površinske vode. Po standardni metodi je določen vpliv cianidnih kompleksov na reki Glinščica, katere struga poteka predvsem v urbanem delu Ljubljane. Posipalna sol ima vpliv tudi na biološko čiščenje v procesu komunalnih čistilnih naprav. Podan je primer vpliva na biološki del čiščenja na Centralni čistilni napravi Domžale – Kamnik. V zadnjem delu so opisani še vplivi soljenja cest na floro obcestnih območij ter na kovinske dele obcestnih objektov. Zaključek temelji na smiselnosti uporabe soli in drugih preparatov ter omeni nujnost omejitve določenih snovi, ki prihajajo v okolje. Predlagane so uvedbe mejnih vrednosti, ki bi morale biti podane v zakonskih in podzakonskih aktih.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 628.32:656.1:661.8(043.2)  
**Author:** Domen Lajevec  
**Supervisor:** izr. prof. dr. Jože Panjan  
**Title:** An analysis of the effects of deicing salts on water environment and wastewater treatment  
**Notes:** 66 p., 15 tab., 2 diag., 6 fig.  
**Key words:** deicing products, deicing salt effects, wastewater treatment effects, effects of salt on water environment

### **Abstract**

The paper focuses on winter road maintenance and its effects on water environment and wastewater treatment. Part one presents deicing products used for winter maintenance of road infrastructure. A lot of data about deicers consumption, particularly sodium chloride, are collected here. An analysis of consumption is made for Slovenia, as well as Europe and the United States. The data regarding Slovenian consumption of deicing salts were gathered from Motorway Company in the Republic of Slovenia (DARS), Slovenian Roads Agency (DRSC) and Komunalno podjetje Ljubljana (KPL). They were sufficient to draw a comparison between Slovenian deicers consumption and consumption in Europe and the United States. Part two presents the effects of deicing products on water environment and wastewater treatment. Ground-water and surface water are examined at the beginning. A standard method is used to define possible effects of cyanide complexes on the river Glinščica. Glinščica is a typical river flowing through an urban area, and therefore very appropriate for such estimations. Deicing salts also affect biological aspects of wastewater treatment. This paper presents the effects of salts on wastewater treatment process in Domžale – Kamnik wastewater treatment plant. The last part presents the effects of salting on roadside vegetation and metal parts of the road system. The conclusion is based on the logical use of deicing salts and other products. Limitations and maximum values for certain chemicals used for deicing should be part of some regulation or legislation.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu in somentorju dr. Darku Drevu.

Zahvalil bi se tudi svojim staršema, ki sta mi omogočila študij in me pri tem podpirala.

Poleg njiju se zahvaljujem tudi Sonji, bratu Urbanu, Žigu in ostalim sošolcem, ki so mi kakorkoli pomagali pri študiju.

## KAZALO VSEBINE:

1	<b>UVOD</b> .....	Error! Bookmark not defined.
2	<b>ZAKONSKA PODLAGA V SLOVENIJI</b> .....	Error! Bookmark not defined.
3	<b>VRSTE IN UPORABA SREDSTEV ZA ZIMSKO VZDRŽEVANJE</b> .....	Error! Bookmark not defined.
3.1	<b>Natrijev klorid (NaCl)</b> .....	Error! Bookmark not defined.
3.2	<b>Kalcijev klorid (CaCl<sub>2</sub>) in magnezijev klorid (MgCl<sub>2</sub>)</b> .....	Error! Bookmark not defined.
3.3	<b>Drobir</b> .....	Error! Bookmark not defined.
3.4	<b>Natrijev, kalijev in železov heksacianoferat</b> .....	Error! Bookmark not defined.
3.5	<b>Ostali preparati</b> .....	Error! Bookmark not defined.
4	<b>PORABA SREDSTEV ZA ZIMSKO VZDRŽEVANJE CEST</b> ....	Error! Bookmark not defined.
4.1	<b>Poraba v tujini (ZDA, Evropa)</b> .....	Error! Bookmark not defined.
4.1.1	<b>ZDA</b> .....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2	<b>Evropa</b> .....	Error! Bookmark not defined.
4.2	<b>Poraba v Sloveniji</b> .....	Error! Bookmark not defined.
4.2.1	<b>Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS)</b> ....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2	<b>Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC)</b> .....	Error! Bookmark not defined.
4.2.3	<b>Mestna občina Ljubljana (MOL)</b> .....	Error! Bookmark not defined.
5	<b>VPLIV UPORABE SREDSTEV NA OKOLJE</b> .....	Error! Bookmark not defined.
5.1	<b>Vpliv posipa</b> .....	Error! Bookmark not defined.
5.2	<b>Prehajanje snovi v okolje</b> .....	Error! Bookmark not defined.
5.2.1	<b>Odvodnjavanje voda s cestišč</b> .....	Error! Bookmark not defined.
5.2.2	<b>Prehod v okolje preko odloženega snega</b> .....	Error! Bookmark not defined.
5.2.3	<b>Pršenje soli</b> .....	Error! Bookmark not defined.

<b>5.3</b>	<b>Vpliv zimskega vzdrževanja cest na vode.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.3.1</b>	<b>Vpliv na podtalnico.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.3.2</b>	<b>Vpliv na površinske vode .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.3.2.1</b>	<b>Vpliv heksacianoferatnih kompleksov.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.3.2.2</b>	<b>Uporaba metode WAD na območju Glinščice .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4</b>	<b>Vpliv soli na čiščenje odpadne vode.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.1</b>	<b>Biološko čiščenje .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.2</b>	<b>Vpliv soli na biološko čiščenje .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.2.1</b>	<b>Vpliv na aerobno čiščenje .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.2.2</b>	<b>Vpliv na anaerobno čiščenje .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.2.3</b>	<b>Vpliv na odstranjevanje dušika.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.2.4</b>	<b>Vpliv slanosti na motnost in lastnosti aktivnega blata</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.3</b>	<b>Vpliv soli na centralni čistilni napravi Domžale - Kamnik.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.3.1</b>	<b>Slanost na dotoku centralne čistilne naprave Domžale - Kamnik</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.4.3.2</b>	<b>Vpliv na biološki proces čiščenja Centralne čistilne naprave Domžale-Kamnik</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.5</b>	<b>Vpliv soli na tla .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.6</b>	<b>Vpliv soli na rastlinje ob cestišču .....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>5.7</b>	<b>Ostali vplivi soli.....</b>	Error! Bookmark not defined.
	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	Error! Bookmark not defined.
	<b>VIRI .....</b>	Error! Bookmark not defined.

## **KAZALO PREGLEDNIC:**

Preglednica 1: Prednostna razdelitev cest pri zimskem vzdrževanju

Preglednica 2: Pridobivanje soli v letu 2006

Preglednica 3: Zahteve za NaCl za uporabo za posipanje vozišč

Preglednica 4: Mejne vrednosti v soli za težke kovine

Preglednica 5: Sredstva za zimsko vzdrževanje in njihove lastnosti

Preglednica 6: Dolžina cestnih mrež nekaterih evropskih držav

Preglednica 7: Poraba soli za zimsko vzdrževanje cest v nekaterih evropskih državah

Preglednica 8: Poraba soli za ceste v upravljanju DARS od 1997/1998 do 2006/2007

Preglednica 9: Skupna poraba posipnih materialov za ceste v upravljanju DRSC od  
1995/1996 do 2006/2007

Preglednica 10: Poraba posipnih materialov za ceste v upravljanju MOL v sezonah 2005/2006  
in 2006/2007

Preglednica 11: Tipične koncentracije kloridov v različnih vrstah vod

Preglednica 12: Kritične koncentracije NaCl za nekatera živa bitja v sladki vodi

Preglednica 13: Kritične koncentracije NaCl in CaCl<sub>2</sub> za nekatere vodne organizme

Preglednica 14: Kritične koncentracije prostih cianidov za nekatera živa bitja v sladki vodi

Preglednica 15: Tolerantnost nekaterih vrst rastlin



## **KAZALO GRAFIKONOV:**

Grafikon 1: Količina ledu, raztopljenega z 1 kg NaCl, v odvisnosti od temperature

Grafikon 2: Prevodnost na dotoku Centralne čistilne naprave Domžale – Kamnik

## **KAZALO SLIK:**

Slika 1: Regijska razdelitev ZDA in območje pri velikih jezerih (Great Lakes), kjer je poraba soli najvišja

Slika 2: Predstavitev vpliva posipa cestišč na okolje

Slika 3: Modelna projekcija letnega odlaganja soli ob avtocestah I-55 in I-355 v ameriški zvezni državi Illinois

Slika 4: Območje raziskave in analizirani odseki A, B, C in D ob državni cesti Route 25 v jugo-vzhodnem Massachusetts-u

Slika 5: Pojav kloroze na hruškinih listih

Slika 6: Vpliv soli na cestne stebričke

## **KAZALO PRILOG:**

Priloga A: Pregledna situacija zlivnega območja reke Glinščice

Priloga B: Preglednica: Meritve prevodnosti na dotoku CČN Domžale – Kamnik, vremenski podatki ter spremembe v poteku čištilnega procesa za obdobje od 21. 2. 2004 do 27. 2. 2004.

## 1 UVOD

Po vsem svetu se stopnja mobilnosti zvišuje, saj se število prevoznih sredstev povečuje iz dneva v dan. Ob tem verjetno najhitreje raste število prevozov, opravljenih po cestah, torej z avtomobili, tovornjaki, avtobusi itd. Ustrezna varnost, prevoznost in tekoč promet na cestah sta poglobitna dejavnika, ki morata biti zagotovljena, za normalno mobilnost velikega odstotka prebivalstva. Za zagotovitev teh dejavnikov naj bi bila, poleg ustreznega načrtovanja cestnih mrež, na terenu in v pripravljenosti, dejavna vrsta različnih služb. Ena od teh je zimska služba, ki zagotavlja ustrezno prevoznost in varnost v zimskih razmerah. V tem letnem času so pogoji, ki jih narekuje narava, bistveno manj prijazni do udeležencev v prometu. Sneg, led, žled in poledica so le nekatere nevšečnosti, ki močno vplivajo na varnost v cestnem prometu. Zaradi tega moramo njihovo prisotnost na cestišču zmanjšati na najkrajšo možno obdobje, ki ga lahko dosežemo z uporabo za to primernih sredstev. S tem se zmanjšuje število nesreč in zastojev, ki so lahko velika izguba, tako po socialni kot ekonomski strani. Žal pa z uporabo določenih sredstev za taljenje zimske odeje in ledu močno vplivamo na okolje, ki nas obdaja.

Sol natrijev klorid ( $\text{NaCl}$ ) je najbolj zastopano sredstvo, ki se uporablja pri zimskem vzdrževanju. Njegova prisotnost v okolju, v katerega ga dovajamo, ni naravna. Podobno velja še za nekatere materiale, ki se uporabljajo. V večini držav sta to še kalcijev ali magnezijev klorid ( $\text{CaCl}_2$  in  $\text{MgCl}_2$ ). Pri uporabi pogosto prihaja do neekonomične porabe in s tem do še večje škode v okolju. Manj škodljivi materiali v večini primerov niso tako učinkoviti oziroma so neprijazni do cestnih objektov. Velike količine posipnih sredstev se porabljajo predvsem v razvitem svetu. Največje porabnice soli in ostalih dodatkov so ZDA. Le te porabijo vsako zimo za odpravljanje težav s snegom in ledom na svojih cestah okoli 15 milijonov ton soli. Velik porabnik soli so tudi države članice EU. Samo v Franciji denimo za soljenje pozimi potrebujejo tudi do 1,4 milijona ton soli, v Nemčiji približno 3 milijone ton.

Vpliv soli na okolje je velik. Uporaba soli najbolj vpliva na cestno infrastrukturo, prevozna sredstva, obcestno rastlinje, vodno okolje, čistilne procese v komunalnih čistilnih napravah idr. Prav vpliv na vodno okolje in čiščenje odpadne vode bo v tem diplomskem delu najbolj pod drobnogledom.

## 2 ZAKONSKA PODLAGA V SLOVENIJI

Pri upravljanju z javnimi cestami se mora v Republiki Sloveniji upoštevati zakon o javnih cestah (ZJC-UPB1). Zakon je bil objavljen v Uradnem listu št. 33 z dne 30. 3. 2006. Ta zakon določa status in kategorizacijo javnih cest; ureja pravila določanja mej javnih cest; določa enotna pravila in strokovne podlage za graditev in vzdrževanje vseh javnih cest, zaradi zagotovitve čimbolj enakih pogojev za kakovosten in varen prevoz vsem uporabnikom cest na celotnem cestnem omrežju v državi; določa obvezno gospodarsko javno službo za zagotavljanje usposobljenosti teh cest za varen in neoviran promet ter ureja upravljanje, graditev, vzdrževanje in varstvo državnih cest in prometa na njih. V tem zakonu je tudi opredeljena Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC), ki opravlja strokovno-tehnične, razvojne, organizacijske in upravne naloge za graditev, vzdrževanje in varstvo državnih cest. Na podlagi zakona je izdelan pravilnik o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest, ki ga je izdalo Ministrstvo za promet in zveze in je bil objavljen v Uradnem listu št. 62 z dne 11. 9. 1998. Ta pravilnik določa vrste vzdrževalnih del na javnih cestah in potrebni nivo vzdrževanosti javnih cest. V besedilu je natančno določeno, kako se morajo ceste vzdrževati. V 13. členu, ki razčlenjuje pojem rednega vzdrževanja, je opredeljenih še vrsta del, ki so za to potrebna:

1. pregledniška služba,
2. redno vzdrževanje prometnih površin,
3. redno vzdrževanje bankin,
4. redno vzdrževanje odvodnjavanja,
5. redno vzdrževanje brežin,
6. redno vzdrževanje prometne signalizacije in opreme,
7. redno vzdrževanje cestnih naprav in ureditev,
8. redno vzdrževanje vegetacije,
9. zagotavljanje preglednosti,
10. čiščenje cest,
11. redno vzdrževanje cestnih objektov,
12. nadzor osnih obremenitev, skupnih mas in dimenzij vozil,
13. intervencijski ukrepi,
14. zimska služba.

Preglednica 1: Prednostna razdelitev cest pri zimskem vzdrževanju (vir: Pravilnik o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest. UL RS 62/98)

<b>Predn. razred</b>	<b>Vrsta ceste</b>	<b>Prevoznost ceste</b>	<b>Sneženje</b>	<b>Močno sneženje</b>
<b>I</b>	avtoceste, hitre ceste	24 ur	zagotoviti prevoznost vozišč, pomembnejših križanj, dovozov k večjim parkiriščem in odstavnih pasov	zagotoviti prevoznost vsaj enega voznega pasu in dovozov k večjim parkiriščem
<b>II</b>	ceste s PLDP > 4000, glavne ceste, glavne mestne ceste, pomembnejše regionalne ceste	od 5. do 22. ure	zagotoviti prevoznost; možni zastoji do 2 ur med 22. in 5. uro	zagotoviti prevoznost (pri večpasovnicah prevoznost vsaj enega voznega pasu), možni zastoji do 2 ur predvsem med 22. in 5. uro
<b>III</b>	ostale regionalne ceste, pomembnejše lokalne ceste, zbirne mestne in krajevne ceste	od 5. do 20. ure	zagotoviti prevoznost; možni zastoji do 2 ur predvsem med 20. in 5. uro	Zagotoviti prevoznost (pri večpasovnicah vsaj enega voznega pasu), možni zastoji predvsem med 20. in 5. uro
<b>IV</b>	ostale lokalne ceste, mestne in krajevne ceste	od 7. do 20. ure, upoštevati krajevne potrebe	zagotoviti prevoznost; možni krajši zastoji	zagotoviti prevoznost; možni zastoji do enega dne
<b>V</b>	javne poti, parkirišča, kolesarske povezave	upoštevati krajevne potrebe	zagotoviti prevoznost; možni zastoji do enega dne	zagotoviti prevoznost; možni večdnevni zastoji
<b>VI</b>	ceste, ki se v zimskih razmerah zapro			

Opombe k preglednici 1:

- Šteje se, da je prevoznost zagotovljena, če višina snega na cestah I. in II. prednostnega razreda ne presega 10 cm, na drugih cestah pa 15 cm, promet pa je možen z uporabo zimske opreme vozil.
- Ne glede na določila v tretjem stolpcu, v obdobju izredno močnega sneženja, ob močnih zametih in snežnih plazovih prevoznosti ni nujno potrebno zagotavljati. Podobno velja za poledico, če je zaradi dežja cesta gladka in poledice ni mogoče odpraviti z razpoložljivimi tehničnimi sredstvi.

Pod točko 14 je natančneje opisana dejavnost zimske službe. Predstavljene so naloge izvajalcev rednega vzdrževanja, ki jih morajo opravljati na tem področju. V nadaljevanju je prikazana prednostna razdelitev cest glede na kategorijo, gostoto in strukturo prometa, geografsko-klimatske razmere in krajevne potrebe. Razvrstitev cest po prednostnih razredih določi strokovna služba tako, da je zagotovljena usklajena prevoznost cestne mreže. Preglednica 1, ki določa prednostne razrede za vzdrževanje cest v zimskih razmerah, je sestavni del tega pravilnika.

### 3 VRSTE IN UPORABA SREDSTEV ZA ZIMSKO VZDRŽEVANJE

Preparati, ki se uporabljajo pri izvajanju zimske službe, omogočijo znižanje temperature tališča vodnih molekul. Z uporabo sredstev dosežemo nižjo temperaturo prehoda vodnih molekul iz tekočega agregatnega stanja (vodne kapljice) v trdno agregatno stanje (ledeni kristali). Tališče raztopin, kjer topljenec ne disociira, je nižje od tališča topila. Znižanje tališča  $\Delta T$  je premo sorazmerno koncentraciji topljenca  $C$ :

$$\Delta T = K_k \cdot C \quad (\text{En. 1})$$

kjer je

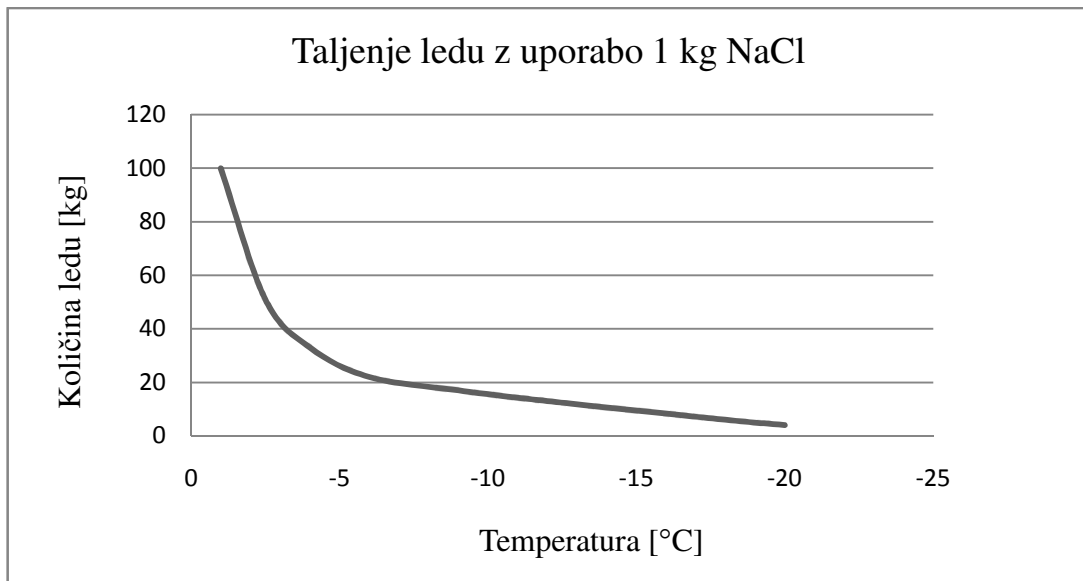
$\Delta T$  = znižanje tališča [K],

$K_k$  = krioskopska konstanta [K kg/mol],

$C$  = koncentracija topljenca [mol/kg].

