

Iztok KLEMENC
mag., univ.dipl.inž.grad., Zavod za gradbeništvo Slovenije

Sebastian TRAJKOVSKI
univ.dipl.inž.grad., Zavod za gradbeništvo Slovenije

PREGLED ZAHTEV NA PODROČJU PREDNAPETIH GEOTEHNIČNIH SIDER

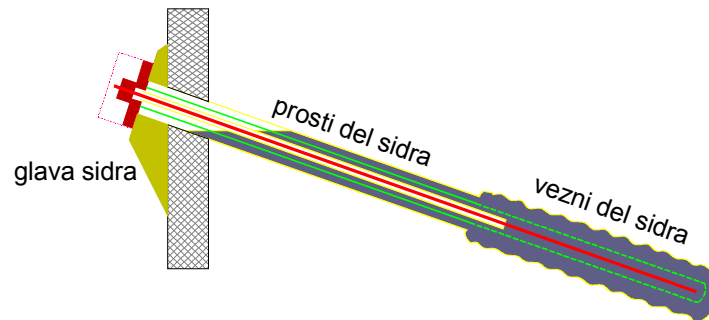
POVZETEK: V prispevku je podan opis zahtev za prednapeta geotehnična sidra. Zahteve za projektiranje, izvedbo in kontrolo prednapetih sider določajo Tehnične specifikacije za javne ceste TSC 07.202 "Geotehnična sidra", ki skupaj s Priporočilom SIA V 191 in Eurocode 7 tvorijo celoto. Podana je tudi primerjava novega slovenskega standarda SIST EN 1537 z zahtevami Priporočila SIA V 191 glede kakovosti materialov sestavnih elementov sider in oblikovanja sider ter nosilnosti in protikorozijske zaščite. Pri trajnih prednapetih geotehničnih sidrih vgrajenih v okviru Nacionalnega programa izgradnje avtocest pa je potrebno s predhodnimi preskusi ugotoviti ali predvideni sestavni materiali sidra in konstruktivni detajli izpolnjujejo predpisane zahteve. V zadnjem delu je zato opisan postopek vrednotenja skladnosti trajnih prednapetih geotehničnih sider s predpisanimi zahtevami, ki se izvaja skladno s certifikacijsko shemo neodvisnega certifikacijskega organa Zavoda za gradbeništvo Slovenije.

REVIEW OF THE REQUIREMENTS FOR PRESTRESSED GROUND ANCHORS

SUMMARY: Review of the requirements for prestressed ground anchors is described in the paper. Requirements for design, execution and supervision for prestressed anchors are given in the Technical specifications for the public roads TSC 07.202 "Ground anchors", which are based on the Swiss Recommendation SIA V 191 and Eurocode 7. The comparison of the new Slovenian standard SIST EN 1537 with the Recommendations SIA V 191 for material requirements, design of the anchors, anchor resistance and corrosion protection is presented. Permanent ground anchors used within the National program for building highways have to be preliminary tested to determine whether the anticipated materials and design consideration fulfil the prescribed requirements. Therefore, in the last part of the paper the procedure for the assesment of the conformity for permanent ground anchors is described. The procedure is carried out according to the certification scheme of the independent certified body of the Slovenian National Building and Civil Engineering Institute.

SPLOŠNO O PREDNAPETIH GEOTEHNIČNIH SIDRIH

Prednapeta geotehnična sidra so konstrukcijski elementi, ki preko visokovrednih jeklenih pramen prenašajo natezne sile s sidrane konstrukcije v temeljna tla. Geotehnična sidra se od ostalih konstrukcijskih elementov ločijo med drugim tudi po tem, da po vgradnji v vrtino in zalitju s cementno injekcijsko maso v pretežni meri niso več dostopna, zato tudi ni več možna njihova neposredna kontrola. Prednapeta sidra so po definiciji sidra, pri katerih tekom življenjske dobe zaradi zunanjih vplivov nastopijo le majhne spremembe sidrne sile. Sestavljena so iz sidrne glave ter prostega in veznega dela sidra, slika 1.



Slika 1. Shematičen prikaz prednapetega sidra.

V območju glave sidra se izvaja vnos sile v sidro in prenos sile na sidrano konstrukcijo. Prenos sile iz glave sidra v vezni del, kjer se sidrna sila prenaša v temeljna tla, pa se vrši preko proste dolžine sidra. Prosta dolžina sidra mora zaradi specifičnega obnašanja prednapetega sistema in kasnejših vplivov na silo v sidru tekom življenjske dobe znašati vsaj 7 m, pri čemer se je potrebno prilagoditi geomehansko-geološkim lastnostim temeljnih tal v zaledju ter zagotoviti zahtevan (projektiran) vnos sidrne sile v zaledje. Sidrne sile so odvisne od deformacij oz. pomikov sidrane konstrukcije, zato morajo pramena v prostem delu sidra tekom življenjske dobe ohraniti sposobnost prostega gibanja znotraj zaščitnega ovoja sidra. Vzdolž veznega dela sidra morajo imeti vse plasti temeljnih tal približno enako nosilnost ter približno enake deformacijske lastnosti. Dolžina veznega dela sidra je na eni strani odvisna od velikosti vnešene sidrne sile, na drugi strani pa od geološko-geomehanskih karakteristik temeljnih tal za prevzem te sile.

