

Dr. BORIS KANCIR

Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Zagreb, Đ. Salaja 5

Sigurnost prometa

Izvorni znanstveni rad

UDK: 625.768.5 : 54-38.001.4

Primljeno: 01.06.1993.

Prihvaćeno: 05.07.1993.

## TERMODINAMIČKA ANALIZA POSTUPKA ZAŠTITE PROMETNICA SOLJENJEM

### SAŽETAK

U radu je, na definiranome modelu, izvedena termodinamička analiza funkcioniranja modela tvorbe zaštitne smjese tipa  $H_2O$ -NaCl te utjecaja promjene stanja nastale smjese na pouzdanost uspostavljanja tangencijalne sile trenja i čimbenika vođenja pneumatika određenog vozila na voznom traku kolnika.

Analizom je predloženo definiranje kvalitativnog i kvantitativnog određivanja uvjetne pouzdanosti kolnika pri otežanim uvjetima te uvjeta za razumno gospodarenje solju pri zaštiti prometnica od poledice.

### UVOD

Zaštita kolnika od poledice posipavanjem solima s fizikalnog je gledišta tvorba smjese tehnički, gospodarski i ekološki prihvatljivih svojstava; općenito, svojstva takvih smjesa poznata su od najdavnijih vremena. To su tipične binarne smjese leda/vode  $H_2O$  te prihvatljive soli kao što su primjerice klorid natrija ili kalcija. Smjese tog tipa nastaju miješanjem jednostavnih tvari koje su materijalni sudionici tvorbe miješanja.

Kada je i u najsitnijim dijelovima nastale smjese isti sastav smjese te kada su svi dijelovi smjese istih stanja tlaka, temperature i gustoće, smjesa se svrstava u tip homogenih smjesa. Zahtjev za postojanje posvuda istih veličina stanja, tj. sastava, temperature, tlaka i gustoće naziva se uvjetom jednoličnosti. Kada taj zahtjev nije zadovoljen, smjesa nije homogena; ako se u smjesi tvore područja između kojih se neki od uvjeta jednoličnosti mijenjaju skokovito, takva se smjesa svrstava u heterogene [1].

Promatrana je smjesa kuhinjske soli NaCl i leda  $H_2O$  po svim svojstvima tipična heterogena binarna tvorba u kojoj se oba sudionika uzajamno praktički ne otapaju u krutom stanju; znači, u kristalnoj se rešetki bilo kojeg sudionika miješanja ne nalaze molekule drugog, te se nastala smjesa svrstava u red heterogenih smjesa s pojavom netopivosti sudionika u krutoj fazi [1], [2].

### 1. POVIJEST I OPIS MODELA

Sudionici nastajanja promatrane binarne smjese su jednostavne tvari: klorid natrija NaCl i led/voda  $H_2O$  svrstava se [2] u jednostavne sustave otopina. Njegova fizikalna

svojstva sustavno je istraživao već Guy Lussac (1819. godine). Neke od nastalih pogrešaka mjerenja ispravlja Kopp već 1848. godine, a, neovisno o njemu, Mendeljejev i Guyrie (1875. godine) otkrivaju postojanje eutektikuma, ali ga ne prepoznaju pretpostavljajući da je to nepoznati hidrat kuhinjske soli. Tek 1903. godine Meyerhoffer precizno locira eutektičku točku ( $-21,2^{\circ}C$ ) što potvrđuju i nalazi Berkeleya (1904. godine) [2], [3], [4].

Binarni sustav NaCl- $H_2O$  tipiziran je prema [3] i svrstan u red tipa 1, tj. u red onih binarnih tvorbi jednostavnih čistih tvari u kojih se sudionici miješaju u tekućem stanju smjese u svim odnosima, dok su u krutom kristalnom stanju sudionici miješanja praktički uzajamno neotopivi. U krutom stanju je stoga nastala kristalična smjesa, u svim odnosima miješanja sudionika, u smislu pravila faza, mehanička mješavina kristala čistih sudionika kristalične soli NaCl i leda  $H_2O$  (eutektikum).

U sljedećem pregledu navedena su relevantna svojstva čistih sudionika pri tlaku 1 bar:

	Natrijev klorid NaCl	Voda/led $H_2O$
molarna masa	58,4	18,01
gustoća, $kg/m^3$	2163,0 (pri $20^{\circ}C$ )	999,9/900,0 (pri $0^{\circ}C$ )
talište, $^{\circ}C$	800,0	0
kristalizira	kubički	heksagonalno

Sudionik NaCl, pod nazivom se sirove kamene soli, iskapa u rudnicima, crpi u nalazištima vodne otopine (slanice) ili se pod nazivom morske soli dobiva klasičnim postupkom ishlapljivanja otapala - vode  $H_2O$  - u obalnim solanama. Natrijev klorid NaCl u čistom stanju nije higroskopan; redoviti su mu pratitelji, u svim nalazištima, soli magnezija uslijed čega je sirova sol higroskopna.