Sorazmernostni koeficient  $K_k$  imenujemo krioskopska konstanta. Ledeni kristali torej pri vodi začnejo nastajati pri  $0^\circ\text{C}$ . Z dodajanjem preparatov se temperatura ledišča niža (primer: 10% raztopina NaCl ima ledišče pri  $-6^\circ\text{C}$ ). Uporabljene snovi se mešajo z vodnimi molekulami in preprečijo sprijemanje vodnih molekul ter posledično tvorbo ledenih kristalov. Ta proces je možen le do določene temperature, saj je količina raztopljenih snovi omejena. Raztopina po določeni koncentraciji snovi postane zasičena. Pri uporabi je potrebno vedeti, da različna sredstva dosega drugačne minimalne temperature tališča. Na grafikonu 1 je kot primer prikazana maksimalna količina ledu, ki se raztopi z uporabo 1 kg NaCl pri različnih temperaturah.





Grafikon 1: Količina ledu, raztopljenega z 1 kg NaCl, v odvisnosti od temperature (vir: Using Salt and Sand for Winter Road Maintenance. 1996. Wisconsin, Wisconsin Transportation Center, Wisconsin Transportation Bulletin No. 6: 12 str.)

Za taljenje snega in ledu se po svetu uporabljajo podobne snovi. Najbolj razširjena je uporaba natrijevega klorida (NaCl). Zaenkrat je NaCl še vedno nenadomestljivo posipno sredstvo, ki omogoča učinkovito in finančno sprejemljivo preprečevanje poledice v zimskih mesecih. Poleg NaCl se za vzdrževanje cest uporabljajo še druga sredstva kot so: MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, KCl, Ca-Mg acetat, sečnina, melasa, natrijev (kalijev, železov) heksacianoferat, idr.

### 3.1 Natrijev klorid (NaCl)

Sol se na svetu najpogosteje pridobiva na tri načine. Vsak od njih pokriva približno tretjino svetovnega pridobivanja. Prvi način je sončna evaporacija morske vode in celinskih slanah voda. Drugi način pomeni pridobivanje kamene soli iz kamninskih nanosov pod površjem zemlje in na njej. Tretjo vejo pa predstavljajo slanice, pridobljene kot raztopine. Pridobljene sklade soli najprej raztopijo z vodo, nato pa nastalo slanico vodijo v izparjevalnike, kjer dobijo zelo čist NaCl. (vir: Vplivi na okolje pri posipanju cestišča. 2003. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije, arhiv DARS d.d.: 104 str.)

Preglednica 2: Pridobivanje soli v letu 2006, (vir: Costa, J. L. P., 2007. Sea salt. Brazilija, Ministrstvo za rudarstvo in energijo, Državni oddelek za pridobivanje rudnin: 3 str.)

Države	Pridobivanje [ $10^3$ t]	
	2006	%
Brazilija	6.746	2.8
Nemčija	18.600	7.8
Avstralija	12.400	5.2
Kanada	15.000	6.2
Čile	6.100	2.5
Kitajska	48.000	20.0
ZDA	46.000	19.2
Francija	7.000	2.9
Indija	16.000	6.7
Poljska	5.000	2.1
Mexico	8.500	3.5
Nizozemska	5.000	2.1
UK	5.800	2.4
Ostali	39.854	16.6
<b>SKUPNO</b>	<b>240.000</b>	<b>100.00</b>

Količine pridobljene soli se z leti povečujejo. Trend se stupnjuje za približno 2% na leto. Največ soli pridobijo ZDA, Kitajska, Nemčija, Indija in Kanada. ZDA so v letu 2006 pridobile 46 milijonov ton soli, kar pomeni 19,2 % svetovnega odvzema. Kitajska je dosegla 20 % oz. 48 milijonov ton, Nemčija 7,8 % oz. 18,6 milijonov ton, Indija 6,7 % oz. 15 milijonov ton in Kanada 6,2 % oz. 15 milijonov ton soli. (Preglednica 2)

Svetovna poraba soli dosega približno 240 milijonov ton na leto. Od tega se več kot 10 % potrebuje za zimsko vzdrževanje cest. Največji svetovni porabnik soli je kemična industrija, ki po ocenah uporabi malo manj kot 60 % svetovne porabe, sledi pa ji človeška poraba s približno 18 %.

Kristali čistega NaCl so sicer prozorni, vendar so ob prisotnosti raznih nečistoč lahko tudi rumeni, rjavi in včasih modri. Nečistoče, v veliko primerih tudi težke kovine, lahko dosežejo celo 5 % celotne mase soli. Ravno zaradi nečistoč in drugih dodatkov, ki se dodajajo soli za posipanje cestišč, nemška raziskovalna družba za ceste in promet (Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) navaja za posipalno sol mejne vrednosti njenih karakteristik in njenih primesi. Le te so podane v preglednicah 3 in 4.

Preglednica 3: Zahteve za NaCl za uporabo za posipanje vozišč (vir: Švegl, F., Hevka, P., Herga, L., Verbovšek Judež, V. 2006. Lastnosti soli za posipavanje oplaščene z melaso.)

Lastnost	Kriterij
Vsebnost NaCl	najmanj 98 %
Vsebnost SO <sub>4</sub>	do 2 %
Vsebnost dodatka proti strjevanju	največ 200 mg/kg Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>
Vsebnost vlage	- splošno: do 2 % - za hranjenje v silosih: do 0,6 % - za hranjenje v razsutem stanju: do 1,5 %
Zrnavost	zrna pod 0,16 mm: do 5 % zrna nad 5,0 mm: 0 %

Preglednica 4: Mejne vrednosti v soli za težke kovine (vir: Švegl, F., Hevka, P., Herga, L., Verbovšek Judež, V. 2006. Lastnosti soli za posipavanje oplaščene z melaso.)

Element	Mejna vrednost (mg/l v 10 % - ni raztopini)
Arzen	≤ 0,25
Svinec	≤ 0,5
Kadmij	≤ 0,2
Krom (skupni)	≤ 0,5
Baker	≤ 0,5
Nikel	≤ 0,5
Živo srebro	≤ 0,05
Cink	≤ 2

### 3.2 Kalcijev klorid ( $\text{CaCl}_2$ ) in magnezijev klorid ( $\text{MgCl}_2$ )

Sam natrijev klorid se v Sloveniji uporablja le do  $-8^\circ \text{C}$ . Pri nižjih temperaturah je problem v higroskopičnosti. Čisti NaCl je slabo higroskopna snov, vendar že ob manjši prisotnosti nečistoč, še posebej v obliki kalcijevega klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) in magnezijevega klorida ( $\text{MgCl}_2$ ), postane zelo higroskopen in hitro veže vodo.  $\text{CaCl}_2$  in  $\text{MgCl}_2$  se uporabljata kot raztopini, ki se z NaCl mešata na posipalnem krožniku. Mešanica natrijevega in kalcijevega ali magnezijevega klorida učinkuje do temperature  $-18^\circ \text{C}$ . Ta način je pomemben predvsem za preventivno posipanje in preprečevanje ter odstranjevanje poledice. Preventivni posip samo z NaCl ali mešanico gramoza in soli ni primeren, ker zaradi prometa na cesti pride do prevelikega izmeta posipnega materiala z vozišča (do 90 %). Pri posipu z vlažno soljo je izmeta samo okrog 10 %. Ves ostali posipni material se prilepi na vozišče in tako učinkuje daljši čas, tudi do 14 dni. Količina posipnega materiala ki zadostuje za preventivni posip znaša  $10\text{-}15 \text{ g/m}^2$  – vlažne soli ( $\text{NaCl} + \text{MgCl}_2$  ( $\text{CaCl}_2$ )). Razmerje med solmi je odvisno od temperature v ozračju. Delež  $\text{MgCl}_2$  oz.  $\text{CaCl}_2$  se povečuje z nižanjem temperature. Seveda je učinkovitost takega posipa zadostna samo ob suhih zimah in sneženju, kjer je količina padavin zelo majhna (pršenje, rahlo naletavanje snega, megla).

Tudi pri operativnem posipanju se ob nizkih temperaturah uporablja tehnika mokrega soljenja. Razmerja NaCl in  $\text{MgCl}_2$  ( $\text{CaCl}_2$ ) se enako kot pri preventivnem posipanju spreminjajo v odvisnosti od temperature zraka.

### 3.3 Drobir

Poleg soli se za zimsko vzdrževanje uporablja tudi drobir. V nekaterih primerih je možna uporaba mešanice drobirja in soli. Drobir se uporablja le izjemoma v primeru poledenelega vozišča ali strnjenegega snega na vozišču. Načeloma se drobir ne uporablja za posipanje avtocest, hitrih in glavnih cest, temveč samo na regionalnih in makadamskih cestah. Drobir je denimo velik problem pri uporabi v urbanih okoljih, saj se z njim v kanalizacijskih sistemih pojavljajo težave. Prav zaradi tega se v mestih njegova uporaba postopoma opušča, v kolikor

še ni v celoti opuščena. Mešanica soli in drobirja se uporabljata v posebnih primerih, ko vremenske razmere to narekujejo. Največkrat je to v času, ko nastopita žled in poledenelo vozišče.

### **3.4 Natrijev, kalijev in železov heksacianoferrat**

Pri uporabi NaCl lahko pride do sprijemanja delcev v velike aglomerate in tvorbe trde skorje na površini nasute soli, kar povzroči izredno velike težave pri skladiščenju, nakladanju in posipavanju. Do tega prihaja predvsem zaradi povečanja vlažnosti v zraku na 70 do 75 %. Takrat prihaja do raztapljanja soli na površini in s tem do nastanka slanice. Ob upadu vlažnosti pa se nato začne rekristalizacija in povezava posameznih kristalčkov. Na površju nasute soli se začne skepanje soli v kepe oziroma oblikovanje trde skorje. Za ohranitev sipkosti soli se zato uporablja sredstvo proti strjevanju, ki preprečuje omenjeno dogajanje. Najbolj poznana in učinkovita sredstva proti strjevanju so natrijev oz. kalijev heksacianoferrat ( $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) ali železov heksacianoferrat ( $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ), ki se v praksi dodajata tudi do količine okrog 200 mg/kg soli.

### **3.5 Ostali preparati**

Snovi, ki se uporabljajo drugod po svetu, pri nas pa niso v uporabi so še: kalijev acetat ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ ), kalcijev magnezijev acetat, melasa, sečnina ter drugi. Melasa je stranski produkt pridelave sladkorja. Predstavlja grob viskozen sirup temno rjave barve, ki je dobro topen v vodi. Njene značilnosti so odvisne od predelave sladkornega trsa. Največkrat vsebuje veliko suhe snovi (okrog 80 %). Večino le te predstavljajo sladkorji. Uporablja se za preventivno posipanje, saj omogoča boljši oprijem soli na cestišče. Poleg tega pa znižuje tudi stopnjo korozivnosti materiala, ki se uporablja.

Ca-Mg acetat in sečnina ter nekateri drugi produkti se uporabljajo za zimsko vzdrževanje letaliških stez.

V preglednici 5 so podana najpogostejša sredstva, ki se uporabljajo za zimsko vzdrževanje. Njihova uporaba je različna glede na vpliv na okolje in njihovo ceno. Uporaba Ca-Mg acetata (CMA) je npr. dvajsetkrat dražja od uporabe NaCl.

Preglednica 5: Sredstva za zimsko vzdrževanje in njihove lastnosti (vir: Helmenstine, A. Melting Snow & Ice with Salt, About.com:chemistry <http://chemistry.about.com/cs/howthingswork/-/a/aa120703a.htm>)

Sredstvo	Formula	Učinkovanje	Za	Proti
Amonijev sulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-7°C	gnojilo	poškoduje beton
Kalcijev klorid	$\text{CaCl}_2$	-29°C	topi led hitreje kot NaCl	privlači vlago, površine spolzke pod -18°C
Kalcijev magnezijev acetat (CMA)	$\text{CaCO}_3$ , $\text{MgCO}_3$ in $\text{CH}_3\text{COOH}$	-9°C	bolj varen za beton in vegetacijo	deluje bolje kot preventivno sredstvo
Magnezijev klorid	$\text{MgCl}_2$	-15°C	topi led hitreje kot NaCl	privlači vlago
Kalijev acetat	$\text{CH}_3\text{COOK}$	-9°C	biorazgradljiv	koroziven
Kalijev klorid	KCl	-7°C	gnojilo	poškoduje beton
Natrijev klorid	NaCl	-9°C	ohranja suhe površine	koroziven, poškoduje beton in vegetacijo
Sečnina	$\text{NH}_2\text{CONH}_2$	-7°C	gnojilo	koroziven

## **4 PORABA SREDSTEV ZA ZIMSKO VZDRŽEVANJE CEST**

Poraba za zimsko vzdrževanje se v državah iz leta v leto spreminja. To je odvisno od vremena, ki je zelo spremenljivo. Na to vplivajo tudi podnebne spremembe. V povprečju se na svetu količina porabljenih materialov zvišuje, saj varnosti na cestah države dajejo vse večji pomen. Na to vpliva tudi vse večji razvoj držav po vsem svetu.

Ker se za vzdrževanje v največji meri uporablja sol (NaCl), je poraba le te najbolj merodajen dejavnik za oceno količin po različnih območjih. Največji porabniki soli so države razvitega sveta. Med njih spadajo predvsem ZDA, Kanada, evropske države in Japonska. V teh delih je poleg najvišje stopnje motorizacije in velike razvejanosti cestnih mrež tudi podnebje tisto, ki narekuje to dejavnost. V manj razvitih državah kakšen od teh dejavnikov ni tako izrazit, zato tudi uporaba materialov ni nujno potrebna.

### **4.1 Poraba v tujini (ZDA, Evropa)**

#### **4.1.1 ZDA**

ZDA so največji svetovni porabnik soli za zimsko vzdrževanje cest. Na celotnem območju se letno porabi približno 15 milijonov ton soli. V ZDA je več kot 70 % populacije in s tem tudi preko 70 % cest na območju, ki prejme preko 13 cm snega letno. Skupne ureditve, ki bi natančno določala način in tehniko zimskega vzdrževanja, ZDA nimajo, pač pa to urejajo zvezne države. Uporaba soli in drugih preparatov je torej po zveznih državah različna. Največji delež soli porabi območje okoli Velikih jezer (Great Lakes). To je približno 35 % celotne porabe. Sledi območje srednje atlantske obale (Middle Atlantic) z 25 % in Nove Anglije (New England) s 15 %.

Skupna dolžina cestne mreže v ZDA je 6,4 milijona kilometrov. Ker je 70 % cest v območju, kjer se ceste zimsko vzdržujejo, pomeni to približno 4,5 milijona kilometrov. (vir: National



Transportation Statistics 2007, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation)

Povprečna poraba določenega materiala na kilometer cestne mreže je izračunana po nasledni enačbi:

$$P = Q / L \quad (\text{En. 2})$$

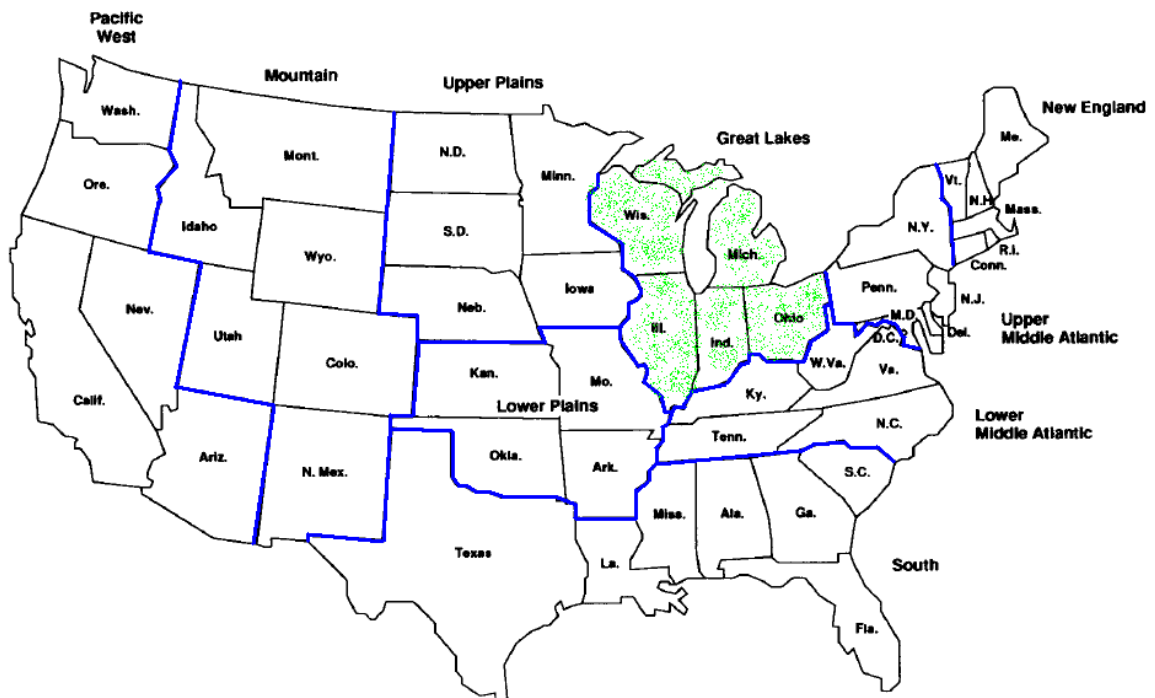
kjer je

P = poraba [ton/km],

Q = količina porabljenega materiala [ton],

L = dolžina ceste oz. cestne mreže [km].

V ZDA povprečno porabijo 3,33 tone na kilometer cestne mreže na sezono.



Slika 1: Regijska razdelitev ZDA in območje pri velikih jezerih (Great Lakes), kjer je poraba soli najvišja (vir: Highway Deicing. 1991. Washington, D.C., National Research Council, Transportation Research Board)

#### 4.1.2 Evropa

Tako kot v ZDA se tudi v evropskih državah na sezono izvede veliko število akcij povezanih z zimskim vzdrževanjem. Največje količine soli se porabijo v državah, kjer je veliko snežnih padavin in so temperature v zimskem obdobju nižje. Pri količini porabljenih soli je na prvem mestu Nemčija, ki potrebuje vsako zimo približno 3 milijone ton soli. Sledi ji Velika Britanija, ki za svoje namene uporabi 2,2 milijona ton. V Franciji se količine gibljejo do 1,4 milijona ton. Avstrijska poraba doseže okrog 400.000 ton, medtem ko v Švici in na Švedskem vrednost doseže 300.000 ton. Velik delež k porabi v Evropi zagotovo prinašajo še baltske države, Finska in Poljska. Tako je iz preglednice št. 7 in ob upoštevanju drugih dejstev evidentno, da količine soli, ki se v Evropi potrebujejo za zimsko vzdrževanje cest, presežejo vrednost 10 milijonov ton.