Glede na predvideno življensko dobo in pogoje vgradnje ločimo **trajna in začasna sidra**. Vsa sidra vgrajena v agresivno okolje, sidra izpostavljena blodečim tokovom ter sidra s predvideno življensko dobo več kot 2 leti morajo biti oblikovana kot trajna sidra in morajo svojo funkcijo opravljati celotno predvideno življensko dobo sidranega objekta. Ostala sidra, ki bodo svojo funkcijo opravljala le omejen čas (tj. do 2 leti) pa so lahko oblikovana kot začasna sidra. Za obe vrsti sider veljajo enake zahteve glede nosilnosti, bistveno pa se razlikujejo zahteve pri oblikovanju protikorozijske zaščite. Osnovno vodilo pa v obeh primerih predstavlja zahteva, da je koncept protikorozijske zaščite zasnovan tako, da bo verjetnost pojava nesprejemljivih korozijskih poškodb tekom življenjske dobe sider minimalna. Materiali, ki se uporabljajo za protikorozijsko zaščito pramen in drugih jeklenih delov sider pa morajo biti med seboj skladni in v nobenem primeru ne smejo škodljivo vplivati na lastnosti napetega jekla.

Trajna sidra morajo tako izpolnjevati zahteve celovite protikorozijske zaščite, pri čemer morajo biti jeklena pramena vzdolž celotne dolžine obdana s kemijsko obstojnim, difuzijsko dovolj gostim in električno izolacijskim zaščitnim ovojem, ki je običajno izveden iz trdega polietilena. Na ta način je preprečen dostop vode in kisika do visokovrednih jeklenih pramen, ki so zelo dovzetna za raznovrstne tipe korozije od lokalnih napadov korozije, napetostne korozije, vodikove krhkosti ter morebitnega učinkovanja blodečih tokov. Ključnega pomena za trajnost sider je vodotesna izvedba stika med sidrom v vrtini in sidrano konstrukcijo, galvanska ločitev glave sidra od armature sidranega objekta na eni strani in ločitev pramen sidra od temeljnih tal na drugi strani. Nadalje je potrebno preprečiti vdor agresivnega medija (vode) v področje notranjosti glave sidra, ki je s stališča korozijskih procesov najbolj občutljivi del sidra in kjer se preko zagozd vrši prenos sidrne sile iz pramen sidra na sidrno ploščo.

Za začasna sidra je predvidena omejena protikorozijska zaščita, ki obsega v veznem delu sidra le sloj cementne injekcijske mase debeline najmanj 20 mm, medtem ko so v prostem delu pramena oblečena v polietilensko cev napolnjeno s trajnoplastično protikorozijsko maso (običajno vazelinom). Pramena morajo biti zaščiteni vse do točke neposredno za glavo sidra, v območju glave sidra pa je potrebno vse jeklene dele premazati z dobro oprimajočo, vodoodbojno in temperaturno obstojno maso.

Glede na pomembnost zagotavljanja trajne stabilnosti sidranega objekta je temu primerna tudi zasnova sider. Z oblikovanjem zanesljive protikorozijske zaščite prednapetih pramen in trajno ločitvijo jeklenih delov sidra pred dostopom agresivnega medija (vode) ter preprečitvijo elektrolitskih procesov, skušamo zagotoviti, da je življenska doba sider vsaj enaka življenski dobi objekta. Posebnostim in zahtevnostim sider je prilagojen tudi sistem izvajanja kontrole, ki je večplasten ter zajema izdelavo in vgradnjo sider, tako da se:

- pred izdelavo sider izvaja predhodna kontrola sestavnih materialov, pri čemer mora sistem kakovosti proizvajalca sider zagotavljati sledljivost kontrole kakovosti vseh vgrajenih materialov;
- s preiskavami sider za vsak objekt posebej ugotavlja nosilnost veznega dela sider na dani lokaciji in se določijo kriteriji za izvajanje nadaljnjih sidrskih del;
- na vseh trajnih sidrih preverja izpolnjevanje zahtev celovite protikorozijske zaščite.

ZAHTEVE ZA PREDNAPETA GEOTEHNIČNA SIDRA

Pregled tehnične regulative

Skoraj pred 20 leti je bil podan pregled problematike izpostavljenosti geotehničnih sider korozijskim procesom vključno z opisi mehanizmov in tipov korozije, praktičnih primerov obnašanja konstrukcij kot tudi protikorozijske zaščite (FIP State of the art report, 1986 [1]). Zbrani podatki o 35 primerih porušitve trajnih in začasnih sider, opozarjajo na vzroke hudih korozijskih poškodb in posledično tudi porušitev. V dodatku so podane tudi smernice za kontrolo kakovosti masti in plastike. Pri opisu problematike trajnih in začasnih geotehničnih sider se v Priporočilu FIP (FIP Recommendations, 1996 [2]), še posebej opozarja na dejstvo, da je pomanjkanje informacij o temeljnih tleh najpogostejši vzrok za nezadovoljivo obnašanje sider pri preskusnih obtežbah. Sidrna dela je zato potrebno primerno načrtovati ter ustrezno upoštevati možnosti vnosa sidrne sile v temeljna tla. Podani so tudi osnovni koncepti protikorozijske zaščite, napenjalnih preskusov ter opazovanja obnašanja sider.

