

»Mladi za napredek Maribora 2020«

37. srečanje

SOLJENJE CEST IN VPLIV NA OKOLJE

Raziskovalno področje: KEMIJA

Raziskovalna naloga

Avtor: MAI BRUS, ŠPELA POLUTNIK

Mentor: RUDOLF SEDIČ

Šola: OŠ MALEČNIK

Število točk: 153/ 170

Maribor, februar 2020

ZAHVALA

Prisrčno se zahvaljujema vsem, ki ste kakorkoli pomagali pri nastajanju te raziskovalne naloge. Posebej se zahvaljujema najinemu mentorju, ki naju je spodbujal, nama dajal nasvete ter nama bil pripravljen pomagati pri nastajanju ter raziskovalne naloge. Zahvaljujema se tudi zaposlenim na podjetju Nigrad, predvsem gospodu Branetu Novaku, ki so nama bili pripravljeni odgovoriti na vprašanja, ki sva jih imela v zvezi z raziskovalno nalogo. Tako sva dobila podrobnejšo predstavo, kako sploh soljenje cest deluje v praksi. Zahvala gre tudi lektorici, ki je najino raziskovalno nalogo do podrobnosti pregledala in popravila slovnične napake v njej. Ob tem bi se zahvalila tudi staršem, ki so naju spodbujali, včasih tudi priganjali, ko sva že skoraj obupala. Brez njih nama ne bi uspelo dokončati te naloge.

KAZALO

1. POVZETEK	4
2. UVOD	5
2.1 Hipoteze	6
3. TEORETIČNI DEL NALOGE	7
3.1 Vrste posipnih materialov	7
3.2 Natrijev klorid in sneg	9
3.2.1 Ionska vez med klorom in natrijem	9
3.2.2 Fizikalne lastnosti natrijevega klorida.....	11
3.2.3 Kemijske lastnosti natrijevega klorida	11
3.2.4 Pridobivanje natrijevega klorida.....	12
3.2.5 Reakcija natrijevega klorida z vodo	12
3.2.6 Vpliv natrijevega klorida na okolje	14
4. METODE DELA	16
4.1 Intervju v podjetju Nigrad	16
4.2 Eksperimentalno delo	18
4.2.1.Priprava na eksperimentalno delo	18
4.2.2 Potek eksperimentalnega dela	20
4.2.3 Rezultati eksperimentalnega dela	21
4.3 Delo na terenu	22
4.3.1 Priprave na izvedbo merjenja	22
4.3.2 Rezultati.....	23
5. POTRDITEV ALI ZAVRNITEV HIPOTEZ	26
6. INOVACIJSKA REŠITEV	28
7. ZAKLJUČEK	29
8. DRUŽBENA ODGOVORNOST	30
9. VIRI	31
9.1 Viri besedila	31
9.2 Viri slik	31
9.3 Viri grafov	32

1. POVZETEK

Zaradi vse bolj očitnih podnebnih sprememb zadnji čas veliko bolj skrbimo za okolje. Ena izmed okoljskih težav je tudi soljenje cest. Zaradi soli se namreč izsušijo drevesa, ko pa sol prodira v zemljo, s tem onesnaži tudi podtalnico oziroma vir pitne vode.

Ker bi brez soljenja prišlo do poledice na cestah in bi zaradi spolzkih tal verjetno prišlo do še večjega števila nesreč, je edina možnost, da količino soli minimaliziramo. Zaradi dejstva, da se po nekaterih cestah avtomobili vozijo bolj pogosto in ker so nekatere ceste obsijane s soncem ter zato bolj tople, bi morali različne odseke cest soliti z različno količino soli.

Namen najine raziskovalne naloge je, da dokaževa, da so ceste na različnih odsekih res različno tople in bi bilo zato smiselno, da jih solimo z različnimi količinami. Tako bi na nekaterih delih porabili manj, na drugih pa več soli in bi zato imeli tudi ekonomsko korist.

Postavila sva si tudi hipoteze, ki jih bova s pomočjo poskusov, intervjuja strokovnih delavcev in spletne literature ovrgla ali pa potrdila in podkrepila z dokazi.

Z najino raziskovalno nalogo bi rada sporočila, da če že razmišljamo okoljevarstveno, potem lahko nekaj naredimo tudi sami. V kolikor bi se hipoteze izkazale za pravilne, potem bi tovarnjak pri soljenju cesto posipal z različno količino soli na različnih odsekih. S tem bi se zmanjšal naš negativni vpliv na okolje ter vzpostavilo bolj učinkovito soljenje cest brez odvečne količine posipane soli.

2. UVOD

Znano je, da cestne službe pozimi solijo ceste, da na njih ne bi nastala poledica. Glede na to, da so bile zime včasih še hujše kot danes, je bilo to takrat zagotovo bolj potrebno, ampak kdaj točno se je soljenje cest začelo?

Najprej so se pojavili snežni plugi. Prvi zapis o pojavu snežnih plugov naj bi segal že v leto 1840. Vse naj bi se začelo čez lužo, in sicer v Ameriki. Zapis o njihovi dejanski uporabi pa sega v leto 1862, ko so v mestu Milwaukee začeli voziti prvi snežni plugi na svetu. Sprva so jih vlekli konji. Šele leta 1913 so se pojavili prvi motorizirani plugi, ti so bili nameščeni na tovornjak ali traktor. S populacijo motornih vozil pa pluzenje cest več ni bilo dovolj. Zato so začeli ceste posipavati s soljo – natrijevim kloridom. Ta pa je povzročal rjavenje avtomobilov, ki so bili takrat še iz železa. Kmalu je avtomobilska industrija razvila nove materiale in premaze za proizvodnjo avtomobilov, s čimer so zmanjšali problem rjavenja.



Slika 1: Primer snežnega pluga na konjsko vprego iz leta 1879

Na spletnem viru (Wikipedija: Zimsko vzdrževanje cest) piše, da je napredovalo tudi »soljenje cest«, saj naj bi imeli modernejši plugi v sebi že tehnologijo, ki omogoča optimalno nastavitvev soljenja cest glede na temperaturo ceste. Vendar naju zanima, ali je temu res tako in kako se soljenje cest v današnjem času izvaja v Sloveniji; natančneje v Mariboru pri podjetju Nigrad.

2.1 Hipoteze

Najina raziskovalna naloga temelji na podatkih, ki jih bova pridobila s pomočjo intervjuja v podjetju Nigrad, ter iz dela na terenu, kjer bova merila dejansko temperaturo ceste in opazovala vpliv soli na topljenje leda. Za osnovo sva izbrala nekaj hipotez, ki jih bova nato z dokazi zavrgla, če bodo napačne, ali pa potrdila, če bodo pravilne.

Hipoteza 1: Cestarji ceste solijo z različnimi količinami glede na kategorije: avtoceste, hitre ceste, glavne ceste in stranske ceste.

Takšnega mnenja sva zato, ker avtoceste solijo tovornjaki, stranske ceste pa traktorji. S tem ni nič narobe, ampak zagotovo jih ne solijo z enako količino. Po drugi strani pa so ceste deljene na kategorije glede na to, kdaj morajo biti splužene, tako da je možno, da so deljene na kategorije tudi glede soljenja.

Hipoteza 2: Ceste imajo različno temperaturo, ta razlika je bolj opazna na sončen kot na meglen dan.

Takšnega mnenja sva zato, ker je razlika v temperaturi ceste večja, če podnevi sije sonce, in manjša, če je dan meglen oziroma je noč.

Hipoteza 3: Količina stopljenega leda pri soljenju je odvisna od količine soli, s katero ga posujemo.

Takšnega mnenja sva zato, ker je tališče vodne raztopine natrijevega klorida odvisno od masnega deleža natrijevega klorida v vodi. To hipotezo bova najprej poskušala dokazati v teoretičnem delu, nato pa še z eksperimentom.

Hipoteza 4: Ker je temperatura ceste na različnih odsekih različna, bi bilo mogoče cesto soliti z različno količino soli na različnih odsekih.

Takšnega mnenja sva zato, ker je tališče vodne raztopine natrijevega klorida odvisno od masnega deleža natrijevega klorida v raztopini. Če je temperatura nižja, bi moral biti delež natrijevega klorida v raztopini višji.