Evropska cestna mreža obsega preko 5 milijonov kilometrov cest. Največji delež cest spada v območje, kjer je potrebno zimsko vzdrževanje cest. Iz podatkov, ki so v preglednicah 6 in 7 je možno ugotoviti, da navedene države za zimsko službo potrebujejo približno 8,52 milijona ton soli. Seštevek cestnih mrež dotičnih držav pa znese 3,74 milijona kilometrov cest. Po preračunu je evidentno razvidno, da se v Evropi povprečno porabi 2,28 tone na kilometer cestne mreže na sezono.

#### 4.2 Poraba v Sloveniji

V Sloveniji je upravljanje s cestami razdeljeno na več subjektov. Avtoceste in hitre ceste upravlja Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji d.d. (DARS). Za nekatere hitre ceste, glavne ceste I. in II. reda ter regionalne ceste I., II., in III. reda, je odgovorna Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). Poleg teh cest imamo v Sloveniji še lokalne ceste in javne poti, za katere pa skrbijo občine same oziroma njihovi koncesionarji. Skupna poraba je torej odvisna od porabe posameznih členov. Pri zagotavljanju potrebnih razmer se mora upoštevati Zakon o javnih cestah in Pravilnik o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest.

Preglednica 6: Dolžina cestnih mrež nekaterih evropskih držav (vir: European Road Statistics 2007. Brussels, Belgium, ERF – IRF: 72 str.)

<b>Država</b>	<b>Dolžina cestne mreže [10<sup>3</sup> km]</b>
Avstrija	134
Belgija	150
Češka	142
Danska	72
Francija	1002
Nemčija	644
Nizozemska	126
Irska	96
Norveška	92
Romunija	106
Španija	381
Švedska	319
Švica	71
Velika Britanija	400
<b>Skupaj</b>	<b>3740</b>

Preglednica 7: Poraba soli za zimsko vzdrževanje cest v nekaterih evropskih državah (vir: Houska, C. 2003. Deicing salt – recognizing the corrosion threat. Pittsburgh, TMR Consulting: 11 str.)

<b>Država</b>	<b>Poraba soli [10<sup>3</sup> t] *</b>
Avstrija	400
Belgija	113
Češka	215
Danska	115
Francija	400 - 1400
Nemčija	3000
Nizozemska	135
Irska	30 - 70
Norveška	83
Romunija	108
Španija	80
Švedska	300
Švica	300
Velika Britanija	2200
<b>Skupaj</b>	<b>8519</b>

\* : Vrednosti se nanašajo na različna časovna obdobja od leta 2002 naprej, tako da lahko sedanje vrednosti za določene države nekoliko odstopajo

#### 4.2.1 Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS)

Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji ima v upravljanju 464,7 km avtocest in hitrih cest. Za vzdrževanje primernih razmer na cestni mreži v zimskem obdobju imajo svojo zimsko službo. Potrebno je vedeti, da so vse ceste, ki spadajo pod upravljanje DARS-a, v najvišji kategoriji cest. To pomeni, da mora biti njihova prevoznost kljub slabim razmeram kar najbolje zagotovljena. Ravno zaradi tega, se na takih cestah vsako leto porabi največ posipnih materialov.

Poleg cest mora DARS zagotavljati ustrezne razmere tudi na ostalih cestnih ali obcestnih objektih, kot so mostovi (122), viadukti (79), nadvozi (168), podvozi (179), predori in galerije (23) ter počivališča.

Poraba posipnih materialov je tudi v tem primeru odvisna od tega, kako huda je zima in koliko je bilo snežnih padavin ter mrzlih dni. V preglednici 8 so navedeni podatki za porabo soli v zimski službi družbe DARS. Obseg podatkov zajema zadnjih 10 sezon. Poleg porabe soli, je prikazana tudi dolžina cestne mreže, ki jo ima družba v upravljanju. V tem segmentu so upoštevani tudi priključki na avtoceste in hitre ceste.

Preglednica 8: Poraba soli za ceste v upravljanju DARS od 1997/1998 do 2006/2007 (vir: Gradivo o porabi posipnih sredstev podjetja Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS). 2007. Ljubljana, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS). (posredoval g. Sever, A.))

Sezona	Dolžina AC+priklj. [km]	Poraba soli [t]	Poraba soli [ton/km]
1997/1998	349	9.300	27,67
1998/1999	371	9.500	26,62
1999/2000	382	10.000	26,12
2000/2001	426	10.688	25,07
2001/2002	446	11.246	25,20
2002/2003	462	14.950	32,34
2003/2004	492	14.000	28,48
2004/2005	493	16.721	33,90
2005/2006	509	27.035	53,08
2006/2007	512	5.505	10,74
<b>Povprečje</b>	<b>444</b>	<b>12.895</b>	<b>29,02</b>

Kot je razvidno, močno izstopajo podatki za sezono 2005/2006. Takrat je bila zima z veliko količino snežnih padavin in mrzlih dni. V tej sezoni se je porabilo rekordnih 27.035 ton soli, kar pomeni 53,08 ton soli na kilometer cestne mreže. Ob upoštevanju povprečne širine na cestni mreži, ki znaša približno 22 m, pomeni to porabo  $2,40 \text{ kg/m}^2$  v dotični sezoni. Povprečna poraba soli je 12.895 ton, kar pomeni 29,02 ton soli na kilometer cestne mreže. Povprečna poraba na  $\text{m}^2$  cest torej znaša  $1,32 \text{ kg/m}^2$ . Ob tem je pomembno vedeti, da se

količine potrebujejo tudi za odpravo zimskih razmer na cestnih in obcestnih objektih, zato je dejanska poraba na cestišču najverjetneje nižja.

Ker so ceste, ki spadajo pod upravljanje DARS-a, v prvem razredu pri zagotavljanju prevoznosti, je količina porabljenih sredstev na kilometer zelo visoka v primerjavi s tujino. Tam so namreč upoštevane vse državne ceste, tudi poti in nepomembne ceste, ki se jih zimsko ne vzdržuje. Cestna mreža, ki je vzdrževana v tujini, je zato dejansko krajša od celotne upoštevane dolžine.

#### 4.2.2 Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC)

Ceste, ki jih ima v upravljanju DRSC, obsegajo 5825 kilometrov državnih cest. Po razdelitvi na 9 območij jih vzdržujejo različni pogodbeni izvajalci:

- območje 1 – VOC Celje;
- območje 2 – Cestno podjetje Nova Gorica ;
- območje 3 – CPK Koper;
- območje 4 – Cestno podjetje Kranj;
- območje 5 – Cestno podjetje Ljubljana;
- območje 6 – Cestno podjetje Maribor;
- območje 7 – Cestno podjetje Murska Sobota ;
- območje 8 – CGP Novo mesto;
- območje 9 – Cestno podjetje Ptuj.

Vsa pogodbeno podjetja uporabljajo materiale, določene po pravilniku. Njihove količine pa se od podjetja do podjetja razlikujejo. V preglednici 9 so podani podatki za porabo posipnih sredstev v preteklih 12-ih sezonah.

Preglednica 9: Skupna poraba posipnih materialov za ceste v upravljanju DRSC od 1995/1996 do 2006/2007 (vir: Gradivo o porabi posipnih sredstev podjetja Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). 2007. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). (posredoval g. Hevka, P.))

Sezona	NaCl (t)	CaCl - raztopina (t)	MgCl - raztopina (t)	CaCl + MgCl (t)	Drobljenec (m <sup>3</sup> )
1995/1996	40.609	704	0	704	56.517
1996/1997	31.484	667	0	667	48.678
1997/1998	16.139	425	0	425	14.829
1998/1999	49.884	197	473	670	54.090
1999/2000	42.878	0	402	402	41.628
2000/2001	19.994	0	161	161	15.219
2001/2002	37.487	146	376	522	27.410
2002/2003	48.035	37	548	585	31.931
2003/2004	51.201	0	426	426	41.818
2004/2005	49.632	0	505	505	36.132
2005/2006	76.446	0	570	570	62.520
2006/2007	18.184	0	288	288	12.066
<b>Povprečje</b>	<b>40.164</b>	<b>181</b>	<b>312</b>	<b>494</b>	<b>36.903</b>

Iz preglednice 9 je razvidno, da se količina potrebnih materialov postopoma zvišuje, vendar je njihova poraba zelo odvisna od zimskih razmer, ki se v določeni sezoni pojavijo. V povprečju se potrebuje približno 40.000 ton NaCl, kar pomeni 6,87 tone na kilometer cestne mreže na sezono. Ob upoštevanju povprečne širine ceste, ki znaša približno 8 m (2 x vozni pas + 2 x



robni pas), je poraba soli na cestah pod upravljanjem DRSC enaka  $0,86 \text{ kg/m}^2$  cestne mreže. Večina cest, ki spadajo pod upravljanje DRSC, je uvrščenih v višje razrede pri zagotavljanju prevoznosti. V tem primeru je pomembno dejstvo, da je pri porabi sredstev upoštevana tudi količina, ki je potrebna za vzdrževanje cestnih in obcestnih objektov. Maksimalna poraba NaCl je dosegla vrednost 76.446 ton v sezoni 2005/2006. To pomeni vrednost 13,12 tone na kilometer cestne mreže oziroma  $1,64 \text{ kg/m}^2$  cestnih površin.

V primerjavi z zimskim vzdrževanjem družbe DARS je poraba za ceste v upravljanju DRSC nižja, gledano preko porabe na  $\text{m}^2$  cestnih površin. Moramo pa vedeti, da nekatere ceste pod upravljanjem DRSC spadajo tudi v II., III., in IV. razred in njihova prevoznost ni tako nujno potrebna, kot pri cestah, ki jih upravlja DARS. Le te so namreč zgolj v I. prednostnem razredu po Pravilniku o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest.

Poleg NaCl podjetja uporabljajo tudi  $\text{CaCl}_2$  in  $\text{MgCl}_2$  ter drobir. Povprečna poraba  $\text{CaCl}_2$  in  $\text{MgCl}_2$  skupaj (uporabljata se kot raztopini pri mokrem soljenju) je dosegla vrednost 494 ton. Je pa opazno, da se je zmanjšala oziroma ukinila uporaba  $\text{CaCl}_2$ . V zadnjih sezonah je v uporabi le  $\text{MgCl}_2$ .

Najenakomerneje sta po sezonah porazdeljeni porabi NaCl in drobljenca. Povprečna količina, ki se na sezono raztrosi po cestah v upravljanju DRSC je skoraj 37.000 ton. Maksimum je njegova poraba dosegla v sezoni 2005/2006, ko se ga je porabilo 62.519 ton.

Največji porabi NaCl in drobljenca se časovno ujemata v zimi 2005/2006, kar pomeni, da je bila ta zima po količini snežnih padavin med najvišjimi v zadnjih 12 letih. To potrjujejo tudi podatki Agencije RS za Okolje (ARSO). V zimi 2005/2006 je res bilo največ dni s snežno odejo. V Ljubljani kar 106 dni, v Mariboru 94 dni, v Ratečah – Planici pa celo 140 dni s snežno odejo. (vir: Povzetki klimatoloških analiz: letne in mesečne vrednosti za nekatere postaje v obdobju 1991-2006, ARSO)

#### 4.2.3 Mestna občina Ljubljana (MOL)

Mestna občina Ljubljana (MOL) je eden od subjektov, ki upravlja s cestami na lokalnem nivoju. Za nemoten prevoz in čim boljše razmere na cestah v Ljubljani skrbi Komunalno podjetje Ljubljana (KPL). Podjetje ima za izvajanje vzdrževalnih del na cestnem omrežju mesta podeljeno koncesijo s strani MOL, zato je ena od nalog podjetja tudi skrb za zimsko vzdrževanje.

KPL opravlja zimsko službo na podlagi veljavnih zakonov in pravilnikov ter vseh podzakonskih aktov, ki določajo način zimskega vzdrževanja. Podjetje je pripravilo NAČRT ZIMSKE SLUŽBE, ki določa način in vrsto vzdrževanja v različnih pogojih.

MOL se po površini deli na 3 območja:

- OBMOČJE 1 – obsega centralni mestni del do mestne obvoznice
- OBMOČJE 2 – obsega vzhodni del mesta od mestne obvoznice do meje MOL
- OBMOČJE 3 – obsega severni, zahodni in južni del mesta od mestne obvoznice do meje MOL

V ta območja spada 823 km cest in ulic, poleg tega pa še številni pločniki, kolesarske steze, obračališča in postajališča MPP, mostovi, križišča in stopnišča ter požiralniški vtoki. Vsi ti deli infrastrukture so potrebni vzdrževanja v zimskem času.

Obseg načrta zimske službe v KPL:

- ceste in ulice	823 km
- pločniki	615.000 m <sup>2</sup>
- kolesarske steze	96.200 m <sup>2</sup>
- obračališča MPP	24 kos
- postajališča MPP	370 kos
- mostovi	77 kos
- semaforizirana in večja križišča	414 kos
- požiralniški vtoki	4.500 kos

- stopnišča

34 kos

V MOL se v povprečju vsako sezono izvede približno 30 akcij posipavanja vseh cest in ulic ter 20 akcij posipavanja peščevih površin. Poleg tega se izvede še približno 15 delnih akcij posipavanja cest in peščevih površin. Te zavzemajo predvsem ceste višje prioritete in dele, od koder je bil odpeljan sneg.

Tudi v mestnih predelih se poraba posipnih materialov ob zimskih sezonah spreminja. V sezoni 2005/2006 se je za potrebe zimskega vzdrževanja na cestah Ljubljane porabilo 5.232 ton NaCl in 508 ton CaCl<sub>2</sub> (25 % raztopina z vodo). Poleg tega se je porabilo tudi 3298 m<sup>3</sup> drobljenca samega ali v kombinaciji s soljo. Naslednjo sezono (2006/2007) je bila poraba materialov zaradi mile zime bistveno nižja. Količine porabljene NaCl so dosegle vrednost 1095 ton, CaCl<sub>2</sub> 45 ton, zadostovalo pa je tudi 474 m<sup>3</sup> mešanice soli in drobirja oz. peska različnih frakcij.

Sezona	NaCl (t)	CaCl <sub>2</sub> - raztopina (t)	Drobljenec oz. drobljenec+sol (m <sup>3</sup> )
2005/2006	5.232	508	3.298
2006/2007	1.095	45	474

Preglednica 10: Poraba posipnih materialov za ceste v upravljanju MOL v sezonah 2005/2006 in 2006/2007 (vir: Poročila o izvajanju zimske službe. 2006, 2007. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana, Oddelek za gospodarske javne službe: 17 str.)

Količine porabljenega NaCl v sezonah 2005/2006 in 2006/2007 lahko primerjamo s porabo upravljalca DRSC, obravnavanega v poglavju 4.2.2. Poraba DRSC v sezoni 2006/2007 je 74 % nižja, kot v sezoni 2005/2006. Podobno velja tudi za KPL, kjer je bila poraba v sezoni 2006/2007 kar za 79 % nižja, kakor v sezoni 2005/2006. Povprečna poraba NaCl pri DRSC je 40.164 ton, kar je približno 52 % porabe v sezoni 2005/2006. Iz teh dejstev lahko sklepamo, da je povprečna poraba NaCl v MOL na sezono malo manj kot 2.800 ton.

Na podlagi ugotovitev je povprečna poraba NaCl na kilometer ceste v občini na sezono enaka 3,4 tone na kilometer cestne mreže. Rezultat je primerljiv s porabo v ZDA, vendar moramo ob tem upoštevati, da količine, ki so podane, niso porabljene le za vzdrževanje cest, pač pa tudi za vzdrževanje ostalih obcestnih objektov in mestne infrastrukture. Ob tem je pomembno tudi to, da je pri preračunu količin v ZDA upoštevana celotna cestna mreža, kar predstavlja tudi visok odstotek cest, ki zimskega vzdrževanja ne potrebujejo. Mestne cestne mreže so v večini primerov najbolj obremenjene in zato morajo biti dobro vzdrževane.

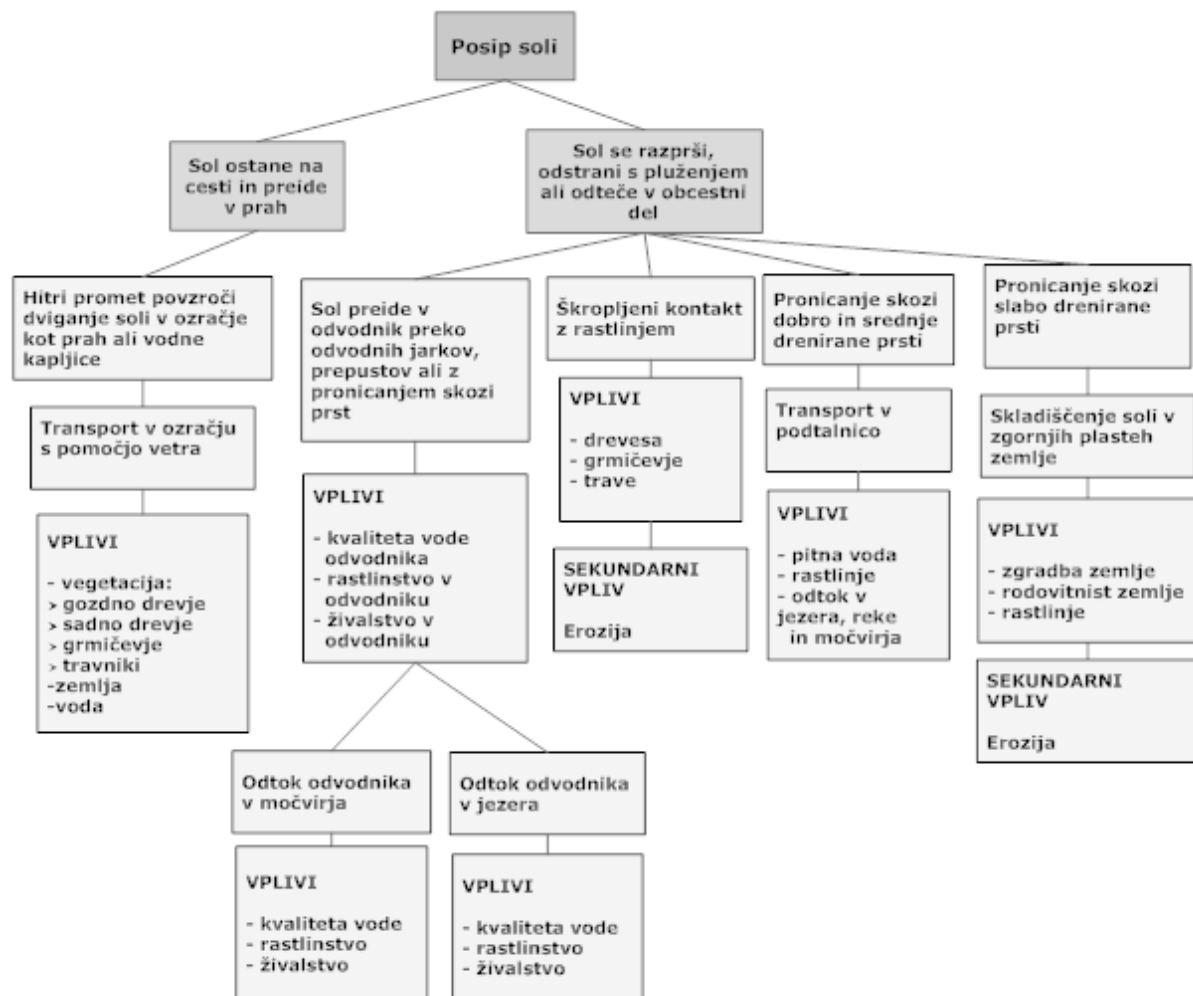
Če potem porabo soli na prebivalca v Ljubljani enačimo s porabo soli v ostalih mestih po Sloveniji, dobimo podatek, da se v slovenskih mestih na leto porabi okrog 10.000 ton soli. To je zgolj empirično dognanje, glede na to, da število prebivalcev mesta Ljubljana presega četrtno vsega mestnega prebivalstva v Sloveniji. (vir: Statistični urad Republike Slovenije, 2002. Popis prebivalstva, gospodinjstev in stanovanj)

Skupna slovenska poraba soli v povprečju torej ob upoštevanju še ostalih lokalnih cest presega vrednost 65.000 ton letno. Glede na celotno cestno omrežje v Sloveniji, ki obsega približno 38.500 kilometrov (upoštevane so vse ceste in javne poti, vir: Statistični urad Republike Slovenije), je poraba na kilometer cestne mreže v Sloveniji enaka približno 1,70 tone na kilometer cestne mreže. To Slovenijo uvršča pod povprečje porabe v evropskih državah in krepko pod povprečje porabe v ZDA.