Leta 1995 izdano Priporočilo SIA V 191 [9], ki je zamenjalo standard SIA 191 (1977) in ki naj bi se uporabljalo do sprejema novih evropskih standardov, velja za projektiranje, izvedbo, preskušanje ter vzdrževanje prednapetih predvsem jeklenih geotehničnih sider. V švicarskem standardu SIA 267:2003 pa so vključena tudi nova dognanja na področju sider. Ministrstvo za promet in zveze Republike Slovenije je leta 1996 pripravilo Tehnične specifikacije za javne ceste, v sklopu katerih je bil izdan SODOC 16, Smernice za geotehnična sidra s katerimi smo tudi pri nas uveljavili SIA V 191 [9]. Leta 1997 je bil v delu projektiranja in ocenjevalnih testov nosilnosti geotehničnih sider SODOC 16 dopolnjen z zahtevami Eurocode 7 glede minimalnega obsega preiskav in postopka vrednotenja rezultatov preiskav sider.

Evropski standard EN 1537:1999 + AC:2000 se uporablja za vgradnjo, preskušanje in kontrolo trajnih in začasnih geotehničnih sider, pri katerih se izvaja kontrola nosilnosti. Osnova za EN 1537 so bili obstoječi standardi za sidranje Velike Britanije, Francije, Nemčije, Švice in Avstrije. Na podlagi številnih praktičnih primerov so vključeni novi koncepti, predvsem metode izvedbe in kontrole protikorozijske zaščite pri trajnih geotehničnih sidrih, kot tudi koncept probabilistične varnosti pri projektiranju. Leta 2002 izdan standard SIST EN 1537 [10], se v praksi že uporablja pri opredelitvi zahtev glede oblikovanja posameznih detajlov in za kontrolo sestavnih materialov, ki niso podani v Navodilih [6] in [7]. Prehod na ta standard bo od proizvajalcev sider kot tudi od izvajalcev sidrskih del zahteval določene prilagoditve. SIST EN 1537 [10] je po svojih zahtevah sicer podoben SIA V 191 [9], vendar se vsebini dokumentov ne prekrivata v celoti. V SIST EN 1537 [10] zajete tudi zahteve za sestavne materiale protikorozijskega ovoja sider.

Tehnične specifikacije za javne ceste TSC 07.202 "Geotehnična sidra" [11] so zamenjale SODOC 16 in se uporabljajo v okviru Nacionalnega programa izgradnje AC v Republiki Sloveniji. Določajo pa kriterije za izvedbo prednapetih geotehničnih sider in se navezujejo ter tvorijo celoto s Priporočilom SIA V 191 [9] in Eurocode 7 [8]. Dodatne zahteve glede kakovosti sestavnih materialov sider in izvedbenih postopkov pa so navedene v Navodilu za vgradnjo trajnih geotehničnih sider [6] ter Navodilu za kontrolo kakovosti in potrjevanje skladnosti materialov trajnih geotehničnih sider [7].

Sestavni materiali in oblikovanje sider

Za dolgoročno varnost sidranih konstrukcij je poleg zasnove in oblikovanja sider, pomembna tudi kakovost sestavnih materialov. Tako SIA V 191 [9] kot tudi SIST EN 1537 [10] zahtevata medsebojno skladnost in združljivost vgrajenih materialov, kar še posebej velja za stikajoče se materiale. Materiali se v predvideni življenski dobi sidra ne bi smeli spremeniti v tolikšni meri, da sidro ne bi več moglo opravljati svoje funkcije oz. da bi bila ogrožena sposobnost prenosa sidrne sile.

V okviru zasnove in oblikovanja sider, kot tudi same kontrole kakovosti sestavnih materialov je SIST EN 1537 [10] podrobnejši od SIA V 191 [9]. Poleg splošnih navodil za kontrolo jeklenih delov in injekcijske mase, SIST EN 1537 [10] zajema tudi minimalne zahteve glede oblikovanje sidra kot tudi kontrolo sestavnih materialov sidra. Standard [10] zahteva, da so zaščitne cevi med transportom, skladiščenjem in vgradnjo nepoškodovane in neprepustne za vodo, odporne proti staranju ter UV žarkom; stiki med plastičnimi elementi pa morajo biti vodotesni. Za razliko od SIA V 191 [9] je dopuščena tudi možnost uporabe PVC cevi, pod pogojem da so le-te odporne proti staranju in ne izločajo prostih kloridov. Glede na premer cevi so podane minimalne debeline sten tako gladkih in rebrastih cevi ter debelina oplaščnih cevi. Za stikovanje zaščitnega ovoja sidra naj se uporabijo elementi iz termoskrčljive plastike, katerih debelina stene po krčenju znaša vsaj 1 mm, pri čemer pri uporabi toplote za krčenje ne sme priti do poškodb ostalih delov protikorozijskega sistema sidra. Za zaščito glav trajnih sider SIST EN 1537 [10] predvideva uporabo pocinkanih ali, z zaščitnim protikorozijskim premazom prevlečenih, kovinskih kap (minimalne debeline sten 3 mm) ali togih plastičnih kap (minimalne debeline sten 5 mm), ki so na podlago pritrjene preko tesnil. V primerih, ko so kape odstranljive, se zapolnijo s plastičnim protikorozijskim sredstvom, sicer pa so lahko zapolnjene tudi s cementno injektirno maso. V informativnem dodatku C standarda [10] se nahajajo tudi smernice s kriteriji sprejemljivosti za viskozna protikorozijska sredstva in primeri standardov za preskušanje njihovih lastnosti. V splošnem delu standarda [10] pa je za viskozna protikorozijska sredstva zahtevana stabilnost proti oksidaciji in odpornost proti bakterijskem in mikrobiološkem napadu.