3. TEORETIČNI DEL NALOGE

3.1 Vrste posipnih materialov

Za preprečevanje poledice na cestah je primernih več vrst mokrih in suhih talil, vendar se je predvsem zaradi dostopnosti, cene in relativno zadovoljive učinkovitosti pri nas in v svetu najbolj uveljavil natrijev klorid (NaCl). Za posipanje cestišč se uporabljajo različne vrste NaCl, ki se med seboj razlikujejo glede na način pridobivanja. V manjši meri se predvsem pri nižjih temperaturah uporabljata tudi kalcijev klorid (CaCl_2) in magnezijev klorid (MgCl_2).

Za hitrost in učinkovitost procesa taljenja je pomembna velikost zrn soli. Fina zrna povzročijo hitro površinsko taljenje, groba zrna pa učinkujejo globinsko, prodrejo skozi trdo zgornjo plast snega ali ledu ter povzročijo njegovo mehčanje zaradi prometne obremenitve. Zrnavost natrijevega klorida torej ne sme biti pregroba, saj vpliva na kasnejši pričetek delovanja sredstva in počasnejši proces taljenja.

Prevelika zrnavost vpliva na težave pri posipanju in tudi na neizkoriščenost soli oz. majhen izkoristek soli zaradi raznašanja topilnega sredstva na robove vozišča ob učinkovanju prometa in vetra. Pri skladiščenju se sol rada strdi, zato ji moramo dodati sredstva proti strjevanju. Dodatek proti strjevanju je potreben, ker ohranja potrebno sipkost soli tudi pri daljšem skladiščenju. Zato je potrebna stalna kontrola za vse dobave soli za posipanje cest. Sol skladiščimo v stolpnih silosih in urejenih pokritih skladiščih v razsutem stanju ali v vrečah.



Slika 2: Skladiščenje natrijevega klorida

Suhi kalcijev klorid, ki je pakiran v vrečah, skladiščimo v suhih pokritih skladiščih. Ta sol zelo hitro privzema vodo in ima med vsemi solmi najnižjo temperaturo zmrzovanja.

Magnezijev klorid ($MgCl_2$) je raztopina z enakimi lastnostmi kot $CaCl_2$. Je prozorna sol, ki obstaja v obliki ionskih kristalov. Zaradi velike higroskopsnosti in precej višje cene od $NaCl$, se tudi $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ uporablja za posipanje le v zelo redkih primerih.



Slika 3: Magnezijev klorid

Zraven posipnih materialov, ki učinkujejo tako, da znižujejo temperaturo ledišča vode na vozišču, se uporabljajo tudi posipi za ublažitev drsnosti. Posip za ublažitev drsnosti je naravni pesek ali drobljenec, ki je suh in dovolj sipek. Med drobljencem oziroma peskom ter snegom ali ledom ne pride do nobene kemijske ali fizikalne reakcije. Zaradi peska na cestišču se namreč samo poveča trenje koles na cesto. Zato pesek velikokrat uporabljajo v kombinaciji s soljo (zmes: pesek in sol).

3.2 Natrijev klorid in sneg

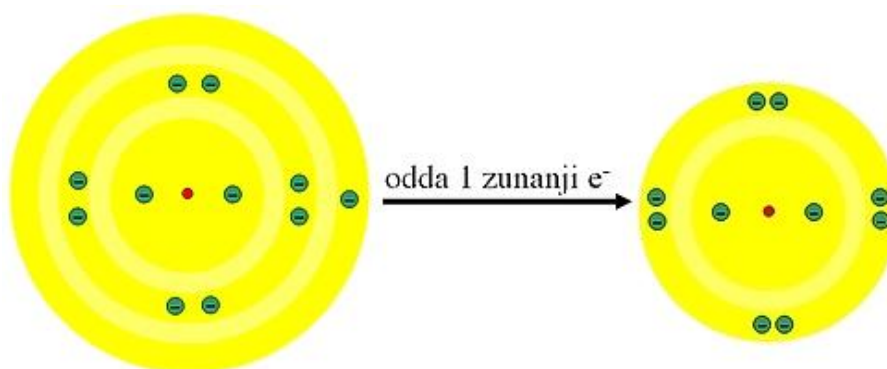
V najini raziskovalni nalogi se bova osredotočala na natrijev klorid, saj se le-ta največ uporablja. Razlogov za to je več, in sicer: ni tako drag kot magnezijev in kalcijev klorid, pesek se uporablja samo za zmanjšanje drsenja oziroma za boljši oprijem koles na cestišču – med peskom in snegom ne pride do nobene reakcije. Pesek namreč samo poveča trenje med kolesi ter cestiščem.

Natrijev klorid oziroma kuhinjska sol je ionska spojina s kemijsko formulo NaCl. Sestavljata jo dva elementa: natrij in klor.

3.2.1 Ionska vez med klorom in natrijem

Natrij je element v tretji periodi periodnega sistema in v prvi skupini tako imenovanih alkanov. Ima enajst elektronov razporejenih po treh lupinah. En elektron je zunanji ali valenčni. Natrijev ion je pozitivno nabit kation oziroma Na^+ ter ima samo deset elektronov (polni prvi dve lupini 2,8).

Na zunanji lupini odda 1 zunanji elektron (e^-) ter ima zato v jedru več protonov (p^+) in je zato pozitivno nabit. Postane Na^+ .

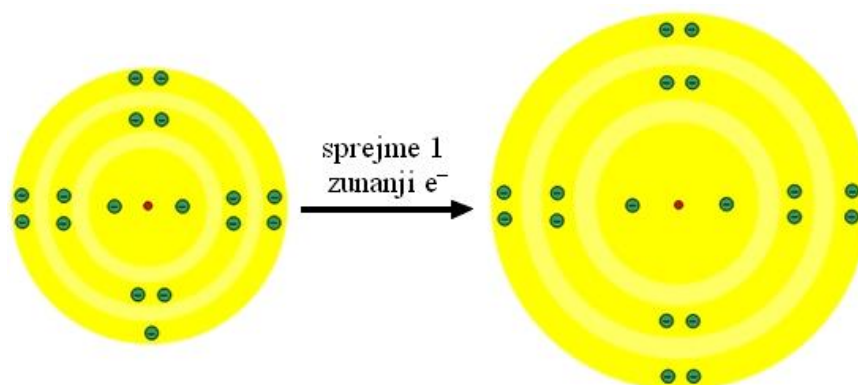


Slika 4: Prikaz nastanka natrijevih kationov

Klor je prav tako element v tretji periodi periodnega sistema in v sedmi skupini tako imenovanih halogenih elementov. Je zelo reaktiven. Ima sedemnajst elektronov razporejenih po treh lupinah. Ima sedem zunanjih ali valenčnih elektronov. Kloridni ion je negativno nabit anion

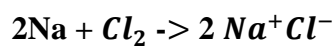
oziroma Cl^- . Ima pa osemnajst elektronov oziroma polne tri lupine (2, 8, 8 je potem njegova razporeditev elektronov po lupinah).

Cl sprejme en elektron (e^-) in ima zato več elektronov (e^-) kot protonov (p^-). Tako postane negativno nabit Cl^- .



Slika 5: Prikaz nastanka kloridnih anionov

Zaradi tega poteče reakcija med klorom in natrijem. Pride do ionske združitve ter nastanka NaCl – nevtralno nabite soli.



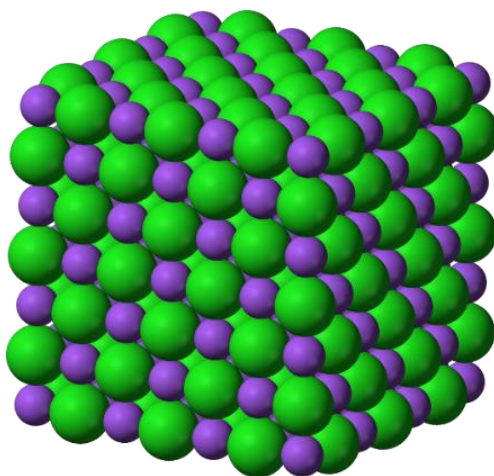
Slika 6: Prikaz ionske vezi med natrijem in klorom

3.2.2 Fizikalne lastnosti natrijevega klorida

Natrijev klorid je ionska snov. Zato so njegove fizikalne lastnosti enake fizikalnim lastnostim drugih ionskih kristalov. Natrijev klorid ima zelo visoko tališče (801 stopinj Celzija) in prav tako visoko vrelišče (1413 stopinj Celzija). Pri sobnih pogojih je v trdnem agregatnem stanju. Zelo dobro je topen v vodi (360 g/l pri sobnih temperaturah). Električni tok prevaja, ko je kapljevina ali pa raztopina v vodi (torej ne v trdnem agregatnem stanju). Je brez vonja. Je v obliki kristalov, ki so (če so čisti) prozorni, zaradi nečistosti pa so lahko rumeni, rjavi ali celo modri.

3.2.3 Kemijske lastnosti natrijevega klorida

Molekulo natrijevega klorida sestavljajo ioni natrija (pozitivni kationi) in klora (negativni anioni) povezani z močno ionsko vezjo. Ker sta si ion v molekuli tako zelo blizu drug drugega in ker imata nasproten naboj se med njima tvori tudi privlačna električna sila. V trdnem agregatnem stanju ionske spojine, kakršna je tudi natrijev klorid, tvorijo kristalno mrežo.



Slika 7: Kroglični model kristalne mreže v natrijevem kloridu

Ko pa takšno snov raztopimo v vodi, kristalna mreža oziroma kristalno rešeto razpade. Elektroliti se pomešajo z molekulami vode. Ioni, ki so raztopljeni v vodi, pa vplivajo tudi na določene lastnosti vode (tako fizikalne kot tudi kemijske). Za naju najpomembnejša med temi spremembami je znižanje tališča vode.

3.2.4 Pridobivanje natrijevega klorida

Natrijev klorid pridobivamo na tri različne načine. Prvi je pridobivanje soli v rudnikih, kjer sol izkopljejo v obliki suhe soli (kamena sol). V Sloveniji takega rudnika nimamo, jih je pa več v bližini Salzburga. Drugi način je prav tako pridobivanje soli v rudniku, vendar jo tokrat raztapljajo z vodo, nastalo slanico pa potem v izparjevalniku očistijo vode in tako dobijo zelo čist natrijev klorid (evaporirana sol). Sol pa lahko v naravi pridobimo tudi tako, da jo izsušimo iz morske vode. Pri tem postopku v velikih bazenih (plitvih, ampak zelo dolgih) voda izpari in dobimo NaCl (morska sol). Morsko sol pridobivamo tudi v Sloveniji, in sicer v Piranskih solinah, ki vključujejo Sečoveljske in Strunjanske soline.

Natrijevega klorida je v naravi zelo veliko, zato je njegova cena na tržišču relativno nizka. Pri soljenju cest se najpogosteje uporablja prav evaporirana sol ter kamena sol. Ti dve vrsti sta praviloma tudi najbolj čisti.



Slika 8: Kamena sol



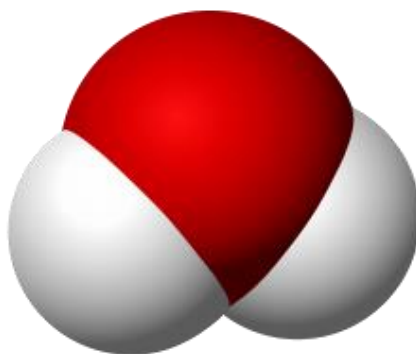
Slika 9: Evaporirana sol



Slika 10: Morska sol

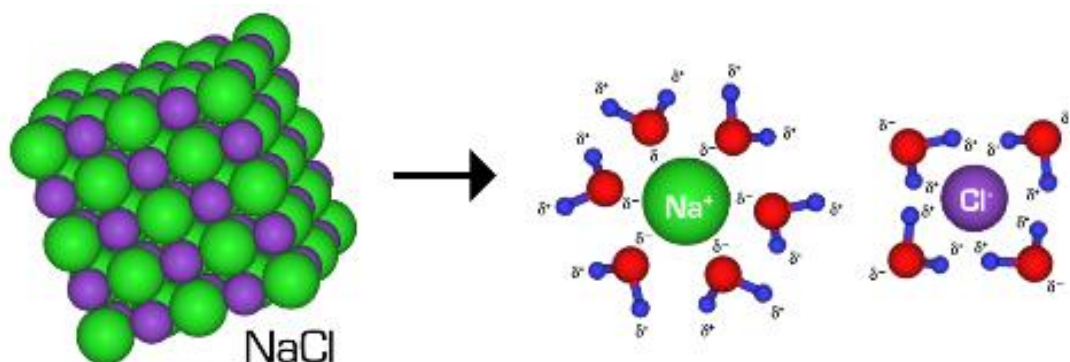
3.2.5 Reakcija natrijevega klorida z vodo

Molekula vode je polarna spojina. Na en atom kisika se vežeta dva atoma vodika (kovalentna vez). Kisik ima sedem zunanjih elektronov, vodik pa enega. Da bo lupina polna, mora biti v njej osem elektronov. Torej en atom kisika in dva atoma vodika (osem zunanjih elektronov, štirje pari). Ker sta tukaj dva nevezna elektronska para in dva vezna, polarnost molekule ni enakomerno porazdeljena. Na tisti strani, kjer ni vodikovih atomov, je molekula bolj negativna kot pa tam, kjer so vodikovi atomi in je molekula bolj pozitivna. Zato je tudi oblika kovalentne vezi pri vodi imenovana kotna (ni linearna). Saj kot med vodikom in kisikom ni enak 180 stopinjam. Kot je velik le 104,5 stopinj.



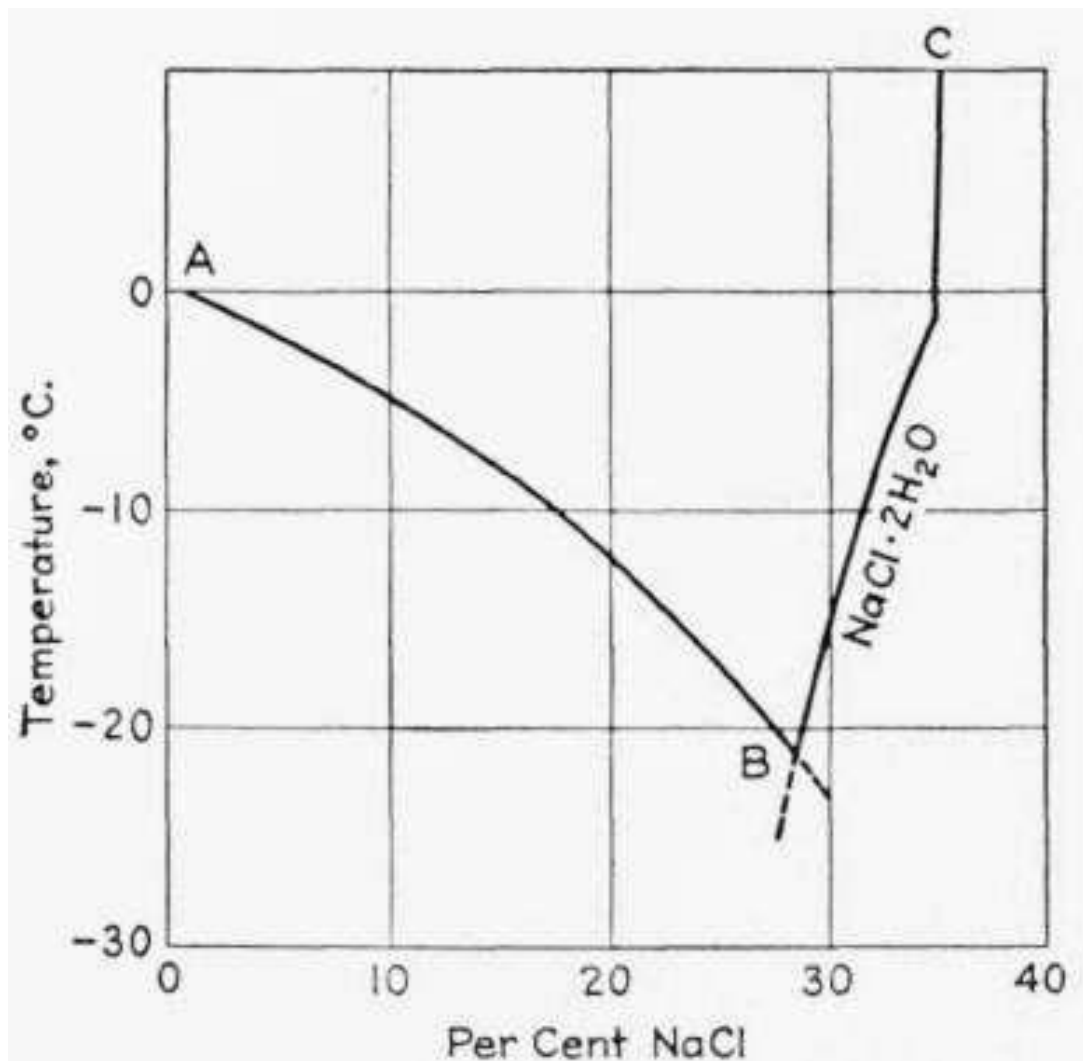
Slika 11: Kroglični model kotne molekule vode

Zaradi tega ob združitvi natrijevega klorida in vode natrijev klorid razpade. Pozitivno nabite ione natrija privlači negativna stran, negativno nabite ione klora pa privlači pozitivna stran.



Slika 12: Prikaz razpada natrijevega korida med raztapljanjem v vodi

Razpad ionske snovi pa lahko povzroči tudi fizikalne spremembe v raztopini. Elektroliti oziroma tako imenovane ionske snovi raztopljene v vodi lahko med drugim znižajo tališče take raztopine. Natrijev klorid bi naj v vodi (na cesti) deloval do temperature $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (če je delež NaCl v vodi 23 %) in v laboratoriju do $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Če je temperatura nižja od $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, nima natrijev klorid na vodo/led nobenega učinka, saj takrat raztopina že kristalizira. Sklepamo, da koncentracija raztopine ne more biti več kot 23 %, saj se več soli v vodi ne bi raztopilo. Topnost pri sobni temperaturi je namreč 360 gramov na liter, pri nižjih temperaturah pa je še manjša. Snov bi tako bila nasičena raztopina, kar pa ne bi omogočilo znižanja temperature ledišča.



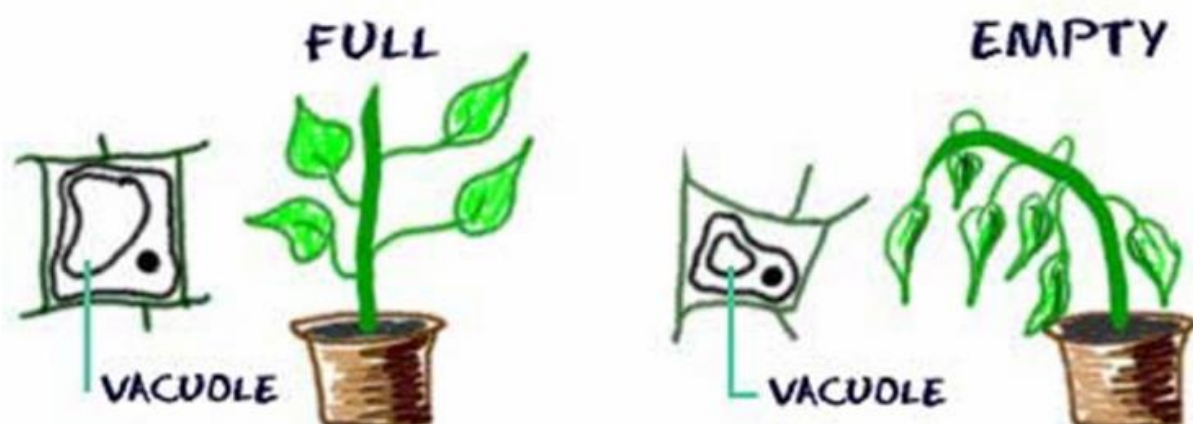
Slika 13: Graf ledišča raztopine natrijevega klorida v odvisnosti od masnega deleža natrijevega klorida v vodi

3.2.6 Vpliv natrijevega klorida na okolje

Natrijev klorid lahko v prevelikih količinah škoduje obcestnemu drevju in grmičevju. Rastline namreč poškodujeta slan vodni pršec ali pa vodna raztopina soli, največkrat pa kombinacija obojega. Ta vpliv je najbolj opazen na iglavcih, saj iglice obrnjene k cesti porjavijo že februarja. To se nadaljuje in poleti začnejo iglice odpadati. Veje se ognojijo in fotosinteza se zmanjša, zaradi tega ima drevo vse manj hrane in čez čas odmre.

Natrijev klorid pa lahko prizadene tudi listavce; najbolj sol prizadene cvetne popke. Sol lahko prizadene tudi drevesno lubje, sploh tistih vrst, ki imajo bolj tanko skorjo (na primer breze). Listi takih rastlin so po navadi manjši, bolj svetlo zeleni in imajo ožgane listne robove. Ker se veje in poganjki sušijo, imajo take rastline tudi manjši prirast novih poganjkov. Listje se jeseni obarva prezgodaj in zato zelo hitro odpade. Ker sol prizadene tiste dele rastlin, ki so bližje cestišču, so take krošnje po navadi nesimetrične in enostranske.

Sol vpliva tudi na rast rastlin. Natrij namreč ovira dostopnost kalija, kalcija in magnezija, ki tako postanejo nedostopni za rastline. Ko je natrija v tleh preveč, to povzroča razpad strukturnih delcev prsti in zaradi tega tla postanejo vse bolj trda, zabita. Zaradi tega se zmanjša zračnost in prepustnost prsti, iz takih tal pa korenine rastlin ne morejo črpati več vode. Tako nastane osmotski pritisk in voda je vse težje dostopna rastlinam. Zaradi tega se lahko zgodi, da se voda iz listov lahko spet začne vračati v zemljo. Sol tako dobesedno izsuši listne celice in to povzroči predčasno rjavenje in odpadanje listov.



Slika 14: Prikaz posledice osmotskega pritiska v celicah

4. METODE DE LA

4.1 Intervju v podjetju Nigrad

V sklopu raziskovalne naloge sva obiskala podjetje Nigrad, ki v mariborskem okolišu med drugim soli tudi ceste. Zanima naju namreč, kako soljenje cest poteka trenutno, če se pri tem zavedajo okoljskih težav in kako se odločijo, s kakšno količino bodo solili določene ceste. Intervju sva opravila v sredo, 22. 1. 2020, ob osmi uri zjutraj, in sicer z gospodom Branetom Novakom.

S katerimi snovmi poleg natrijevega klorida še posipavate ceste v zimskem času?

Uporabljamo tudi kalcijev klorid – tekočino, ki se uporablja v kombinaciji s soljo. Vendar je veliko dražji kot sol, zato se ga uporablja v manjših količinah. Ima pa prednost, saj deluje pri nižjih temperaturah kot natrijev klorid. Uporabljamo tudi mešanico soli in peska. To uporabljamo predvsem za višje ležeče predele. V njej je približno 4–8 mm peska ter natrijev klorid. Makadamske ceste posipavamo samo s peskom debeline 8–16 mm. Na zalogi imamo tudi pesek z debelino 2–4 mm; ta se uporablja v primeru žleda.

Tak odgovor sva tudi predvidela, saj sva vse te surovine navedla tudi v teoretičnem delu. Pričakovano se za soljenje cest največ uporabljata natrijev klorid in pesek. Malo sva začudena nad dejstvom, da je kalcijev klorid v tekočem stanju in ga nato vmešajo med natrijev klorid.

Kolikšno območje cest soli vaše podjetje?

Dolžina vzdrževanih cest v Mestni občini Maribor (MOM) znaša 750 km. Solimo tudi pločnike, in sicer v dolžini 464 km.

Ugotavljava, da izvajajo soljenje na dolžini pločnikov v velikosti dveh tretjin dolžine cest. Ta podatek naju čudi, saj nisva pričakovala, da se soli takšna dolžina pločnikov.

Kolikšno količino soli približno porabite letno za soljenje cest?

Poraba soli je odvisna predvsem od vremenskih razmer v zimski sezoni. Več kot je snežnih oziroma dežnih padavin več soli porabimo. Povprečna poraba soli v zadnjih dveh letih je približno 1500 ton na leto. Ker ceste solimo tudi s peskom, letno porabimo približno 2 200 m³ peska letno.

Ugotavljava, da se na letnem nivoju v MOM porabi res ogromno soli. Nisva namreč pričakovala tako velike številke.

Kako določite, kdaj boste solili ceste in s kakšno količino?

V zimskem času (od 15. novembra do 15. marca) posamezne ceste nadziramo 24 ur dnevno. Ko se pri pregledu cest ugotovi nevarnost nastajanja poledice, se sproži alarm za posip, kar pomeni, da se obvestijo vsi vozniki, ki so v zimski službi odrejeni za posip in pluženje. Količina posipa je odvisna od vremenskih razmer. Pri preventivnem posipu posipamo 10 g/m² na ravnini, če pa se sneg že oprijema podlage, potem pa 15 g/m². V hribih pa mešanico peska in soli 60–80 g/m².

Ali ceste in pločnike solite z enako količino na isti dan?

V hribih posipavamo drugačno vrsto materiala kot v nižjih predelih. Mešanica se posipava v hribih, in sicer z mešanico 1:3 (sol in pesek). Samo sol pa se posipava v nižinah, torej v centru mesta in bližnji okolici.

Tak odgovor sva pričakovala. Zdaj veva, da bi se lahko količina posipane soli še zmanjšala, če bi se solili samo določeni predeli z enako količino (glede na temperaturo ceste).

Ali ceste solite enako glede na vrsto ceste; torej ali so avtoceste, hitre ceste ali pa stranske ceste?

V MOM pri vzdrževanju cest praviloma ceste enako solimo. Razlike so samo te, da najprej posolimo ceste I. prioritete in II. prioritete – javni prevoz (avtobusne proge), nato pa stranske ceste (ceste III. prioritete).

Presenečena sva nad odgovorom, da se vse ceste v MOM solijo z enako količino (ne z enako zmesjo). Podatek, da najprej posolijo ceste I. prioritete in II. prioritete, šele nato ceste III. prioritete, je bil pričakovan.

Ali mislite, da ima sol škodljive vplive na okolje?

Da, na drevesih in grmovnicah lahko sol povzroča klorozo listov, njihovo sušenje in pa odmiranje poganjkov. Prav tako je škodljiva za živali zaradi poškodb blazinic na tačkah. Ker se približno 55 % soli izpere v podtalnico, je škodljiva tudi za pitno vodo. V državah, kot so skandinavske države, Švica, Nemčija in Avstrija, zaradi dolgoročnega škodljivega vpliva soli na okolje le-te več ne posipavajo s soljo, temveč samo s peskom.

Odgovor je bil pričakovan. Zanimivo je, da je gospod navedel tudi primer, da se soli da znebiti, če se le hoče (če se s tem strinjajo tako prebivalci kot ljudje, ki o tem odločajo).

4.2 Eksperimentalno delo

Ker letošnje zimo ni snega, sva se odločila, da bova najin poskus naredila na ledu. Tako led kot sneg sta sestavljena iz vode. Vendar so v ledu delci vode bolj na gosto razporejeni. Zaradi tega ima led večjo gostoto. Gostota leda je približno $917 \frac{kg}{m^3}$. Povprečna gostota snega pa je $160 \pm 40 \frac{kg}{m^3}$. Zato je potrebno veliko več soli, da stalimo 1 cm leda kot pa 1 cm snega. Sneg je približno 5.7-krat redkejši kot voda, zato sklepava, da je potrebno 5.7-krat manj soli, da stalimo enak volumen snega kot leda.

4.2.1. Priprava na eksperimentalno delo

Štiri enako velike in široke ledene plošče sva zvečer solila z različnimi količinami; ene plošče pa nisva solila. Zjutraj sva plošče spet stehala in nato analizirala najine rezultate. Ledene plošče sva dobila tako, da sva na zamrznjenem jezeru z lopato naredila vreznine. Nato sva iz jezera pobrala kose ledu, ki so nastali. Te sva nato odnesla domov in jih tam z žago razrezala na kvadrate s stranico 20 cm. Le-te sva nato shranila do večera, ko sva jih solila.



Slika 15: Jezero, iz katerega sva vzela led Slika 16: Lomljenje ledene ploskve Slika 17: Kosi ledu

Nato sva morala določiti, s kakšno količino bova solila posamezne kvadrate leda. Vremenska napoved za to noč (19. 1. 2020) je bila do okrog $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najin namen in cilj je bil, da prvega kosa ne soliva, za drugi kos želiva, da se stali toliko ledu, da bo kos zjutraj tanjši za 2 mm, za tretji kos ledu želiva, da bo zjutraj tanjši za 5 mm, za četrti kos želiva, da bo manjši za 10 mm, in za peti kos, da bo manjši za 20 mm. S pomočjo grafa ledišča vodne raztopine natrijevega klorida, ki sva ga navedla v teoretičnem delu, sva izračunala, koliko morava kateri kos soliti.

Ker je bila temperatura $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sva morala soliti s takšno količino, da je bila raztopina natrijevega klorida 10 % v tistem delu, za katerega sva želela, da se raztopi. Torej pri drugem kosu sva želela, da se raztopi toliko, da bo kos zjutraj 2 mm tanjši. To pomeni, da se mora raztopiti 20 cm krat 20 cm krat 0.2 cm vode oziroma 80 cm^3 vode. Da bi bila raztopina 10-odstotna, sva morala dodati 8 gramov soli. Zaradi večje preglednosti izračune navajava v tabeli (tabela 1).

Tabela 1: Izračun količine soli, ki jo bova posula

Kos št.	Za koliko naj bo kos zjutraj tanjši	Mere dela kosa, ki se mora čez noč staliti	Koliko cm^3 je to	Koliko soli morava posuti po kosu
1	0 cm	0 cm	0 cm^3	0 g
2	0.2 cm	$20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 0.2\text{ cm}$	80 cm^3	8 g
3	0.5 cm	$20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$	200 cm^3	20 g
4	1 cm	$20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 1\text{ cm}$	400 cm^3	40 g
5	2 cm	$20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 2\text{ cm}$	800 cm^3	80 g

4.2.2 Potek eksperimentalnega dela

Popoldne, ob 14.30, sva kose ledu zložila na stiropor za hišo. Oštevilčila sva jih in pokrila s stiroporom.



Slika 18: Kvadrati ledu



Slika 19: Toplotna izolacija kvadratov ledu čez dan

Nato sva kose ledu zvečer, ob 19.00, stehtala. Takrat je bila zunanja temperatura 0 °C. Takoj zatem sva jih posolila z določeno količino. Zjutraj, ob 6.30, sva kose še enkrat stehtala. Nato sva analizirala rezultate s pomočjo preglednice.

4.2.3 Rezultati eksperimentalnega dela

Rezultate navajava v preglednici.

Tabela 2

Kos št.	Cilj zmanjšanja debeline ledu	Koliko je bil kos težek zvečer	Koliko je bil kos težek zjutraj	Koliko gramov lažji je bil zjutraj	Koliko gramov lažji bi moral biti zjutraj
1	0 cm	1188 g	1192 g	4 g težji	0 g
2	0.2 cm	1028 g	910 g	118 g	80 g
3	0.5 cm	914 g	734 g	180 g	200 g
4	1 cm	1102 g	830 g	272 g	400 g
5	2 cm	1160 g	738 g	377 g	800 g

Temperatura zvečer je bila 0 °C, zjutraj pa -1 °C. Čez noč je bilo verjetno še hladneje. Ugotovila sva, da se je led zaradi soli čez noč res stalil. Preseneča naju, da se je prvi kos stalil za kar 28 g več, kot sva pričakovala. Več soli kot sva posula po kosu, več ledu se je čez noč stalilo. Tretji kos se je stalil 20 g manj, kot sva pričakovala – sklepava, da zato, ker je nastala voda pri taljenju s sabo odnesla tudi nekaj soli, ki je bila na površju. Na četrtem kosu se je stalilo 272 g ledu, moralo pa bi se staliti kar 128 g ledu več. Pri zadnjem kosu je ta razlika še večja, moralo bi se staliti 800 g vode, stalilo pa se je samo 377 g vode. Iz tega sva ugotovila, da ko se voda na površju stali, s sabo odplakne tudi nekaj soli, več ledu kot se stali, več soli bo s to vodo odteklo.

Z najinimi rezultati sva zadovoljna. Mogoče bi bilo bolje, če bi solila in nato na sol položila kose leda, ker tako sol ne bi odtekla z vodo iz leda. Prišlo je do manjših odstopanj, ampak potrdila se je najina hipoteza: več soli kot posujemo, večji delež ledu oziroma snega se bo stalil. Če želiva rezultate prenesti na cesto, morava upoštevati sledeče: led ima 5.7-krat večjo gostoto kot sneg, zato je za sneg potrebno 5.7-krat manj, da se raztopi. Torej, če se v teoriji pri -5 °C s 40 g soli na dm² stali en centimeter ledu, bi za en centimeter snega potrebovali 5.7-krat manj soli, torej približno nekaj več kot 7 g soli.

4.3 Delo na terenu

Odločila sva se, da se peljeva z avtomobilom in meriva temperaturo ceste. Tako bi najlažje dokazala razliko v temperaturi na cesti. Peljala sva se dvakrat. Prvič, ko je bil sončen dan januarja popoldne, in drugič zjutraj, ko so bili megleni dnevi že cel teden.

4.3.1 Priprave na izvedbo merjenja

Uporabila sva infrardeči termometer, ki sva ga priklopila na računalnik. Infrardeči termometri so termometri, ki merijo temperaturo telesa iz dela toplotnega sevanja, ki ga oddaja predmet. Sestavljeni so iz leče za usmerjanje infrardečega toplotnega sevanja, ki nato sevalno moč pretvori v električni signal. To nam omogoča merjenje z razdalje oziroma merjenje brez stikanja s predmetom, katerega temperaturo merimo. Zaradi zakona Stefana Boltzmann je sevanje, ki ga oddaja telo, odvisno od temperature na četrto in od emisijske konstante. Ta je za večino teles približno 0,9. Za sneg bi lahko bila ta konstanta manjša in bi zato termometer kazal nižjo temperaturo kot v resnici. Midva sva tak termometer uporabila, ker nisva imela boljše možnosti, da bi merila temperaturo ceste. Meritev sva opravila na cesti, na kateri ni snega, zavedava pa se, da v primeru snega na cesti meritve morda ne bi bile točne. Vso elektroniko (digitalni števec, ki kaže temperaturo; USB povezavo in infrardeč termometer) sva vstavila v ohišje. Tako sva lahko najin IR termometer priklopila na računalnik, kar nama je pomagalo pri izdelavi grafa.



Slika 20: Najin termometer od spredaj

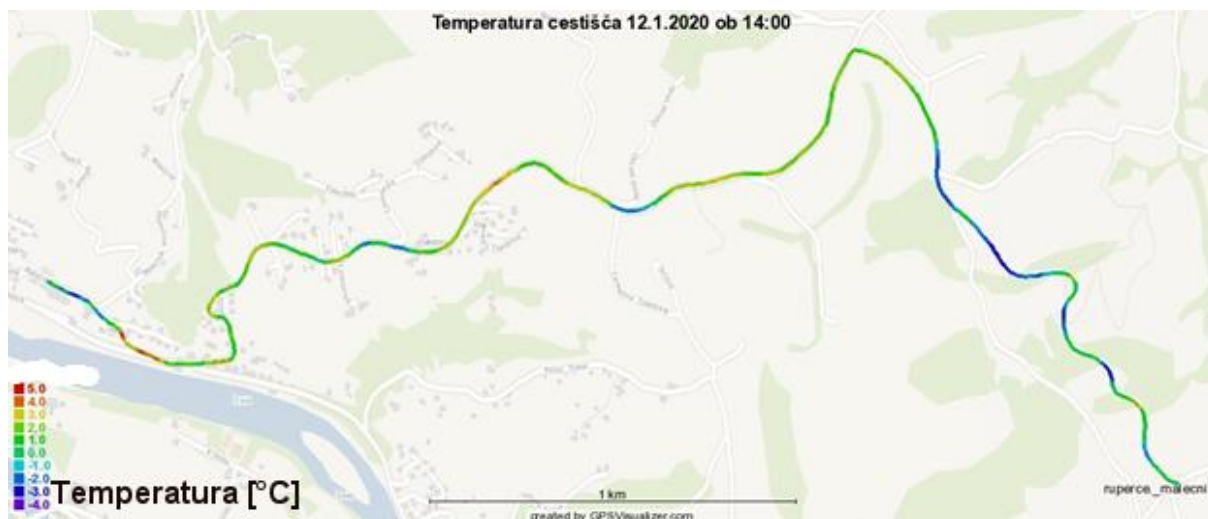


Slika 21: Najin termometer od zadaj

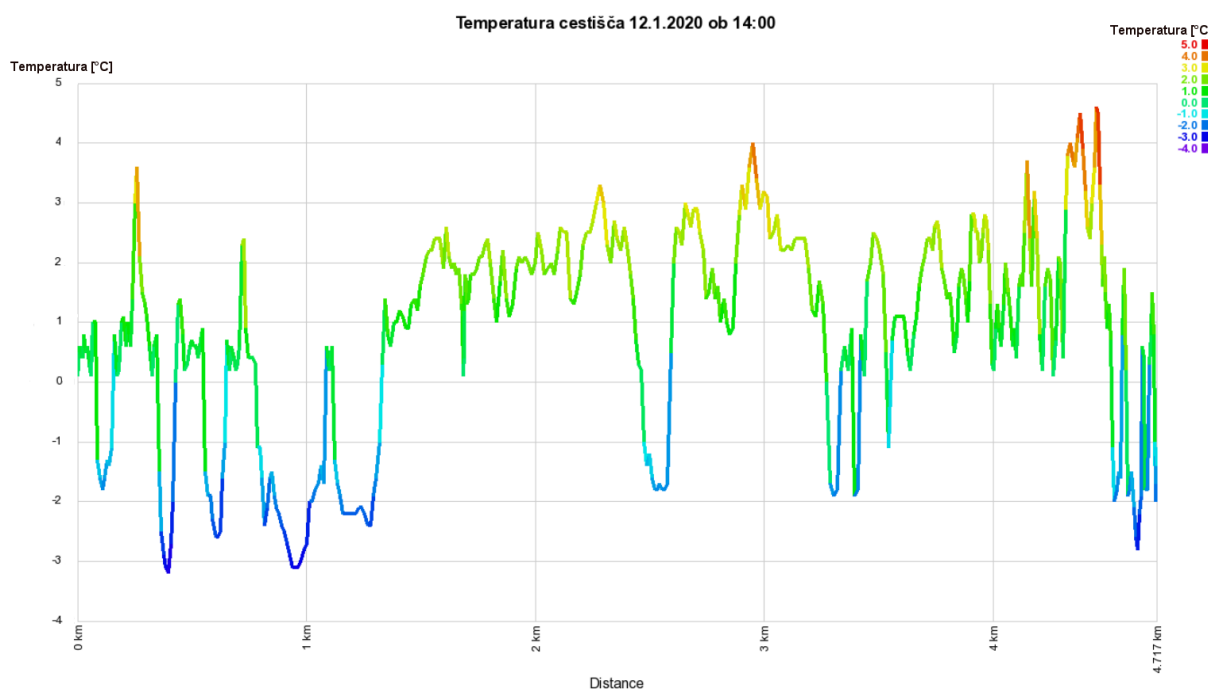
Poleg infrardečega termometra sva na računalnik priklopila še GPS anteno. Nato sva dobljene podatke združila v graf s pomočjo spletne strani GPS Visualizer.

4.3.2 Rezultati

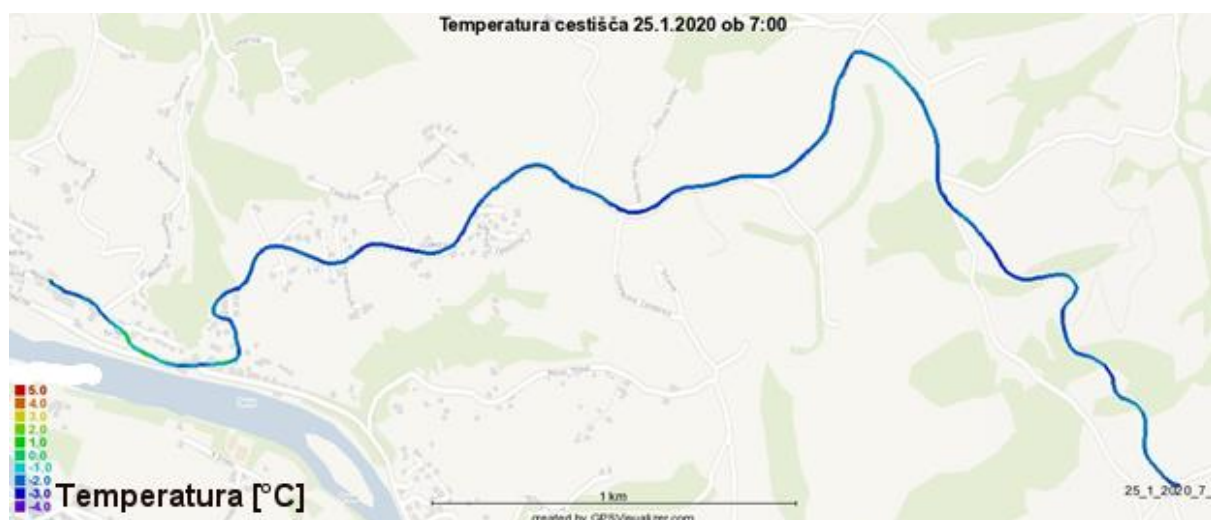
Prikazujeva dva grafa in dva zemljevida, na katerih je temperatura ceste različno obarvana.



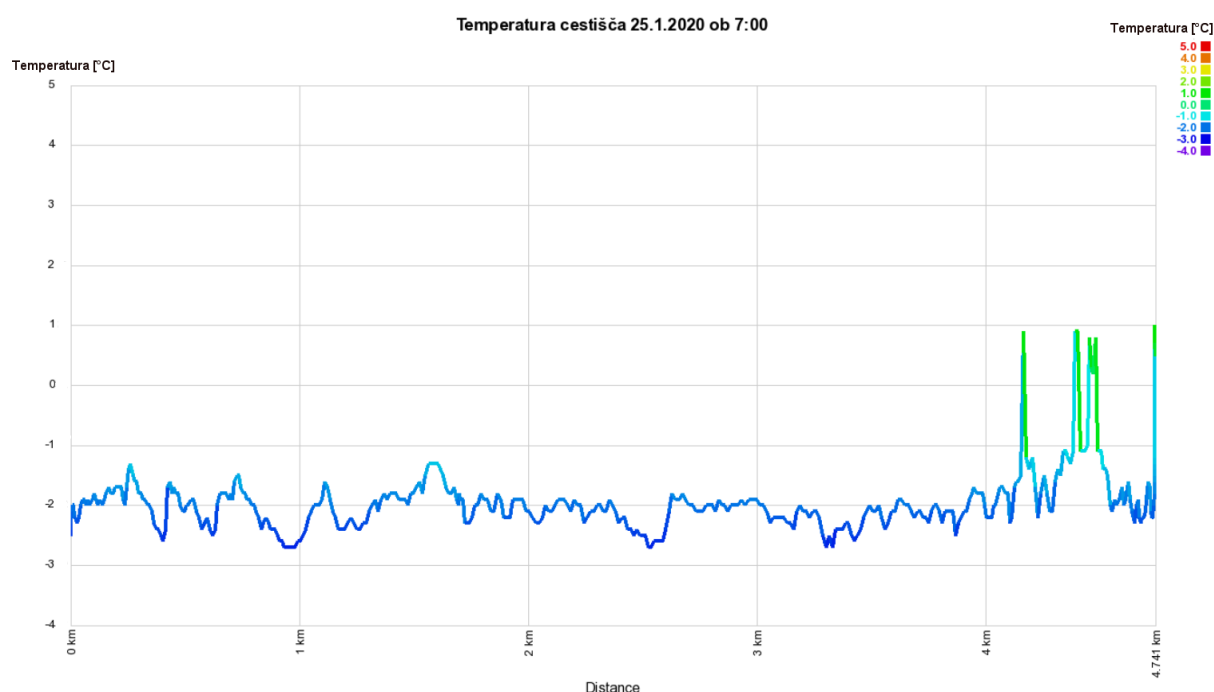
Graf 1: Temperatura ceste označena na zemljevidu dne 12. 1. 2020 (sončen dan)



Graf 2: Temperatura ceste dne 12. 1. 2020 (sončen dan)



Graf 3: Temperatura ceste označena na zemljevidu dne 25. 1. 2020 (meglen dan)



Graf 4: Temperatura ceste dne 25. 1. 2020 (meglen dan)

Iz grafov se jasno vidi, da je bila temperatura cest 12. 1. 2020 zelo raznolika v primerjavi s 25. 1. 2020, ko je bilo megleno. Najnižja temperatura 25. 1. 2020 (meglen dan) je bila $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, najvišja pa $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (razlika je $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ta dan je do razlike prišlo samo ob stavbah. Drugje je bila temperatura praktično vedno okoli $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. 12. 1. 2020 (sončen dan) pa je bila najnižja temperatura nekaj več kot $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, najvišja pa $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (razlika je $7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tako velika razlika v temperaturi je bila zato, ker je na nekatere dele ceste sijalo sonce, na druge pa ne. V senčnih

delih ceste je zato temperatura bistveno manjša kot pa na tistih, ki so bili cel dan obsijani s soncem.

V programu Excel sva podatke preračunala in izračunala, da če bi ceste solili z enakomerno količino, ki bi bila pogojena z najnižjo temperaturo cestišča, bi porabili skoraj 7-krat več soli, kot če bi jih solili optimalno – vsak del cestišča glede na temperaturo cestišča.

Zavedava se, da je bil najin primer ekstremen, saj je bila razlika v temperaturi zelo velika in da se v praksi v celem letu ne bi porabilo 7-krat manj soli. V primeru, da bilo vreme oblačno ali pa celo megleno, kot je bilo 25. 1. 2020, bi se privarčevalo bistveno manj. Vendar pa bi se z optimalnim soljenjem glede na temperaturo cestišča zagotovo dalo nekaj privarčevati.

5. POTRDITEV ALI ZAVRNITEV HIPOTEZ

Hipoteza 1: Cestarji ceste solijo z različnimi količinami glede na kategorije: avtoceste, hitre ceste, glavne ceste in stranske ceste.

Takšnega mnenja sva zato, ker avtoceste solijo tovornjaki, stranske ceste pa traktorji. S tem ni nič narobe, ampak zagotovo jih ne solijo z isto količino. Po drugi strani pa so ceste deljene na kategorije glede na to, kdaj morajo biti splužene, torej je možno, da so deljene na kategorije tudi glede soljenja.

Te hipoteze ne moreva potrditi, saj sva v intervjuju na podjetju Nigrad izvedela, da ceste v Mestni občini Maribor načeloma solijo z enako količino. Razlika je namreč samo v tem, da najprej posolijo ceste prve in druge prioritete, nato pa ceste tretje prioritete.

Hipoteza 2: Ceste imajo različno temperaturo, ta razlika je bolj opazna na sončen kot na meglan dan.

Takšnega mnenja sva zato, ker je razlika v temperaturi ceste večja, če podnevi sije sonce, in manjša, če je dan meglan oziroma je noč.

To hipotezo lahko potrdiva, saj sva z delom na terenu dokazala, da je na meglan dan razlika v temperaturi določenih odsekov pod 1 °C, na sončen dan pa kar 7 °C.

Hipoteza 3: Količina stopljenega ledu pri soljenju je odvisna od količine soli, s katero ga posujemo.

Takšnega mnenja sva zato, ker je tališče vodne raztopine natrijevega klorida odvisno od masnega deleža natrijevega klorida v vodi. To hipotezo bova najprej poskušala dokazati v teoretičnem delu, nato pa še s eksperimentom.

Tudi to hipotezo lahko potrdiva. Z najinim eksperimentom sva to dokazala. Ugotovila sva tudi, da je nastala voda pri taljenju s sabo odnesla tudi nekaj soli in se zato ni stalilo toliko ledu, kot sva pričakovala.

Hipoteza 4: Ker je temperatura ceste na različnih odsekih različna, bi bilo mogoče ceste soliti z različno količino soli na različnih odsekih.

Takšnega mnenja sva zato, ker je tališče vodne raztopine natrijevega klorida odvisno od masnega deleža natrijevega klorida v raztopini. Če je temperatura nižja, bi potem moral biti delež natrijevega klorida v raztopini višji.

To hipotezo lahko potrdiva, saj se temperature cestnih odsekov med seboj res zelo razlikujejo (sploh v primeru, da je sončen dan). Ceste bi zato lahko različno solili, saj je temperatura različna in je zato potreben različni masni delež soli v raztopini na različnih odsekih.

6. INOVACIJSKA REŠITEV

Najin predlog je, da bi ceste komunalni delavci solili različno glede na njihovo temperaturo. To bi lahko dosegli tako, da bi bila na vozila pritrjena naprava, ki bi merila temperaturo ceste. Nato bi optimalno nastavila količino soli, ki jo naj vozilo posuje po cesti. Tako bi ceste solili kar se da ekološko in kar se da varčno. Saj sva že pri delu na terenu dokazala, da se temperatura ceste glede na lego na soncu ali v senci v idealnem primeru lahko razlikuje tudi za 7 °C.

7. ZAKLJUČEK

Za soljenje cest se največkrat uporablja natrijev klorid ter pesek. Najina raziskovalna naloga temelji predvsem na natrijevem kloridu. Uporabljata se tudi kalcijev in magnezijev klorid. Ti dve snovi delujeta tudi pri nižjih temperaturah, vendar sta dražji in zato cenovno težje dostopni.

Natrijev klorid ob združitvi z vodo razpade na natrijeve in kloridne ione. To povzroči številne spremembe v vodi. Med drugim tudi znižanje vrelišča in tališča vode. Kako nizko je vrelišče take vode, je odvisno od koncentracije natrijevega klorida v vodi. Torej več kot je soli, nižje je ledišče take raztopine.

Sol ima številne vplive na okolje. Najbolj obremenjuje obcestno drevje. Pojavi se lahko tudi osmotski pritisk, zaradi katerega se lahko drevesa izsušijo. Ko slana voda prodira v podtalnico, tudi ta postane onesnažena. Zato se okoljevarstveniki trudijo, da bi se količina soli čim bolj zmanjšala.

Pri podjetju Nigrad sva ugotovila, da se ceste solijo načeloma z enakimi količinami, vendar obstajajo različne zmesi za določeni ceste. Ceste v nižini se posipavajo samo s soljo, višje ležeče ceste se posipavajo s soljo in peskom, makadamske ceste pa se posipavajo samo s peskom.

Z delom na terenu sva dokazala, da se temperatura cestnih odsekov zelo razlikuje (še posebej, če je sončen dan). Zato se nama zdi smiselno, da bi ceste solili z različnimi količinam. Z eksperimentom sva dokazala, da je res pomembno, koliko soli posolimo na ceste, saj je pri najinem eksperimentu samo 8 g soli povzročilo, da se je raztopilo 118 g ledu. Z večjo količino soli se je učinkovitost soljenja zmanjševala, saj je voda pri taljenju odplavila del soli. Rada bi poudarila, da se temperatura ceste res razlikuje po odsekih (ne samo za kakšno stopinjo, v sončnem dnevu kar za sedem stopinj). V idealnem primeru bi tako lahko porabili tudi 7-krat manj soli.

Najina inovacijska rešitev je, da bi imela vozila za soljenje pritrjeno napravo, ki bi imela termometer. Ta bi meril temperaturo ceste in nato optimalno nastavljal količino soli, ki jo naj vozilo posipa po cesti.

8. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Z najino raziskovalno nalogo želiva spremeniti mišljenje glede soljenja cest. Ne mišljenje posameznikov, ampak bolj obrtnikov, podjetij itd, ki se ukvarjajo s soljenjem cest v zimskem času. Cilj najine raziskovalne naloge je namreč prav ta, da bi se ceste začele soliti z različnimi količinami. V najini raziskovalni nalogi sva kar nekajkrat dokazala, zakaj bi bilo to koristno. Že v teoretičnem delu sva napisala, da prekomerno soljenje cest onesnažuje okolje. Najbolj pa prizadene obcestne rastline. Če bi ceste ponekod solili z manjšo količino, drugod pa z večjo, na cesti ne bi bilo odvečne soli in zato bi se je manj nabralo v zemlji. Z delom na terenu sva dokazala tudi, da imajo ceste res različno temperaturo ter da je ta razlika v temperaturi zelo velika. Na koncu sva z eksperimentom dokazala, da je ob večji količini soli večja verjetnost, da jo bo voda odplaknila na rob cestišča. Zavedava se, da je skoraj nemogoče, da bi se soli kar čez noč znebili, saj je cenovno dostopna, zelo dobro se obnese v praksi in ni je težko shranjevati. Vendar pa bi lahko z optimiziranim soljenjem občutno zmanjšali vpliv na okolje in dosegli ekonomske prihranke.

9. VIRI

9.1 Viri besedila

https://sl.wikipedia.org/wiki/Natrijev_klorid (16. 11. 2019)

https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_chloride (16. 11. 2019)

<https://www.rtv slo.si/zivljenjski-slog/avtomobilnost/koliksno-skodo-v-resnici-povzroci-soljenje-cest/442610> (16. 11. 2019)

https://sl.wikipedia.org/wiki/Zimsko_vzdr%C5%BEevanje_cest (16. 11. 2019)

<https://chestofbooks.com/food/science/Experimental-Cookery/Freezing-Mixtures.html> (22. 11. 2019)

<https://www.thoughtco.com/chemical-composition-of-road-salt-609168> (22. 11. 2019)

http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Zimska_sluzba-Zore.pdf (13. 12. 2020)

https://www.bb.si/doc/diplome/Urankar_Bostjan_Zimsko_vzdrzevanje_cest.pdf (13. 12. 2020)

https://www.bb.si/doc/diplome/Seme_Lesjak_Spela.pdf (13. 12. 2020)

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Osmoza> (12. 1. 2020)

<http://botanystudies.com/chemical-nature-of-plasma-membrane/osmosis-in-plant-cell/> (12. 1. 2020)

https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_thermometer (12. 1. 2020)

https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann_law (12. 1. 2020)

<https://sl.dreamstructuredesignbuild.com/udelnj-ves-snega.html> (20. 1. 2020)

<https://eucbeniki.sio.si/fizika8/161/index2.html> (20. 1. 2020)

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Soline> (1. 2. 2020)

9.2 Viri slik

Slika 1: <https://www.ebay.com/itm/GERMAN-SNOW-PLOUGH-PULLD-BY-HORSE-1879-GERMANY-HISTORY-SLEIGH-HORSES-SNOW-PLOW-/400182736163> (11. 1. 2020)

Slika 2: <https://gradbenistvo.finance.si/8347276/Proti-zmrzali-najbolje-ucinkuje-sol?cctest&> (13. 12. 2020)

Slika 3: <http://hr.chemyuze.com/de-icing-and-snow-melting-salt/magneisum-chloride-used-for-snow-melting-and-r.html> (13. 12. 2020)

Slika 4: http://ekemija.osbos.si/e-gradivo/3-sklop/nastanek_kationov.html (16. 11. 2019)

Slika 5: http://ekemija.osbos.si/e-gradivo/3-sklop/nastanek_anionov.html (16. 11. 2019)

Slika 6: https://hr.wikipedia.org/wiki/Kristalna_re%C5%A1etka#/media/Datoteka:NaCl_ionic.png (16. 11. 2019)

Slika 7: https://hr.wikipedia.org/wiki/Kristalna_re%C5%A1etka (16. 11. 2019)

Slika 8: <http://www.scheda.hr/proizvodi/oprema-za-cestare/sol-za-ceste/scheda/kamena-sol-protiv-poledice-rasuta/> (16. 11. 2019)

Slika 9: <http://www.kpss.si/o-parku/soline-in-solinarstvo/sol/vrste-soli-glede-na-nacin-proizvodnje> (16. 11. 2019)

Slika 10: https://yemekresimli.com/indx.html?utm_content=tuz+nas%C4%B1+elde+edilir (16. 11. 2019)

Slika 11: https://www.wikiwand.com/en/History_of_molecular_theory (21. 11. 2019)

Slika 12: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NaCl_dissolving.png (21. 11. 2019)

Slika 13: <https://chestofbooks.com/food/science/Experimental-Cookery/Freezing-Mixtures.html> (22. 11. 2019)

Slika 14: <http://arnwine.weebly.com/turgor-pressure.html> (30. 1. 2020)

Slika 15: osebni arhiv

Slika 16: osebni arhiv

Slika 17: osebni arhiv

Slika 18: osebni arhiv

Slika 19: osebni arhiv

Slika 20: osebni arhiv

Slika 21: osebni arhiv

9.3 Viri grafov

Za izdelavo grafov sva uporabila spletno stran: <https://www.gpsvisualizer.com/> (25. 1. 2020)