

NAPETOSTI V ŽELEZNIŠKIH TIRNICAH ZARADI TEMPERATURNIH SPREMEMB

STRESSES IN THE RAILWAY RAILS CAUSED BY TEMPERATURE FLUCTUATIONS

prof. dr. Bogdan Zgonc, univ. dipl. inž. grad.
UL – Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova 2, 1000 Ljubljana

Strokovni članek
UDK: 625.143

Povzetek | Članek obravnava teoretične osnove nastanka napetosti, ki se v železniških tirnicah in tirih pojavijo zaradi temperaturnih sprememb. V klasičnem stikovanem tiru se tirnice stikajo na tirnih stikih, ki preko dilatacij omogočajo spreminjanje dolžine zaradi temperaturnih sprememb. Z dilatacijami na tirnih stikih kompenziramo osne sile in posledično bistveno zmanjšamo tveganje za izbočenje tira pri visokih temperaturah. Velikost dilatacij pa je omejena s samo konstrukcijo tirnega stika, pa tudi s pogoji varnosti železniškega prometa. V preteklosti so se zaradi tega v tir lahko vgrajevale le zelo kratke tirnice. To je pomenilo veliko število tirnih stikov, ki so povzročali velike dinamične obremenitve pri prevozu vlaka, slabšo stabilnost ter kakovost tira in visoke stroške vzdrževanja. Problemi, povezani s tirnimi stiki, so progresivno naraščali z večanjem hitrosti vlakov in so na ta način postali zelo pomemben negativni dejavnik vpliva na življenjsko dobo vseh tirnih komponent. Z razvojem znanosti na tem področju in z uvedbo sodobnejšega zgornjega ustroja železniških prog, ki zagotavlja ustrezen odpor trenja med tirnico in železniškimi pragi, so se postopoma začele uporabljati daljše tirnice. V zadnjih štiridesetih letih se skoraj dosledno vgrajuje le še tako imenovani neprekinjeno zavarjeni tir. Neprekinjeno zavarjeni tir nima prej omenjenih pomanjklivosti stikovanega tira. Napetosti in sile, ki zaradi temperaturnih sprememb lahko nastanejo v naših klimatskih pogojih, dosežejo do 100 N/mm^2 , se seštevajo z zaostalimi napetostmi in upogibnimi napetostmi zaradi prometa. Slednje dosežejo podobne vrednosti kot napetosti zaradi temperaturnih sprememb. Vse te vzdolžne napetosti in sile morajo biti dosledno obvladovane in kompenzirane z ustrezno vgraditvijo tira, z zagotovitvijo prečne stabilnosti in vzdolžnega odpora tira in biti redno nadzorovane.

Summary | The paper deals with a theoretical overview of stresses caused by temperature fluctuations in the railway rails and tracks. In conventional non-welded tracks, the rails are connected by means of joints to allow the changes of lengths caused by temperature fluctuations. Expansion gaps on joints prevent the development of axial forces and the consequent risk of track buckling at high temperatures. The largeness of expansion gaps is limited by the construction of rail joints and also by the conditions of traffic safety. In the past, due to this reason, only very short rails were used. This fact resulted in a big number of joints, which generate high dynamic loads during train passage, worse track stability, worse quality, and high costs of track maintenance. These problems increase progressively as speed increases. With regard to that, the rail joints have a very considerable negative effect on the life of all track components. With the progress of science in this field of activity and with a new up-to-date railway superstructure that assure adequate resistance between rail and rail sleepers, longer rails have been implemented. In the last forty years only so called continuous welded track is used. Tracks with continuous welded rails do not possess the above drawbacks of joints track. The stresses resulting from the

temperature fluctuations in our climate conditions may be of the order of 100 N/mm² and should be added to the residual rail stresses and bending stresses caused by train loads, which are of the same order of magnitude. All this longitudinal stresses and forces should be fully acquainted and compensated with an accurate track construction, with the assurance of lateral track stability and longitudinal resistance forces and, of course, with regular control.

1 • UVOD

V začetni fazi gradnje železniških prog je veljalo pravilo, da se v tir vgrajujejo le tirnice take dolžine in s tako dilatacijo, da bo pri povečanju ali zmanjšanju temperature omogočeno njihovo prosto raztezanje ali krčenje. Ob največji mogoči dilataciji, ki je pogojena s konstruktivnimi elementi tirnega stika in znaša 20 mm, so se lahko vgrajevale le razmeroma kratke tirnice. Pri tem niso bili

upoštevani odpori, ki bi v tir vgrajeno tirnico ovirali pri njenem raztezanju ali krčenju, kar je razumljivo, saj takratna pritrdilni in vezni pribor nista nudila omembe vrednega trenja in je bila tirnica dejansko breztrejnjsko položena. Posledica tega se je kazala v velikem številu tirnih stikov, ki so povzročali ne le višje stroške vzdrževanja, pač pa tudi slabšo stabilnost in kakovost železniškega tira.

Razvoj je šel tako v smeri povečevanja dolžine tirnic. Z upoštevanjem odpora proti vzdolžnemu premiku tira, ki ga je omogočal vedno boljši pritrdilni in vezni pribor, so se dolžine tirnic lahko povečale kljub konstrukcijsko omejeni dilataciji. Trenjska pritrditev tirnice, pri kateri se odpori na tirni spojki in predvsem odpori med pragi in tirno gredo učinkovito zoperstavljajo spremembi dolžine tirnice zaradi spremembe temperature, je omogočila vgrajevanje tirnic standardne dolžine 45 m in kasneje uvedbo neprekinjeno zavarjenega tira.

2 • BREZTREJNSKO POLOŽENA TIRNICA

Breztrejnjsko položena tirnica spreminja svojo dolžino premo sorazmerno s spremembo temperature po naslednji enačbi:

$$\Delta l = \alpha l \Delta t \quad (1)$$

V primeru, da je raztezanje ali krčenje tirnice na kakršenkoli način onemogočeno, nastanejo v tirnici napetosti. Po Hookovem zakonu velja, da je

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \quad (2)$$

oziroma

$$\Delta l = \frac{\sigma}{E} l \quad (3)$$

Če enačbi (1) in (3) izenačimo

$$\alpha l \Delta t = \frac{\sigma}{E} l,$$

dobimo enačbo za napetosti, ki nastanejo zaradi temperaturnih sprememb, kadar sprememba dolžine ni mogoča, in sicer:

$$\sigma = \alpha E \Delta t \quad (4)$$

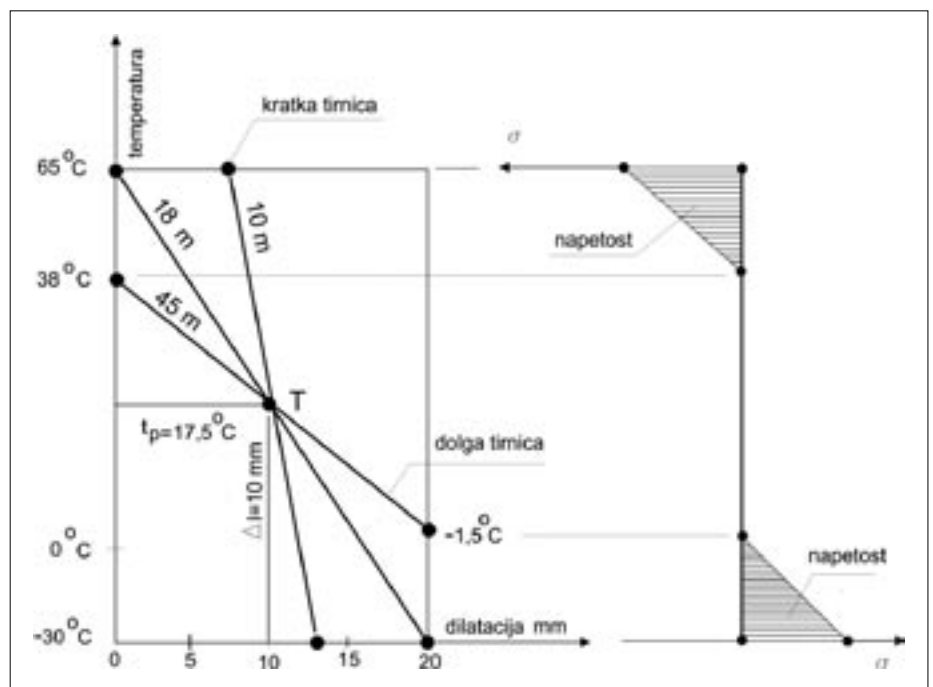
Če v enačbo (4) vstavimo vrednost koeficienta temperaturnega raztezanja jekla $\alpha = 1,15 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ in elastičnega modula jekla $E = 2,1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$, dobimo:

$$\sigma = \alpha E \Delta t = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 2,1 \cdot 10^7 \Delta t = 240 \Delta t$$

$$\sigma = 240 \Delta t \quad (5)$$

Enačba (5) nam pove, da v primeru, ko sprememba dolžine tirnice ni mogoča, za vsako stopinjo spremembe temperature napetost v tirnici naraste za 240 N/cm².

V predhodnih enačbah pomeni $\Delta l(\text{m})$ spremembo dolžine tirnice, $\alpha(1/^\circ\text{C})$ koeficient raztezanja jekla zaradi temperature, $l(\text{m})$ dolžino tirnice, Δt spremembo temperature ($^\circ\text{C}$),



Slika 1 • Breztrejnjsko položena tirnica

σ (N/cm²) napetost in E (N/cm²) elastični modul jekla.