## **5 VPLIV UPORABE SREDSTEV NA OKOLJE**

### **5.1 Vpliv posipa**

Zimsko vzdrževanje cest ima poleg dobrih strani, ki so povezane z bolj tekočim in varnejšim prometom, tudi slabše strani. Predvsem so to vplivi na okolje, saj sredstva, ki so namenjena zimskemu vzdrževanju cest, nanj negativno vplivajo. Vpliv je možno zaznati na velikem delu okolja. Poleg same infrastrukture in vozil, ki so s preparati v neposrednem stiku, ima sol velik učinek tudi na obcestni del in ob določenih pogojih prav tako na dele okolja, ki so od cest oddaljeni. Posledično je možen vpliv na širše okolje zaradi odvajanja materialov s cestišč v odvodnike in druge vodne vire. S tem delovanjem človek povzroča škodo rastlinstvu, živalstvu ter v nekaterih primerih tudi sebi. To pomneni, da je pri visoki porabi sredstev pomemben ekološki vidik. Na sliki 2 je predstavljena povezanost uporabe sredstev za zimsko vzdrževanje cest in vpliva na okolje. Gledano z ekonomskega vidika uporabe omenjenih sredstev je vpliv največji na infrastrukturo in prevozna sredstva.



Slika 2: Predstavitev vpliva posipa cestišč na okolje (vir: Highway Deicing. 1991. Washington, D.C., National Research Council, Transportation Research Board: 165 str.)

## 5.2 Prehajanje snovi v okolje

Snovi, ki se uporabljajo v procesu zimskega vzdrževanja, prehajajo v okolje na več načinov. Prvi od načinov je direktno odvajanje s cestišč ob taljenju snega ali deževju, ki nastopi po snežnih padavinah ali hladnem obdobju. Druga vrsta prehoda v okolje je preko odloženega (lahko tudi spluženega) snega v občestnem delu, na katerega se s škropljenjem mimovozečih vozil nanašajo plasti uporabljenih sredstev. Bodisi ti preparati na površini snega hlapijo bodisi

pa se omenjeni sneg ob otoplitvah topi in v tla odtekajo škodljive snovi. Tretji način je prehajanje v okolje preko pršenja v slanih kapljicah. Pri tem je možen prenos delcev tudi na večjih razdaljah, saj se ob pomoči vetra onesnaženost lahko širi zelo daleč.

### 5.2.1 Odvodnjavanje voda s cestišč

Zelo pomembna je nemotena in dovolj hitra odvodnja vseh voda s cestišč. To pomeni odvod vseh voda. Zagotovljeni morajo biti vsi vodnogospodarski kriteriji, ki določajo projektiranje in izvedbo. Ob tem je potrebno upoštevati varstvo vodotokov in podtalnice, še posebno v območju vodovarstvenih pasov. Poleg vode s cestišč je potrebno odvajati vodo s cestnih objektov, kot so mostovi, viadukti, prepusti in predori. Odvodnjavanje ločimo na del v ruralnem in naravnem okolju, ter na odvodnjavanje v urbanem področju z mešanim ali ločenim kanalizacijskim sistemom. Vode se kontrolirano spuščajo v odvodnike, pred tem pa naj bi se delno ali čim bolj očistile.

V splošnem se voda s cestišč v nasipu preko bankine in brežine nasipa odvaja v cestni jarek, ki mora biti ustrezno dimenzioniran glede na prispevne površine in jakost ter trajanje naliva. Nato se voda razprši po terenu. V vkopu pa se voda odvaja preko koritnice ali mulde ob robu vozišča in se priključi na jarek in kanalizacijo, ter kontrolirano spušča v odvodnik. Voda se lahko tudi kontrolirano, preko zadrževalnih bazenov, spušča v vodotoke.

Na območju varovanega vodozbirnega območja se odtok površinske vode z utrjenih površin uredi skozi vodotesno kanalizacijo preko objektov za zadrževanje in čiščenje in se priključi na bližnji odvodnik.

Dimenzioniranje elementov odvodnjavanja cestišč je odvisno od hidravličnega izračuna in predpostavk, ki so določene na podlagi meritev ali tabel.

(vir: Pravilnik o projektiranju cest. UL RS št. 91/05: 3896.)

Sol za posipanje cestišč se tako skupaj z vodo odvede v vodotoke, kanalizacijske sisteme in sisteme ponikovanja. S tem prihaja do vplivov na kanalizacijskih omrežjih, čistilnih napravah, vodotokih, podtalnici idr.

Največji del soli s cestišč se izpere ob močnih nalivih in spomladanski odjugi po daljših obdobjih hladnega vremena. Ta padavinski dogodek imenujemo prvi val onesnaženja. To je lahko koncentracijski ali masni prvi val. Koncentracijski prvi val se pojavi pogosteje, saj je tudi njegovo merjenje lažje in bolj natančno. Takrat so koncentracije soli, ki se pojavijo v odtoku, najvišje in odstopajo od povprečnih koncentracij, ki nastopajo v povprečnih odtokih. Drugače so koncentracije soli odvisne od večih dejavnikov. Ti so: poraba sredstev, ki so v določenem obdobju potrebna, struktura prometa, vrsta ceste, količina padavin... Poleg soli se takrat s cest odvede tudi vrsta drugih onesnaževal, kot so obrus cestišč, naftni derivati, obrus gum in zavor, težke kovine idr.

(vir: Mlakar, J. 2006. Modeliranje prvega vala onesnaženja z (avto)cest. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 67 str.)

### 5.2.2 Prehod v okolje preko odloženega snega

Okolju škodljive snovi, ki so akumulirane v snegu in ledu ob cestiščih prehajajo v okolje na več načinov:

- izhlapevanje,
- fotorazgradnja,
- biorazgradnja,
- tajanje snega.

Največje količine škodljivih snovi se sprostijo v okolje med tajanjem snega. Že v začetni fazi tavanja se začnejo odvajati topne substance, kot so soli za posipanje cestišč in drugi preparati. Preko snežne gmote odtekajo v zemljo, če le-ta ni zamrznjena. V nasprotnem primeru odtečejo po neprepustni podlagi v odtok in nato v površinske vode. Nekateri delci ostanejo v



snežni gmoti daljše obdobje in se od nje ločijo šele v zadnji fazi raztapljanja. To so predvsem netopni, trdi delci.

V času tajanja snega in ledu ob cestišču poteka prehod soli v okolje v treh stopnjah:

- preferenčna elucija iz snežne gmete (hitrost izpiranja ionov po snežni gmoti navzdol je odvisna od vrste ionov; do tega prihaja predvsem zaradi ciklov raztapljanja in ponovnega zmrzovanja; količina soli in ostalih kontaminantov se ob tajanju snežne gmete vse bolj koncentrira),
- infiltracija slanice v tla (stopnja, ko slanica prehaja v zemljo na dnu snežne gmete; odvisna je od hitrosti tajanja snega, poroznosti zemljine in zmrznjenosti podlage; hitrost tajanja je v večini primerov manjša od infiltracije; prvi delež vode v večini primerov povzroči nasičenost zemljine; sledi površinski odtok),
- odtok slanice po površini (v primeru zamrznjenosti zemljine oz. neprepustne podlage; v primeru neprepustne podlage oz. hitre nasičenosti zemljine se v odvodnike izperejo velike količine škodljivih snovi, ki predstavljajo velik šok za naravo; dodatni odtok sicer pomeni razredčenje in s tem nižanje koncentracij škodljivih snovi).

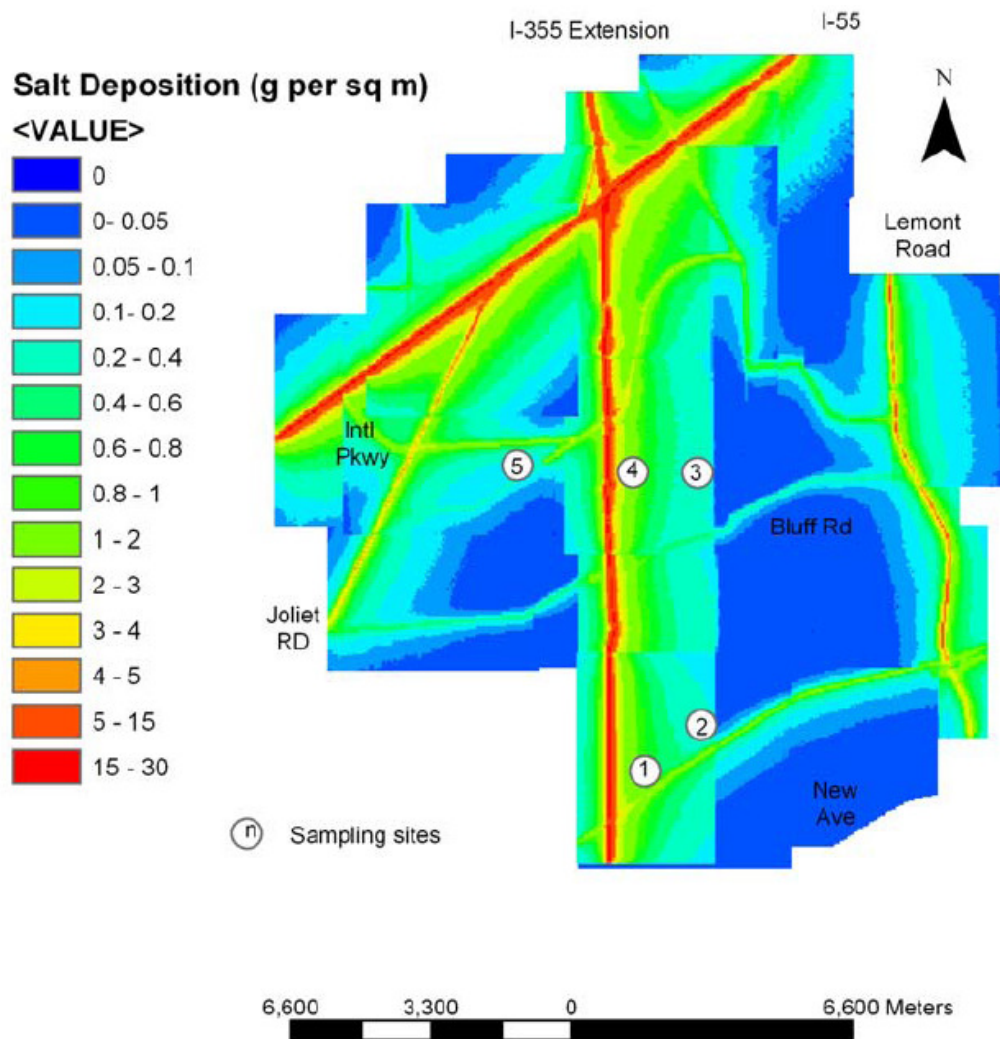
(vir: Vplivi na okolje pri posipanju cestišča. 2003. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije, arhiv DARS d.d.: 104 str.)

### 5.2.3 Pršenje soli

Vrtinčenje zraka, ki ga povzročajo premikajoča se vozila, povzroči vertikalno dviganje slanih kapljic ali suhih delcev, kar imenujemo slano pršenje ali aerosoli. S pomočjo vetra se ti delci gibljejo stran od cestišč. Na količino delcev v zraku in razdaljo, ki jo ti delci prepotujejo, vpliva gostota prometa, vrsta vozil, hitrost vozil in jakost vetra.

Večje slane vodne kapljice pristanejo relativno blizu cestam, v splošnem v pasu do 15 metrov. To je »škropljeno območje«, v katerem se odloži večina delcev. Manjši delci pa lahko potujejo veliko dlje.

Raziskave so pokazale, da je vpliv odlaganja delcev zaznati tudi v oddaljenosti 1,9 km od glavnih cest (avtocest). V večini primerov so delci pristali v območju, ki je manj kot kilometer oddaljeno od ceste. Deli znotraj pasu 100-ih metrov od prometnih cest imajo največkrat akumulacijo soli primerljivo z zmernimi in težavnimi priobalnimi območji. Poleg tega lahko slana meglica v delih urbanih središč zaradi nenehnega prometa in visokih zgradb obstane tudi nekaj dni.



Slika 3: Modelna projekcija letnega odlaganja soli ob avtocestah I-55 in I-355 v ameriški zvezni državi Illinois (vir: Houska, C. 2003. Deicing salt – recognizing the corrosion threat. Pittsburgh, TMR Consulting: 11 str.)

Raziskave pa niso nikoli točno določile višine, ki jo slani delci dosežejo. V nekaterih mestih, kjer je hitrost vetra pozimi visoka, je vpliv (korozija) na zgradbah viden do 60. nadstropja (160 m). (vir: Houska, C. 2003. Deicing salt – recognizing the corrosion threat. Pittsburgh, TMR Consulting: 11 str.)

### 5.3 Vpliv zimskega vzdrževanja cest na vode

Kljub temu da naj bi bila narava v obdobju zimskega vzdrževanja cest manj aktivna kot v toplejšem času, je njena dejavnost ravno tako prisotna. Ob pomladanski odjugi je dejavnost narave celo največja, saj takrat vsi organizmi ponovno zaživijo s polno močjo. Zaradi tega je v tem obdobju zelo pomemben vpliv kontaminantov, ki se odvajajo v potoke, reke, jezera in podtalnico.

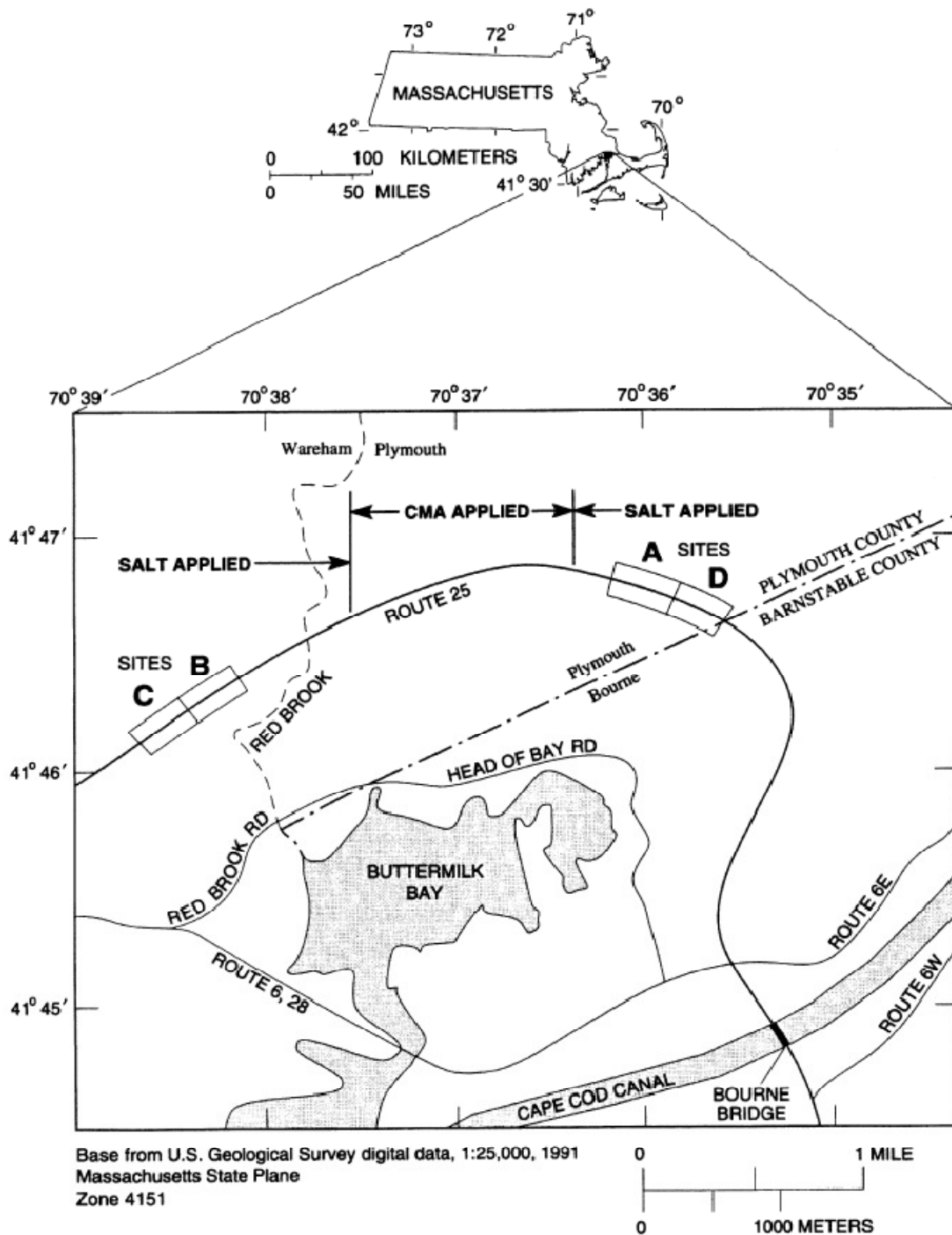
V vsaki vodi so prisotni kloridni ioni, vendar je njihova količina majhna v nasprotju s količinami, ki nastopijo ob uporabi sredstev za zimsko vzdrževanje. V evropskih državah in ZDA pomeni 250 mg/l (standard DIN 2000) zgornjo mejo vsebnosti kloridov v vodi. To predstavlja 165 mg/l Na<sup>+</sup> ali 515 mg/l NaCl. V Sloveniji je na podlagi Zakona o varstvu okolja (UL RS, št. 41/04) in Pravilnika o imisijskem monitoringu kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (UL RS, št. 40/01), določena najvišja dopustna meja kloridnih ionov v vodi 10 mg/l. To je nizka vrednost, ki je ob večjem izlitju slane vode oz. slanice na območje vodnega zajetja hitro presežena. V večini primerov se prometne ceste in avtoceste ne nahajajo v neposredni bližini vodnih zajetij, zato je tudi neposreden vpliv redek. Pogosto voda s solmi odteka v podtalnico, kjer ni vodnih zajetij. S tem se kvaliteta podtalne vode vseeno zmanjšuje, četudi njena namembnost ni vir pitne vode. Poleg vpliva na podtalnico je možen velik vpliv na odvodnike in jezera. Mejne vrednosti kloridnih ionov v površinskih vodah niso določene v nobenem pravilniku. To vrednost bi morali določati Uredba o kemijskem stanju površinskih voda (UL RS, št. 11/02), Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (UL RS, št. 46/02) in Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (UL RS, št. 47/05). V odvodnikih in jezerih pomenijo povišane koncentracije kloridov potencialno grožnjo za

organizme, ki se na določene razmere ne morejo prilagoditi. K sreči soli, ki prihajajo v odvodnike s cest niso v takih koncentracijah, da bi usodno vplivale na vodno življenje. Večji vpliv imajo na organizme prosti cianidi, ki nastajajo iz heksacianoferatnih kompleksov, uporabljenih za ohranjanje sipkosti soli. Pravilnik o imisijskem monitoringu kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (UL RS, št. 40/01), uvršča cianide med okolju nevarne snovi, ki jih je potrebno redno kontrolirati. Pravilnik določa koncentracijo 0,01 mg/l celokupnih cianidov kot zgornjo mejo za prisotnost v pitni vodi. Nobeden od drugih zakonskih ali podzakonskih aktov ne določa meje cianidov in tudi niso omenjeni kot nevarno onesnaženje.