V sklopu zagotavljanja celovite protikorozijske zaščite, podaja SIA V 191 [9] navodilo, naj se kakovost in debelina materiala zaščitnih cevi oziroma njenih komponent izbereta tako, da med transportom, skladiščenjem, vgradnjo, injektiranjem in napenjanjem sidra ne pride do poškodb. V SIA V 191 [9] je priporočen tudi sistem protikorozijske zaščite jeklenih kap sider, ki je sestavljen iz abrazivnega čiščenja ter dveh temeljnih in pokravnih premazov. Neposredne zahteve za kontrolo sestavnih materialov v SIA V 191 [9] niso navedene.

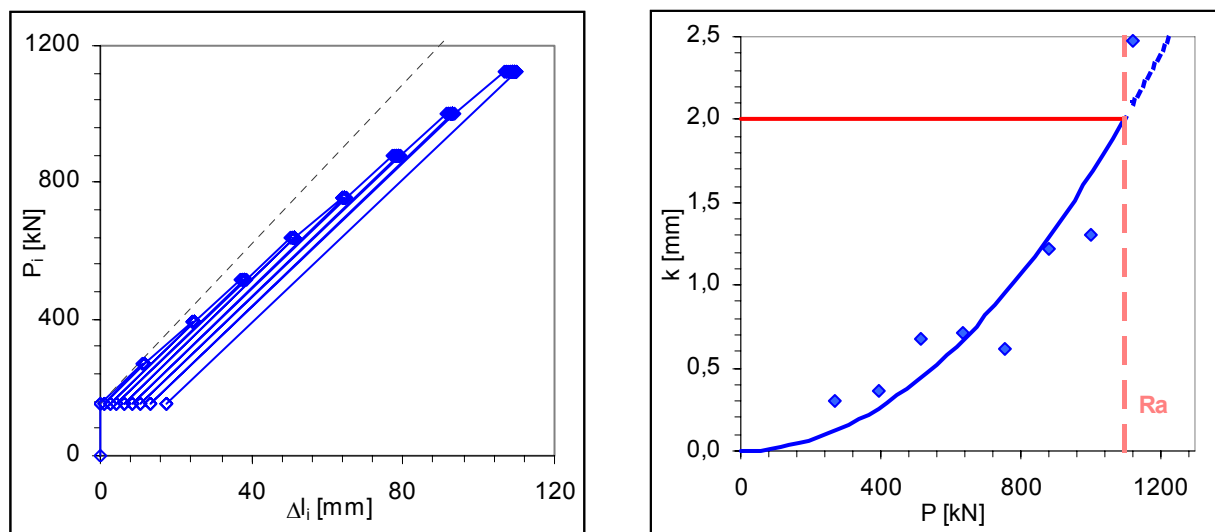
Ena od pomembnejših zahtev SIST EN 1537 [10] glede oblikovanja sidra, ki v SIA V 191 [2] ni predvidena, se nanaša na izvedbo kontrolnih meritev električne upornosti sider z enojnim zaščitnim ovojem. Potrebno je namreč zagotoviti takšno oblikovanje glav sider, ki omogočajo kontrolne meritve električne upornosti kadarkoli v življenski dobi sidra.

Preskušanje in napenjanje sider

Za zagotovitev projektno predvidene nosilnosti prednapetih geotehničnih sider na dani lokaciji je potrebno izvesti preskuse nosilnosti sider. Podobno kot SIA V 191 [9] tudi SIST EN 1537 [10] zahteva, da so preiskave sider potrebne za vsako temeljno področje, kjer še niso bile izvedene, oz. jih je potrebno ponoviti v primerih, ko so potrebne višje delovne sile v sicer že preiskanih temeljnih področjih.

Tudi cilji preiskav sider so primerljivi: rezultati preiskav sider (slika 2) naj pred začetkom vgrajevanja sider objekta zagotovijo podatke o zunanji mejni nosilnosti na stiku injekcijske mase in temeljnih tal, učinkoviti prosti dolžini in kritični meri lezenja oz. kriterije za nadaljnjo izvedbo napenjalnih preskusov.

Po izvedenih napenjalnih preskusih se v primeru izpolnjevanja vseh predpisanih kriterijev sidra lahko zaklinijo, pri čemer je v SIST EN 1537 [10] opuščena kontrola dopustne trajne deformacije.



Slika 2. Rezultati preiskave sidra: diagram sila – deformacija (levo) in mera lezenja v funkciji stopenj sil (desno).

Po SIA V 191 [9] je potrebno vnaprej ali pa na začetku sidrnih del izvesti, za vsako temeljno področje s primerljivimi geotehničnimi lastnostmi, vsaj 3 preiskave sider. Število preiskav je odvisno od velikosti oz. pomembnosti objekta, potencialnega tveganja pri zatajitvi sidranja ter geotehničnih pogojev. Po izvedenih preiskavah sider in določenih kriteriji za napenjanje sider objekta pa je potrebno skladno s Priporočilom [9] vsa prednapeta sidra objekta preveriti s preskusom napenjanja, pri čemer je potrebno pri vsaki skupini sider najprej opraviti 3-stopenjske celovite preskuse napenjanja (CPN) na vsaj 10% vseh sider. Če so ti rezultati v okviru pričakovanih vrednosti, se lahko na preostalih sidrih objekta pristopi k izvedbi 1-stopenjskih enostavnih preskusov napenjanja (EPN).