Raztezanje in krčenje breztrejnjsko položene tirnice v odvisnosti od temperature je prikazano na sliki 1, kjer je na ordinati sprememba temperature, na abscisi pa sprememba dolžine tirnice oziroma velikost dilatacije. Na desni strani slike so prikazane še napetosti, ki nastanejo v primeru, ko se dilatacija popolnoma zapre ali popolnoma odpre in raztezanje ali krčenje tirnice ni več mogoče. Sprememba temperature je omejena s temperaturnim intervalom, med -30 in 65 °C, ki ustreza našim klimatskim razmeram. Pri tem velja posebej poudariti, da gre za temperaturni interval v tirnici in ne v zraku. Temperatura tirnice se namreč od temperature zraka bistveno razlikuje in dosega višje vrednosti.

Na sliki 1 so prikazane tri tirnice različnih dolžin. Izhodišče je točka T, ki pomeni, da so tirnice položene pri srednji temperaturi $t_p = 17,5$ °C, s srednjo dilatacijo $\Delta l = 10$ mm. Vsaka točka na črti odraža spremembo dilatacije v odvisnosti od temperature. Sečišče črte z levo stranico diagrama pomeni temperaturo, pri kateri se dilatacija v celoti zapre, sečišče črte z desno stranico diagrama pa temperaturo, pri kateri se dilatacija v celoti odpre. Nadaljnje naraščanje temperature pri zaprti dilataciji oziroma padanje temperature pri popolnoma odprti dilataciji povzročijo napetosti v tirnici, ki so prikazane na desni strani slike.

Izračunajmo največjo mogočo dolžino breztrejnjsko položene tirnice, pri kateri še ne pride do napetosti. Predpostavimo, da je tirnica položena pri srednji temperaturi s srednjo dilatacijo. Največji mogoči temperaturni razpon

znaša od -30 do +65 °C, največja konstrukcijsko mogoča dilatacija tirnice pa je 20 mm. Iskano dolžino tirnice l dobimo, če v enačbi (1) izpostavimo l ter v enačbo vstavimo vrednosti koeficienta raztezanja jekla α , temperaturni razpon 95 °C in največjo mogočo dilatacijo $\Delta l_{\max} = 0,02$ m, kot sledi:

$$l = \frac{\Delta l}{\alpha \Delta t} = \frac{0,02}{1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 95} = 18 \text{ m}$$

Dobljeni rezultat, ki je razviden tudi s slike 1, nam pove, da so tirnice, ki jih breztrejnjsko položimo pri srednji temperaturi s srednjo dilatacijo, lahko dolge največ 18 m, ne da bi pri spremembi temperature prišlo do kakršnekoli napetosti.

Poglejmo si še primer breztrejnjsko položene tirnice S 49 dolžine 45 m z največjo mogočo dilatacijo $\Delta l_{\max} = 20$ mm (slika 1). Tirnica je položena pri srednji temperaturi $t_p = 17,5$ °C, (65 °C - 95 °C / 2 = 17,5 °C) s srednjo dilatacijo $\Delta l_p = 10$ mm. Površina prečnega prereza tirnice S 49 je 62,97 cm².

Temperaturni razpon prostega raztezanja ali krčenja tirnice na račun razpoložljive dilatacije 20 mm znaša

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{\alpha l} = \frac{0,02}{1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 45} = 38 \text{ °C.}$$

iz česar sledi, da tirnica lahko prosto dilatira od -1,5 °C (17,5 °C - 38 °C / 2) do 36,5 °C (17,5 °C + 38 °C / 2), v preostalem temperaturnem območju pa se v tirnici pojavi napetost. Pri najvišji temperaturi 65 °C ($\Delta t = 65$ °C - 36,5 °C = 28,5 °C) bo v tirnici prišlo do napetosti

$$\sigma = 240 \Delta t = 240 \cdot 28,5 = 7120 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

oziroma osne sile

$$F = \sigma S = 7120 \cdot 62,97 = 448661 \text{ N.}$$

Rezultat nam pove, da bi bila breztrejnjska vgradnja tirnice dolžine 45 m zaradi tako velikih napetosti in osnih sil nedopustna.

Breztrejnjsko položene tirnice pa niso odraz realnega stanja v sodobnem tiru. Proučevanje dogajanj v breztrejnjsko položeni tirnici je tako namenjeno le pridobivanju teoretičnih osnov in boljšemu razumevanju problematike zgornjega ustroja železniških prog.

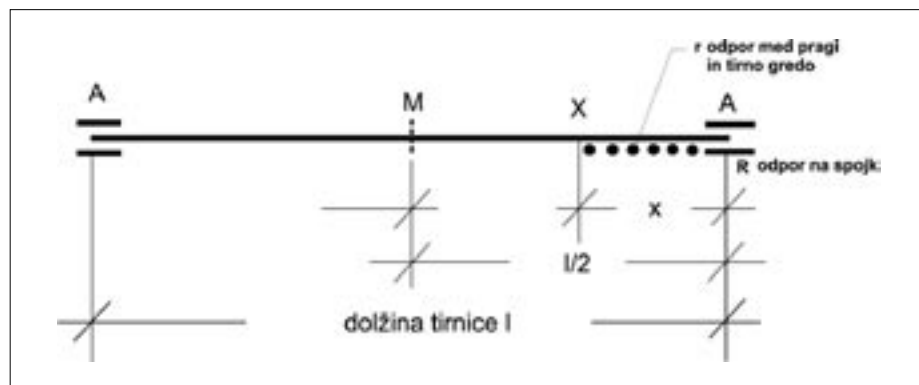
Glede na dogajanje v tirnici pri spremembi temperature in posledično pri spremembi dilatacije ločimo temperaturno kratke in temperaturno dolge tirnice. Temperaturno kratke tirnice so tiste, pri katerih se dilatacija na tirnem stiku pri najvišji temperaturi v celoti še ne zapre in pri najnižji temperaturi v celoti še ne odpre, dolge pa tiste, pri katerih se dilatacija zapre, preden je dosežena najvišja temperatura in popolnoma odpre, preden je dosežena najnižja temperatura.

Temperaturno kratka tirnica pa lahko postane temperaturno dolga, če je pri dani temperaturi ne položimo s pravo dilatacijo. Tako lahko tudi tirnica, ki je krajša od 18 m, postane temperaturno dolga, če se tirni stik zaradi nepravilne vgraditve bodisi v celoti odpre, preden je dosežena najnižja temperatura, ali pa se v celoti zapre, preden je dosežena najvišja temperatura.

3 • TRENJSKO POLOŽENA TIRNICA

V praksi se tirnice vgrajujejo tako, da so s tirno spojko trenjsko povezane s sosednjo tirnico in hkrati preko pritrdilnega pribora čvrsto pritrjene na prage, usidrane v tirni gredi. Prosto raztezanje ali krčenje tirnic tako ovira vzdolžni odpor trenja med spojko in tirnico v tirnem stiku, vzdolžni odpor med pragi in tirno gredo ter vzdolžni odpor med tirnico in pragi oziroma podložnimi ploščami.

Velikost odpora trenja med tirnico in spojko R variira od 50.000 do 250.000 N, največkrat pa računamo s povprečno vrednostjo $R = 100.000$ N.



Slika 2 • Trenjsko položena tirnica

Povprečna vrednost vzdolžnega odpora med pragi in tirno gredo r , reducirano na dolžinski centimeter tirnice, znaša $r = 90 \text{ N/cm}$.

Odpor trenja med tirnico in pragi r^* pa je praviloma višji od odpora trenja med pragi in tirno gredo, tako da lahko predpostavimo, da je tirnica tako čvrsto pritrjena na prage, da do vzdolžnega premika med tirnico in pragom ne pride in da se trenje med tirnico in pragi sploh ne aktivira. Odpor r^* se upošteva le pri zelo nizkih temperaturah, pri zmrznjeni tirni gredi, ko se odpor med pragi in tirno gredo poveča preko vseh meja.

Opazujemo zdaj trenjsko položeno tirnico, kot je prikazana na sliki 2.

Predpostavimo, da sredina tirnice miruje in da se pri spremembi temperature tirnica enakomerno razteza ali krči na obe strani. Na začetku v tirnici ni nikakršnih napetosti. Z naraščanjem temperature se najprej aktivira trenje v spojki R , ki preprečuje raztezanje tirnice, dokler temperatura ne naraste za vrednost Δt_r . Spremembo temperature Δt_r , ki je potrebna za aktiviranje sile trenja v spojki, dobimo iz enačbe (5).

$$\sigma = 240\Delta t = \frac{R}{S} \quad \Delta t_r = \frac{R}{240S} [\text{°C}], \quad (6)$$

kjer R (N) pomeni silo trenja na spojki, S (cm^2) pa površino prereza tirnice.

Pri spremembi temperature za Δt_r se dolžina tirnice ne spremeni, napetost v tirnici pa naraste za σ_r :

$$\sigma_r = \frac{R}{S} \left[\frac{N}{\text{cm}^2} \right]. \quad (7)$$

Ko je odpor med tirnico in spojko premagan, se pri nadaljnjem porastu temperature tirnica prične raztezati, začevši na obeh koncih tirnice, v smeri proti sredini, dilatacija pa se manjša.