### 5.3.1 Vpliv na podtalnico

Podtalnica je pogosto pomemben vir pitne vode in predstavlja vir preskrbe z vodo tudi za organizme. Sol lahko v podtalnico prehaja skozi zemljine in druge površinske plasti, preko slanih kamnitih sedimentov, iz katerih se izloča, ter preko drugih virov. Vpliv soli, ki se uporablja za zimsko vzdrževanje, je odvisen od večjih dejavnikov. Kot prva nastopa stopnja infiltracije, sledijo sestava in drenažne karakteristike zemljine ob cestišču. Pomembna je globina podtalnice pod površjem in njena oddaljenost od ceste. Tudi poroznost kamnin pod površjem igra pomembno vlogo. Sledi še smer toka podtalnice in količina porabljenih posipnih materialov.

Sistem podtalnice je razdeljen v dve kategoriji. Prva kategorija je plitev, lokalni sistem. Druga možnost je globoki, regionalni sistem. Pri teh dveh tipih je plitek in lokalni sistem bolj občutljiv na onesnaženje. Onesnaženje v plitvem sistemu se giblje v smeri podtalnice do odtokov, kot so izviri, reke, jezera in močvirja. Voda, ki vsebuje sredstva za posipanje, lahko prodre v globoke ali regionalne dele pod površjem preko infiltracije. V primeru onesnaženja lahko s prečrpavanjem iz višjeležečih vodnjakov v nižji sistem omogočimo odtok iz plitkih preplavljenih površin. Čas, ki je potreben, da se kamninski deli in druge sestavine podtalja razbremenijo onesnaženja, je lahko zelo raznolik. Variira lahko od nekaj dni do več let. Čas, potreben za prečiščenje, je odvisen od vrste materiala, ki ga je onesnaženje preplavilo.



Slika 4: Območje raziskave in analizirani odseki A, B, C in D ob državni cesti Route 25 v jugo-vzhodnem Massachusetts-u (vir: Granato, G. E., Church, P. E., Stone, V. J. 1995. Mobilization of Major and Trace Constituents of Highway Runoff in Groundwater Potentially Caused by Deicing Chemical Migration. ZDA, Washington, D.C., Highway Research Board, Highway Research Record No. 1483: 14 str.)

Možnost vpliva soli na podtalnico je bila ovrednotena v več raziskavah. Ena od njih je obravnavala mobilizacijo sestavin cestnega odtoka, povzročene z uporabo posipnih sredstev. Raziskavo so opravili v ZDA, in sicer v zvezni državi Massachusetts, med februarjem in avgustom leta 1991 in marca, avgusta in novembra leta 1993. Njeno poročilo je bilo objavljeno leta 1995.

Raziskava je temeljila na vrsti vzorcev, odvzetih na različnih mestih ob cesti Route 25 v jugovzhodnem Massachusetts-u. Na pet kilometrov dolgem območju šest pasovne ceste so analizirali 4 odseke. Na teh delih ceste so za zimsko vzdrževanje uporabljali NaCl, na vmesnem območju pa kalcijev magnezijev acetat (Slika 4). Globina nivoja vode pod površjem se je gibala med 6 m na delu B in 18 m na delu A. Tok podtalnice v tem delu je obrnjen proti jugu, torej skoraj pravokotno na smer avtoceste. Njena hitrost pa je znašala od 30,5 m/dan na kraju C do 67 m/dan na kraju A. Na območju je malo vodotokov, saj padavine lahko prehajajo skozi peščene sloje, ki na tem območju prevladujejo. Povprečne letne padavine v letih od 1990 do 1993 so dosegle vrednost 131 cm. Pred soljenjem so bile raziskane tudi vrednosti specifične prevodnosti (40-70  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), količine natrija (5-10 mg/l), kalcija (1-5 mg/l) in klorida (5-20 mg/l).

Raziskava je na mestu 18-meterskega grobo nesaturiranega območja pokazala konstantno naraščanje koncentracij soli v podtalnici glede na smer zlivanja podtalnice. Avtocesta je bila edini vir onesnaženja podtalnice na tem območju. Koncentracije, ki so se pojavile nižje v odtoku podtalnice, so bile več kot očitno višje kot koncentracije na zgornjih delih. Večina dotoka v podtalnico (75 %) v tem območju nastopi v zimskih mesecih (december, januar, februar in marec). Izmenjavo kationov prikazuje upad koncentracij natrija in nasprotno, porast kalcija v infiltrirani vodi. Povečanje kislosti v vodi, zaradi uporabe soli za posipanje, se kaže v upadu pH-ja nižje v toku podtalnice.

Sicer pa nobeden od merjenih parametrov v vzorcih ni presegel mej, ki jih določajo primarni standardi za pitno vodo. Klorid in mangan sta presegla le sekundarne standarde. Kriteriji, priporočeni za površinske vode, so bili preseženi pri kloridu, kadmiju in bakru. Kriteriji za oceno škodljivosti so bili povzeti po podatkih ameriške agencije Environmental Protection Agency (EPA) iz ZDA. Iz tega je razvidno, da uporaba sredstev za posipanje lahko vpliva tudi

na prehod drugih snovi, ki onesnažujejo podtalnico. (vir: Granato, G. E., Church, P. E., Stone, V. J. 1995. Mobilization of Major and Trace Constituents of Highway Runoff in Groundwater Potentially Caused by Deicing Chemical Migration. ZDA, Washington, D.C., Highway Research Board)

### 5.3.2 Vpliv na površinske vode

V večini primerov površinske vode vsebujejo majhne koncentracije soli. Povprečne vsebnosti kloridov v rekah in jezerih znašajo od 0 do 100 mg/l, večina koncentracij je manjših od 20 mg/l. V splošnem velja prepričanje, da je vpliv soli na površinske vode in podtalnico majhen. Le ta naj bi bil največji v obdobju, ko je narava manj aktivna. Vendar je narava prav v času spomladanske odjuge in najvišjega sproščanja soli iz obcestnega snega najbolj občutljiva na onesnaženje. Takrat se ponovno začenjajo nekateri procesi, ki so v zimskem času v mirovanju. Prihaja do razvoja mladih organizmov, ki so na onesnaženje najbolj občutljivi.

Preglednica 11: Tipične koncentracije kloridov v različnih vrstah vod (vir: Highway Deicing. 1991. Washington, D.C., National Research Council, Transportation Research Board)

Vrsta vode	Koncentracija kloridov [mg/l]
Deževnica	0 - 2
Višinske površinske vode	0 - 12
Neonesnažene reke	0 - 15
Studenčnica	0 - 25
Globoki izviri	0 - 50
Odpadna voda	70 - 500
Morska voda	20000

Živa bitja, ki predstavljajo populacijo v površinskih vodah, so pogosto slabo tolerantna do kloridov, ki prihajajo v njihovo okolje. Največji vpliv imajo soli na mlade organizme in organizme, katerih razvoj ni potekal tako, da bi se razvili iz morskih organizmov. To so predvsem rastlinski organizmi, ki nastopajo v sladkovodnem okolju.

Pri študiju vpliva slanosti vode na živa bitja sladkovodnih ekosistemov so ugotovili, da:

- sladkovodne ribe, ki so bile izpostavljene koncentracijam 5000 mg/l NaCl dva tedna, niso pokazale znakov vpliva na njihovo zdravje,
- so vodne rastline kazale znake bolezni pri koncentracijah nad 3600 mg/l NaCl in nad 1000 mg/l CaCl<sub>2</sub>,
- so živi organizmi, ki služijo za hrano ribam, pričeli poginjati pri koncentracijah nad 3000 mg/l NaCl.

Preglednica 12: Kritične koncentracije NaCl za nekatera živa bitja v sladki vodi (vir: Vplivi na okolje pri posipanju cestišča. 2003. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije, arhiv DARS d.d.: 104 str.)

Organizem	NaCl [mg/l]
Mlada jegulja	11.700
Mlada postrv	20.000
Stara postrv	>25.000
Na novo izležena postrv	5.000
Ostriž	10.000

Poleg vpliva NaCl je bil raziskan tudi vpliv CaCl<sub>2</sub>. Na vodne bolhe in mlade ribe je vpliv NaCl in CaCl<sub>2</sub> večji kot na večje - odrasle organizme. Vpliv soli na mikroorganizme pa je podan v poglavju 5.3.2. V preglednici 13 so podane koncentracije NaCl in CaCl<sub>2</sub>, ki reprodukcijo organizmov znižajo za 50 %. Test traja 48 ur.



Preglednica 13: Kritične koncentracije NaCl in CaCl<sub>2</sub> za nekatere vodne organizme (vir: Calcium chloride. SIDS Initial Assessment Report For SIAM 15. 2002. ZDA, Boston, UNEP: 154 str. in Salt, <http://earthsci.org/mineral/mindep/salt/salt.htm>)

Organizmi	CaCl <sub>2</sub> [mg/L]	NaCl [mg/L]
<i>Daphnia magna</i> (vodna bolha)	2.400	3.310
<i>Pimephales promelas</i> (vrsta rib)	4.600	7.846
<i>Selenastrum capricornutum</i> (vrsta alg)	2.900	-

Višje vrednosti soli, ki bi vplivale na razvoj in življenje organizmov v vodi, se zaradi soljenja cest in odvoda v odvodnike le redko pojavljajo. Odvodniki namreč v veliki meri razredčijo dotočne koncentracije.

#### 5.3.2.1 Vpliv heksacianoferatnih kompleksov

Na odvodnike bolj vplivajo heksacianoferatni (HCN) kompleksi, ki se uporabljajo za preprečevanje sprijemanja soli. Kompleksi so sicer neškodljivi v originalni obliki, ki nastopa v vodi. Pri razgradnji v proste cianide ob prisotnosti UV svetlobe pa postanejo snovi škodljive in so eden najnevarnejših kontaminantov vode. V preglednici 14 so podane koncentracije prostih cianidov, ki so smrtne za nekatera živa bitja v sladki vodi.

Preglednica 14: Kritične koncentracije prostih cianidov za nekatera živa bitja v sladki vodi (vir: Vplivi na okolje pri posipanju cestišča. 2003. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije, arhiv DARS d.d.: 104 str.)

Organizem	Smrtna koncentracija [µg/l]	Čas izpostavljenosti [ure]	Temperatura [°C]
Modra škržatka	140	72	-
Zlata ribica	40 – 120	72 – 96	-
Ostriž	70	>24	13,7 – 20,4
Pezdirke	60	>24	-
Krap	600	72	16
Postrv	80 – 90	96	12 - 13

Pri proučevanju drugih sladkovodnih rib in njihove občutljivosti na proste cianide so ugotovili, da kronična zastrupitev nastopi že pri 10 µg/l CN<sup>-</sup>. Rastline so pokazale znake zastrupitve v širšem območju med 30 in 26.000 µg/l. (vir: Quality criteria of water, EPA 440/5-86-001. 1995. Washington, DC, U.S. Environmental Protection Agency, Office of water)

Bolj natančna ocena vpliva heksacianoferatnega dodatka proti strjevanju soli na kvaliteto vode je možna s standardno metodo določitve stopnje disociacije šibkih kislinskih cianidnih kompleksov (WAD – weak acid dissociable cyanide), ki so jo razvili v ZDA. Z njo določimo le tisti delež prostih cianidov, ki nastane pri razpadu cianidnega kompleksa. Razpad je odvisen od večih lokalnih parametrov (meteorološki vplivi, izhlapevanje). V laboratoriju je težko ponoviti spremenljive dejavnike, zato je bila razvita metoda za določitev faktorja stopnje vpliva cianidov na vodo (WER – water effect ratio of cyanide). WER faktor se določi v laboratoriju na podlagi vzorcev, na katerih se izvedejo meritve pH, količine raztopljenih trdnin, količine cianidov. Za določitev WER je predpisana natančna metoda. Med

eksperimentalnimi študijami so ugotovili, da je najmanjša vrednost WER faktorja za cianide okrog 1,5. V splošnem je vrednost WER faktorja odvisna od meteoroloških vplivov in hitrosti izhlapevanja HCN. Na podlagi laboratorijskih testov se nato določi vrednost WER po enačbi:

$$WER = \frac{C \text{ (celokupni CN pred obsevanjem)}}{C \text{ (maksimalna koncentracija WAD cianidov v obsevanem vzorcu)}} \quad (\text{En. 3})$$

Vrednost celokupnih cianidov v toku slanice, prilagojena za WAD metodo je izražena z WER faktorjem v naslednji enačbi:

$$[\text{CN}]_{\text{WAD}} = [\text{CN}]_{\text{celokupni}} / \text{WER} \quad (\text{En. 4})$$

Zakon o varstvu okolja in nekateri pravilniki podajajo kriterije za vodne vire (reke, potoke in jezera), vendar le teh ne moremo upoštevati pri odtoku s cestišč. Ob prehodu slanice v odvodnike prihaja v primeru slanega odtoka s cestišč do velike stopnje razredčenja. Nekateri dejavniki onesnaženja so ob velikem razredčenju lahko škodljivi za okolje. Zato v mnogih državah za oceno vpliva kemijsko inducirane odtoka s cestišč v vodne vire uporabljajo model (7-dnevnega povprečja/10-letnega pričakovanja) 7Q/10. Tega modela ni možno uporabljati za oceno vpliva odtoka s prepustnih tal. Te naključne hidrološke pojave je potrebno obravnavati z verjetnostnimi modeli. (vir: Vplivi na okolje pri posipanju cestišča. 2003. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije, arhiv DARS d.d.: 104 str.)

#### 5.3.2.2 Uporaba metode WAD na območju Glinščice

Za oceno vpliva odtoka slanice na življenje v vodi lahko uporabimo kot primer malo rečno območje v urbanem okolju. Eno takih je območje reke Glinščice (Zlivno območje Glinščice je prikazano v prilogi A).

Reka Glinščica izvira pod severovzhodnimi obronki Toškega čela in pri Podutiku preide v ravninski del Ljubljanske kotline. Topografska slika porečja je sestavljena iz gričevnatega dela na vzhodu in zahodu ter ravninskega dela, ki se razširi v južnem delu. Relief porečja

Glinščice je precej raznolik, od strmih povirnih območij do ravníc. Ravninski del porečja je slabo prepusten. Povirje Glinščice sega na severni strani v pobočje Toškega čela in Črnega vrha, razvodnica na vzhodu sega v urbano območje mesta Ljubljana (Dravlje, Šiška), preko Šišenskega hriba in Rožnika do izliva v Gradaščico, ki predstavlja najjužnejšo točko porečja. V smeri proti zahodu poteka razvodnica skozi urbano območje preko Brda vse do Tičnice, kjer se usmeri proti severu preko Stražnega vrha, Prevala do Toškega čela. Večji pritok Glinščice je Pržanec, čigar povirje sega v pobočje Velike trate in Male trate in odvaja vodo s pretežno ravninskega dela vzhodno od Glinščice. Padavinsko prispevno območje Glinščice obsega 17,4 km<sup>2</sup>. Položaj odvodnice znotraj urbanega območja določa odvodnja meteornih voda s kanalizacijskim sistemom, zato orografska razvodnica ne sovpa vedno s prispevnim območjem Glinščice. Skupno prispevno območje Glinščice je nekoliko večje in zajema 19,3 km<sup>2</sup> površine, ker je padavinski odtok z območja med Gunceljami, železnico in orografsko razvodnico med porečjema Glinščice in Save ter del urbanih površin ob izlivnem delu Glinščice preko kanalizacijskega meteornege omrežja speljan na območje porečja Glinščice. Ob tem se na porečje Glinščice steka tudi pretežen del meteornih vod z 1,9 km<sup>2</sup> površin iz območja Šentvida. S širitvijo tlakovanih neprepustnih urbanih površin na ravninske predele območja porečja Glinščice se je hidrološka slika povodja močno spremenila zlasti v obdobju zadnjih 20-tih let. Obsežna urbana področja so se razširila predvsem na območju Podutika, Dravelj, Kosez in Brda. S povečanjem deleža neprepustnih površin (pozidava, prometne površine) so se povečali odtočni koeficienti, izgradnja meteorne kanalizacije je dodatno prispevala k zmanjšanju časa koncentracije. Ocenjeno je bilo, da je na celotnem porečju Glinščice delež urbanih površin 38 % oziroma 6,6 km<sup>2</sup>. Groba ocena povprečnega koeficienta odtoka s prispevnega območja Glinščice je izračunana iz povprečne letne količine padavin (1376 mm) ter povprečnega letnega pretoka Glinščice (0,383 m<sup>3</sup>/s) in znaša 0,58, kar je pokazatelj intenzivnega odtoka padavinskih voda v strugo Glinščice. (vir: Brilly, M., Globevnik, L., Štravs, L., Rusjan, S. 2005. Eksperimentalna porečja v Sloveniji. Zbornik predavanj. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko: 11 str.)

Po modelu 7Q/10 lahko nakažemo smer razvoja problema na tem vodotoku. Predpostavimo, da v enem dnevu zapade 15 cm snega, ki ga z mehanizacijo odstranijo na rob cestišča. Pluženje se začne pri 5 cm zapadlega snega.