Podoben sistem preskušanja sider ohranja tudi SIST EN 1537 [10], kjer so predvideni ocenjevalni preskusi (angl. *assessment tests*), kamor sodijo preiskave sider (angl. *investigation tests*) in celoviti preskusi napenjanja (angl. *suitability tests*) ter preskusi sprejemljivosti (angl. *acceptance tests*), v obstoječi praksi imenovani enostavni preskusi napenjanja. Ocenjevalni preskusi kot tudi preskusi sprejemljivosti se lahko izvajajo po eni izmed treh predlaganih metod. Za razliko od trenutno veljavnih zahtev, pa ni podano minimalno število potrebnih preiskav sider. Standard [10] celo dopušča, da lahko vlogo preiskav sider prevzamejo CPN, pri čemer se kabli teh sider lahko ojačijo z dodatnim pramenom, medtem ko je izvedba napenjalnih preskusov nekoliko drugačna od sedanjih postopkov.

V preglednici 1 so primerjalno prikazani bistveni parametri glede nosilnosti sider po SIA V 191 [9] in po SIST EN 1537 [10].

Preglednica 1. Primerjava postopkov in kriterijev pri preskusih nosilnosti sider po SIA V 191 [9] in SIST EN 1537 [10]

	SIA V 191 [9]	SIST EN 1537 [10]
potrebno število PS	za vsako temeljno področje vsaj 3	ni določeno; možna nadomestitev s CPN
nivo obremenitve pri PS	$P_{pv} \geq R_{i,sider}$ objekta oz. $1.67 P_o$, vendar $P_{pv} \leq 0.95 P_v$	manjša od vrednosti $0.80 P_{tk}$ oz. $0.95 P_{t0.1k}$
minimalni opazovalni časi pri PS*	$t_{min} = 15'$ $t_{min}(P_o) = 30'$ $t_{min}(P_{pv}) = 60'$	$t_{min} = 15'$ za $P_i < P_p$ $t_{min}(P_p) = 60'$ (nekohezivne zem.) $t_{min}(P_p) = 180'$ (kohezivne zem.)
merodajna zunanja nosilnosti sidra	najnižja vrednost porušne sile R_a dobljene pri PS	določitev na podlagi vrednosti R_a dobljene pri PS ali CPN, pri čemer $R_{ak} \leq R_{a,min}$
sidrna sila tekom življenske dobe objekta	$0.3 P_{tk} \leq P \leq 0.7 P_{tk}$	največ $0.65 P_{tk}$
sila zaklinjenja P_o	$P_o \leq 0.6 R_i$	$P_o \leq 0.6 P_{tk}$
območje efektivne proste dolžine sidra	$0.9 l_{fr} \leq l_r(P_p) \leq l_{fr} + 0.3 l_v$, pri PS: $0.95 l_{fr} \leq l_r(R_a) \leq l_{fr} + 0.5 l_v$	$L_{app} \leq L_{tf} + 0.5 L_{tb} + L_e$ oz. $L_{app} \leq 1.1 L_{tf} + L_e$ (zg. meja) $L_{app} \geq 0.8 L_{tf} + L_e$ (sp. meja)
delež preskusov napenjanja (CPN oz. EPN) za sidra objekta	10% vseh sider, vendar vsaj 3 sidra, je treba preveriti s CPN; preostala sidra EPN	izvesti vsaj 3 CPN; preostala sidra preskus sprejemljivosti (EPN)
nivo preskusne sile P_p za preskuse napenjanja (CPN oz. EPN)	praviloma $0.75 P_{tk}$, minimalno $1.25 P_o$	vsaj $1.25 P_o$ oz. R_d (za CPN) oz. $1.25 P_o$ (za EPN); ne sme preseči $0.95 P_{t0.1k}$ (CPN) oz. $0.90 P_{t0.1k}$ (EPN)
opazovalni časi pri CPN*	$t_{min} = 15'$, $t_{min}(P_p) = 30'$	$t_{min} = 15'$, $t_{min}(P_p) = 60'$ (nekohezivne zem.) $t_{min}(P_p) = 180'$ (kohezivne zem.)
dopustne mere lezenja za CPN	določijo se na podlagi opravljenih PS	$k_s(P_p) \leq 0.8$ mm; $k_s(P_p) \leq 1$ mm je dopustna s potrditvijo PS
opazovalni časi pri EPN*	$t_{min}(P_p) = 5'$	$t_{min}(P_p) = 5'$
dopustne mere lezenja za EPN	določijo se na podlagi opravljenih PS in potrdijo z rezultati CPN	$k_s(P_p) \leq 0.8$ mm in $k_s(P_o) \leq 0.5$ mm; vrednosti k_s do 1 mm so dopustne s potrditvijo PS

Opomba: *... minimalne opazovalne čase je potrebno podaljševati toliko časa, dokler mera lezenja na posamezni stopnji sile ni približno konstantna (SIST EN 1537 [10] in SIA V 191 [9]) oziroma mera lezenja močno upade (SIA V 191 [9]).

Protikorozijska zaščita sider

Sidra so konstrukcijski elementi, pri katerih je potrebno poleg prenosa obremenitev (nosilnost) zagotoviti tudi dolgoročno učinkovitost protikorozijske zaščite nosilnih jeklenih elementov (trajnost). Trajnost protikorozijske zaščite jeklenih delov, ki po vgradnji sider niso več dostopni, mora ustrezati času uporabe sider. Sama zasnova protikorozijske zaščite pa mora biti takšna, da je med uporabo omogočena sprememba sile napenjanja (SIST EN 1537 [10]) oz., da se pri spremembi sile napenjanja med uporabo ne sme poškodovati (SIA V 191 [9]).