Spremembo temperature, ki je potrebna, da se premaga trenje na celotni dolžini tirnice oziroma da cela tirnica preide v gibanje, dobimo z naslednjo enačbo, kjer l (cm) pomeni dolžino tirnice, $r \left[\frac{N}{\text{cm}} \right]$ pa odpor trenja med pragi in tirno gredo, in sicer:

$$\Delta t_r = \frac{rl}{2 \cdot 240S} [\text{°C}]. \quad (8)$$

Hkrati s spremembo temperature se poveča napetost za:

$$\sigma_r = \frac{rl}{2S} \left[\frac{N}{\text{cm}^2} \right]. \quad (9)$$

Opazujemo sedaj poljubno točko X , ki je za x oddaljena od konca tirnice A . Pogoji za vzdolžni premik točke X je, da je vzdolžna sila F_x , ki nastane zaradi spremembe temperature, višja od sile odpora na spojki in sile odpora med pragi in tirno gredo na dolžini x . V točki X obstaja torej neka mejna sila F_x , ki je ravno enaka sili odpora v tej točki.

$$F_x = R + rx [N] \quad (10)$$

Dokler sila F_x ne premaga sile odpora v točki X , točka X miruje. Ko je ta sila premagana, se točka X premakne in vsaka nadaljnja sprememba temperature se odrazi v spremembi dolžine tirnice.

Če poznamo mejno silo, dobimo lahko tudi mejno napetost in z njo povezano mejno temperaturo, kot sledi:

$$\sigma_x = \frac{R + rx}{S} \left[\frac{N}{\text{cm}^2} \right], \quad (11)$$

$$\Delta t_x = \pm \frac{R + rx}{240S} [\text{°C}]. \quad (12)$$

Če torej k vsaki točki tirnice nanesemo mejne napetosti ali mejne temperature kot ordinate, dobimo diagram mejnih napetosti in mejnih temperatur v odvisnosti od odporov trenja. Te mejne vrednosti so v različnih prerezih tirnice različne, saj so odvisne od razdalje x med koncem tirnice in opazovano točko X . V mejah tega diagrama se vsaka spremem-

ba temperature odraža kot napetost, zunaj meje diagrama pa kot sprememba dolžine tirnice, če je raztezanje oziroma krčenje tirnice omogočeno.

Diagram mejnih napetosti in mejnih temperatur je razviden s slike 3.

S slike 3 lahko ugotovimo, da bo do največje spremembe dolžine tirnice prišlo na tirnem stiku, kjer je $\sigma_r = 0$. Spremembo dolžine tirnice na tirnem stiku, ko je premagan odpor med pragi in tirno gredo na celotni dolžini tirnice, izračunamo tako, da v enačbo, ki sledi iz Hookovega zakona.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \quad \text{oziroma} \quad \Delta l = \frac{\sigma}{E} l,$$

za dolžino vstavimo $l/2$, za napetost pa enačbo (9), kot sledi:

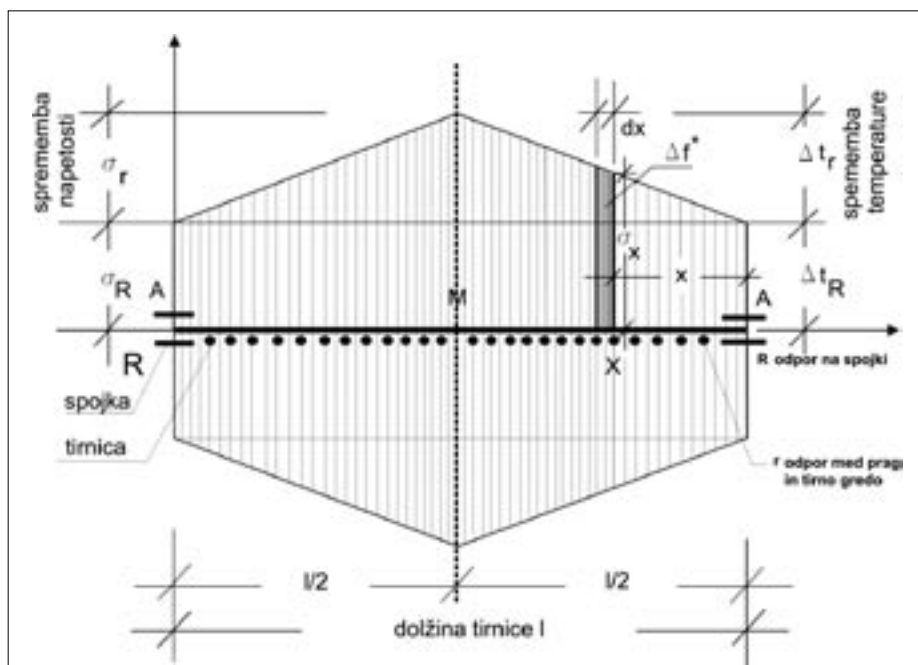
$$\Delta l_r = \frac{rl^2}{4ES}. \quad (13)$$

Poglejmo še, za koliko se spremeni dolžina tirnice v poljubni točki tirnice X .

Če je σ_x napetost v poljubni točki diagrama mejnih napetosti, bi po Hookovem zakonu tej napetosti ustrezala sprememba dolžine Δl^* poljubno majhnega odseka tirnice dx

$$\Delta l^* = \frac{\sigma dx}{E},$$

kjer σdx pomeni delček ploščine mejnega diagrama Δf^* . Iz tega sledi, da je sprememba celotne dolžine tirnice, ki bi nastala v primeru,



Slika 3 • Diagram mejnih napetosti in mejnih temperatur

če odpora na spojki in odpora med pragi in tirno gredo ne bi bilo, enaka ploščini f/E mejnega diagrama, kot sledi:

$$\Delta l = \sum \Delta l^* = \sum \frac{\sigma_x}{E} dx = \frac{f}{E}. \quad (14)$$

Gre torej za potencialno spremembo dolžine tirnice zaradi temperature, ki je enaka ploščini diagrama napetosti f_σ .

Ker velja, da je $\sigma = 240 \Delta t$, lahko analogno temu ugotovimo tudi potencialno spremembo dolžine tirnice zaradi temperature, če bi bila tirnica breztrenjsko položena. Ta je enaka ploščini diagrama temperatur f_t . Ploščino diagrama temperatur f_t dobimo, če na ordinato nanesemo spremembo temperature, ki ustreza napetosti v opazovani točki X. Ordinato napetosti v diagramu napetosti nanesemo v merilu, ki je 240-kratnik ordinate temperature, s čimer dobimo enako merilo ploščin v obeh diagramih. Na ta način lahko iz razlike ploščin f_σ in f_t ugotovimo dejansko spremembo dolžine trenjsko položene tirnice v poljubni točki tirnice X. Ta je enaka razliki ploščin obeh diagramov, kot sledi s slike 4.

3.1 Računski primeri

3.1.1 Primer 1

Izračunaj spremembo dolžine 60 m dolge tirnice S 49 pri padcu temperature od 0 do 20 °C. Upoštevajmo, da je $R = 150$ kN, $r = 70$ N/cm, površina prečnega prereza tirnice S 49 S = 62,5 cm² in elastični modul jekla $E = 2,1 \cdot 10^7$ N/cm².

Rešitev (slika 5):

Napetost v tirnici zaradi spremembe temperature od 0 do 20 °C v točki X je

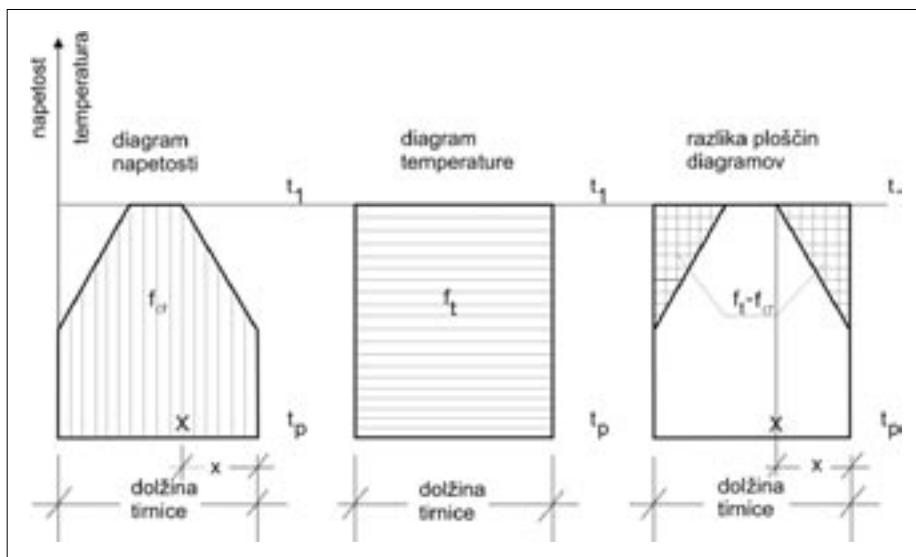
$$\sigma_x = 240 \Delta t = 240 \cdot 20 = 4800 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}.$$

Napetost zaradi odpora na spojki σ_R in napetost zaradi odpora med pragi in tirno gredo mora v primeru, ko se aktivira odpor na celotni dolžini tirnice σ_r , znašati:

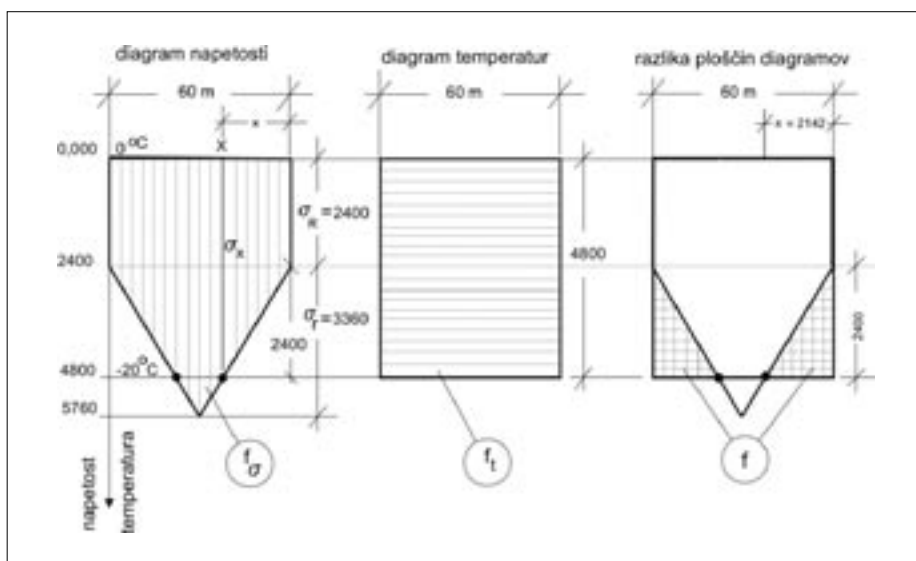
$$\sigma_R = \frac{R}{S} = \frac{150}{62,5} = 2400 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2},$$

$$\sigma_r = \frac{rl}{2S} = \frac{70 \cdot 6000}{2 \cdot 62,5} = 3360 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}.$$

V diagramu napetosti (slika 5) lahko iz podobnostnih trikotnikov dobimo razdaljo do opazovane točke X, kot sledi:



Slika 4 • Sprememba dolžine tirnice v poljubnem prerezu



Slika 5 • Primer izračuna spremembe dolžine tirnice v poljubni točki

$$\frac{2400}{x} = \frac{3360}{3000} \quad x = 2142 \text{ cm}.$$

Iskano spremembo dolžine tirnice zaradi padca temperature od 0 do 20 °C dobimo iz razlike ploščin diagrama napetosti in diagrama temperatur, ki znaša:

$$\Delta l_x = \frac{f}{E} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 2400 \cdot 2142}{2,1 \cdot 10^7} = 0,244 \text{ cm}.$$

V zgornjem primeru je tirnica pri padcu temperature na -20 °C premagala odpore in prešla v gibanje le na razdalji x od tirnega stika. V primeru, ko bi celotna tirnica prešla v gibanje, bi spremembo njene dolžine izračunali po enačbi (13), in sicer:

$$\Delta l_r = \frac{rl^2}{4ES} = \frac{70 \cdot 6 \cdot 10^6}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^7 \cdot 62,5} = 0,48 \text{ cm}.$$

3.1.2 Primer 2

Tir s tirnicami dolžine 50 m, sistema S 49 je položen pri temperaturi $t_p = 12$ °C z dilatacijo $l_p = 6$ mm. Odpor na spojki je $R = 100$ kN, odpor med pragi in tirno gredo je $r = 60$ N/cm, odpor med pragi in tirnico je $r^* = 150$ N/cm, površina prečnega prereza tirnice S 49 znaša $S = 62,5$ cm², elastični modul jekla $E = 2,1 \cdot 10^7$ N/cm² in koeficient razteznosti jekla $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5}$.

Ob predpostavki, da temperatura narašča, je treba izračunati temperaturno razliko Δt_R in napetost σ_R , ki sta potrebni, da se premaga

odpor na spojki, temperaturno razliko Δt , in napetost $\sigma_{\Delta r}$, ki sta potrebni, da se premaga odpor med pragi ter tirno gredo, spremembo dilatacije Δl , zaradi premagovanja odpora med pragi in tirno gredo in temperaturo t_z , pri kateri se dilatacija v celoti zapre.

Podoben izračun je treba izdelati tudi za primer padanja temperature, pri čemer je treba upoštevati tudi vpliv zmrznjene tirne grede pri temperaturi pod -5°C .

Rešitev:

Ob predpostavki, da se temperatura dviga, izračunamo najprej dvig temperature, ki je potreben za premagovanje odpora na spojki Δt_R in odpora med pragi in tirno gredo Δt_r , ter napetosti, ki pri tem v tirnici nastanejo:

$$\Delta t_R = \frac{R}{240S} = \frac{100000}{240 \cdot 62,5} = 6,7^\circ\text{C}$$

$$\sigma_R = \frac{R}{S} = \frac{100000}{62,5} = 1.600 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta t_r = \frac{r l}{2 \cdot 240S} = \frac{60 \cdot 5000}{2 \cdot 240 \cdot 62,5} = 10^\circ\text{C}$$

$$\sigma_r = \frac{r l}{2S} = \frac{60 \cdot 5000}{2 \cdot 62,5} = 2400 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

S porastom temperature za $\Delta t_R + \Delta t_r = 6,7 + 10 = 16,7^\circ\text{C}$ (točka 3 na sliki 6) so se v tirnici aktivirali vsi odpori, dilatacija pa se je spremenila za

$$\Delta l_r = \frac{r l^2}{4ES} = \frac{60 \cdot 5000^2}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^7 \cdot 62,5} = 2,9 \text{ mm.}$$

Preostanek dilatacije je razlika med dilatacijo pri vgraditvi tirnice in porabljeno dilatacijo ter znaša $6 - 2,9 = 3,1$ mm. Iskana temperaturna razlika med točko, pri kateri je premagan odpor na spojki in odpor med pragi ter tirno gredo in točko, pri kateri se dilatacija v celoti zapre, sledi iz enačbe (1) in znaša

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{\alpha l} = \frac{3,1 \cdot 10^{-6}}{1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^4} = 5,4^\circ\text{C.}$$

Iz tega sledi, da se dilatacija popolnoma zapre pri temperaturi

$$t_z = t_p + \Delta t_R + \Delta t_r + \Delta t = 12 + 6,7 + 10 + 5,4 = 34,1^\circ\text{C.}$$

Pri rasti temperature med $34,1^\circ\text{C}$, ko je dilatacija že popolnoma zaprta, in $t_{\text{max}} = 65^\circ\text{C}$

narašča napetost po enačbi (4) in pri maksimalni temperaturi doseže naslednjo vrednost:

$$\sigma_{r\text{max}} = \alpha E \Delta t = 240 \Delta t = 240(65 - 34,1) = 7416 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}.$$

Pri padanju temperature veljajo za premagovanje odpora na spojki in odpora med pragi in tirno gredo iste enačbe. Temperatura, pri kateri sta premagana odpor na spojki Δt_R in odpor med pragi in tirno gredo Δt_r , je $-4,7^\circ\text{C}$, pri čemer se dilatacija odpre, enako kot v prejšnjem primeru, za 2,9 mm (točka 3*, slika 6).

Od te točke dalje pa je postopek nekoliko drugačen. Ker gre za nizke temperature in zmrznjeno tirno gredo, je treba upoštevati tudi odpor trenja med tirnico in pragi, ki se aktivira v primeru, če je $r^* > r$. Ob predpostavki, da je učinek zmrzovanja povprečno zablata grede, pri katerem je $r^* > r$, opazen šele pri temperaturi -5°C , lahko padec temperature med $-4,7^\circ\text{C}$ in -5°C , pri katerem bi se tirnica prosto krčila, zanemarimo. Pri temperaturi

pod -5°C pa se aktivira odpor med tirnico in pragom, kar pomeni, da je treba premagati razliko obeh odporov $\Delta r = r^* - r$. Za premagovanje te razlike mora temperatura pasti še za nadaljnjih (enačba 8)

$$\Delta t_{zr} = \frac{\Delta r l}{2 \cdot 240S} = \frac{(150 - 60) \cdot 5000}{2 \cdot 240 \cdot 62,5} = 15^\circ\text{C.}$$

Dilatacija se pri tem odpre za

$$\Delta l_{zr} = \frac{\Delta r l^2}{4ES} = \frac{90 \cdot 5000^2}{2,1 \cdot 10^7 \cdot 62,5} =$$

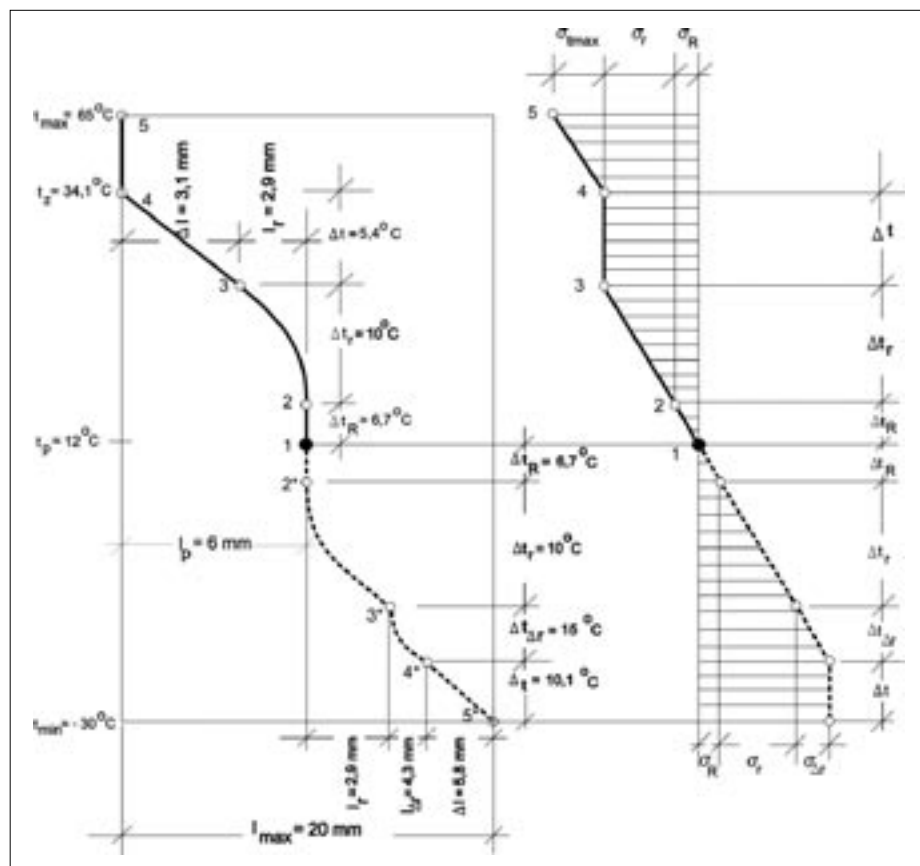
$$= 0,43 \text{ cm} = 4,3 \text{ mm,}$$

napetosti pa se pri tem povečajo za

$$\sigma_{zr} = \frac{r l}{2S} = \frac{90 \cdot 5000}{2 \cdot 62,5} = 3590 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}.$$