- Površina porečja:  $A = 19,3 \text{ km}^2$
- Gostota cest:  $RD = 5 \text{ km/km}^2$  (izbrana vrednost)
- Povprečna širina cestišča:  $SW = 7 \text{ m}$
- Debelina snega, ki zapade na cestišče po začetku pluženja:  $SD = 10 \text{ cm}$  (izbrana vrednost)
- Gostota snega:  $\rho_s = 0,12 \text{ g/cm}^3$  (izbrana vrednost)
- Hidrološka kapaciteta površine cestišča zaradi hrapavosti, neravnin in lukenj:  
 $DS = 0.16 \text{ cm}$
- Količina posute soli (2 x dnevno):  $L_{\text{sol}} = 140 \text{ kg/km-cestišča}$  ( $20 \text{ g/m}^2$ )
- Vsebnost cianida v soli:  $CN_{\text{sol}} = 100 \text{ } \mu\text{g/g}$  (izbrana vrednost)
- WER faktor:  $WER = 3$  (izbrana vrednost iz nekaterih meritev)
- Čas padanja snega + čas prehoda slanice v vodo:  $t_{\text{mc}} = 8 \text{ h}$
- Pretok reke – nizki pretok (7Q/10):  $Q_{7-10} = 75 \text{ l/s}$  (predpostavljeno  $Q_{\text{np}} = 0.2 * Q_{\text{sp}}$ )
- Koncentracija raztopljenih trdnih delcev v toku reke – nizki pretok:  $C_b = 100 \text{ mg/l}$  (izbrana vrednost)

Izdelava ocene vpliva soli na življenje v vodi:

- Izračun volumna in pretoka slanice:

$$V_{\text{ch}} = 10 * RD * A * SW * (SD * \rho_s - DS) = 10 * 5 * 19,3 * 7 * (10 * 0,12 - 0,16) = 7025 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{ch}} = V_{\text{ch}} / (3600 * t_{\text{mc}}) = 7025 / (3600 * 8) = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Izračun količine  $M_{\text{ds}}$  (količina soli, ki prehaja v slanico) in  $C_{\text{ds}}$  (koncentracija raztopljenih trdnih delcev), če predpostavimo 50 % izgube soli zaradi pršenja in dvopasovno cestišče:

$$M_{ds} = 0,5 * 2 * L_{sol} * RD * A = 0,5 * 2 * 140 * 5 * 19,3 = 13510 \text{ kg}$$

$$C_{ds} = M_{ds} / V_{ch} = 13510 / 7025 = 1,92 \text{ kg/m}^3 = 1923 \text{ mg/l}$$

- Izračun celokupne koncentracije cianidov v slanici:

$$CN_{slanica} = C_{ds} * CN_{sol} = 1923 * 100 = 192300 \text{ } \mu\text{g/m}^3 = 1923 \text{ } \mu\text{g/l}$$

- Izračun koncentracije raztopljenih trdnin v reki:

$$C_{ds-reka} = \frac{Q_{7-10} * C_b + Q_{ch} * C_{ch}}{Q_{7-10} + Q_{ch}} = \frac{0,075 * 100 + 0,25 * 1923}{0,075 + 0,25} = 1503 \text{ mg/l}$$

- Izračun WAD koncentracije cianidov v Glinščici:

$$CN_{reka} = \frac{Q_{ch} * C_{ds} * CN_{sol}}{WER} = \frac{0,25 * 1923 * 100}{3} = 49308 \text{ } \mu\text{g/m}^3 = 49,31 \text{ } \mu\text{g/l}$$

V opisanem primeru koncentracije dosežejo vrednosti, ki so že lahko usodne za določene vrste, živeče v vodi. Ker je bila vrsta parametrov v primeru izbrana, lahko realne vrednosti močno odstopajo od tega izračuna. Zavedati se moramo, da so odstopanja možna tudi v negativnem smislu. Veliko dejavnikov, ki vplivajo na problem zastrupljanja, je močno spremenljivih. Pri tem je predvsem pomembno doziranje posipne soli in ocena faktorja WER, ki se ga določi v laboratoriju. Tem dlje so cianidni kompleksi izpostavljeni UV svetlobi, večja je možnost nastajanja prostih cianidov, ki so strupeni za okolje. Izbrani parametri so bili ovrednoteni realno, na podlagi študije, ki jo je opravil Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG).

## 5.4 Vpliv soli na čiščenje odpadne vode

Sol pri čiščenju odpadne vode najbolj vpliva na biološko čiščenje. V tem segmentu nastopajo mikroorganizmi, ki se na koncentracijo soli v vodi različno odzivajo. Že majhna sprememba slanosti lahko na medij v bioloških čistilnih napravah zelo vpliva. Mikroorganizmi so lahko tudi tolerantni na višje koncentracije slanosti, vendar je njihov čas prilagajanja večinoma daljši, kot je čas povišane slanosti na dotoku v čistilne naprave. V primeru konstantnih koncentracij slanosti, ki so značilne za industrijske odpadne vode, je možno vzpostaviti sistem čiščenja s halofilnimi oziroma halotolerantnimi mikroorganizmi.

### 5.4.1 Biološko čiščenje

Sestavni del pri čiščenju odpadne vode je biološko čiščenje. V tej fazi čiščenja se voda prečiščuje s pomočjo mikroorganizmov, ki razgrajujejo organske snovi, raztopljene v odpadni vodi. Pri procesu prihaja do aerobnih in anaerobnih pogojev, zato so združbe mikroorganizmov raznolike. V aerobnem procesu nastopajo mikroorganizmi, ki za svoje preživetje potrebujejo kisik, medtem ko v anaerobnem procesu za življenje mikroorganizmov kisik ni potreben. Biološko samočiščenje poteka tudi v naravnem okolju, vendar je v čistilnem procesu, upravljanem s strani človeka, višja koncentracija mikroorganizmov. To privede do boljših učinkov čiščenja, ki jih dosegajo čistilne naprave. Odpadna voda služi organizmom kot hrana, kar pomeni, da se z razliko v odpadni vodi spreminja tudi združba mikroorganizmov, ki nastopajo v procesu čiščenja. Različni organizmi absorbirajo snovi za sintezo in respiracijo. Za razmnoževanje in rast, kar pogojuje razvoj združbe, potrebujejo:

- organski ogljik,
- dušikove spojine (amonijev ion, nitrat, nitrit),
- fosforjeve spojine (organski fosfor, polifosfat, orto-fosfat),
- mikroelemente (K, Ca, Mg, Mn, S, Cu, itd.),
- druge snovi (pomembne za specifične združbe mikroorganizmov).

#### 5.4.2 Vpliv soli na biološko čiščenje

Prvi testi, ki so preučevali vpliv soli na biološko čiščenje, so bili narejeni že leta 1937 (Zobell). V tej raziskavi so uporabili vodne vzorce iz slanega jezera Great Salt Lake v ameriški zvezni državi Utah. Na gojišča iz agarja so vcepili organizme iz odpadne vode, zemlje in ostalih virov. V nerazredčeni jezerski vodi (28 % soli) ni preživel niti eden od organizmov iz odpadne vode in le 1 % organizmov iz prsti. Drugače je bilo pri nižjih koncentracijah soli. V mediju z 2.8 do 7 % soli je uspevalo 7-18 % bakterij iz odpadne vode.

Kasneje (Zobell, 1946) so bile narejene raziskave z uporabo morske vode. Rezultati so pokazali, da je le 13 % organizmov iz odpadne vode preživel v hranljivem mediju, ki je vseboval nerazredčeno morsko vodo.

Kljub ugotovitvam, da organizmi iz sveže vode in kopenski mikroorganizmi niso ustrezno pripravljani za življenje v slanem okolju, je bilo narejenih še veliko raziskav, ki so pokazale 4 osnovne probleme, ki se kažejo pri čiščenju odpadne vode z vsebnostjo soli 0.1-5 %.

- Običajne kulture, ki nastopajo pri procesu čiščenja, so občutljive na spremembe v ionski moči. V sistemu, v katerem prihaja do šokov pri vnosu soli, se pojavi zmanjšanje odstranjevanja organskih snovi, poveča se količina raztopljenih snovi na iztoku in zmanjšajo se hlapljive snovi v reakcijskih bazenih. Velikost šoka, ki povzroči zrušitev sistema, je tam okoli 0.5-2 %. To pa je predvsem odvisno od vrste mikroorganizmov in medija, v katerem nastopajo. Odločitev, da se stabilizira slanost, je bila določena kot prva pri projektiranju objektov za obdelavo slanih odpadnih vod.
- Povečane koncentracije soli so povezane s prekinitvijo metaboličnih funkcij ter posledično s kinetiko razgradnje odpadnih snovi. Rezultat zmanjšanja razgradnje je, da mora biti razmerje med vneseno hrano in mikroorganizmi ( $F/M$  – obremenitev blata) manjše kot v neslanem okolju.

*(F/M) količnik pri slanih pogojih < (F/M) količnik pri neslanih pogojih*

F - hrana (food), ki jo mikroorganizmi potrebujejo za razvoj  
 M - količina mikroorganizmov v mediju



- Sistemi za prečiščevanje slane vode imajo bistveno večje koncentracije suspendiranih snovi na iztoku. Nekateri raziskovalci predvidevajo, da sol pripomore k razpadu nekaterih celic, kar povečuje količine snovi na iztoku. Drugi namigujejo na to, da sol zmanjšuje populacijo praživali in vlaknatih organizmov, ki so potrebni za primerno flokulacijo.
- Zadnji problem je, da kljub določeni količini prilagoditve na slane pogoje, obseg ni neomejen. Slanost višja od 3-5 % je usodna že za večino običajnih združb mikroorganizmov.  
(vir: Woolard, C. R., Irvine, R. L. 1994. Treatment of hypersaline wastewater in the sequencing batch reactor. Water research 29: str. 1159 – 1168)

#### 5.4.2.1 Vpliv na aerobno čiščenje

Višje koncentracije soli so tiste, ki ogrožajo pravilno delovanje aerobnega čiščenja odpadne vode. Ko odstotek soli preseže mejo 5-8 %, se pojavijo težave pri procesih čiščenja. Pri višjih koncentracijah soli v mediju voda iz celic mikroorganizmov prehaja v okolje, s tem se celice krčijo in se niso sposobne razvijati. Krčenje celic povzroča višja vodna aktivnost v celicah. Voda namreč prehaja iz strani z višjo aktivnostjo na stran z nižjo. Kljub škodljivemu učinku soli na aktivnost mikroorganizmov, se le ti lahko postopoma prilagodijo na povišano slanost. Uspeh take prilagoditve je odvisen od večih faktorjev:

- vrste mikroorganizmov,
- stopnje rasti mikroorganizmov,
- hitrosti povečevanja slanosti skozi prilagajanje.

Najvišjo stopnjo prilagoditve na NaCl so sposobne bakterije *Escherichia coli*. To velja za zgodnjo stopnjo rasti te vrste.

Hitre spremembe slanosti imajo bolj neugoden vpliv kot pa postopne. Razlike v koncentraciji ionov v citoplazmi celic in v okolju so pri hitrih spremembah koncentracije soli večje kot pri postopnem obremenjevanju organizmov. Druga reakcija na hitro povečanje koncentracije soli je razbremenitev celičnega materiala, kar se kaže v porastu KPK zaradi raztopljenih snovi.

Dejavnost mikroorganizmov se drastično zmanjša pri višji slanosti, količine organskih odpadkov pa se še povečajo. Kljub temu, da je adaptacija aktivnega blata na povišano slanost možna, je bistven problem v tem, da mikroorganizmi prenašajo večinoma slanost, ki ni višja od 5 %. Zaradi tega je najboljši način za izboljšanje kakovosti čiščenja bolj slane odpadne vode uporaba posebnih organizmov, ki so odporni na povišane koncentracije soli. Tem mikroorganizmom pravimo halotolerantni oz. halofilni mikroorganizmi. Poleg tega pa se odpornost na slanost pri običajnih organizmih hitro izgubi, v kolikor koncentracija soli naglo pade. To je scenarij, ki se pogosto pojavi pri industrijskih odpadnih vodah, saj je lahko odpadna voda na vtoku v čistilno napravo zelo spremenljiva. (vir: Lefabre, O., Moletta, R. 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. Water research 40: str. 3671 – 3682)

#### 5.4.2.2 Vpliv na anaerobno čiščenje

Prisotnost velikih koncentracij natrija in/ali klora je ovirajoč dejavnik za anaerobno čiščenje odpadne vode. Koncentracija natrija, ki presega 10 g/l, močno ovira metanogenezo. Toksičnost natrija za blato je odvisna od večih dejavnikov. Tip substrata pri metanogenezi je verjetno eden pomembnejših dejavnikov. Sledijo mu še zavirajoči učinki drugih ionov, narava progresivne adaptacije blata na visoko slanost itd. Prav adaptacija blata se je pojavila kot prva, ki je pokazala, da so anaerobni mikroorganizmi bolj občutljivi na nihanja v slanosti kot aktivno blato. Postopno obremenjevanje predstavlja lažjo prilagoditev na višje koncentracije. Tako kot pri aerobnem čiščenju pomeni stalna izpostavljenost večjo toleranco za slanost tudi v primeru metanogeneskega blata. Večji problem predstavljajo slanostni šoki. V kolikor je njihova vrednost zelo visoka, lahko le-ta pomeni tudi popolno ustavitev delovanja anaerobnega čiščenja. Mikroorganizmi torej odmrejo in s tem se njihova aktivnost prekine. (vir: Lefabre, O., Moletta, R. 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. Water research 40: str. 3671 – 3682)

#### 5.4.2.3 Vpliv na odstranjevanje dušika

Soli kot inhibitorji zelo zmanjšujejo učinek mikroorganizmov. Denitrifikatorji (mikroorganizmi, ki odstranjujejo dušik iz odpadne vode) lahko delujejo pod različnimi pogoji. Seveda je najbolj pomembno, katera vrsta mikroorganizmov je prisotna. Veliko vrst je tudi halotolerantnih. Zelo pomemben dejavnik pri čiščenju slane odpadne vode je aklimatizacijski čas. Pri daljši aklimatizaciji je čistilna sposobnost denitrifikatorjev boljša. Veliko avtorjev strokovnih publikacij meni, da uspešna denitrifikacija še lahko poteka pri 3 % slanosti. Nekateri so zapisali, da denitrifikacija lahko poteka tudi pri višjih količinah soli (45 g/l) v odpadni vodi. To je zelo odvisno od osmotskega pritiska, ki ga povzroča medij. Pri daljšem prilagajanju se mikroorganizmi že privadijo količini ionov v okolju. V splošnem pa velja, da se denitrifikacija pri osmotskem pritisku, ki je podoben tistemu iz morske vode, zmanjša na približno 70 %. Z višanjem koncentracije soli se sposobnost denitrifikacije drastično zmanjšuje in pri vrednosti soli 60 g/l pade pod mejo 20 %. (vir: Lefabre, O., Moletta, R. 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. Water research 40: str. 3671 – 3682)

#### 5.4.2.4 Vpliv slanosti na motnost in lastnosti aktivnega blata

Ob vdoru višjih koncentracij soli v čistilne naprave so se pogosto pojavile težave s prelivanjem. Specifična teža slane vode je večja kot pri vodi, ki nima dodane soli. Zaradi tega povzroča slana voda večji odpor pri prelivanju, saj so sile, ki na slano vodo vplivajo, večje kot pri sladki vodi. Drugi razlog je ta, da slana voda zaradi osmotskega pritiska povzroča razpad celic in smrt mikroorganizmov, ki ponavadi nastopajo v odpadni vodi. S tem se zmanjšuje velikost delcev in specifična teža, kar povzroča plavljenje le teh preko prelivov. Kot tretji dejavnik nastopa zmanjšanje količine vlaknastih bakterij, ki igrajo pomembno vlogo pri mehanski sestavi flokov. Slana voda namreč slabo vpliva na vlaknaste bakterije in povzroča njihovo odmiranje. Kot zadnje so pomembne praživali, ki prav tako vplivajo na motnost iztoka. Protozoa-e zmanjšujejo motnost s tem, da oplazijo mikroorganizme, vendar so

dokazali, da je njihov obstoj ob slanostnih šokih omejen. Večinoma ne preživijo dlje kot 24 h po povišanju količine NaCl, ki presega 40 g/l.

(vir: Lefabre, O., Moletta, R. 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. Water research 40: str. 3671 – 3682)

#### 5.4.3 Vpliv soli na centralni čistilni napravi Domžale - Kamnik

Centralna čistilna naprava Domžale-Kamnik je ena večjih in moderno opremljenih tovrstnih naprav v Sloveniji. Na čistilno napravo doteka mašanica komunalne, industrijske in padavinske odpadne vode iz občin Domžale, Kamnik, Mengeš in Trzin. Na kanalizacijsko omrežje je priklopljeno povprečno nad 80 % vseh gospodinjstev (53.000 prebivalcev). Kar 37 volumnskih % od celotne dotočne odpadne vode je industrijskega izvora iz sledečih panog:

- klavniška (Meso Kamnik),
- farmacevtska (Lek Mengeš),
- prehrabena (Fructal, Eta),
- pohištvena (Stol),
- kemijska (Helios),
- kovinsko predelovalna (Titan),
- tekstilna (Svilanit, Tosama), pralnice tekstila (Periteks),
- deponijska izcedna (deponija Dob) in odpadne vode ostalih profitnih dejavnosti ter ostalega gospodarstva.

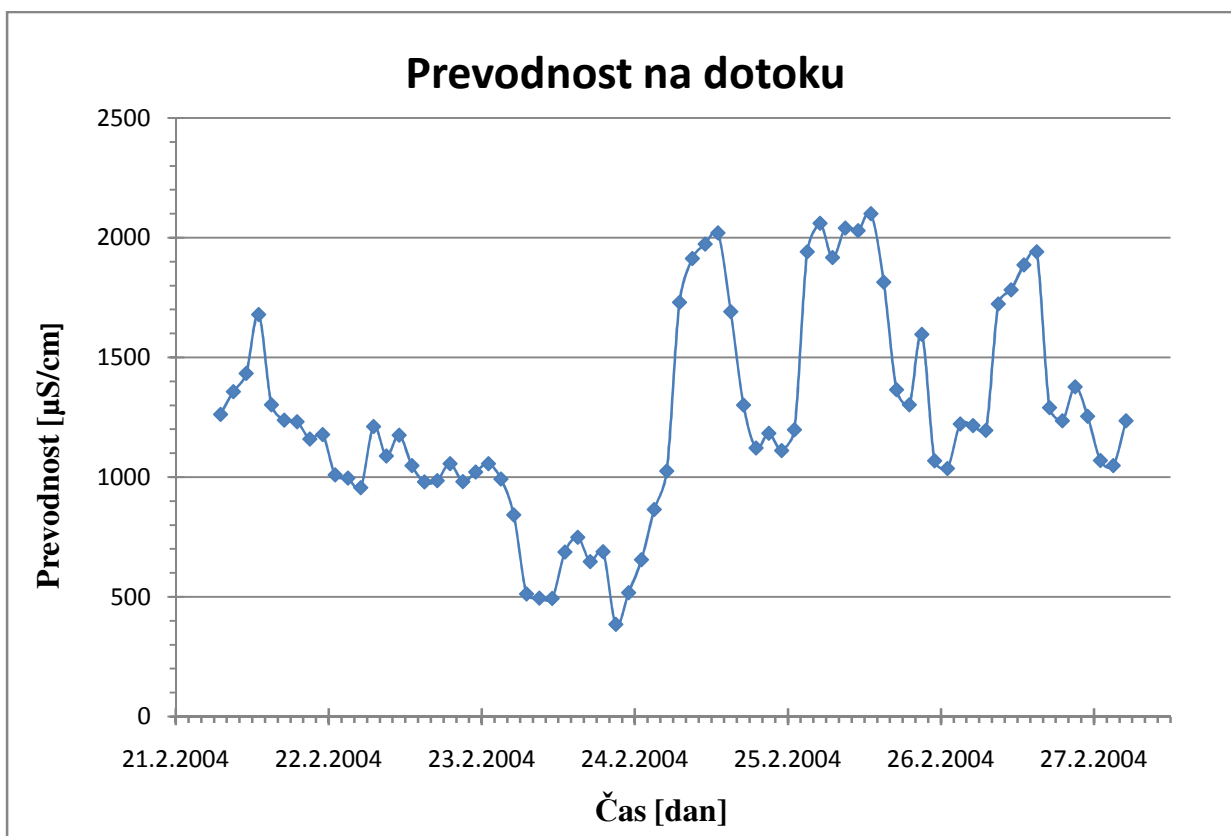
CČN Domžale - Kamnik sprejme letno približno 7 milijonov m<sup>3</sup> odpadne vode, kar je povprečno 830 m<sup>3</sup>/h (20.000 m<sup>3</sup>/dan oziroma 600.000 m<sup>3</sup>/mesec). Količina dotočne odpadne vode se dnevno, tedensko in mesečno spreminja. Maksimalni pretok odpadne vode, ki jo čistilna naprava lahko sprejme, je 1.400 m<sup>3</sup>/h oziroma 34.000 m<sup>3</sup>/dan, kar pomeni da se v času velikih nalivov del neočiščene odpadne vode izlije neposredno v reko Kamniško Bistrico.