Biološki i gospodarsko-strateški, na temelju činjenice da je molekula soli NaCl građena od dvaju bazičnih iona,  $Na^+$  i  $Cl^-$ , kuhinjska je sol nezamjenljiva bazična sirovina zacijelo nacionalnog značenja.

### 2. TVORBA SMJESE $H_2O$ -NaCl

Binarna smjesa, koja će, već prema danim uvjetima, nastati soljenjem kolnika, smjesa je tipičnih reprezentanata skupine jednostavnih tvari: kapljevine/leda  $H_2O$  i kuhinjske soli NaCl. Miješanjem tih sudionika nastaje smjesa čije je trenutačno termodinamičko stanje jednoznačno određeno početnim uvjetima, tj. termodinamičkim stanjem svakog od sudionika prije miješanja i masenim udjelima sudionika u tvorbi smjese. Imajući na umu da će se proces



nastajanja smjese odvijati praktički pri nepromjenljivoj tlaku okoliša, stanja/agregatna stanja pojedinih sudionika prije miješanja potpuno su određena temperaturom  $\vartheta$  uz pretpostavku da su partneri čisti  $H_2O$  odnosno čisti  $NaCl$ .

Rezultirajuću koncentraciju nastale smjese određuje omjer miješanja sudionika; kada u tvorbi binarne smjese  $H_2O-NaCl$  sudjeluje  $L$  kg vode/leda  $H_2O$  i  $S$  kg soli  $NaCl$  omjer će miješanja iznositi  $L/S$  kg/kg. Nastala smjesa mase je  $M$  kg; prema pravilu održanja mase mora vrijediti:

$$L + S = m \quad (2.01)$$

$S$  pomoću (2.01) slijede uvjeti nastajanja smjese mase 1 kg:

$$\frac{L}{L+S} + \frac{S}{L+S} = 1 \quad (2.02)$$

Analogno pravilu održanja masa (2.01)/(2.02) bilanca soli  $NaCl$  glasi:

$$\frac{L}{L+S} \zeta_L + \frac{S}{L+S} \zeta_S = 1 \cdot \zeta \quad (2.03)$$

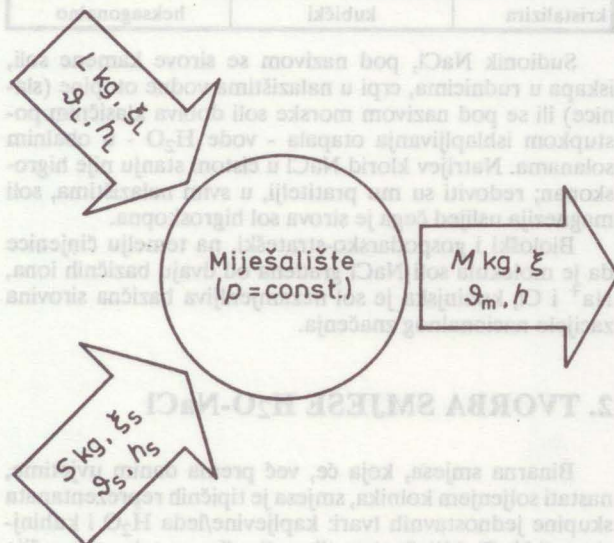
Budući da se tu radi o miješanju čistih, jednostavnih tvari te, uzimajući u obzir da se sudionici praktički ne otapaju u krutoj fazi, tj. da je stoga koncentracija kristala soli  $NaCl$  u kristalima leda  $\zeta_L = 0$  i analogno  $\zeta_S = 1$ , izraz (2.03) poprima oblik:

$$\zeta = \frac{1}{L/S + 1} \quad (2.04)$$

i označuje iznos koncentracije soli  $NaCl$  u 1 kg nastale smjese; područje definicije funkcije  $\zeta$  očigledno je  $0 \leq \zeta \leq 1$ .

Izrazi (2.01) i (2.02) podržavaju pravilo održanja mase pri tvorbi smjese; za određivanje termodinamičkog stanja nastale smjese nužno je, međutim, temeljem pravila održanja energije, uspostaviti bilancu topline.

Vodena H <sub>2</sub> O	Natrijev klorid NaCl	
18,01	58,4	molekulska masa
999,92000 (pri 0°C)	2169,0 (pri 200°C)	gustoća, kg/m <sup>3</sup>
0	800,0	taljenje, °C
	lupčiki	kristalini



Slika 1. Shematski prikaz tvorbe binarne smjese

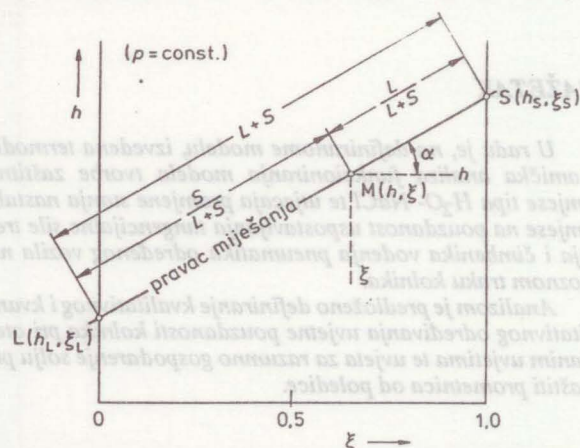
U toplinski nepropusnom miješalištu (sl. 1) miješaju se sudionici mase  $L$  odnosno  $S$  kg i nositelji su entalpije  $h_L$  odnosno  $h_S$  kJ/kg; onda kada tvore smjesu mase 1 kg, bilanca topline glasi:

$$1 \cdot h = (1 - \zeta) h_L + \zeta h_S \quad (2.05)$$

Relacija (2.05), nakon uređenja, iskazuje veličinu iznosa rezultirajuće entalpije  $h$  nastale smjese mase 1 kg onda kada je rezultirajuća koncentracija soli u smjesi upravo veličine  $\zeta$ ; entalpija smjese iznosi:

$$h = h_L + (h_S - h_L) \zeta \quad (2.06)$$

Budući da su entalpije  $h_S$  i  $h_L$  početna fiksirana stanja sudionika, prema (2.06), rezultirajući iznos entalpije  $h$  nastale smjese u linearnoj je ovisnosti o koncentraciji  $\zeta$ . U koordinatnom sustavu  $h-\zeta$  (sl. 2), izraz (2.06) interpretira pravac miješanja s koeficijentom nagiba  $\tan \alpha = h_S - h_L$  i



Slika 2. Prikaz zakonitosti tvorbe binarne smjese

odreskom na osi  $h$  u iznosu  $h_L$ . Točka miješanja  $M(h, \zeta)$  leži, prirodno, između početnih stanja jednog odnosno drugog sudionika  $S(h_S, \zeta=1)$  i  $L(h_L, \zeta=0)$ , na ucrtanom pravcu miješanja; položaj točke  $M(h, \zeta)$  određen je, za masu 1 kg nastale smjese, pravilom sličnosti trokuta budući da prema slici 2. mora biti

$$\zeta = \frac{S}{L+S} = (1 - \zeta) \cdot \frac{L}{L+S} \quad (2.07)$$

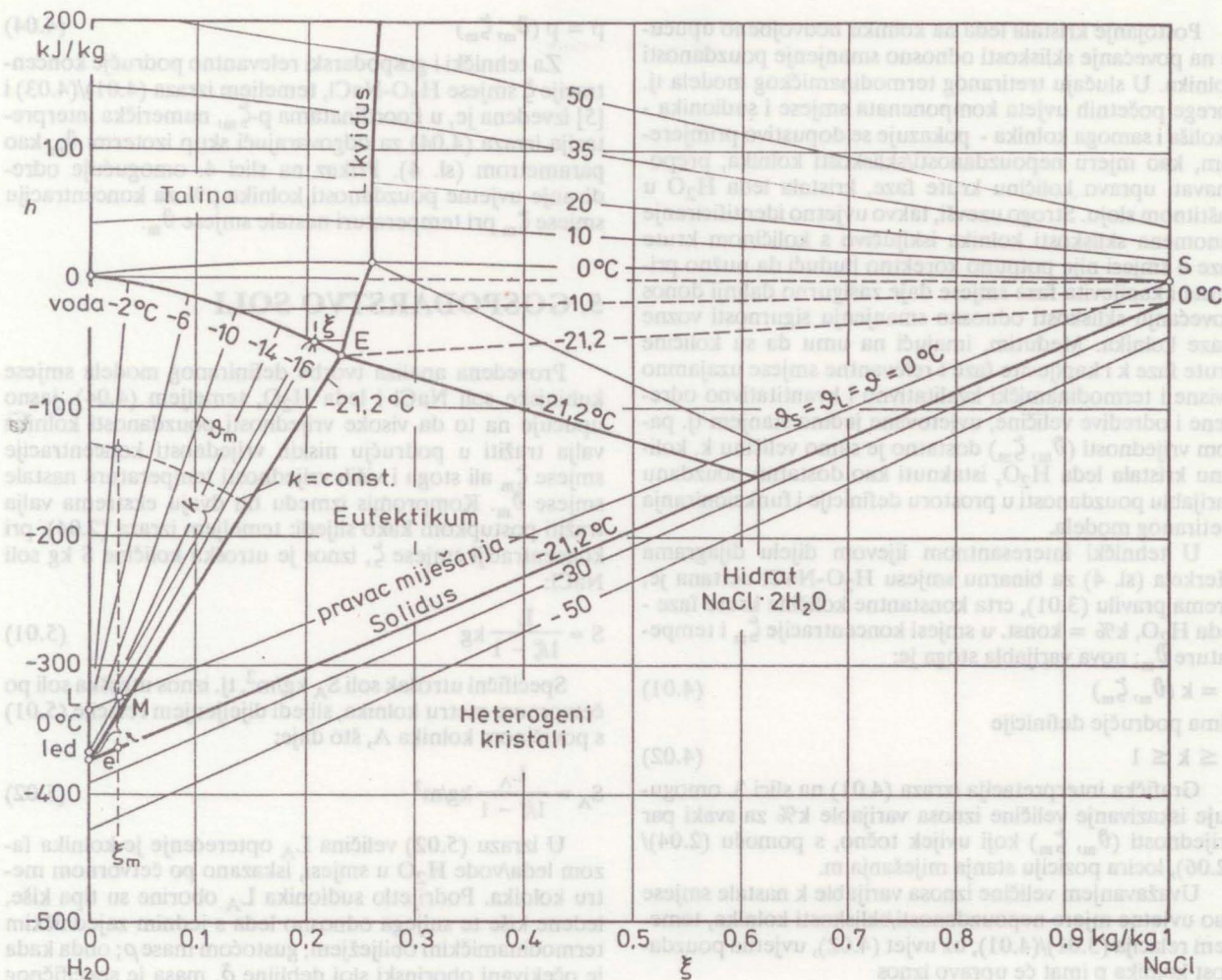
Jednakost omjera (2.07) reinterpretacija je sprege izraza (2.01), (2.02) i (2.03); rješenjem po varijabli  $\zeta$  slijedi upravo izraz (2.04).

### 3. USPOSTAVLJANJE STANJA SMJESE NA KOLNIKU

Temeljem pravila održanja mase i energije te iskustava [2], [4], stečenih mjerenjem, postaje moguće, u koordinatnom sustavu  $h-\zeta$ , pouzdano utvrditi stanja nastala tvorbom smjese sudionika  $H_2O$  i  $NaCl$ ; relevantna stanja faza kvalitativno i kvantitativno pokazuje, za područje taline i krutnine, u cijelom području definicije varijable,  $0 \leq \zeta \leq 1$ , dijagram Merkela [5] (sl. 3).

Relevantni događaj, posipavanje kolnika solju, nastaje u trenutku kada su oba sudionika voda/led  $H_2O$  i sol  $NaCl$  u kontaktu miješanja. Ucrtani pravac miješanja  $L-S$  opisuje miješanje sudionika, primjerice kristala leda i kristala soli pri temperaturi okoliša  $\vartheta = \vartheta_S = \vartheta_L = 0^\circ C$ , odnos miješanja sudionika, te uspostavljanje stanja  $m$  pokazano točkom  $M$  i određeno koncentracijom  $\zeta_m$ , što rezultira temperatu-





Slika 3. Merkelov dijagram stanja binarne smjese NaCl-H<sub>2</sub>O, prema [1]

rom smjese  $\vartheta_m < \vartheta$ . Nastalo stanje m nestabilno je budući da odsjeda u heterogenom području; jedino vjerojatno stanje određeno je termodinamičkom ravnotežom koja određuje nastanak faza temperature istovjetne rezultirajućoj izotermi miješališta  $\vartheta_m$ . Jedna je faza talina udjela t kg/kg i koncentracije  $\zeta$  dok su druga faza kristali leda H<sub>2</sub>O udjela k kg/kg onda kada je masa nastale smjese 1 kg. Analogno pravilu (2.01)/(2.02) za 1 kg smjese vrijedi da je:

$$1 = t + k \quad (3.01)$$

Nastala smjesa zaštitni je sloj kolnika temperature niže od okoliša budući da je  $\vartheta_m < \vartheta = 0^\circ\text{C}$ ; sloj je kašasta smjesa kristala leda k i taline (slanice) t koncentracije  $\zeta > \zeta_m$  i temperature  $\vartheta_m$ . Sniženje temperature okoliša  $\vartheta$  očividno nema utjecaja na količinu čvrstih kristala leda u smjesi sve do trenutka kada postaje  $\vartheta = \vartheta_m$ ; daljnjim hlađenjem zaštitnog sloja, za uvjete  $\vartheta < \vartheta_m$ , povećavat će se količina kristala leda vode u smjesi, da konačno u stanju e zaštitni sloj postane eutektična krutina koncentracije  $\zeta_m$  onda kada je  $\vartheta = \vartheta_e < \vartheta_m$ . Opisani proces hlađenja smjese, s obzirom na definiciju modela, promjena je stanja pri  $\zeta_m = \text{konst.}$  (sl. 3).

#### 4. POUZDANOST KOLNIKA

U poglavlju 3. izveden je opis samo jedne od mogućnosti tvorbe zaštitnog sloja kolnika; smjesa uspostavljenog

stanja  $\vartheta_m, \zeta_m$  nastala je pri uvedenim uvjetima  $\vartheta = \vartheta_s = \vartheta_L = 0^\circ\text{C}$ . Analizom i ostalih mogućnosti tvorbe smjese (vlažni snijeg, kiša, ledena kiša i općenito vlažni kolnik), analogno postupku u poglavlju 3, može se zaključiti da bezuvjetno svakom paru početnih uvjeta miješanja, temperature, stanja/agregatnog stanja sudionika i koncentracije  $\zeta$ , pripada uvijek jednoznačno određen udio kristala leda H<sub>2</sub>O odnosno kapljevine taline (slanice) u smjesi rezultirajuće temperature  $\vartheta_m$ .

Nadalje je prepoznatljivo da tvorbu zaštitne smjese valja, i iz gospodarskih i s naslova ekoloških razloga, podržavati u području što nižih koncentracija  $\zeta$  dragocjenog sudionika NaCl. Osim toga, uvijek kada stanje nastale smjese (točka M) činom miješanja odsjeda u heterogenom području, rezultira bezuvjetno temperaturom miješanja  $\vartheta_m$  što je uvijek osjetno niža od temperature okoliša  $\vartheta$ . To neizbježno uvjetuje ubrzanu stradanje vozne staze kolnika.

Pojava leda na kolniku zacijelo povećava skliskost vozne staze što očividno upućuje na reduciranje tangencijalne sile trenja odnosno čimbenika bočnog vođenja pneumatika određenog vozila u kretanju. Temeljem analize tvorbe zaštitnog sloja uspostavljenog modela nije moguće, pri miješanju sudionika u stanju kruto-kruto, previdjeti da će zaštitni sloj smjese na kolniku uvijek i bezuvjetno sadržavati jednu krutu fazu, a ta je upravo utvrđeni udio kristala leda H<sub>2</sub>O u smjesi.



Postojanje kristala leda na kolniku nedvojbeno upućuje na povećanje skliskosti odnosno smanjenje pouzdanosti kolnika. U slučaju tretiranog termodinamičkog modela tj. sprege početnih uvjeta komponenata smjese i sudionika - okoliša i samoga kolnika - pokazuje se dopustivo primjerenim, kao mjeru nepouzdanosti/skliskosti kolnika, prepoznati upravo količinu krute faze, kristala leda H<sub>2</sub>O u zaštitnom sloju. Strogo uzevši, takvo uvjetno identificiranje fenomena skliskosti kolnika isključivo s količinom krute faze u smjesi nije potpuno korektno budući da nužno prisutna i kapljevita faza smjese daje zasigurno daljnji donos povećanju skliskosti odnosno smanjenju sigurnosti vozne staze kolnika. Međutim, imajući na umu da su količine krute faze k i kapljevite faze t relevantne smjese uzajamno ovisne i termodinamički kvalitativno i kvantitativno određene i određive veličine, uvjetovane jedino stanjem tj. parom vrijednosti ( $\vartheta_m, \zeta_m$ ) dostatno je samo veličinu k, količinu kristala leda H<sub>2</sub>O, istaknuti kao dostatno pouzdanu varijablu pouzdanosti u prostoru definicije i funkcioniranja tretiranog modela.

U tehnički interesantnom lijevom dijelu dijagrama Merkela (sl. 4) za binarnu smjesu H<sub>2</sub>O-NaCl ucrтана je, prema pravilu (3.01), crta konstantne količine krute faze - leda H<sub>2</sub>O, k% = konst. u smjesi koncentracije  $\zeta_m$  i temperature  $\vartheta_m$ ; nova varijabla stoga je:

$$k = k(\vartheta_m, \zeta_m) \quad (4.01)$$

i ima područje definicije

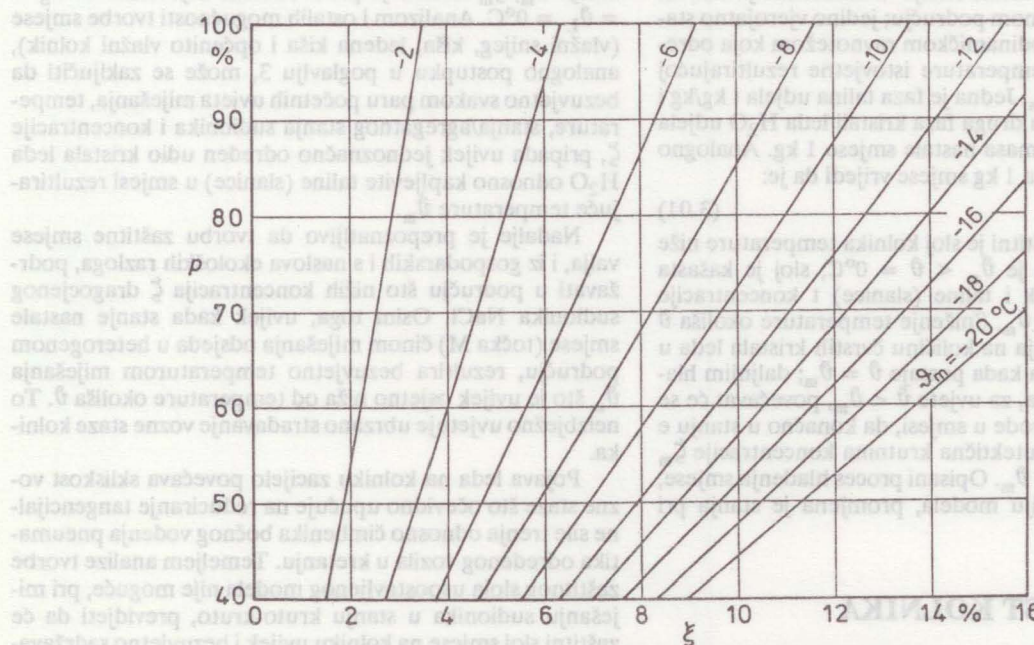
$$0 \leq k \leq 1 \quad (4.02)$$

Grafička interpretacija izraza (4.01) na slici 3. omogućuje iskazivanje veličine iznosa varijable k% za svaki par vrijednosti ( $\vartheta_m, \zeta_m$ ) koji uvijek točno, s pomoću (2.04)/(2.06), locira poziciju stanja miješanja m.

Uvažavanjem veličine iznosa varijable k nastale smjese kao uvjetne mjere nepouzdanosti/skliskosti kolnika, temeljem relacija (3.01)/(4.01), uz uvjet (4.02), uvjetna pouzdanost kolnika p imat će upravo iznos

$$p = 1 - k \quad (4.03)$$

Temeljem (4.01) i (4.03) funkcija p ima opći oblik:



Slika 4. Ovisnost uvjetne pouzdanosti p kolnika o koncentraciji  $\zeta$  i parametru temperature  $\vartheta$  binarne smjese NaCl-H<sub>2</sub>O

$$p = p(\vartheta_m, \zeta_m) \quad (4.04)$$

Za tehnički i gospodarski relevantno područje koncentracije  $\zeta$  smjese H<sub>2</sub>O-NaCl, temeljem izraza (4.01)/(4.03) i [5] izvedena je, u koordinatama p- $\zeta_m$ , numerička interpretacija izraza (4.04) za odgovarajući skup izoterma  $\vartheta_m$  kao parametrom (sl. 4). Prikaz na slici 4. omogućuje određivanje uvjetne pouzdanosti kolnika p% za koncentraciju smjese  $\zeta_m$  pri temperaturi nastale smjese  $\vartheta_m$ .

## 5. GOSPODARSTVO SOLI

Provedena analiza tvorbe definiranog modela smjese kuhinjske soli NaCl i leda H<sub>2</sub>O, temeljem (4.04), jasno upućuje na to da visoke vrijednosti pouzdanosti kolnika valja tražiti u području niskih vrijednosti koncentracije smjese  $\zeta_m$  ali stoga i viših vrijednosti temperature nastale smjese  $\vartheta_m$ . Kompromis između tih dvaju ekstrema valja tražiti postupkom kako slijedi: temeljem izraza (2.04), pri koncentraciji smjese  $\zeta$ , iznos je utroška količine S kg soli NaCl:

$$S = \frac{L}{1/\zeta - 1} \text{ kg} \quad (5.01)$$

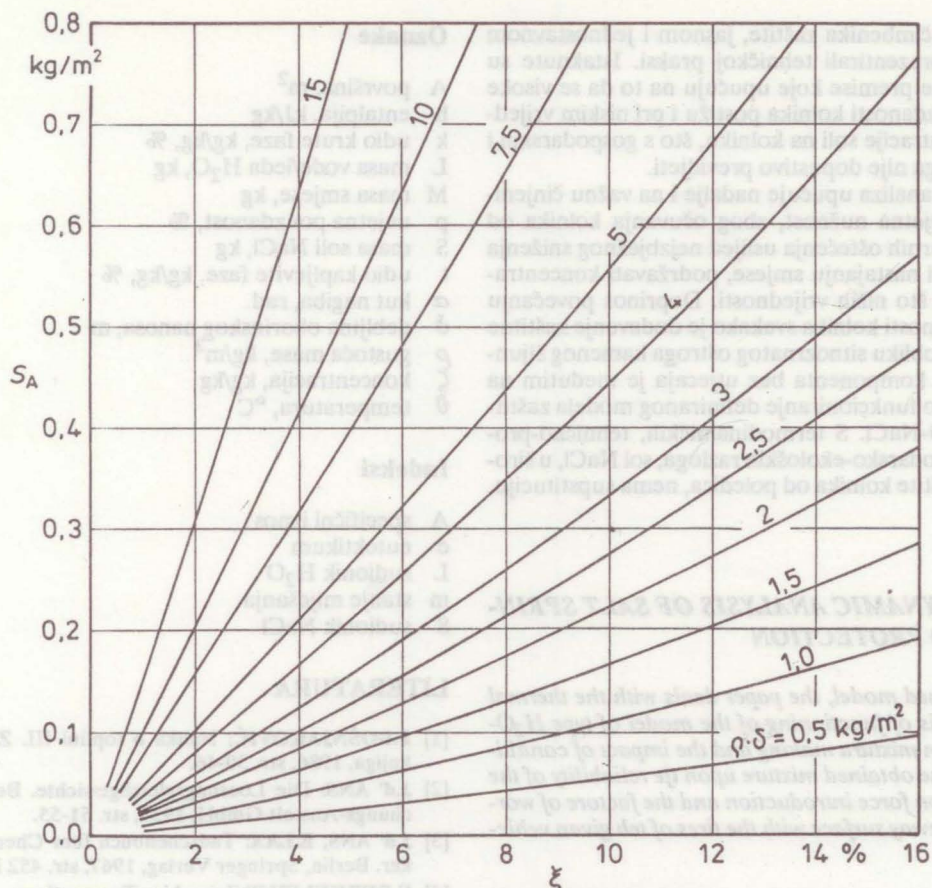
Specifični utrošak soli S<sub>A</sub> kg/m<sup>2</sup>, tj. iznos utroška soli po četvornom metru kolnika, slijedi dijeljenjem relacije (5.01) s površinom kolnika A, što daje:

$$S_A = \frac{L_A}{1/\zeta - 1} \text{ kg/m}^2 \quad (5.02)$$

U izrazu (5.02) veličina L<sub>A</sub> opterećenje je kolnika fazom leda/vode H<sub>2</sub>O u smjesi, iskazano po četvornom metru kolnika. Podrijetlo sudionika L<sub>A</sub> oborine su tipa kiše, ledene kiše te snijega odnosno leda s jednim zajedničkim termodinamičkim obilježjem, gustoćom mase  $\rho$ ; onda kada je očekivani oborinski sloj debljine  $\delta$ , masa je specifičnog oborinskog nanosa L<sub>A</sub> upravo jednaka proizvodu:

$$L_A = \rho \cdot \delta \text{ kg/m}^2 \quad (5.03)$$



Slika 5. Ovisnost utroška soli NaCl o koncentraciji  $\xi$  i parametru  $\rho \delta$ 

Temeljem relacija (5.02)/(5.03) smije se zaključiti da je iznos varijable - specifičnog utroška soli  $S_A$  - potpuno određena veličina i da varijabla  $S_A$  ima opći oblik tipa:

$$S_A = S_A(\rho, \delta, \xi) \quad (5.04)$$

Za gustoću mase  $\rho$  sudionika/otapala u rasponu 100-900 kg/m<sup>3</sup> (snijeg/led H<sub>2</sub>O) i veličinu iznosa oborinskog nanosa otapala  $\delta$  u rasponu 1 do 150 mm, u koordinatnom sustavu  $S_A$ - $\xi$  (sl. 5), prezentirana je numerička interpretacija izraza (5.04) s proizvodom  $\rho \delta$  kao parametrom.

Temeljem izvedene termodinamičke analize relevantnog događaja, zaštite kolnika od poledice posipavanjem solju, u okolišu kolnik/atmosfera temperature  $\vartheta$ , moguće je ustanoviti pouzdanost zaštićenoga kolnika i utroška soli NaCl. Postupak određivanja pouzdanosti  $p$  i utroška soli  $S_A$  ilustrira sljedeći primjer:

- a)  $\xi_a = 4\%$ ,  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ,  $\delta = 1 \text{ cm}$  ( $\chi\mu(\lambda\epsilon\delta)$ );  
okoliš je temperature  $\vartheta = 0^\circ\text{C}$   
 $(\rho \delta)_a = 900 \times 0,01 = 9 \text{ kg/m}^2$ ;  
utrošak soli  $S_A = 0,37 \text{ kg/m}^2$  (sl. 5)
- b)  $\xi_b = 4\%$ ,  $\rho = 90 \text{ kg/m}^3$ ,  $\delta = 10 \text{ cm}$  (snijeg);  
okoliš je temperature  $\vartheta = 0^\circ\text{C}$   
 $(\rho \delta)_b = 90 \times 0,1 = 9 \text{ kg/m}^2$ ;  
utrošak soli  $S_A = 0,37 \text{ kg/m}^2$  (sl. 5)

U primjerima a) i b) očividno su varijabla  $\xi$  i parametar  $\rho \delta$  istih iznosa što rezultira u oba slučaja istim utroškom soli  $S_A$ .

Uspostavljanje stanja smjese  $\xi_a = \xi_b = \xi_m$  imat će, za poznatu posljedicu, rezultirajuću temperaturu miješanja  $\vartheta_m < \vartheta = 0^\circ\text{C}$ . Zbog grijanja hladnog sloja smjese temperature  $\vartheta_m$  okolišem više temperature  $\vartheta$  (promjena stanja smjese pri  $\xi_m = \xi_a = \xi_b = \text{konst.}$ ) mijenjat će se pouzda-

nost kolnika  $p$ , uvjetovano s porastom temperature od  $-6^\circ\text{C}$  do  $0^\circ\text{C}$ , u rasponu od 42,5% do 100% (sl. 4).

Usporedbom slučajeva a) i b) vidljivo je, nadalje, da je pri istim uvjetima  $(\vartheta_m, \xi_m)_a = (\vartheta_m, \xi_m)_b$  i s istim utroškom soli  $S_a = S_b$ , moguće uspostaviti osiguranje kolnika s istom pouzdanošću  $p > 0$  ako je to očekivani nanos leda ( $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ) debljine 1 cm odnosno nanos prhkog snijega ( $\rho = 90 \text{ kg/m}^3$ ) ali tek za sloj nanosa debljine 10 cm.

## ZAKLJUČAK

Termodinamičkom analizom tvorbe zaštitne smjese sudionika, kristalične soli NaCl i vode H<sub>2</sub>O određenog agregatnog stanja, definirana je uvjetna pouzdanost kolnika pri uvjetima opasnosti nastajanja poledice. Količina kristala leda vode H<sub>2</sub>O u nastaloj smjesi određene koncentracije soli NaCl pokazuje se onom znakovitom veličinom ravnotežnoga faznog stanja koja određuje stupanj skliskosti kolnika odnosno uvjetuje veličinu reduciranja tangencijalne sile trenja i čimbenika bočnog vodenja pneumatika na voznoj stazi kolnika.

Provedenom analizom izvedeni su analitički izrazi koji, za dane termodinamičke uvjete stanja sudionika smjese, određuju veličinu iznosa pouzdanosti zaštićenoga kolnika, veličinu iznosa utroška soli za zaštitu kolnika od poledice te kvalitativno i kvantitativno njihovu međusobnu ovisnost.

Analitički određene relacije uvjetne pouzdanosti kolnika, utroška soli za zaštitu kolnika od poledice te ovisnosti tih veličina o koncentraciji soli nastale zaštitne smjese, interpretirane su kvalitativno i kvantitativno u grafičkim prikazima, kako bi se smisao i uvjeti procjene važnih tehničkih



i gospodarskih čimbenika zaštite, jasnom i jednostavnom predodžbom, prezentirali tehničkoj praksi. Istaknute su nadalje temeljne premise koje upućuju na to da se visoke vrijednosti pouzdanosti kolnika postižu i pri niskim vrijednostima koncentracije soli na kolniku, što s gospodarskih i ekoloških razloga nije dopustivo previdjeti.

Predložena analiza upućuje nadalje i na važnu činjenicu da je bezuvjetna nužnost, zbog očuvanja kolnika od niskotemperaturnih oštećenja uslijed neizbježnog sniženja temperature pri nastajanju smjese, podržavati koncentraciju soli u zoni što nižih vrijednosti. Doprinos povećanju uvjetne pouzdanosti kolnika svakako je dodavanje zaštitne komponente u obliku sitnozrnatog oštrog kamenog šljunka. Ta zaštitna komponenta bez utjecaja je međutim na termodinamičko funkcioniranje definiranog modela zaštitne smjese H<sub>2</sub>O-NaCl. S termodinamičkih, tehničko-provedbenih i gospodarsko-ekoloških razloga, sol NaCl, u širokoj primjeni zaštite kolnika od poledica, nema supstituciju.

**SUMMARY**

**THERMAL DYNAMIC ANALYSIS OF SALT SPRINKLING ROAD PROTECTION**

*On the defined model, the paper deals with the thermal dynamic analysis of functioning of the model of type H<sub>2</sub>O-NaCl protection mixtura making and the impact of condition changes of the obtained mixture upon tje reliability of the tangential friction force introduction and the factore of working the carriageway surface with the tires of teh givan vehicle.*

**Oznake**

- A površina, m<sup>2</sup>
- h entalpija, kJ/kg
- k udio krute faze, kg/kg, %
- L masa vode/leda H<sub>2</sub>O, kg
- M masa smjese, kg
- p uvjetna pouzdanost, %
- S masa soli NaCl, kg
- t udio kapljevite faze, kg/kg, %
- α kut nagiba, rad
- δ debljina oborinskog nanosa, m
- ρ gustoća mase, kg/m<sup>3</sup>
- ξ koncentracija, kg/kg
- θ temperatura, °C

**Indeksi**

- A specifični iznos
- e eutektikum
- L sudionik H<sub>2</sub>O
- m stanje miješanja
- S sudionik NaCl

**LITERATURA**

- [1] F. BOŠNJAKOVIĆ: Nauka o toplini III. Zagreb, Tehnička knjiga, 1986, str. 30-46.
- [2] J.d' ANS: Die Loesungsgleichgewichte. Berlin, Kaliforschungs-Anstalt GmbH, 1933, str. 51-55.
- [3] J.d' ANS, ELAX: Tadschenbuch fuer Chemiker und Physiker. Berlin, Springer Verlag, 1967, str. 452 i 453.
- [4] E. BERKELEY: Philosphic Transactions Archives. USA, 1904. (podaci citirani u [2]).
- [5] F. MERKEL: Die Reaktifikation. Republik Deutschland, Archiv fuer Waermewirtschaft, 1928 (podaci citirani u [1]).