Vsi odpori so torej premagani pri temperaturi

$$t_o = t_p - \Delta t_R - \Delta t_r + \Delta t_{zr} = 12 - 6,7 - 10 - 15 = -19,7^\circ\text{C,}$$



Slika 6 • Primer 2

pri čemer se dilatacija odpre za

$$\Delta l = l_p + l_r + l_{zv} = 6 + 2,9 + 4,3 = 13,2 \text{ mm}$$

Do najnižje temperature se dilatacija lahko odpre še za 5,8 mm. To vrednost dobimo,

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{\alpha l} = \frac{5,8 \cdot 10^{-6}}{1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^4} = 10,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

če od predhodnega podatka $\Delta l = 13,2$ mm odštejemo dilatacijo pri polaganju $l_p = 6$ mm. Da bi se dilatacija odprla še za 5,8 mm, mora temperatura pasti za

Dilatacija se torej popolnoma odpre pri temperaturi $t_0 = -19,7 - 10,1 = -29,8$ °C. Pri tem ni dodatnih napetosti, saj gre v tem delu za kratko tirnico, pri kateri dilatacija pri minimalni možni temperaturi še ni v celoti odprta.

Grafična ilustracija tega primera je podana na sliki 6.

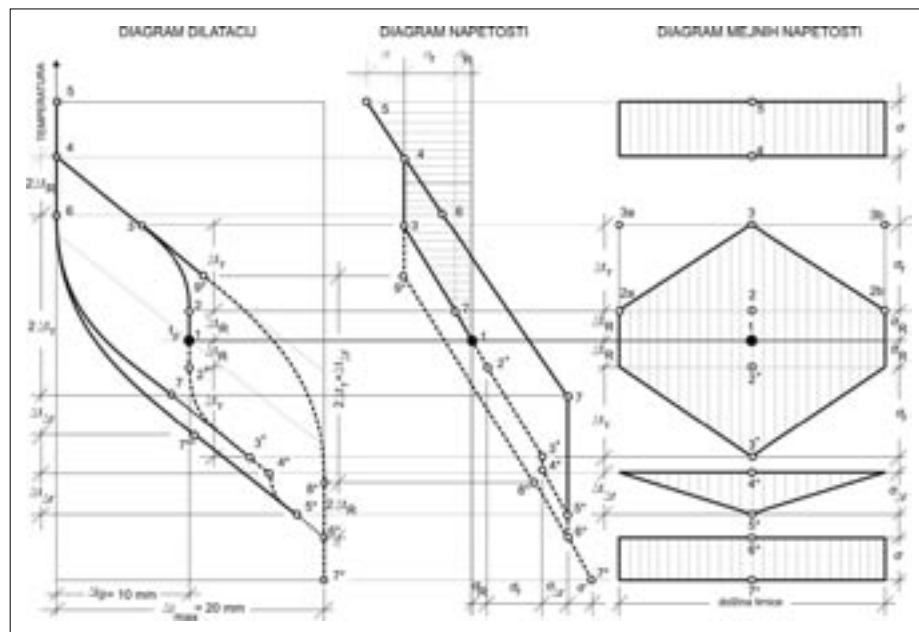
4 • TRENJSKO POLOŽENA TIRNICA PRI TEMPERATURNEM OBRATU

Pri dosednji obravnavi napetosti v tirnici zaradi temperaturnih sprememb smo izhajali iz predpostavke, da je tirnica položena v breznapetostnem stanju in da nato temperatura narašča do t_{\max} oziroma da pada do t_{\min} . Obravnavali smo torej le dogajanja, ki so posledica spremembe temperature v eni smeri, ne pa dogajanj pri temperaturnem obratu, ko temperatura najprej narašča, potem pa začne padati, in obratno. Ta dogajanja sicer niso pomembna za ugotavljanje ekstremnih vrednosti napetosti in dilatacij, podrobno pa prikazujejo potek krčenja in raztezanja tirnice in potek spreminjanja napetosti v tirnici v daljšem časovnem obdobju, kar je za razumevanje dogajanj v tiru še kako pomembno. Poglejmo, kaj se dogaja, kadar temperatura v nekem trenutku spremeni svoj predznak. Dogajanja v tirnici pri temperaturnem obratu so najboljše razvidna z grafičnega prikaza na sliki 7.

Na sliki 7 so vzporedno prikazani diagram dilatacij, diagram napetosti in razpored napetosti po dolžini tirnice v obliki diagrama mejnih napetosti.

Izhodišče je točka 1, v kateri je tirnica položena pri srednji temperaturi t_p in s srednjo dilatacijo Δl_p v breznapetostnem stanju. Pri porastu temperature v smeri točke 2 se dilatacija ne spreminja, dokler ni premagan odpor spojke R. Za premagovanje tega odpora mora temperatura narasti za Δt_r (enačba 6), pri čemer napetost na celi dolžini tirnice (glej ploskovni razpored napetosti) naraste za σ_r (enačba 7), točka 2.

Ko je odpor spojke premagan, se pri nadaljnjem porastu temperature tirnica prične raztezati, začneši na obeh koncih tirnice proti sredini. Dokler raztezanje ne doseže sredine tirnice, se dilatacija med točko 2 in 3 manjša po kvadratni parabolni. Grafično je to razvidno z diagrama mejnih napetosti na desni strani slike, kjer v trikotnikih 3a–2a–3 in 3b–2b–3



Slika 7 • Diagram dilatacij, napetosti in mejnih napetosti

ni napetosti, saj se sprostijo na račun spremembe dilatacije. Sprememba dilatacije je enaka integralu površine v omenjenih trikotnikih.

V točki 3 je odpor trenja med pragi in tirno gredo premagan, celotna tirnica je v gibanju. Za premagovanje tega odpora mora temperatura narasti za Δt_r (enačba 8), napetost pa za σ_r (enačba 9).

Če temperatura še narašča in dilatacija še ni zaprta, se do točke 4 tirnica prosto razteza, dilatacija pa se zapira po enačbi (1) in se v točki 4 popolnoma zapre. Napetost od točke 3 do točke 4 ne narašča.

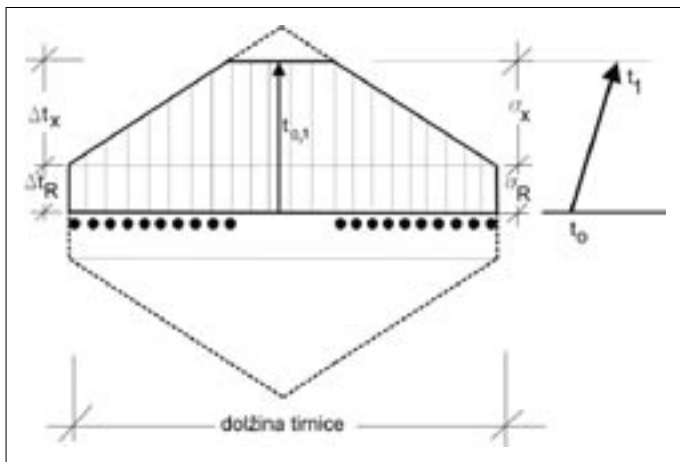
V točki 4 se dilatacija popolnoma zapre, pri nadaljnjem porastu temperature do zgornje meje temperaturnega razpona, do točke 5, pa napetost v tirnici zopet narašča po enačbi (4).

V točki 5 je dosežena najvišja možna temperatura v tirnici na našem geografskem območju, in sicer +65 °C. V tej točki pride do temperaturnega obrata, temperatura prične zopet padati.