Učinek čiščenja je po organski obremenitvi več kot 90 %. Čiščenje voda poteka v treh stopnjah (mehanska, aerobno biološka in anaerobno biološka), v celotnem procesu čiščenja pa ima posebno vlogo aktivno blato.

#### 5.4.3.1 Slanost na dotoku centralne čistilne naprave Domžale - Kamnik

Zaradi dotoka padavinskih odpadnih vod na čistilno napravo se pozimi v času zimskega vzdrževanja cest na dotoku pojavi tudi delež soli, ki so jo uporabljali za vzdrževanje cest. Za kontrolo slanosti v odpadni vodi uporabljajo merilnik prevodnosti. Njegove meritve pa nam pokažejo prevodnost v mikro Siemens-ih na cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Morska voda ima električno prevodnost približno 50000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , njena slanost pa je v povprečju 3,5 %. To pomeni da 1g soli, raztopljene v litru vode pomeni prevodnost približno 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Deževnica ima v povprečju prevodnost od 5 do 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Meritve prevodnosti na dotoku CČN Domžale – Kamnik so bile opravljene v letu 2004 in sicer od 21. 2. 2004 do 27. 2. 2004. Vzorčenje je potekalo vsaki 2 uri. Ker je bilo vreme spremenljivo in so se v tem obdobju pojavljale tudi snežne padavine, se je verjetno prav zaradi soljenja cest povečala prevodnost v nekaterih časovnih obdobjih. Podatki, pridobljeni z meritvami, so podani v prilogi B in predstavljeni v grafikonu 2.



Grafikon 2: Prevodnost na dotoku Centralne čistilne naprave Domžale – Kamnik (vir: Gradivo podjetja Javno Podjetje CČN Domžale-Kamnik d.o.o. 2004. Domžale, JP CČN Domžale – Kamnik)

Prevodnost na dotoku se je gibala med 385 in 2100  $\mu\text{S/cm}$ . Najvišje vrednosti prevodnosti so res nastopile po močnem sneženju in zelo verjetnem povečanem soljenju cest ter odjugi. To se je zgodilo 24. 2. 2004, ko je prejšnji dan, ponoči in zjutraj snežilo. Posledično je bilo izvedeno posipanje cest. Najvišje koncentracije so nastopile okrog 13. ure. Podobne vrednosti so nastopile 25. 2. 2004 ob 13. uri, ko je prevodnost dosegla visoke vrednosti zaradi odjuge. Takrat poteka taljenje snega, ki obleži po intervencijah s plugi in posipalci na obcestnih površinah. Tretji višek koncentracij je bilo zaznati 26. 2. 2004 ob 15. uri, ko je ponovno močno snežilo.

Vrednost 2000  $\mu\text{S/cm}$  pomeni približno 1,4 g soli v litru odpadne vode.

#### 5.4.3.2 Vpliv na biološki proces čiščenja Centralne čistilne naprave Domžale - Kamnik

Na biološki proces čiščenja vplivajo številni dejavniki. V tem primeru gre za skupen vpliv številnih pomembnih sprememb, ki nastopijo. V zimskem času je zaradi nižjih temperatur delovanje mikroorganizmov upočasnjeno. Poleg tega je v času odjuge povečan dotok na čistilno napravo, kar še oteži čistilni proces. Na CČN Domžale – Kamnik pritekajo tudi številne industrijske odpadne vode, ki imajo na procese čiščenja precejšen vpliv. Vsi ti dejavniki pomenijo močno zaviranje čistilnega procesa v zimskem času. Sol je le še dodatna skrb, ki spreminja kvaliteto čiščenja.

V prilogi B so v preglednici pod kategorijo opombe podana stanja v usedalnikih. Predvsem so pomembne opazke v času povečane prevodnosti (povišanih koncentracij soli) na vtoku. Takrat pogosto prihaja do dispergiraniosti - razpršenosti biomase, kar posledično privede do izplavljanja le te iz bazenov. K temu lahko v veliki meri pripomore prav sol, ki prihaja v proces čiščenja. Njene koncentracije so sicer majhne, saj 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pomeni le 1,4 g soli v litru odpadne vode. Vendar je sol lahko, ob upoštevanju ostalih dejavnikov, sokriva za razpad nekaterih mikroorganizmov in izplavljanje razpadlih odmrlih celic. Te so bistveno lažje od živih mikroorganizmov in to je možen vzrok za motnost, dispergirano biomaso in izplavljanje le te iz usedalnikov. Po opažanjih nekaterih zaposlenih na CČN Domžale – Kamnik se včasih v zimskih mesecih pojavi šok, ki vpliva na združbo še več mesecev. Šele takrat se ponovno vzpostavi primerno stanje, ki je podobno tistemu pred šokantnim valom vplivov. V najslabših primerih se šele v pomladnih mesecih ponovno vzpostavi ustrezna združba mikroorganizmov. Komunalna čistilna naprava ponovno doseže zadosten učinek čiščenja. Največji vplivi, ki povzročijo šok zaradi kompleksnosti, niso bili nikoli določeni. Poleg drugih dejavnikov bi k tem dejavnikom lahko pripisali tudi sol, ki prihaja v čistilni proces.

## 5.5 Vpliv soli na tla

Sol se na zemljinu ob cesti prenaša s pršenjem in odvodnjavanjem s cestišč. Boljše kot je odvodnjavanje, manjše je pršenje in obratno. Vpliv zimskega soljenja na tla ob cestni mreži je velik. Kljub temu slovenska zakonodaja snovi, ki prehajajo v zemljo s cestišč, ne tretira kot možen kontaminant zemljine. Zaradi tega tudi kloridov in natrijevih ionov ni navedenih v Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostnih nevarnih snovi v tleh (UL RS, št. 68/96), ki je bila izdana na podlagi Zakona o varstvu okolja. V njej so opredeljeni nekateri najbolj nevarni parametri onesnaženja tal. Imisija snovi v tleh je podana kot gostota posamezne nevarne snovi v tleh, izražena v mg ali  $\mu\text{g}$  na kg mase suhih tal. Kritična imisijska vrednost je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, pri kateri zaradi škodljivih učinkov na človeka ali okolje, onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi in živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode. Soljenje cestišč spreminja kakovostne attribute zemljine in s tem povzroča degradacijo okolja. Sestava zemljine se namreč ob prehajanju soli lahko močno spreminja.

Med prehajanjem slanice v tla potekajo različni kemijski in fizikalni procesi, ki spremenijo sestavo zemlje in njene lastnosti. Hitrost in količina soli, ki prehajajo v tla, je odvisna od več faktorjev. To so: nagib cestišča, smer odtoka, način odvodnjavanja, vrsta zemljine ob cestišču, vrsta rastlin ob cestišču (trave slanico zaustavijo hitreje), količina snega in ledu... Bolj permeabilne zemljine omogočajo hitrejši prehod slanice, med tem ko bolj goste predstavljajo oviro za infiltracijo slanice. Pri glinenih, fino zrnatih zemljinah, večja količina slanice odteče po površju. Slanica, ki prehaja v zemljinu, pa v njej povzroči različne spremembe.

Pri proučevanju vpliva gnojenja tal so ugotovili, da se pri uporabi gnojil, ki vsebujejo  $\text{Na}^+$  ione, pojavijo večje spremembe v strukturi tal. Kažejo se predvsem pri gostih, zbitih, glinenih tleh, kjer se pojavi nastanek plasti neprepustne za vodo. To onemogoča rastlinam srkanje potrebne vode in mineralov skozi korenine. Do podobnega procesa prihaja pri soljenju z NaCl. Med prehodom slanice v tla prihaja do ionske izmenjave natrijevih ionov s kalcijevimi in magnezijevimi ioni, ki so v zemlji. Ti so del zemeljskih mineralov. To vodi do spremembe



fizikalnih in mehanskih lastnosti tal. Spremeni se tudi kemijska sestava vode, ki pronica skozi zemljino.

Vpliv, ki ga ima količina natrijevih ionov v slanici na ionsko izmenjavo s kalcijevimi in magnezijevimi ioni iz mineralov zemlje, je podan z natrijevim adsorpcijskim razmerjem med  $\text{Na}^+$  in celokupnimi  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  ioni.:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\left[ \frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}{2} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{En. 5})$$

Koncentracije v prejšnji enačbi so v mmol/l. Razmerja pod 8 pomenijo, da še ni nevarnosti za strukturne spremembe tal, vrednosti od 8 do 20 kažejo na nevarnost manjših sprememb, vrednosti nad 20 pa opozarjajo na resno nevarnost za velike strukturne spremembe tal.

Kloridni ioni v manjši meri vplivajo na zemljino. Posledica njihove prisotnosti v večjih količinah je kislost slanice, ki nastaja pri tajanju snega. Višje koncentracije vplivajo na osmotski tlak med raztopino soli in mineralov v zemlji ter raztopino ionov v koreninah rastlin. Negativne spremembe osmotskega tlaka povzročijo zmanjšanje zmožnosti absorpcije vode z raztopljenimi hranili skozi korenine rastlin. Zaradi prisotnosti soli se torej spremeni tudi pH zemljine. Vrednosti pH nevtralne zemljine (6,5 – 7) se spremenijo na nižje, bolj kisle vrednosti (4 – 5). To lahko negativno vpliva na zdravje rastlinja. V nasprotju z natrijevimi ioni se kloridni ioni ne absorbirajo v zemljino. To omogoča spiranje le teh v nižje plasti in podtalnico.

Bistveno bolj ugodna za zemljino je torej uporaba kalcijevega in magnezijevega klorida. Ti dve vrsti soli ne vsebujeta natrija, ki je za zemljino najbolj škodljiv. Kalcijevi in magnezijevi ioni v zemljini nastopajo že kot njeni sestavni deli oz. osnovni gradniki.

## 5.6 Vpliv soli na rastlinje ob cestišču

Vpliv soljenja na rastlinstvo se je pokazal že zelo hitro, ko se je poraba močno stopnjevala. Sol na rastline vpliva na dva načina. Prvi je škropljenje rastlin ob cestni mreži. Vozila namreč ob svoji dejavnosti – gibanju, dvigujejo v zrak raztopino soli. Ti delci največkrat dosežejo le bližnje rastlinstvo (nekaj metrov od ceste). V nekaterih primerih pa preidejo tudi v bolj oddaljene dele, vendar je njihova koncentracija bistveno nižja. Njihov vpliv ni več tako močan. Drugi način vpliva soli pa poteka preko zemljine, ki je nasičena s slanico s cestišč. Visoke koncentracije soli spreminjajo lastnosti zemljine in onemogočajo vsrkavanje vode preko koreninskih sistemov rastlin. V nekaterih primerih lahko visoke koncentracije soli v zemljini povzročijo celo izsušitev korenin zaradi prehoda vode v okolje, ki ima nižjo vodno aktivnost. Vpliv soli je odvisen od vrste rastlin in drugih dejavnikov v okolju. Tolerantnost rastlin je zelo različna. Nekatere so na sol zelo občutljive, na druge pa lahko povečane koncentracije soli sploh ne vplivajo.

Pri škropljenju rastlin prehaja sol preko listov in skorje skozi pore v notranjost celic. Tam povzročijo soli porušitev notranjega ravnovesja in s tem močno vplivajo na biološke procese v celicah. Pršenje vodnih kapljic in njihovo vsedanje na liste in skorjo rastlin pomeni kontaktne poškodbe rastlin. Njihova intenziteta in vrsta sta odvisni od večjih dejavnikov:

- količine in koncentracije raztopine soli, ki se vsede na rastline;
- časa, ob katerem so bile rastline in drevesa izpostavljena soli (kontaktne poškodbe so lahko bistveno večje v času, ko je na rastlinah že odgnalo listje in so absorpcijske površine rastlin s tem večje);
- vremenski dogodki v zimskem času (v kolikor daljšemu obdobju sneženja sledi sušno in toplo obdobje, sol na rastlinju ostane dalj časa, kot v primeru deževnega obdobja);
- položaj in oddaljenost rastlin od cestišča (bližje kot so rastline cestišču, bolj so izpostavljene škropljenju);
- vrste in gostote prometa (ob težjem in gostejšem prometu se v zrak prenesejo večje količine solne raztopine);

- vrste cestišča in odvodnjavanja (v kolikor se slanica dlje časa zadržuje na cestišču, je škropljenje izdatnejše; neravnine, ki povzročajo nastanek mlak, so poglavitni vzrok zadrževanja slanice na cestišču);
- učinkovitost in urezna natančnost zimske službe (z gospodarnim in kontroliranim zmernim posipavanjem se bistveno zmanjšajo koncentracije soli v slanici).

Poškodbe, povzročene zaradi vsrkavanja raztopine, so v veliki meri odvisne od odvodnjavanja cestišča. Poleg tega so odvisne tudi od drugih dejavnikov:

- količine padlega snega in posledičnega soljenja,
- vrste zemljine (na nekatere zemljine prehod slanice bistveno bolj vpliva, saj je količina ionov, ki so zamenljivi z natrijevimi v nekaterih zemljinah višja kot v drugih),
- zdravstvenega stanja rastlin pred nastopom določenih okoliščin (nekatero rastline so lahko že prej v slabšem stanju zaradi drugih dejavnikov kot so mraz, izsušitev, poškodbe...).

(vir: Lerner, B.R. 2004. Roadside De-Icing Salts and Ornamental Plants. ZDA, West Lafayette, Purdue University Cooperative Extension Service: 6 str.)

Simptomi, ki nastajajo na rastlinah zaradi vpliva soli, so zelo podobni v obeh primerih. Sol namreč prehaja v rastline na oba načina. Najpogosteje opažena bolezen pri drevesih je kloroza in nekroza starejših lisov. Poleg tega sol vpliva tudi na rast organizmov. Učinkuje namreč zaviralno. Slednje so ugotovili tudi v raziskavi vpliva soli na drevored Napoleonove lipe v Logatcu, ki so jo opravili na biotehniški fakulteti v Ljubljani. Pri raziskavi so uporabljali modelne rastline in na podlagi njihovih odzivov dokazali zaviralni učinek.



Slika 5: Pojav kloroze na hruškinih listih. (vir: Appleton, B. in sod.; Trees and Shrubs that Tolerate Saline Soils and Salt Spray Drift, Trees for Problem Landscape Sites. ZDA, Virginia, Virginia state university, Virginia cooperative extension 430-031: 7 str.)

Tolerantnost rastlin na povišano slanost je različna. Nekatere rastline povišano slanost v okolju dobro prenašajo. Predvsem so to rastline, katerih deli so bolj zaščiteni pred zunanjimi vplivi. Sestava njihovih listov je gostejša, bolj mesnata in voskasta. Enako velja za druge dele rastlin. V preglednici 15 so podane nekatere rastline in njihova toleranca.

Preglednica 15: Tolerantnost nekaterih vrst rastlin. Toleranca pada po stolpcu od zgoraj navzdol. (vir: Vplivi na okolje pri posipanju cestišča. 2003. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije, arhiv DARS d.d.: 104 str.)

<b>Listavci</b>	<b>Iglavci</b>	<b>Grmičevje</b>
Akacija	Brin	Liguster
Breza	Bor	Kovačnik
Javor	Jelka	Forzicija
Jesen	Smreka	Vrtnica
Topol	Trobelika	-

Pri uporabi rastlin v obcestnem pasu bi predvsem morali paziti na izbrano vrsto, oddaljenost od vozišča, zaščito rastlin v obcestnem prostoru, primerno projektiranje cestnih in obcestnih površin in drugo.

## 5.7 Ostali vplivi soli

Prisotnost posipalne soli pa ni škodljiva le za vodno okolje ter rastlinstvo in živalstvo. Ceste in njihovi spremljajoči objekti zaradi vpliva soli pogosto hitreje dotrajajo. Življenjska doba materialov se namreč v primeru teh specifičnih pogojev močno skrajšuje. Predvsem to velja za armiranobetonske konstrukcije. Slanica povzroča korozijo železa in to privede to ogrožitve varnosti objektov. Problem, ki se pojavljajo v zvezi z armirano betonskimi konstrukcijami, še niso rešeni in so še vedno predmet številnih raziskav. Velik vpliv na konstrukcije se lahko v manjši meri odpravi z uporabo primernejšega betona. Le ta naj bi imel večje količine cementa in večjih zračnih por. Te naj bi v primeru morebitnega prehoda vode skozi zgornjo plast

omogočile stisk zraka in uspešno kristalizacijo vodnih kapljic in soli. V splošnem ima slanica večji vpliv na beton slabše kvalitete, ki je posledično manj odporen. Podobni problemi se pojavljajo tudi pri bitumenskih prevlekah. V primeru slabše kvalitete slanica prodira v notranjost plasti in tam ob nižjih temperaturah kristalizira ter povzroča poškodbe, ki se kažejo kot luščenje vozišč in nastajanje lukenj v voziščih. Pogosto težave nastopijo na spojih med posameznimi deli pločnikov in cestišč. Tam je zaradi vgraditve različnih materialov možnost nastanka večjih razpok.

Slanica ima velik vpliv tudi na sisteme odvodnjavanja s cestišč. Poleg poškodb, ki se pojavljajo na betonskih konstrukcijah in so bile omenjene že prej, je težava tudi v nastanku težko odstranljivih zaplankov v zadrževalnih bazenih. Sol se v kombinaciji z drobirjem sprime v zadrževalnih bazenih in površina postane izredno trda. Težave nastopijo ob željeni odstranitvi zaplankov. Pogosto se jih odstrani težje kot drug material, ki se pogosto znajde v zadrževalnikih.

Zaradi velikega vpliva na kovino, predvsem železo, je na veliki preizkušnji tudi vsa kovinska, cestna in obcestna infrastruktura. Železo samo po sebi ni sposobno preprečiti poškodb. Rjavenju se lahko izognemo z uporabo premazov ali izbiro drugih vrst kovin. Najprimernejše za to je nerjaveče jeklo. Pa vendar se tudi vrste nerjavečega jekla glede odpornosti na sol razlikujejo. Nekatere vrste so namreč na sol bolj odporne. Poleg tega je odpornost zelo odvisna od načina obdelave zgornje plasti. Bolj gladke vrhne plasti so na sol tudi bolj odporne, saj se z grobih površin sol posledično težje izpere. Na sliki 6 je prikazana razlika v vplivu soli na cestne stebričke. Stebriček je narejen iz enakega nerjavečega jekla na vseh delih. Na spodnjem delu je le bolj grobo obdelan, zgoraj pa je spoliran na bolj gladko površino. To se odraža v večjem vplivu na spodnji del.



Slika 6: Vpliv soli na cestne stebričke. (vir: Houska, C. 2003. Deicing salt – recognizing the corrosion threath. Pittsburgh, TMR Consulting: 11 str.)

Poleg vpliva na infrastrukturo ima sol veliko vlogo pri nastanku poškodb na prevoznih sredstvih. Rjavenje se sicer lahko odpravi s pomočjo premazov, vendar se s tem izognemo le težavam, ki se dotikajo karoserije. Bistveno težje je zaščititi druge dele, kot je podvozje in šasija. To so deli, ki so stalno v gibanju in jih premazi lahko varujejo le na nekaterih mestih. Uporaba odpornejših materialov je pogosto neekonomična ali pa fizikalno neustrezna.

## 6 ZAKLJUČEK

Za oceno vpliva posipnih sredstev na okolje je potrebno izvesti dolgotrajne in kompleksne študije, ki upoštevajo veliko število dejavnikov. Potrebna je primerjava porabe posipnih sredstev, padavin, ki so v določenih obdobjih nastopale, in hidroloških sprememb v okolju. Pomembna je analiza okolja, v katerem se določena raziskava odvija. Dejstva o zemeljskih značilnostih na območju so prvotnega pomena. Podatki, ki se zberejo, morajo biti sistematični in kvalitetni. Pri oceni vplivov je, če je le možno, potrebno izključiti morebitne ostale dejavnike, ki so velikokrat možni krivci za spremembe v okolju.