SIA V 191 [9] zahteva, da se na vsakem vgrajenem in napetem sidru, z meritvijo električnega upora, preskusi električna izolacija med glavo sidra in konstrukcijo kot tudi med kablom in temeljnimi tlemi, pri čemer ustrezno visoka upornost potrjuje nepoškodovanost ovoja. Tudi SIST EN 1537 [10] za sidra, kjer je kabel sidra zaščiten le z enim slojem zaščitne cevi, zahteva izvajanje in-situ preskusov nepoškodovanosti ovoja z meritvijo električne upornosti, pri čemer je natančno navedeno v katerih fazah vgradnje sidra naj se meritve izvajajo. Standard [10] pa, kot je že navedeno, zahteva tudi kontrolne meritve električne upornosti kadarkoli v življenski dobi sidra, ne navaja pa določil v zvezi z nezadostno izolacijsko upornostjo sider.

Neoporečnost polietilenskega ovoja sidra kakor tudi splošna električna izoliranost od tal in sidrane konstrukcije je dokazana, če pokaže dokončno injektirano in napeto sidro pri merni napetosti 500V enosmernega toka izolacijsko upornost $R_I \geq 0.1 \text{ M}\Omega$. Glede na to relativno visoko zahtevo, SIA V 191 [9] projektantom dopušča, da po lastni presoji tolerirajo določen delež sider z nezadostno upornostjo ($R_I < 0.1 \text{ M}\Omega$). Ob tem pa je potrebno upoštevati naslednje: delež izpadlih sider ne sme preseči 10% števila vseh vgrajenih sider, sidra z nezadostnim električnim uporom R_I morajo biti približno enakomerno porazdeljena po sidranem objektu, priznavanje deleža izpada pa mora projektant tudi pisno utemeljiti. Pri sidrih, s prenizko izmerjeno vrednostjo izolacijske upornosti ($R_I < 0.1 \text{ M}\Omega$), je potrebno z meritvijo ozemljitvene upornosti R_{II} med glavo sidra in armaturo objekta, pri merni napetosti 40 V izmeničnega toka, dokazati, da glava sidra ni v stiku z armaturo sidrane konstrukcije ($R_{II} \geq 100 \Omega$). Ker so izmerjene vrednosti pri tej meritvi odvisne od vremenskih vplivov in vlažnosti v območju glave sidra, jo je potrebno večkrat ponoviti pri čemer se v končni presoji upošteva največja izmerjena vrednost. V kolikor je izmerjena vrednost manjša od 100Ω , je potrebno izvesti sanacijske ukrepe, tako da vrednost R_{II} pred dokončno namestitvijo zaščitne kape pri vsakem sidru doseže predpisano minimalno vrednost.

UPORABA PREDNAPETIH GEOTEHNIČNIH SIDER PRI IZGRADNJI AVTOCEST V REPUBLIKI SLOVENIJI

V okviru Nacionalnega programa izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji so bili v času od uveljavitve švicarskega Priporočila SIA V 191 [9], zgrajeni številni sidrani objekti, v katere je vgrajenih preko 5700 prednapetih geotehničnih sider. Posebej v zadnjih letih je dinamika vgradnje sider izredno povečala, kar je predvsem posledica intenzivnih del na pododsekih Trojane-Blagovica, Blagovica-Šentjakob in Klanec-Ankaran ter na odseku hitre ceste Razdrto-Vipava. Leta 2003 smo tako na Zavodu za gradbeništvo Slovenije izvajali zunanjo kontrolo kakovosti na 35 sidranih objektih s preko 2700 vgrajenih prednapetih geotehničnih sider. V letošnjem letu pa smo do sedaj izvajali zunanjo kontrolo na več kot 10 sidranih objektih v katere bo predvidoma vgrajenih skoraj 2000 sider.



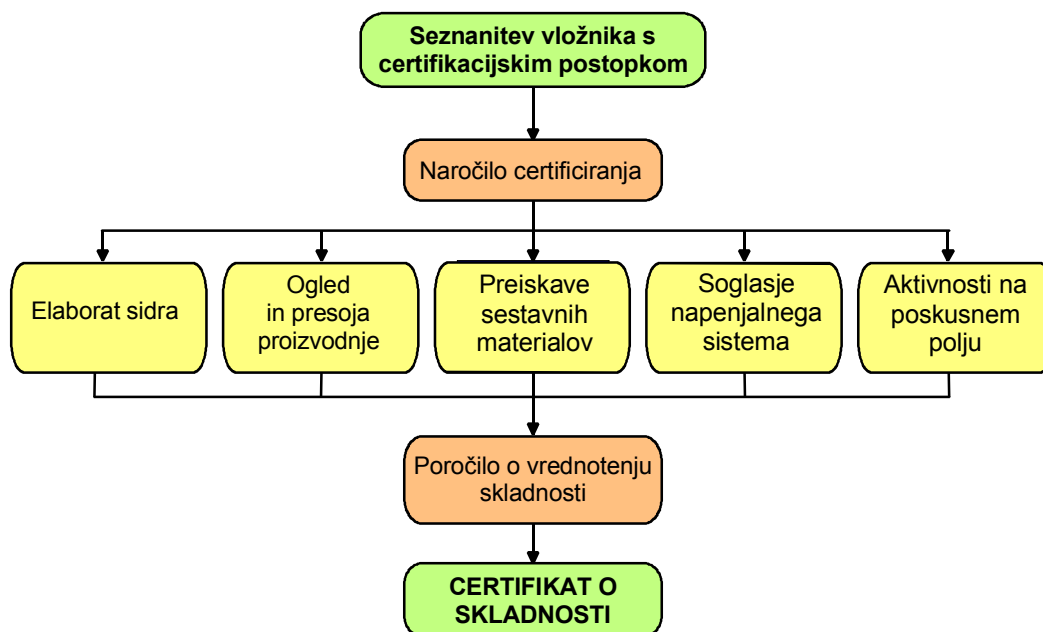
Slika 3. Vgrajevanje in napenjanje sider na odseku HC Razdrto – Vipava.

Dokazovanje skladnosti prednapetih geotehničnih sider s predpisanimi zahtevami

Trajna prednapeta geotehnična sidra morajo zagotavljati dolgoročno varnost in stabilnost sidrane konstrukcije. Priporočilo SIA V 191 [9] tako zahteva, da je potrebno s predhodnimi sistemskimi preskusi ugotoviti, ali predvideni sestavni materiali in konstruktivni detajli izpolnjujejo postavljene zahteve. Za vsak tip trajnih prednapetih geotehničnih sider, vgrajenih v okviru Nacionalnega programa izgradnje AC v Republiki Sloveniji je zato potrebno predhodno izvesti postopek vrednotenja skladnosti

sider s predpisanimi zahtevami. Zavod za gradbeništvo Slovenije je zato, kot neodvisni certifikacijski organ, pripravil certifikacijsko shemo s podanimi aktivnostmi, ki jih je pri tem postopku potrebno izvesti, slika 4:

- potrditev tehnične dokumentacije o sidru, ki celovito podaja opise, navodila in kriterije za izdelavo in ravnanje s sidri;
- ogled proizvodnega obrata sider in presoja sistema notranje kontrole proizvodnje;
- neodvisna kontrola kakovosti sestavnih materialov sidra vključno s potrditvijo recepture cementne injekcijske mase za zalivanje sider;
- pridobitev oz. predložitev soglasja za uporabo sistema prednapenjanja pri sidrih;
- izvedba aktivnosti z vgradnjo sider na poskusnem polju, ki poleg preveritve izvajanja predvidenih postopkov in nosilnosti sider zajema tudi sistemski preskus delovanja protikorozijske zaščite sidra z meritvijo električne upornosti R_1 in R_{II} , ki služi kot končna potrditev izpolnjevanja predpisanih zahtev.



Slika 4. Poenostavljen prikaz certifikacijske sheme za trajna prednapeta geotehnična sidra.

Osnova specifikacija za vrednotenje skladnosti so Tehnične specifikacije TSC 07.202 [11] skupaj s Priporočilom SIA V 191 [9]. Dodatne zahteve za kontrolo kakovosti in potrjevanje skladnosti materialov ter postopkov vgradnje pa so opredeljene v Navodilih [6] in [7] ter slovenskemu standardu SIST EN 1537 [10].

Skladno s Priporočilom [9] pa je potrebno zagotoviti tudi izpolnjevanje postavljenih zahtev pri čemer mora proizvajalec oz. dobavitelj sider dokazati učinkovitost ukrepov na področju zagotavljanja kakovosti. Skupaj z izvajanjem kontrole vgrajevanja in napenjanja sider, kontroliranjem rezultatov električne upornosti ter kontrolo izvedbe protikorozijske zaščite območja glav sider pa je zagotovljeno tudi dejansko izpolnjevanje predpisanih zahtev vgrajenih sider.

Izvajanje trajnih geotehničnih sider mora biti v skladnosti s potrjenim elaboratom sidra, na podlagi katerega je bil izdan Certifikat o skladnosti. V kolikor proizvajalec sidra, zaradi tehnološkega razvoja sidra in postopkov njegove vgradnje oz. specifičnih zahtev projektanta glede izdelave sidrišča, želi spremeniti detajle ali posamezne postopke oz. se izkaže potreba po vgradnji novih/spremenjenih elementov, ki niso vključeni v potrjenem elaboratu sidra, mora za spremenjeno sidro predhodno pridobiti soglasje certifikacijskega organa. Certifikat o skladnosti se praviloma izdaja za obdobje 5 let v kolikor ni kakršnihkoli drugih omejitev ugotovljenih med izvedbo certifikacijskega postopka.

Za začasna sidra v obstoječem sistemu ni predvideno predhodno preverjanje sestavnih materialov in konstruktivnih detajlov v smislu certifikacijskega postopka. Pred pričetkom sidrskih del pa mora izvajalec predložiti nadzornemu inženirju potrebno tehnično dokumentacijo vključno z rezultati izvedenih neodvisnih kontrol kakovosti sestavnih materialov začasnih sider ter elaboratom sidra, ki opredeljuje konstrukcijske detajle in izvedbene postopke začasnih sider. Podlage za oceno postopkov in kriteriji v zvezi s kontrolo kakovosti, potrjevanjem skladnosti materialov sestavnih delov ter vgradnjo trajnih geotehničnih sider so opredeljene v Navodilih [6], [7] in jih lahko smiselno uporabimo tudi pri začasnih sidrih. Oblikovanje pramen sider (goli vezni in namaščeni prosti del) se izvaja na enak način, medtem ko je zunanji PE ovoj sidra opuščen, zato je potrebno na veznem delu sidra vgraditi distančnike, ki zagotavljajo ustrezno debelino sloja cementne injekcijske mase. Prav tako je potrebno pripraviti ustrezen detajl izvedbe protikorozijske zaščite pramen vse do točke neposredno za glavo sidra, kot tudi predvideti ustrezno protikorozijsko sredstvo za zaščito izpostavljenih jeklenih delov glave sidra.

ZAKLJUČEK

Pogosto so prednapeta geotehnična sidra bistveni konstrukcijski elementi, ki zagotavljajo trajno stabilnost objekta, zato je temu primerna tudi zasnova sider in večplasten sistem izvajanja kontrole izdelave in vgradnje sider. V območju glave sidra se izvaja vnos sile v sidro in prenos na sidrano konstrukcijo. Prenos iz glave sidra v vezni del, kjer se sidrna sila prenaša v temeljna tla, pa se vrši preko proste dolžine sidra. Glede na predvideno življenjsko dobo in pogoje vgradnje ločimo trajna in začasna sidra. Bistvene so predvsem različne zahteve glede zasnove protikorozijske zaščite, ki pa mora v vsakem primeru biti takšna, da je verjetnost pojava nesprejemljivih korozijskih poškodb tekom življenjske dobe sider minimalna.

V okviru Nacionalnega programa izgradnje AC v Republiki Sloveniji kriterije za izvedbo prednapetih geotehničnih sider določajo Tehnične specifikacije za javne ceste TSC 07.202 "Geotehnična sidra" [11], ki se navezujejo in tvorijo celoto s Priporočilom SIA V 191 [9] in Eurocode 7 [8]. Dodatne zahteve glede kakovosti sestavnih materialov sider in izvedbenih postopkov pa so navedene v Navodilu za vgradnjo trajnih geotehničnih sider [6] ter Navodilu za kontrolo kakovosti in potrjevanje skladnosti materialov trajnih geotehničnih sider [7].

Leta 2002 izdan standard SIST EN 1537 [10], se v praksi že uporablja pri opredelitvi zahtev glede oblikovanja posameznih detajlov in za kontrolo sestavnih materialov, ki niso podani v Navodilih [6] in [7]. Standard [10] je po svojih zahtevah sicer podoben SIA V 191 [9], vendar se vsebini dokumentov ne prekrivata v celoti. V prispevku smo se omejili primerjavo pomembnejših vidikov oblikovanja in vgradnje sider, ki se nanašajo na ugotavljanje nosilnosti, protikorozijsko zaščito ter kakovost sestavnih materialov sider. Prehod na slovenski standard SIST EN 1537 [10] pa bo od proizvajalcev sider in izvajalcev sidrskih del zahteval določene spremembe.

Ker morajo trajna prednapeta geotehnična sidra zagotavljati dolgoročno varnost in stabilnost sidrane konstrukcije, je potrebno s predhodnimi sistemskimi preskusi ugotoviti, ali predvideni sestavni materiali in konstruktivni detajli izpolnjujejo postavljene zahteve. Za vsak tip trajnih prednapetih geotehničnih sider, vgrajenih v okviru Nacionalnega programa izgradnje AC v Republiki Sloveniji je zato potrebno predhodno izvesti certifikacijski postopek za vrednotenja skladnosti sider s predpisanimi zahtevami. Za začasna sidra se zaenkrat ne izvaja predhodno preverjanje sestavnih materialov in konstruktivnih detajlov v smislu certifikacijskega postopka, vendar pa lahko postopke in kriterije pri trajnih sidrih smiselno uporabimo tudi za začasna prednapeta geotehnična sidra.

Nenazadnje je potrebno zagotoviti tudi trajno izpolnjevanje postavljenih zahtev pri čemer mora proizvajalec oz. dobavitelj sider dokazati učinkovitost ukrepov na področju zagotavljanja kakovosti. Skupaj z izvajanjem kontrole vgrajevanja in napenjanja sider, kontroliranjem rezultatov električne upornosti ter kontrolo izvedbe protikorozijske zaščite območja glav sider pa je zagotovljeno tudi dejansko izpolnjevanje predpisanih zahtev vgrajenih sider.

LITERATURA

- (1) FIP State of the art report: "Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorages". (1986). Thomas Telford, London.
- (2) FIP Recommendations (1996). "Design and construction of prestressed ground anchorages." SETO.
- (3) Grimm, M. (1995). Electrical testing of ground anchors. Proc., International symposium on anchors in theory and practice, ur. Widmann R., A.A.Balkema, Rotterdam, 421-428.
- (4) Klemenc, I., Trajkovski, S. (2002). Primerjava novega evropskega standarda SIST EN 1537 s priporočilom SIA V 191 za prednapeta geotehnična sidra. Zbornik referatov, 6. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož.
- (5) Klemenc, I., Trajkovski, S. (2004). Zahteve za prednapeta geotehnična sidra pri izgradnji avtocest v Republiki Sloveniji. Zbornik referatov, Strokovni posvet "Gradbeni proizvodi pri gradnji cest in drugih objektov, novosti, zahteve za kakovost, tržišče EU", Gornja Radgona.
- (6) Navodilo za vgradnjo trajnih geotehničnih sider. (2000). III. Knjiga dopolnil splošnih in tehničnih pogojev. DDC-SKTR.
- (7) Navodilo za kontrolo kakovosti in potrjevanje skladnosti materialov trajnih geotehničnih sider. (2001) IV. Knjiga dopolnil splošnih in tehničnih pogojev. DDC-SKTR.
- (8) prEN 1997-1. Eurocode 7 Geotechnical design - Part 1: General rules.
- (9) Priporočilo SIA V 191. (1995). Prednapeta geotehnična sidra. Švicarsko združenje inženirjev in arhitektov. Zuerich.
- (10) SIST EN 1537. (2002). Izvedba posebnih geotehničnih del – Geotehnična sidra.
- (11) TSC 07.202 "Geotehnična sidra" (delovni osnutek). (1998). Ministrstvo za Promet in zveze Republike Slovenije.