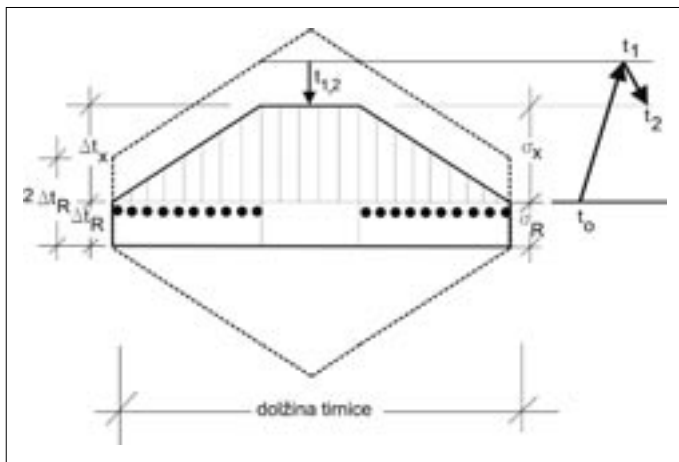
Opazujemo sedaj krčenje tirnice, če se temperatura znižuje do spodnje temperaturne meje. Znižanje temperature od točke 5 do točke 4 se odraža v znižanju napetosti po celotni dolžini tirnice, medtem ko dilatacija ostane zaprta.

Pri nadaljnjem padanju temperature je treba najprej premagati odpor na obeh spojkah in odpor trenja med pragi in tirno gredo na obeh polovicah tirnice. Za prehod od točke 4 do točke 6 se mora torej temperatura znižati za $2\Delta t_r$, pri čemer napetost pade za $2\sigma_r$.

Šele od točke 6 dalje se prične tirnica krčiti. Podobno kot pri spojki je za premagovanje odpora trenja med pragi in tirno gredo na celi



Slika 8 • Napetosti po dolžini tirnice 0-1



Slika 9 • Napetosti po dolžini tirnice 0-1-2

dolžini tirnice potreben padec temperature za $2\Delta t_r$, posledica tega pa je padec napetosti za $2\sigma_r$. Parabola med točko 6 in točko 7 ima v začetni točki 6 ordinato $2\Delta t_r$ in absciso 0, v končni točki 7 pa ordinato 0 in absciso $2\Delta l_r$. V točki 7 je zopet celotna tirnica v gibanju in se pri nadaljnjem padanju temperature krči do točke 4*.

Ker je točka 4* že v coni zmrzovanja tirne grede, je od tu dalje treba upoštevati še odpor med tirnico in pragom r^* , ki se aktivira pri nizkih temperaturah in je za $\Delta r = r^* - r$ večji od odpora med pragom in tirno gredo. Za premagovanje tega odpora mora temperatura pasti še za

$$\Delta t_{2,1} = \frac{\Delta r l}{2 \cdot 2405}, \quad (15)$$

napetost pa naraste za

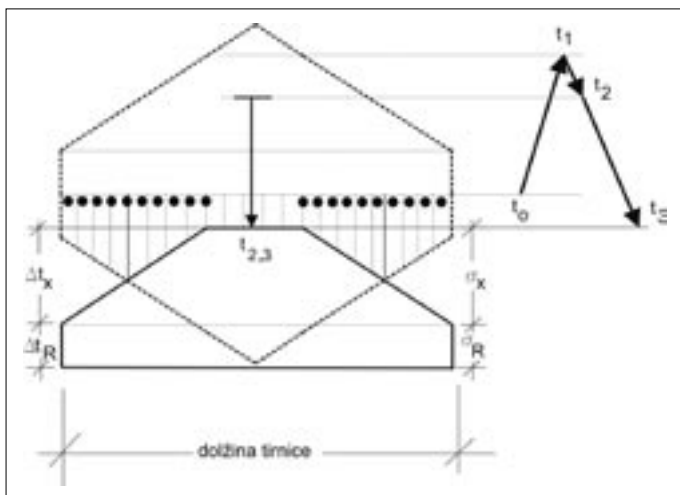
$$\sigma_{2,1} = \frac{\Delta r l}{25}. \quad (16)$$

V točki 5* so vsi odpori premagani, pri nadaljnjem padanju temperature se v točki 6* dilatacija v celoti odpre, nato pa do točke 7* napetost v celotni dolžini tirnice narašča. V točki 7* temperatura v tirnici doseže svojo najnižjo vrednost, nakar se postopek ponovi v obratni smeri.

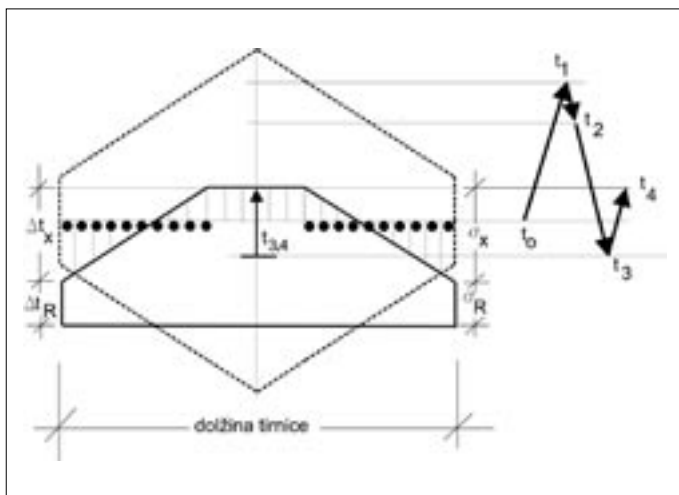
Kot sledi iz slike 7, lahko namesto krivulje preko točk 6-7-3*-4*-5* upoštevamo krivuljo preko točk 6-7*-5*, ne da bi to vplivalo na rezultat.

V točkah 5 in 7* dosežemo v sredini tirnice največje natezne oziroma tlačne napetosti. Napetosti na tirnih stikih so manjše, kar je pomembno z vidika proučevanja stabilnosti tira kot celote.

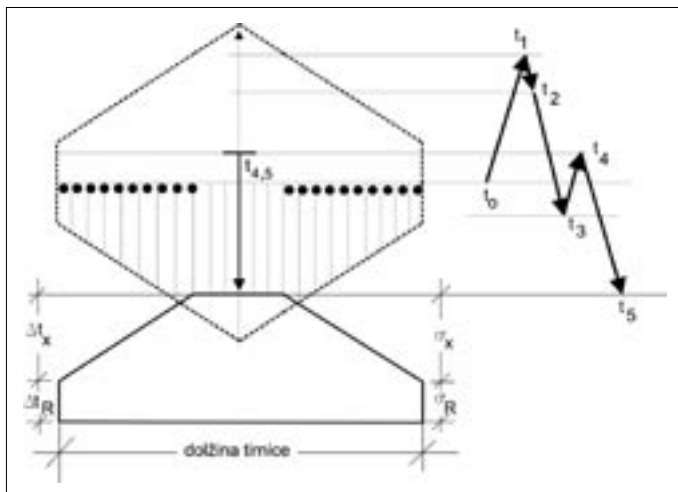
Oglejmo si še, kako se pri spreminjanju predznaka temperature spreminjajo napetosti v tirnici po njeni celotni dolžini. Potek je razviden s slike 8, slike 9, slike 10, slike 11 in slike 12, na katerih je na abscisi prikazana dolžina tirnice, na ordinati pa temperatura oziroma napetosti. Na desni strani vsake slike je prikazan potek spreminjanja temperature.



Slika 10 • Napetosti po dolžini tirnice 0-1-2-3



Slika 11 • Napetosti po dolžini tirnice 0-1-2-3-4



Slika 12 • Napetosti po dolžini tirnice 0-1-2-3-4-5

5 • KRATKA IN DOLGA TIRNICA TER NEPREKINJENO ZAVARJENI TIR

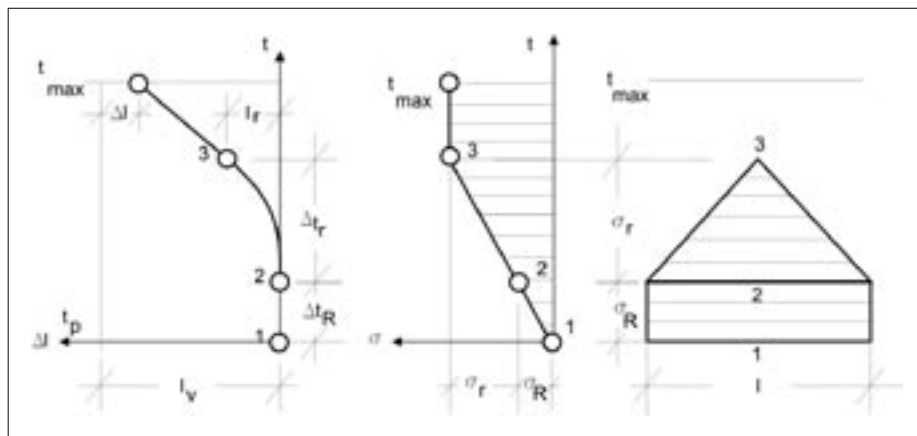
Enako kot pri breztrejnjsko položeni tirnici tudi pri trenjsko položeni tirnici ločimo temperaturno dolge in temperaturno kratke tirnice. Temperaturno dolga in temperaturno kratka tirnica sta kot detajl slike 7 prikazani na sliki 13 in sliki 14, na sliki 15 pa je prikazan mejni primer med temperaturno dolgo tirnico in neprekinjeno zavarjenim tirnom.

Pri temperaturno kratki tirnici se tirni stik (dilatacija) pri najvišji temperaturi še ne zapre, pri najnižji temperaturi pa se še ne odpre v celoti. Napetosti v tirnici nastanejo le zaradi premagovanja odpora na spojki σ_R in odpora med pragi in tirno gredo σ_r .