Uporaba posipnih sredstev je potrebna za zagotavljanje večje varnosti na cestah. Uporaba soli in drugih preparatov je smotrna tudi v primeru zmanjšanja zastojev oz. večje pretočnosti cestnih mrež. V diplomskem delu sem prišel do zaključkov, da prekomerno in neekonomično ravnanje z velikimi količinami sredstev posledično zelo obremenjuje okolje.

Vodno okolje je pri tem zelo izpostavljeno. Četudi se koncentracije posipnih materialov v odvodnikih z redčenjem bistveno zmanjšajo, njihove koncentracije v tem okolju kljub temu presegajo običajne vrednosti. Vpliv soli na odvodnike sicer ni tako močan, drugače pa je z drugimi sredstvi, kot so na primer cianidni kompleksi, ki se uporabljajo za preprečitev sprijemanja soli v vlažnem okolju. Ti kompleksi ob vplivu UV svetlobe preidejo v proste cianide, ki pa so strupeni tudi za življenje v vodi. V diplomskem delu sem s standardno metodo določil količino prostih cianidov za porečje Glinščice. Zanimivo je, da so vrednosti, pridobljene z izračuni tako visoke, da bi bile lahko usodne za nekatere vrste v vodi živečih bitij.

Zelo zaskrbljujoče je tudi dejstvo, da nekateri deli cestnih mrež potekajo preko območij podtalne vode, ki je pogosto vir pitne vode za prebivalstvo določenega področja. Zaradi tega je uporaba sredstev proti strjevanju soli vprašljiva oz. bi morala biti zakonsko močno omejena. Potrebno je vedeti, da mejo za vsebnost cianidov v vodi določa le Pravilnik o imisijskem monitoringu kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (UL RS, št. 40/01), ki za zgornjo mejo vsebnosti cianidov določa vrednost 0,01 mg/l. Zaradi



vpliva cianidov na drugo vodno okolje, bi bila nujno potrebna določitev mejnih vrednosti v nekaterih podzakonskih aktih.

Uporaba soli za posipanje vpliva tudi na biološko čiščenje odpadnih voda na komunalnih čistilnih napravah. Razlike v ionski moči po vdoru soli spreminjajo okolje mikroorganizmom. Nekatere združbe v čistilnem procesu so na to zelo občutljive. Ker zaradi neugodnih pogojev (nizke temperature, razredčenje), ki nastopajo že pred vdorom soli v bazene, mikroorganizmi niso najbolj odporni, je lahko že majhen slanostni šok usoden za določen del združbe, ki zagotavlja primeren učinek čiščenja. Zaradi porušitve združbene strukture se posledično zmanjša učinkovitost čistilnih naprav. Razločiti med jakostjo vpliva med posameznimi dejavniki je zelo težko. Pri pregledu meritev prevodnosti iz Centralne čistilne naprave Domžale – Kamnik lahko z znižanjem učinkovitosti povežemo več dejavnikov. Predvsem so to: znižanje temperature, povečan dotok, uporaba posipnih soli idr. Verjetno so vsi dejavniki skupaj pomembni za neučinkovitost mikroorganizmov ter njihovo izplavljanje in razpadanje.

Ekonomsko enormen vpliv soli na cestno infrastrukturo in prevozna sredstva v današnjem času, ob misli na boljše okolje, niti ni tako boleč. Cilj, ki bi si ga morali zadati, je zadržati kvalitetno, zdravo, neonesnaženo in samočistilno sposobno okolje. Tako okolje pa je možno imeti le ob optimizaciji procesov, ki jih izvajamo. Naše dejavnosti morajo biti take, da se okolje z njimi lahko kosa in nam prinašajo zadovoljiv, nenevaren življenjski prostor. Razpolaganje s posipnimi sredstvi bi moralo biti prav takšno, v določenih primerih bistveno preudarnije. Razlike v ekonomskem smislu pa bi lahko uporabili za druge načine obvladanja neugodnih zimskih razmer in izboljšave procesov, ki jih zimske službe že izvajajo.

## 7 VIRI

Appleton, B., Greene, V., Smith, A., French, S., Kane, B., Fox, L., Downing, A., Gilland, S. 2002. Trees and Shrubs that Tolerate Saline Soils and Salt Spray Drift, Trees for Problem Landscape Sites. ZDA, Virginia, Virginia state university, Virginia cooperative extension 430-031: 7 str.

Brilly, M., Globevnik, L., Štravs, L., Rusjan, S. 2005. Eksperimentalna porečja v Sloveniji. Zbornik predavanj. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko: 11 str.

Calcium chloride. SIDS Initial Assessment Report For SIAM 15. 2002. ZDA, Boston, UNEP: 154 str.

Costa, J. L. P., 2007. Sea salt. Brazilija, Ministrstvo za rudarstvo in energijo, Državni oddelek za pridobivanje rudnin: 3 str.  
<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2007en/sea%20salt.doc>  
 (15.12.2007)

Deicing salt – saves lives, time and money. Brussels, European salt producers association: 6 str.  
<http://www.eusalt.com>

European Road Statistics 2007. Brussels, Belgium, ERF – IRF: 72 str.

Gradivo o porabi posipnih sredstev podjetja Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS). 2007. Ljubljana, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS). (posredoval g. Sever, A.)

Gradivo o porabi posipnih sredstev podjetja Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). 2007. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). (posredoval g. Hevka, P.)

Gradivo podjetja Javno Podjetje CČN Domžale-Kamnik d.o.o. 2004. Domžale, JP CČN Domžale – Kamnik.

Lajevec, D. 2008. Analiza vplivov onesnaženih voda s soljo ... in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah. Dipl. nal. - UNI, Ljubljana, UL, FGG, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva.

---

Granato, G. E., Church, P. E., Stone, V. J. 1995. Mobilization of Major and Trace Constituents of Highway Runoff in Groundwater Potentially Caused by Deicing Chemical Migration. ZDA, Washington, D.C., Highway Research Board, Highway Research Record No. 1483: 14 str.

Gray, N. F. 2004. Biology of Wastewater Treatment. 2nd edition. Vol. 4. London, Imperial College Press: 1421 str.

Helmenstine, A. Melting Snow & Ice with Salt, About.com:chemistry <http://chemistry.about.com/cs/howthingswork/-/a/aa120703a.htm>

Highway Deicing. 1991. Washington, D.C., National Research Council, Transportation Research Board: 165 str.

Highway Salt And Our Environment. 2004. ZDA, Virginia, Alexandria, Salt Institute: 27 str. <http://www.saltinstitute.org>

Houska, C. 2003. Deicing salt – recognizing the corrosion threath. Pittsburgh, TMR Consulting: 11 str.

Kraševc, A., Košmrlj, K., Mohorič, B., Perko, D., Premru, A., Ramšak, Ž., Sever, Z., Smole, J. 2006. Drevored Napoleonove lipe. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Študij biotehnologije: 2 str.

Lefabre, O., Moletta, R. 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. Water research 40, 3671 – 3682.

Lerner, B.R. 2004. Roadside De-Icing Salts and Ornamental Plants. ZDA, West Lafayette, Purdue University Cooperative Extension Service: 6 str.

Lajevec, D. 2008. Analiza vplivov onesnaženih voda s soljo ... in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah. Dipl. nal. - UNI, Ljubljana, UL, FGG, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva.

---

Mlakar, J. 2006. Modeliranje prvega vala onesnaženja z (avto)cest. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 67 str.

National Transportation Statistics 2007. 2007. ZDA, Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics: 504 str.

Lundmark, A. 2003. Predicting environmental impact of deicing salt – a modeling approach. Švedska, Dept. of Land and Water Resources Engineering, KTH: 33 str.

Organiziranost in pripravljenost zimske službe. 2006. Ljubljana, Ministrstvo za promet, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 12 str.

Poročila o izvajanju zimske službe. 2006, 2007. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana, Oddelek za gospodarske javne službe: 17 str.

Povzetki klimatoloških analiz: letne in mesečne vrednosti za nekatere postaje v obdobju 1991-2006. ARSO

Pravilnik o projektiranju cest. UL RS št. 91/05: 3896.

Pravilnik o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest. UL RS 62/98: 2848.

Švegl, F., Hevka, P., Herga, L., Verbovšek Judež, V. 2006. Lastnosti soli za posipavanje oplaščene z melaso. Portorož, 8. Slovenski kongres o cestah in prometu: 7 str.

Using Salt and Sand for Winter Road Maintenance. 1996. Wisconsin, Wisconsin Transportation Center, Wisconsin Transportation Bulletin No. 6: 12 str.

Lajevec, D. 2008. Analiza vplivov onesnaženih voda s soljo ... in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah. Dipl. nal. - UNI, Ljubljana, UL, FGG, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva.

---

Viadero, R. C. Jr. 2005. Roadway Deicing and the Environment. Government engineering, Environmental issues: str. 32-33.

[http:// www.govengr.com](http://www.govengr.com)

Vplivi na okolje pri posipanju cestišča. 2003. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije, arhiv DARS d.d.: 104 str.

Woolard, C. R., Irvine, R. L. 1994. Treatment of hypersaline wastewater in the sequencing batch reactor. Elsevier science, Water research 29: str. 1159 – 1168.

Zakon o javnih cestah (uradno prečiščeno besedilo). UL RS 33/06: 1349.

Zimska služba. 2003. Krško, Zavod Neviodunum, Posavski obzornik, Januar 2003: str. 26 – 27.

## KAZALO VSEBINE:

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZAKONSKA PODLAGA V SLOVENIJI.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>VRSTE IN UPORABA SREDSTEV ZA ZIMSKO VZDRŽEVANJE .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Natrijev klorid (NaCl) .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Kalcijev klorid (CaCl<sub>2</sub>) in magnezijev klorid (MgCl<sub>2</sub>).....</b>	<b>10</b>
<b>3.3</b>	<b>Drobir .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4</b>	<b>Natrijev, kalijev in železov heksacianoferrat.....</b>	<b>11</b>
<b>3.5</b>	<b>Ostali preparati.....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>PORABA SREDSTEV ZA ZIMSKO VZDRŽEVANJE CEST.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Poraba v tujini (ZDA, Evropa).....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.1</b>	<b>ZDA.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Evropa .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Poraba v Sloveniji.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS).....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC) .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Mestna občina Ljubljana (MOL).....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>VPLIV UPORABE SREDSTEV NA OKOLJE.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1</b>	<b>Vpliv posipa.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2</b>	<b>Prehajanje snovi v okolje .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Odvodnjavanje voda s cestišč .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Prehod v okolje preko odloženega snega.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Pršenje soli .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3</b>	<b>Vpliv zimskega vzdrževanja cest na vode.....</b>	<b>32</b>

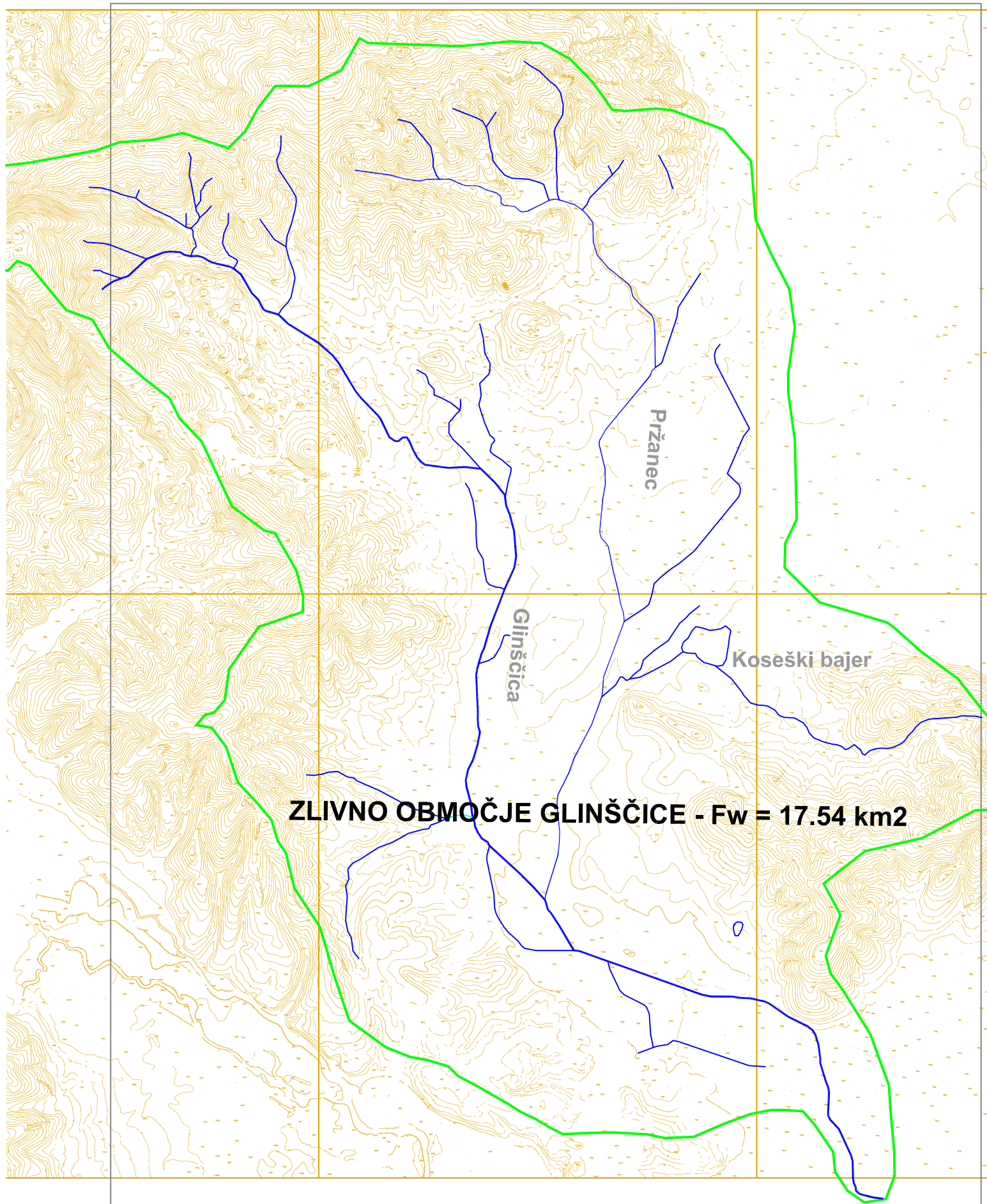
<b>5.3.1</b>	<b>Vpliv na podtalnico.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Vpliv na površinske vode .....</b>	<b>36</b>
<b>5.3.2.1</b>	<b>Vpliv heksacianoferatnih kompleksov.....</b>	<b>38</b>
<b>5.3.2.2</b>	<b>Uporaba metode WAD na območju Glinščice .....</b>	<b>40</b>
<b>5.4</b>	<b>Vpliv soli na čiščenje odpadne vode.....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Biološko čiščenje .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Vpliv soli na biološko čiščenje .....</b>	<b>45</b>
<b>5.4.2.1</b>	<b>Vpliv na aerobno čiščenje .....</b>	<b>46</b>
<b>5.4.2.2</b>	<b>Vpliv na anaerobno čiščenje .....</b>	<b>47</b>
<b>5.4.2.3</b>	<b>Vpliv na odstranjevanje dušika.....</b>	<b>48</b>
<b>5.4.2.4</b>	<b>Vpliv slanosti na motnost in lastnosti aktivnega blata .....</b>	<b>48</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Vpliv soli na centralni čistilni napravi Domžale - Kamnik.....</b>	<b>49</b>
<b>5.4.3.1</b>	<b>Slanost na dotoku centralne čistilne naprave Domžale - Kamnik .....</b>	<b>50</b>
<b>5.4.3.2</b>	<b>Vpliv na biološki proces čiščenja Centralne čistilne naprave Domžale-Kamnik</b>	<b>52</b>
<b>5.5</b>	<b>Vpliv soli na tla .....</b>	<b>53</b>
<b>5.6</b>	<b>Vpliv soli na rastlinje ob cestišču .....</b>	<b>55</b>
<b>5.7</b>	<b>Ostali vplivi soli.....</b>	<b>58</b>
	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>61</b>
	<b>VIRI .....</b>	<b>63</b>

Lajevec, D. 2008. Analiza vplivov onesnaženih voda s soljo ... in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah.  
Dipl. nal. - UNI, Ljubljana, UL, FGG, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva.

---

**PRILOGA A: Pregledna situacija zlivnega območja reke Glinščice.**





Naslov risbe: PREGLEDNA SITUACIJA		Merilo: 1 : 25000
Ime in priimek: Domen Lajevec	Podpis:	Datum: Apr 2008
		Štev. priloge: 1

**PRILOGA B: Meritve prevodnosti na dotoku CČN Domžale – Kamnik, vremenski podatki ter spremembe v poteku čistilnega procesa za obdobje od 21. 2. 2004 do 27. 2. 2004.** (vir: Interno gradivo podjetja Javno Podjetje CČN Domžale-Kamnik d.o.o., Domžale, 2004)

DAN	ČAS VZORČENJA (h)	VREME	PREVODNOST ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	OPOMBE
21.2.2004	7	oblačno	1263	T dotok = 10°C  biomasa ni dobro usedljiva, občasno izplavlja
	9	1,5 °C	1357	
	11		1433	
	13		1680	
	15		1303	
	17		1238	
	19		1232	
	21	- 1°C	1159	
22.2.2004	23		1178	T dotok = 8°C
	1		1010	
	3	ledeni dež	996	
	5		956	
	7	(soljenje)	1212	
	9	2°C	1088	
	11	odjuga	1175	
	13		1048	
	15		980	
	17		986	
	19	2°C	1057	
23.2.2004	21		982	T dotok = 6°C biomasa popolnoma dispergirana, pojavljajo se strujenja (oblaki)
	23		1022	
	1		1057	
	3		992	
	5	dežuje	842	
	7	2°C	512	
	9		495	
	11		494	
	13		688	
15	močno sneži	749		
17	(soljenje)	647		

Se nadaljuje...

...nadaljevanje:

24.2.2004	19	1°C	689	biomase, ki plavajo), izplavljanje	
	21		385		
	23		518		
	1		656		
	3		866		
	5	(soljenje)	1026		
	7	0°C	1730		
	9	sneži	1914		
	11		1973		
	13		2020		
	15		1691		
	17		1301		
	19		1122		
	21		1184		
25.2.2004	23		1111	T dotok=7 oC biomasa popolnoma dispergirana - neusedljiva, voda v usedalniku II motna	
	1		1198		
	3		1941		
	5	oblačno	2060		
	7	2°C	1917		
	9	odjuga	2040		
	11		2030		
	13		2100		
	15		1815		
	17		1365		
	19		1302		
	21		1596		
	23		1068		
	26.2.2004	1			1036
3			1222		
5			1216		
7		sneži	1196		
9			1724		
11			1783		
13			1886		
15			1942		
17			1291		
19			1235		
21			1377		
23			1254		
27.2.2004		1		1070	

Se nadaljuje...

Lajevec, D. 2008. Analiza vplivov onesnaženih voda s soljo ... in čiščenje na komunalnih čistilnih napravah.  
Dipl. nal. - UNI, Ljubljana, UL, FGG, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva.

---

...nadaljevanje:

	3		1048	
	5		1236	