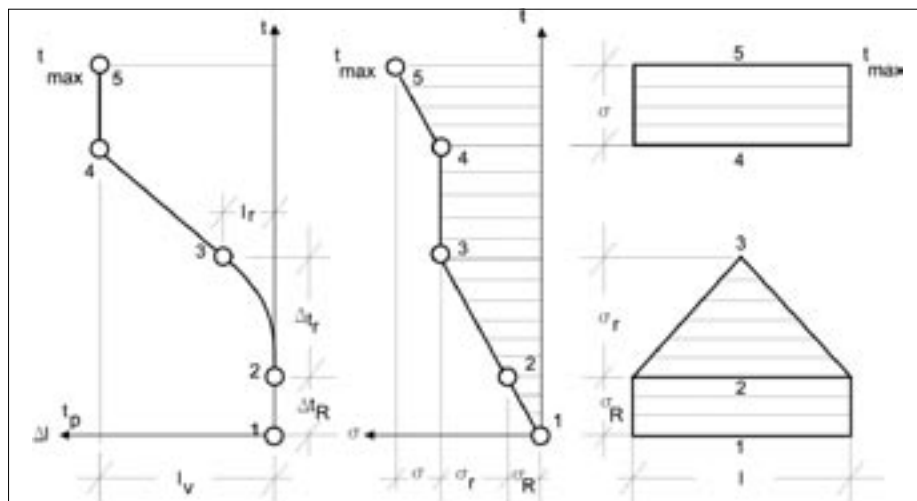
Pri temperaturno dolgi tirnici se tirni stik zapre, preden nastopi najvišja temperatura, oziroma se v celoti odpre, preden nastopi najnižja temperatura. Napetosti, ki nastanejo v tirnici, so posledica premagovanja odpora na spojki σ_R , odpora med pragi in tirno gredo σ_r , in odpora, ki nastane zaradi onemogočenega raztezanja oziroma krčenja na stiku σ .

Mejni primer med dolgo tirnico in neprekinjeno zavarjenim tirnom nastopi takrat, kadar se pri naraščanju temperature dilatacija zapre v trenutku, ko sta premagana celoten odpor na spojki kot tudi celoten odpor med pragi in tirno gredo oziroma ko se pri padanju temperature, v enakem primeru, dilatacija v celoti odpre.

Neprekinjeno zavarjeni tir je za razliko od klasičnega stikovanege tira posebna oblika tira. Gre za tir brez stikov ne glede na njegovo dolžino in pomeni najsodobnejšo konstrukcijo zgornjega ustroja proge. Težnje za grad-



Slika 13 • Temperaturno kratka tirnica



Slika 14 • Temperaturno dolga tirnica

njo takega tira so se pojavile že kmalu po začetku gradnje prog, saj so bile že takrat poznane pomanjkljivosti stikovanelega tira, ki so se odražale predvsem v slabši stabilnosti tira, v potrebi po pogostem podbijanju tirnih stikov in v posledično višjih stroških vzdrževanja prog. Že pri stikovanelem tiru je šel razvoj v smeri povečevanja dolžine tirnic tudi preko mere, ki so jo še dopuščale konstrukcijsko razpoložljive dilatacije. To je do določene mere omogočal vedno boljši pritrilni pribor in posledično večji odpor med pragi in tirno gredo, vendar tudi v tem primeru tirni odseki brez stikov niso smeli biti daljši od 45 m.

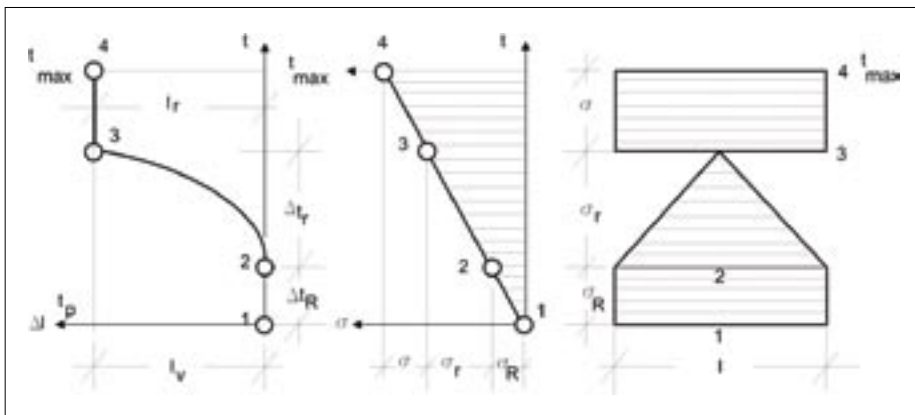
O neprekinjeno zavarjenem tiru govorimo takrat, kadar se dilatacija pri naraščanju temperature zapre oziroma pri padanju temperature v celoti odpre, preden preide celotna tirnica v gibanje. Rečemo lahko tudi, da neprekinjeno zavarjeni tir, pri katerem je dilatacija pri polaganju l_v manjša od spremembe dolžine tirnice Δl_r , v celotni dolžini premaga odpor med pragi in tirno gredo. Slika napetosti in dilatacij v neprekinjeno zavarjenem tiru je razvidna s slike 16, medtem ko je mejni primer med klasičnim in neprekinjeno zavarjenim tirom prikazan na sliki 15.

Kot je razvidno iz desnega dela slike 16, je za neprekinjeno zavarjeni tir značilno, da je sestavljen iz treh delov, srednjega mirujočega dela in dveh skrajnih, gibljivih delov. Dolžina mirujočega dela je teoretično lahko poljubno velika, medtem ko sta oba skrajna dela dolga okrog 80 m. Dolžino gibljivega dela x najlažje ugotovimo, če predpostavimo, da se tir pri najnižji temperaturi -30°C nenadoma pretrga. Iz enačbe za največjo mejno napetost pri najnižji temperaturi, pri $R = 0$ in $r = 90\text{ N/cm}$, lahko dolžino gibljivega dela x za tirnico S 49 (površina prereza tirnice $S = 62,5\text{ cm}^2$) izračunamo, kot sledi:

$$\sigma = \frac{R + rx}{S} = 240\Delta t = 240 \cdot 45,5 = 10920 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$x = \frac{\sigma S - R}{r} = \frac{10920 \cdot 62,5 - 0}{90} = \frac{F}{r} = \frac{682500}{90} = 75,8 \text{ m.}$$

V neprekinjeno zavarjeni tir vgrajujemo tirnice le pri ustrezni temperaturi in v breznapetostnem stanju. Glede na temperaturni interval od -30 do $+65^\circ\text{C}$, v katerem se gibljejo



Slika 15 • Mejni primer med temperaturno dolgo tirnico in neprekinjeno zavarjenim tirom

temperature na našem klimatskem območju, znaša srednja letna temperatura $17,5^\circ\text{C}$. Tako imenovano potrebno temperaturo določimo tako, da srednjo letno temperaturo povečamo za 5°C , torej na $22,5^\circ\text{C}$. Ob upoštevanju tolerance 3°C dobimo temperaturni interval od $+19,5$ do $25,5^\circ\text{C}$, v katerem se mora izvesti končno varjenje in pritrditvev tirnic, ki so bile predhodno sproščene vseh napetosti.

Iz tega sledi, da znaša največja mogoča temperaturna razlika pri naraščanju temperature $45,5^\circ\text{C}$, največja mogoča temperaturna razlika pri padanju temperature pa $49,5^\circ\text{C}$. Največje tlačne napetosti v mirujočem delu neprekinjeno zavarjenega tira tako lahko dosežejo vrednost

$$\sigma = 240 \cdot 45,5 = 10920 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

največje natezne napetosti pa

$$\sigma = 240 \cdot 49,5 = 11880 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

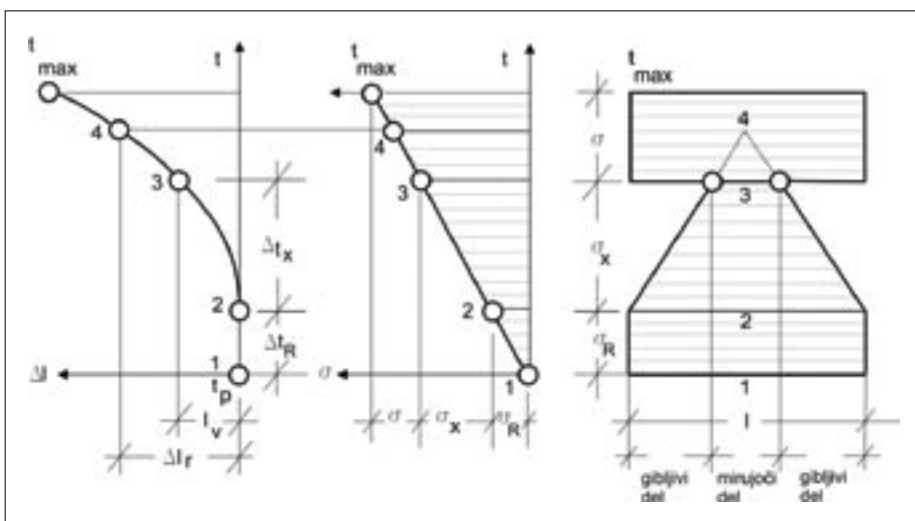
To pomeni, da lahko npr. v tirnici S 49 pri najvišji temperaturi 65°C pride do tlačne sile

$$F = \sigma S = 10920 \cdot 62,5 = 682500 \text{ N,}$$

pri najnižji temperaturi -30°C pa do natezne sile

$$F = \sigma S = 11880 \cdot 62,5 = 742500 \text{ N.}$$

Te sile je treba na ustrezen način obvladati, da se izognemo izbočenju (uklonu) tira pri najvišjih temperaturah oziroma pretrganju tira pri najnižjih temperaturah.



Slika 16 • Dilatacije in napetosti v neprekinjeno zavarjenem tiru

6 • GRADNJA NEPREKINJENO ZAVARJENEGA TIRA

Pod gradnjo neprekinjeno zavarjenega tira razumemo polaganje, regulacijo in stabilizacijo tira, vgrajevanje kap proti prečnemu premiku tira, vgrajevanje naprav proti vzdolžnemu premiku tirnic, varjenje tirnic v odseke, sproščanje tira ter zaključno varjenje tirnic pri ustrezni temperaturi.

Neprekinjeno zavarjeni tir se lahko zgradi le ob pogoju, da je spodnji ustroj proge brezhibno urejen in stabilen. Tirna greda mora biti dobro zgoščena in ojačana. Od čela praga navzven mora biti široka najmanj 50 cm oziroma najmanj 40 cm, če je dobro zbita in zvibrirana ali ojačana z dodatnim nasutjem tolčenca v višini 13 cm nad zgornjim robom praga.

V ostrejših krivinah je treba vgraditi kape proti bočnemu premiku tira na način, ki je razviden iz preglednice 1.

Na obeh skrajnih gibljivih delih neprekinjeno zavarjenega tira, 50 do 80 m od tirnega stika, se vgradijo ostrorobi pragi in posebne naprave proti vzdolžnemu premiku tirnic.

Odločitev za gradnjo neprekinjeno zavarjenega tira mora biti sprejeta že pred naročanjem tirnic. Za vgrajevanje v neprekinjeno zavarjeni tir se namreč naročajo čim daljše tirnice, samo z eno, to je z drugo luknjo na vsakem koncu tirnice. Pri odločanju o dolžini tirnic je treba poleg cene upoštevati tudi možnost transporta

tirnic na gradbišče in vrsto mehanizacije, ki je na razpolago za polaganje tirnic.

Faza polaganja tira pri neprekinjeno zavarjenem tiru je enaka kot pri klasičnem stikovnem tiru, s tem da se tirnice v prvem primeru vgrajujejo z začasnimi dilatacijami. Te so odvisne od temperature pri vgrajevanju tirnic in znašajo 10 mm pri temperaturi < 10 °C, 5 mm pri temperaturi med 10 in 20 °C in 0 mm pri temperaturi > 20 °C. Po položitvi in grobi regulaciji tira se tirnice najprej varijo v odseke, katerih dolžina je mnogokratnik dolžine vgrajenih tirnic. Iz praktičnih razlogov naj bi dolžine teh odsekov ne presegle 360 m. Varjenje tirnic v odseke se lahko izvede pri poljubni temperaturi, najbolje pa je varjenje izvesti v temperaturnem intervalu od 5 do 40 °C. Odvisno od temperature, pri kateri je bila tirnica zavarjena v odseke, se bo ta pri kasnejšem sproščanju bodisi skrčila in bo potrebno vgraditi novo spojno tirnico bodisi podaljšala in bo potrebno tirnico odrezati.

Zaključno varjenje odsekov v neprekinjeno zavarjeni tir se izvede šele, ko je tir smerno in višinsko popolnoma urejen in stabiliziran ter ko so tirnice sproščene vseh napetosti v temperaturnem intervalu od 19,5 do 25,5 °C. Po sproščanju tirnic in končnem varjenju je treba

tirnice čim hitreje pritrditi na prage, začevši od prostega konca proti že urejenemu tiru. Podrobnejši tehnološki proces sproščanja in zaključnega varjenja posameznih tirnih odsekov v neprekinjeno zavarjeni tir se izvaja po naslednjem zaporedju:

- pripravljalna dela (delno odvijanje pritrdilnega pribora, priprava zapore tira),
- zapora tira in dokončna odstranitev vsega pritrdilnega pribora,
- dvig tirnic na valjčke in sproščanje tirnic,
- ponovno polaganje tirnic na podložne plošče in delno pritrditev tirnega pribora,
- zaključno varjenje sproščanih odsekov pri temperaturi od 19,5 do 25,5 °C,
- dokončna pritrditev tirnic na prage,
- izpolnitev evidenčnega obrazca o času in temperaturi varjenja v neprekinjeno zavarjeni tir.

Varjenje v odseke in končno varjenje se izvaja neposredno na terenu po alumotermitskem postopku. Najprimernejša letna časa za sproščanje in zaključno varjenje tira sta pomlad in jesen, ko se temperature v tirnicah gibljejo približno v predpisanem intervalu. Kadar ni mogoče doseči predpisanega temperaturnega intervala po naravni poti, se lahko uporabijo posebne hidravlične naprave za raztezanje tirnic (tirni tenzorji) ali pa se tirnice umetno segrevajo s ciljem, da se umetno ustvarijo isti pogoji kot v predpisanem temperaturnem intervalu.

Oba postopka se lahko izvajata le pri temperaturah, ki so nižje od predpisanega intervala. Segrevanje tirnic se izvaja s posebnimi propanskimi grelci in se vedno prične na sredini sproščene tirnega odseka ter izvaja v obe smeri, dokler se v tirnici ne doseže predpisane temperature. Potrebno podaljšanje tirnic pri hidravličnem raztezanju se izračuna po enačbi (1), kjer je Δt razlika med potrebno in dejansko temperaturo tirnice. Izračunano vrednost potrebnega podaljšanja tirnice se proporcionalno porazdeli po vsej dolžini tirnice.

	Polmer krivine v m		
	Kape na vsakem 3. pragu	Kape na vsakem 2. pragu	Kape na vsakem pragu
Leseni pragi	< 500–350	< 350–280	< 280
Betonski pragi	< 400–310	< 310–250	< 250

Preglednica 1 • Vgrajevanje kap proti prečnemu premiku tir

7 • SKLEP

Napetosti v tirnicah zaradi temperaturnih sprememb predstavljajo potencialno nevarnost za stabilnost tira in posledično za varnost železniškega prometa. Zato ni le slučaj, da je bilo teoriji napetosti v tirnicah zaradi temperaturnih sprememb posvečeno veliko razisko-

valnega dela in praktičnih poskusov na terenu. Poleg varnosti železniškega prometa je zelo pomemben tudi gospodarski vidik tega problema. Kratke tirnice in posledično veliko število tirnih stikov so v preteklosti zahtevali zelo visoke stroške vzdrževanja železniških prog,

stabilnost in kakovost tira pa sta bila kljub temu na razmeroma nizki ravni. Uvedba neprekinjeno zavarjenega tira, ki jo je omogočilo poglobljeno poznavanje teorije napetosti in sil zaradi temperaturnih sprememb v zgornjem ustroju železniških prog, je pomembno vplivala na racionalnost vzdrževanja železniških prog, na večjo varnost železniškega prometa in ne nazadnje na uvajanje visokih hitrosti v železniškem prometu.

8 • LITERATURA

- Esveld, C., *Modern Railway Track*, Delft, TU Delft, 2001.
 Fastenrath, F., *Die Eisenbahnschiene*, Berlin, Wilhelm Ernst und Sohn, 1977.
 Fuehrer, G., *Oberbauberechnung*, Berlin, Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 1978.
 Milojković, T., *Gornji stroj železnica*, Beograd, ZNIPD, 1986.
 Siegmann, J., *Schienenfahrwege und Bahnbetrieb*, Berlin, Technische Universität Berlin, 1999.
 Uradni list RS 14., Pravilnik o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog, Ljubljana, 2003.

PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN PREDVIDENI IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2011

SEMINARJI	PREDVIDENI DATUMI IZPITOV	
	Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
14.–16. 02. 2011	22. 03. 2011 (po potrebi še 21. in 23. 03. 2011)	16. 03. 2011
11.–13. 04. 2011	24. 05. 2011 (po potrebi še 23. in 25. 05. 2011)	
03.–05. 10. 2011	08. 11. 2011 (po potrebi še 7. in 09. 11. 2011)	20. 10. 2011

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana;**

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199; e-naslov: gradb.zveza@siol.net;
gradbeni.vestnik@siol.net.

Uradne ure:

ponedeljek, torek, četrtek od 10.00 do 14.00 ure;
 sreda od 12.00 do 16.00 ure.

V petek NI URADNIH UR za stranke!

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za kandidate, ki opravljajo dopolnilni strokovni izpit; predavanje se odvija v okviru rednih seminarjev).
5. Kandidati drugih strok lahko poslušajo posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev.

(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS – MSG:

<http://www.izs.si> v rubriki »Strokovni izpiti«)

Cena za udeležbo na seminarju (za predavanje in literaturo) po izpitnih programih pod 1., 2. in 3. točko znaša 613,00 EUR z DDV, pod 4. točko pa 87,63 EUR z DDV. Cena za udeležbo na posameznem predavanju je 87,63 EUR z DDV.

Kotizacijo za seminar je potrebno nakazati ob prijavi na poslovni račun ZDGITS: **SI56 0201 7001 5398 955**, kopijo dokazila o plačilu pa priložiti k prijavi!

Prijavo je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje **15 dni pred pričetkom** seminarja (z obvezno prilogo dokazila o plačani kotizaciji)!

Prijavni obrazec je mogoče dobiti na spletni strani ZDGITS (<http://www.zveza-dgits.si>).

Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20).

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije o strokovnih izpitih in izpitnih programih je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si> ali po telefonu (01) 547-33-19 ob uradnih urah (ponedeljek, sreda, četrtek, petek: od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure).