Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program: **OAS GRAĐEVINARSTVO**

Modul: **za Konstrukcije**

za Menadžment, tehnologije i informatiku u građevinarstvu

Godina/Semestar: IV **godina / VIII semestar**

Naziv predmeta (šifra): **Tehnologija proizvodnje metalnih konstrukcija – B2K4TM, B2M4TM**

Nastavnik: **doc. dr Nenad Fric**

Naslov predavanja: **P4 – Sklopovi, probna montaža, korozija**

Datum : 31.3.2021. i 7.4.2021.

Beograd, 2021.

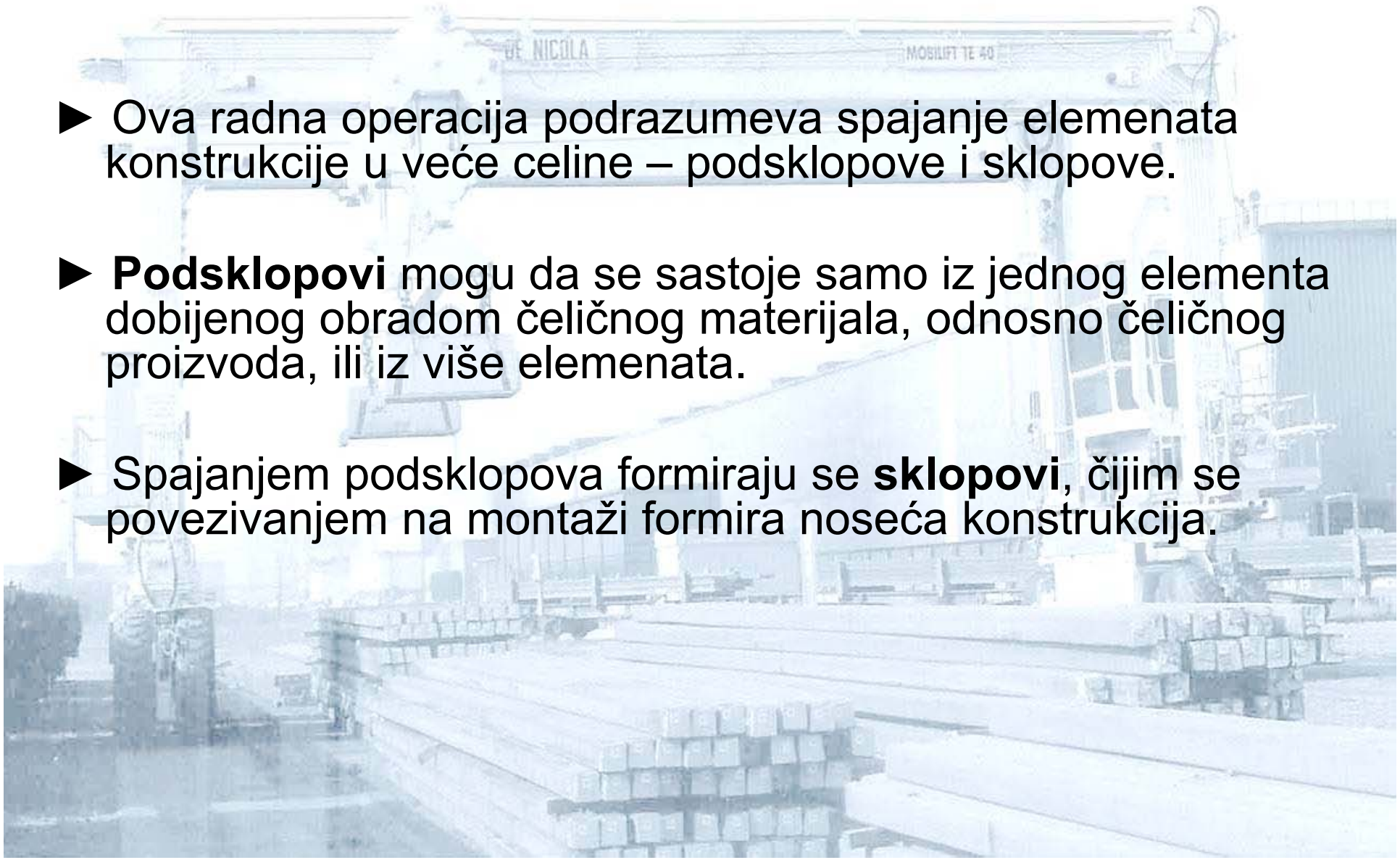
Sva autorska prava autora prezentacije i/ili video snimaka su zaštićena. Snimak ili prezentacija se mogu koristiti samo za nastavu na daljinu studenta Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2020/2021 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.



Proces proizvodnje u fabrici

4.1 Faze izrade čelične konstrukcije

Faza spajanja i sklapanja –
- formiranje podsklopova i sklopova



- Ova radna operacija podrazumeva spajanje elemenata konstrukcije u veće celine – podsklopove i sklopove.

- **Podsklopovi** mogu da se sastoje samo iz jednog elementa dobijenog obradom čeličnog materijala, odnosno čeličnog proizvoda, ili iz više elemenata.

- Spajanjem podsklopova formiraju se **sklopovi**, čijim se povezivanjem na montaži formira noseća konstrukcija.

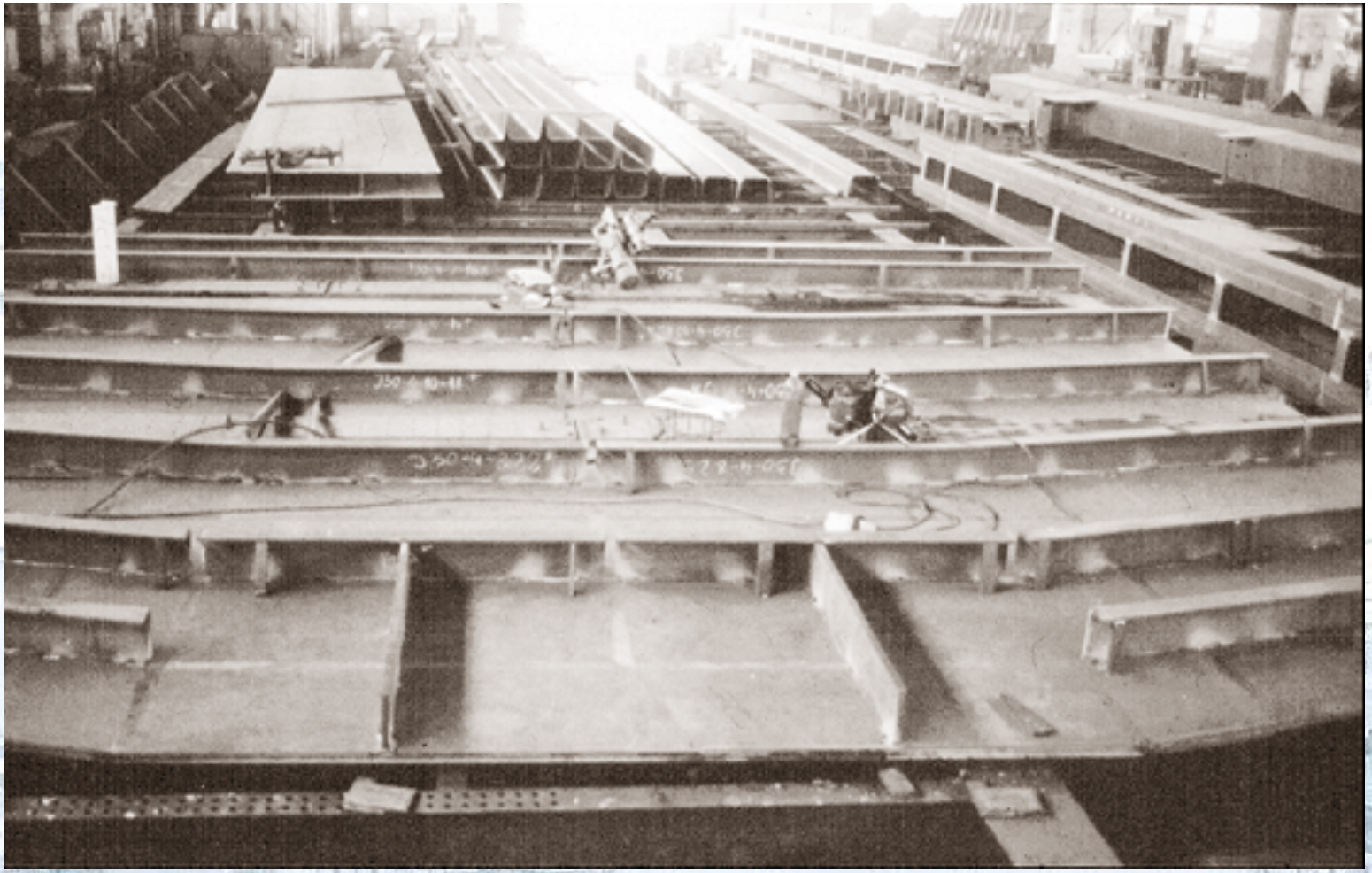
► Za formiranje podsklopova ili sklopova primenjuju se različiti postupci,

- u zavisnosti od vrste konstrukcije (puna ili rešetkasta) i
- u zavisnosti od njenih dimenzija i načina spajanja (mehaničkim spojnim sredstvima ili zavarivanjem).

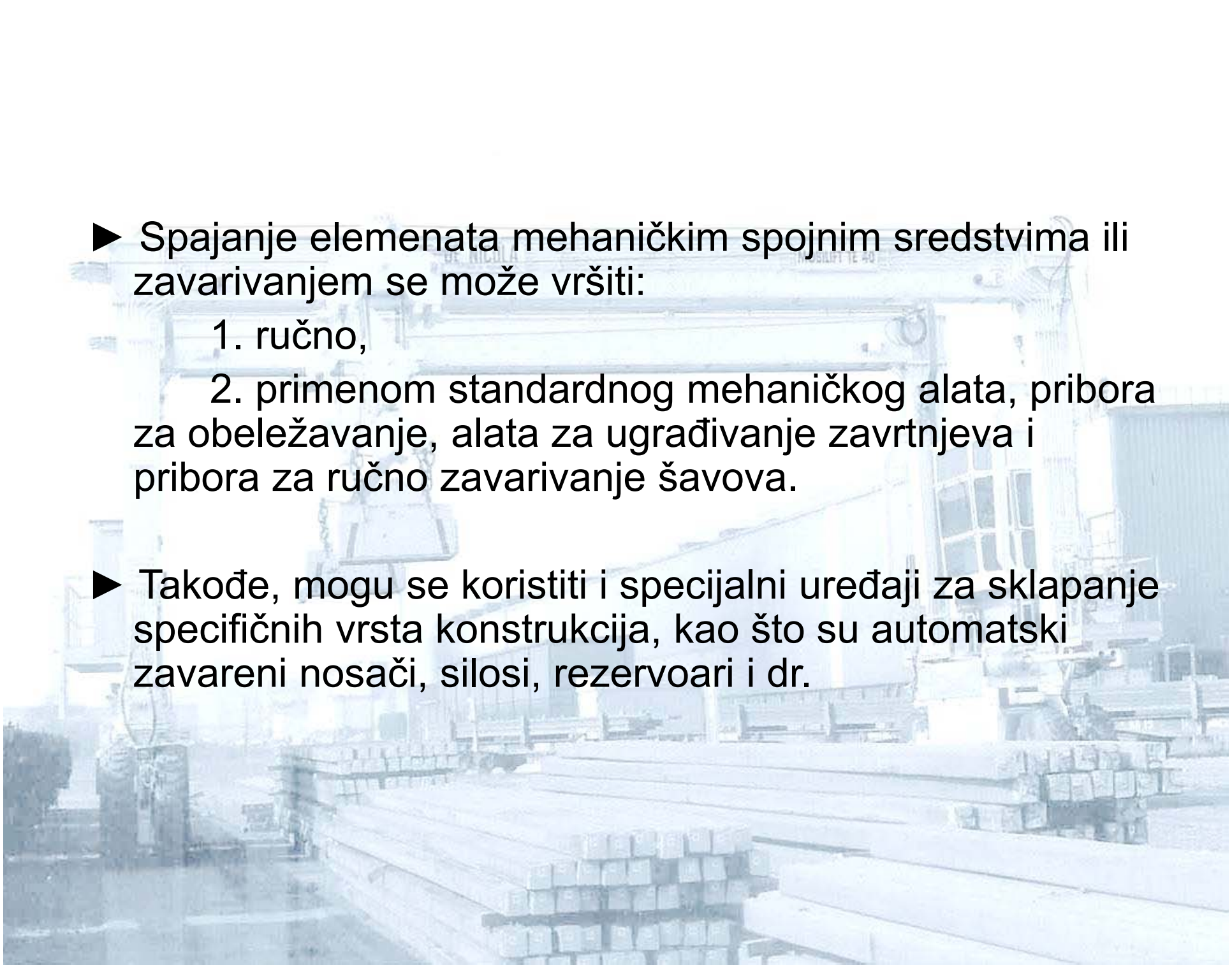
► Ova radna operacija obavlja se na posebnim **radnim platformama,** na kojima se elementi postavljaju u projektovani položaj bez deformacija i naprezanja i pripremaju za spajanje (slika), uz pomoć raznih pomoćnih alata za njihovo fiksiranje.



Radna platforma za spajanje elmenata i izradu podsklopova i sklopova



Radna platforma za spajanje lemenata i izradu podsklopova i sklopova



- Spajanje elemenata mehaničkim spojnim sredstvima ili zavarivanjem se može vršiti:

  1. ručno,

  2. primenom standardnog mehaničkog alata, pribora za obeležavanje, alata za ugrađivanje zavrtnjeva i pribora za ručno zavarivanje šavova.

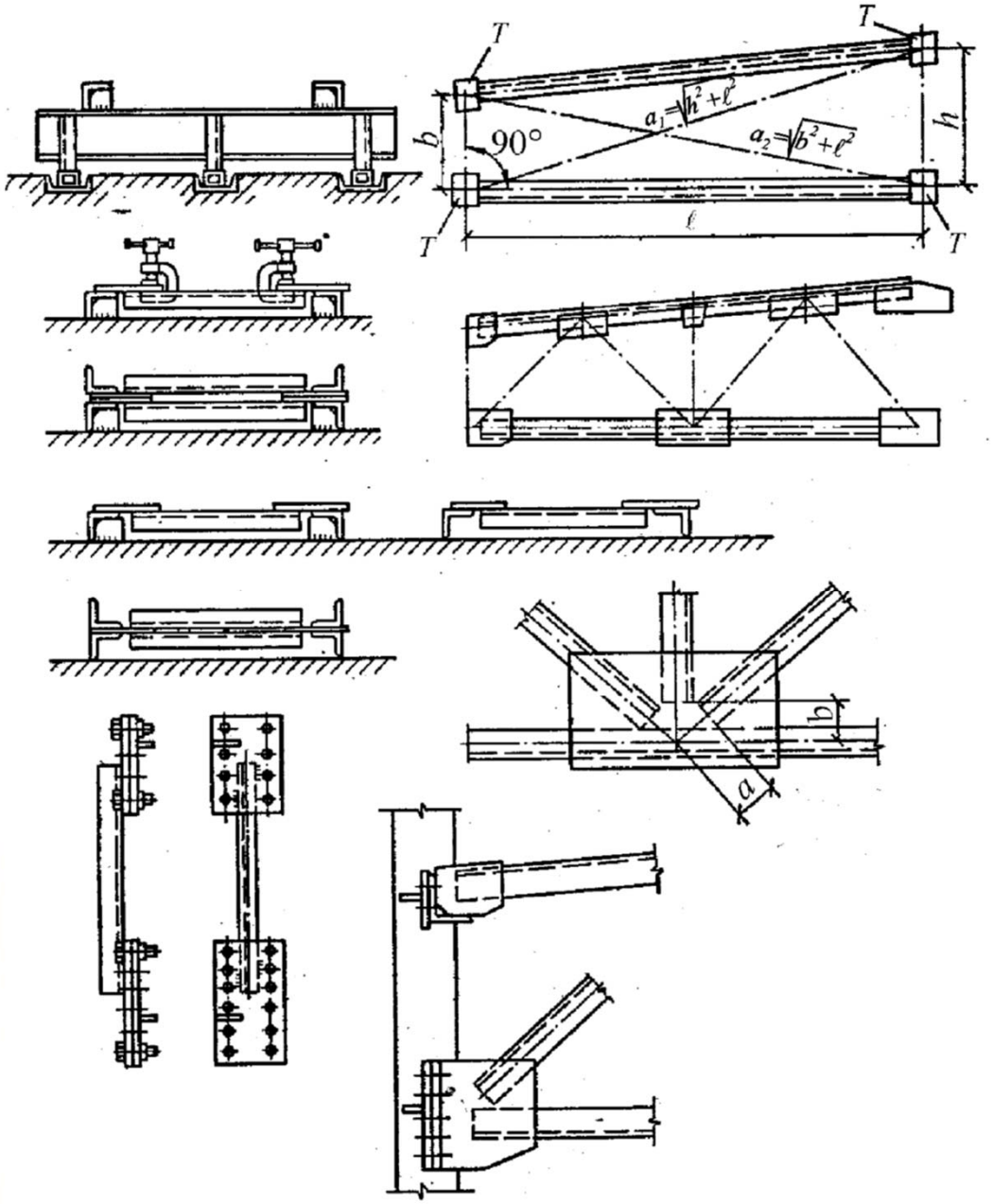
- Takođe, mogu se koristiti i specijalni uređaji za sklapanje specifičnih vrsta konstrukcija, kao što su automatski zavareni nosači, silosi, rezervoari i dr.

- U slučaju spajanja **mehaničkim spojnim sredstvima**, elementi koji se spajaju se u procesu obrade seku na projektovane dužine, a razvrtavanje rupa na definitivan prečnik se vrši pri izradi sklopova, kao i na probnoj montaži.

- S obzirom da pri **zavarivanju** dolazi do pojave skupljanja i deformacija, neophodno je elemente koji se spajaju zavarivanjem seći na dužine veće od projektovanih i obezbediti potrebne preddeformacije.

- U tu svrhu se, za izradu složenijih zavarenih sklopova i podsklopova, a na osnovu empirijski utvrđenih vrednosti, u tehničkoj pripremi proizvodnje posebno razrađuje **tehnološki postupak sklapanja i zavarivanja**, koji treba da obezbedi postizanje projektovanog oblika konstrukcije, uz najmanji obim sopstvenih napona i naknadnih tehnoloških intervencija.

- Generalno, postupak izrade podsklopova i sklopova karakteriše postepeno dodavanje sitnijih elemenata na osnovni element, prema njihovom projektom određenom položaju.
- Na slikama koje slede ilustrovan je postupak formiranja rešetkastog i punog nosača.



Postupak formiranja rešetkastog nosača

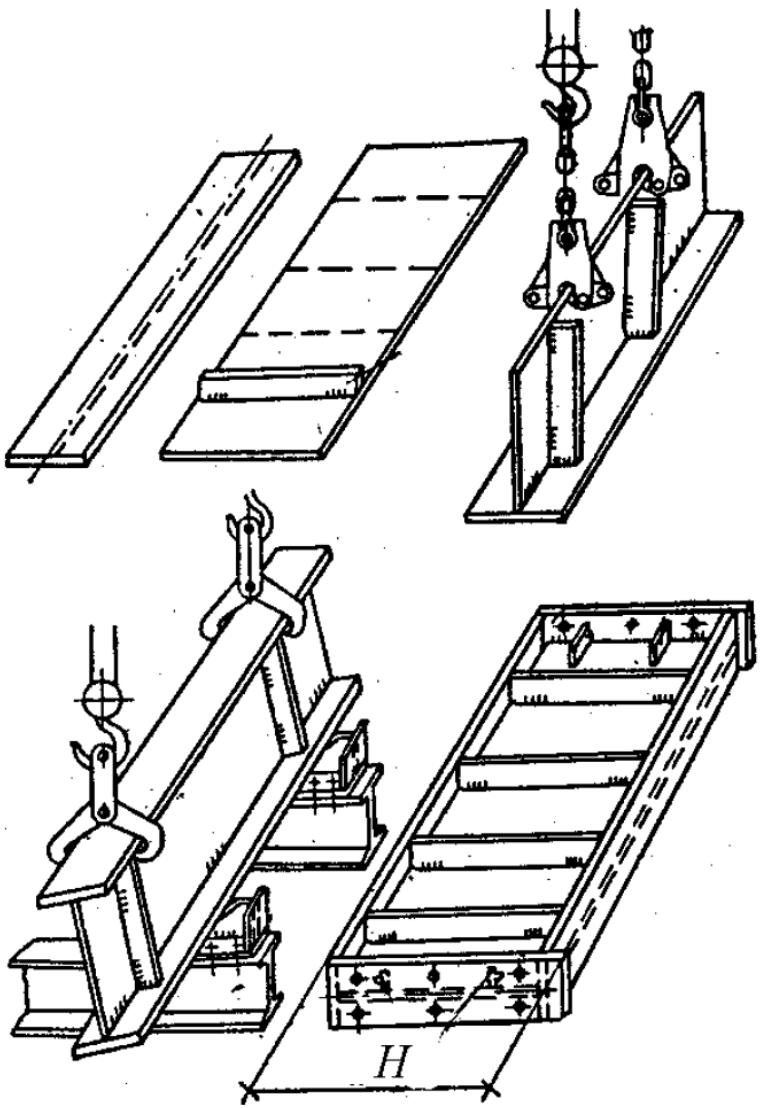


Izrada podsklopa rešetkastog nosača

► Faze formiranja punog nosača:

1. formiranje rebra sa ukrućenjima,
2. povezivanje rebra i flanši,
3. postavljanje čeonih ploča
4. kontrola geometrije i
5. izvođenje svih predviđenih šavova kojima se postiže definitivno povezivanje elemenata u sklop.

► Za izradu ovakvog sklopa (velike težine) neophodna je upotreba sredstava za unutrašnji transpost kojima se elementi pomeraju, rotiraju i postavljaju u željeni položaj.



Postupak formiranja punog nosača



Postupak formiranja punog nosača u radionici

Završna faza – probna radionička montaža

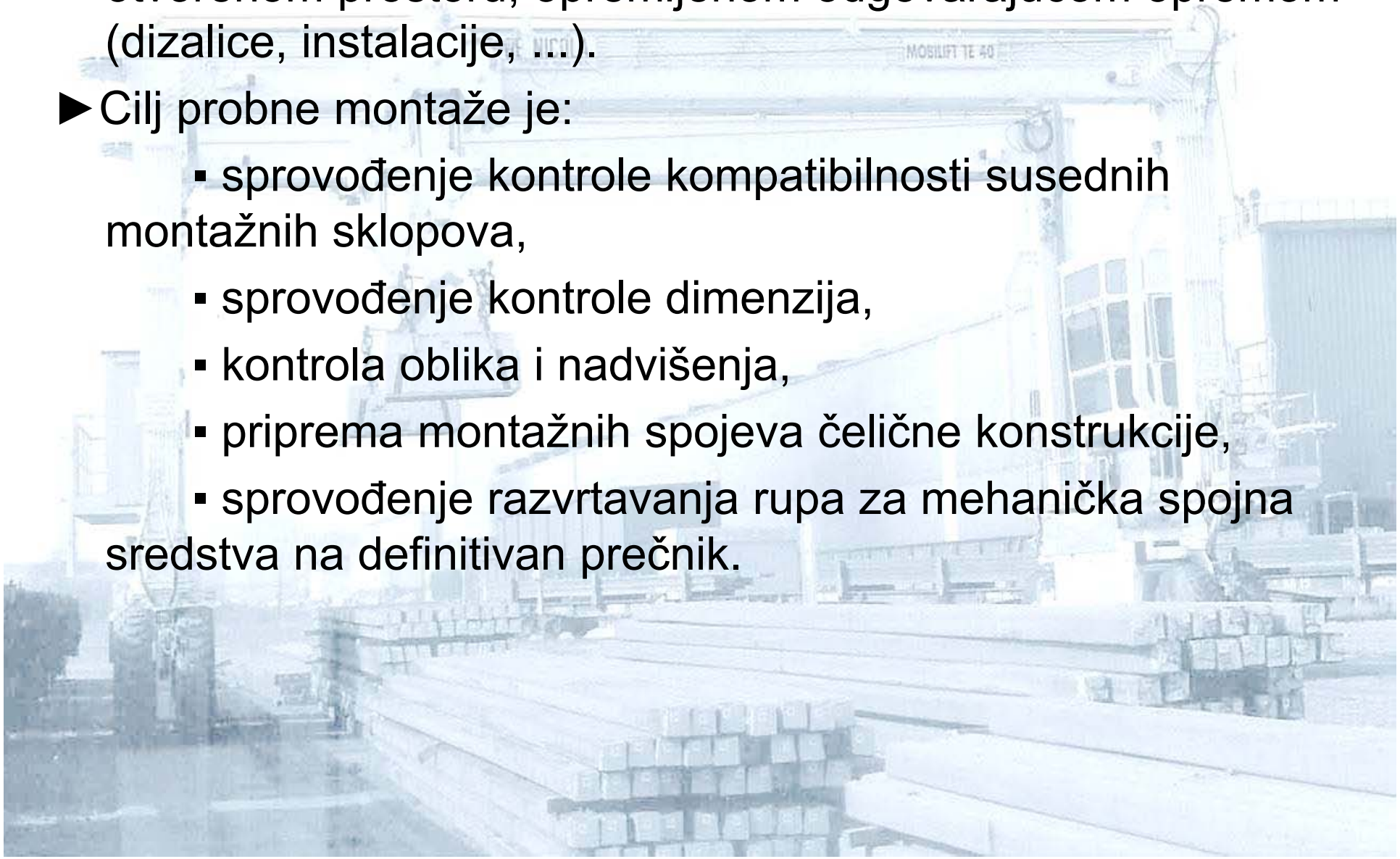
- Probna radionička montaža čelične konstrukcije ili pojedinih delova konstrukcije izvodi se samo ako je to predviđeno projektom ili ugovorom zaključenim između naručioca i izvođača radova na izradi čelične konstrukcije.

- Ona se, po pravilu, sprovodi u prisustvu ovlašćenih predstavnika:
  1. izvođača radova na izradi konstrukcije,
  2. naručioca,
  3. izvođača radovana na montaži konstrukcije (u slučaju kada izradu i montažu konstrukcije ne vrši ista firma) i
  4. projektantske organizacije.

► Probna montaža, generalno, podrazumeva veliki utrošak rada, zauzimanje velikog prostora, ponekad i ometanje procesa proizvodnje, a time i znatne troškove. Stoga treba težiti da se obim probne montaže svede na najmanji mogući obim, što se može postići pravilnim koncipiranjem konstrukcije i primenom savremenih tehnologija proizvodnje sa visokim kvalitetom izrade čeličnih konstrukcija.

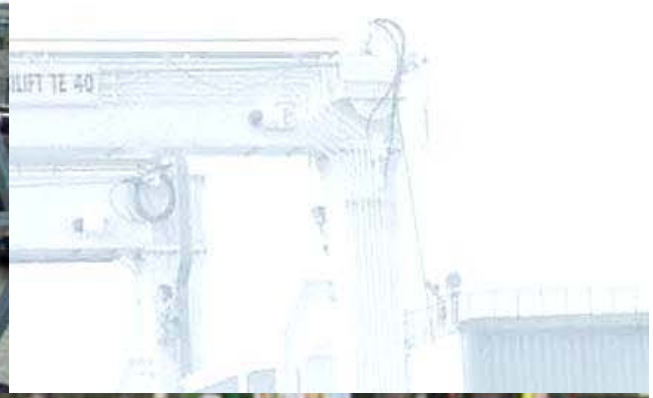


Probna montaža postolja za bunker



- Probna montaža se uglavnom sprovodi na posebnom otvorenom prostoru, opremljenom odgovarajućom opremom (dizalice, instalacije, ...).
- Cilj probne montaže je:
  - sprovođenje kontrole kompatibilnosti susednih montažnih sklopova,
  - sprovođenje kontrole dimenzija,
  - kontrola oblika i nadvišenja,
  - priprema montažnih spojeva čelične konstrukcije,
  - sprovođenje razvrtavanja rupa za mehanička spojna sredstva na definitivan prečnik.







Probna montaža stuba dalekovoda

► Položaj delova konstrukcije pri probnoj montaži može biti horizontalan (slika) ili vertikalan, što zavisi od tipa konstrukcije. Pri tome se probna montaža može vršiti za konstrukciju kao celinu, ili sukcesivno za pojedine delove konstrukcije, tako da se u svakoj fazi koristi i jedan montažni deo iz prethodne faze.



Probna montaža stuba žičare



Probna montaža glavnog nosača Pančevačkog mosta u horizontalnom položaju



Probna montaža glavnog nosača mosta u vertikalnom položaju



Probna montaža železničkog mosta na pruzi
Pojate - Kruševac



Izrada i probna montaža glavnih nosača za Belexpo centar u Beogradu.

Za potrebe izrade napravljeni su prostorni šabloni koji prate geometriju konstrukcije

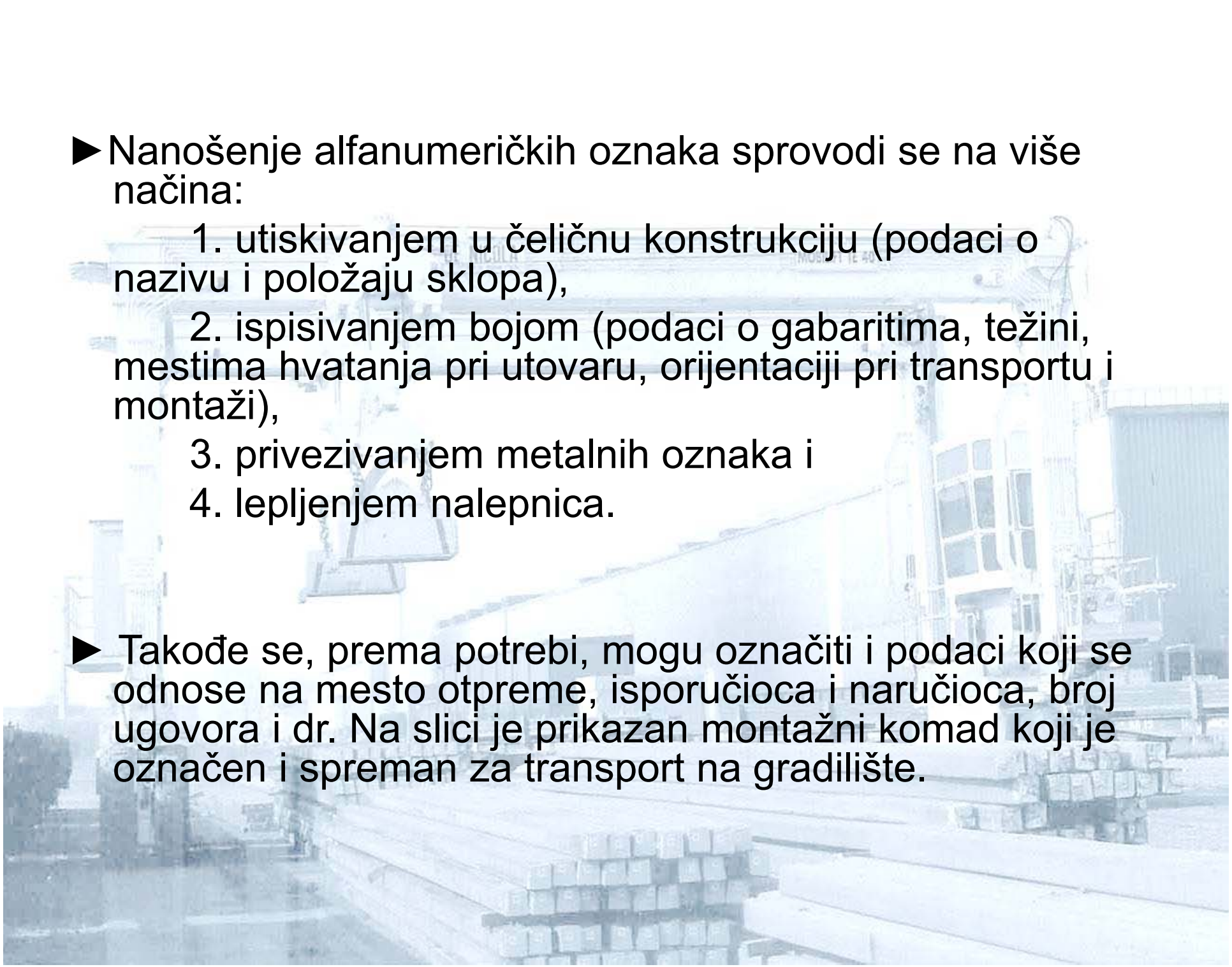


Izrada i probna montaža glavnih nosača ulazne fasade Delta City-a u Beogradu.

Za potrebe izrade napravljeni su prostorni šabloni koji prate geometriju konstrukcije

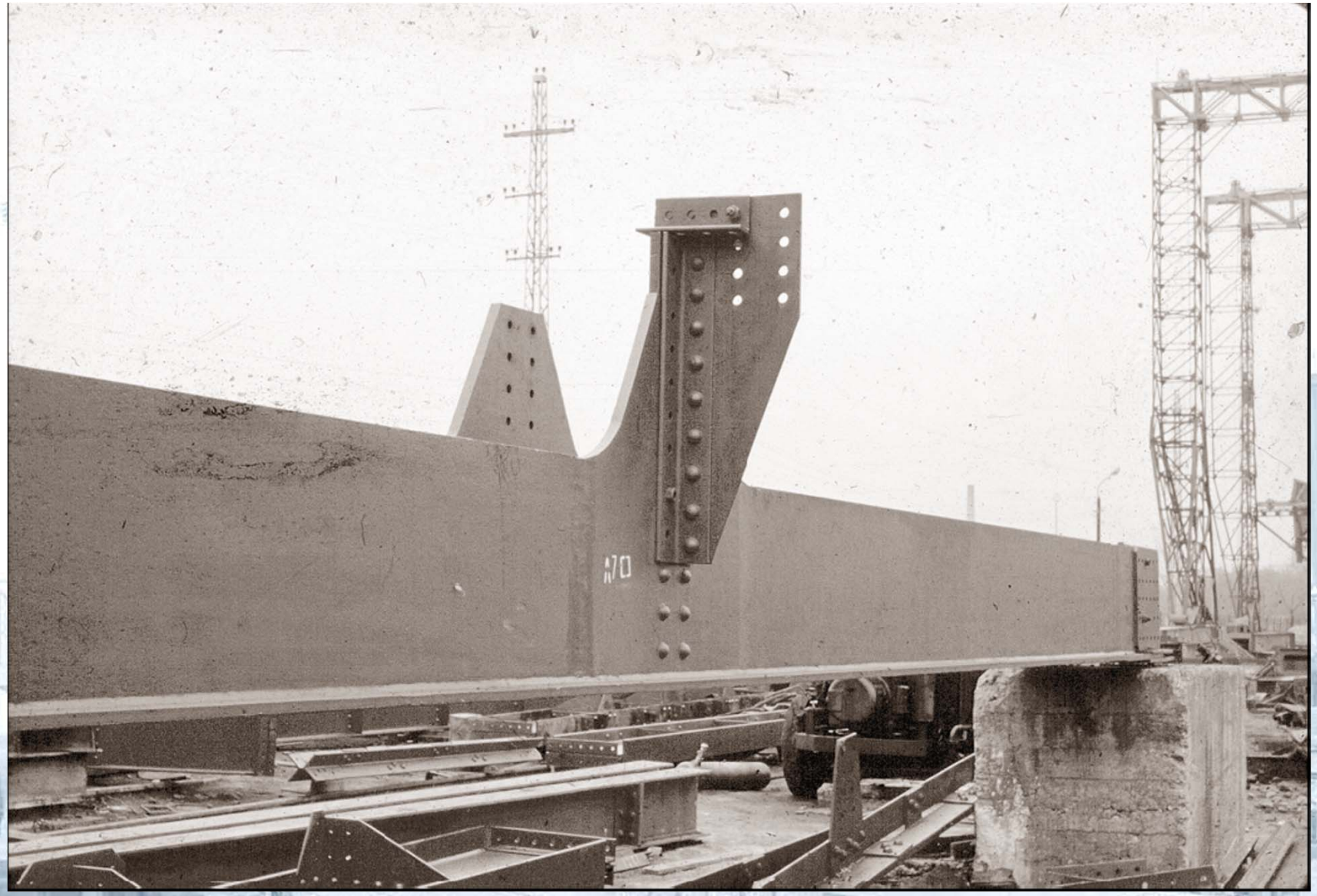
Završna faza – označavanje

- Nakon procesa izrade konstrukcije u radionici i probne montaže, posle nanošenja zaštite od korozije, sprovodi se dodatno označavanje delova konstrukcije.
- Ove oznake podrazumevaju:
  - podatke o sklopovima konstrukcije,
  - njihovom položaju u konstrukciji,
  - vezi sa susednim sklopovima,
  - podatke vezane za utovar,
  - transport,
  - istovar i
  - redosled odvijanja radova na gradilištu.



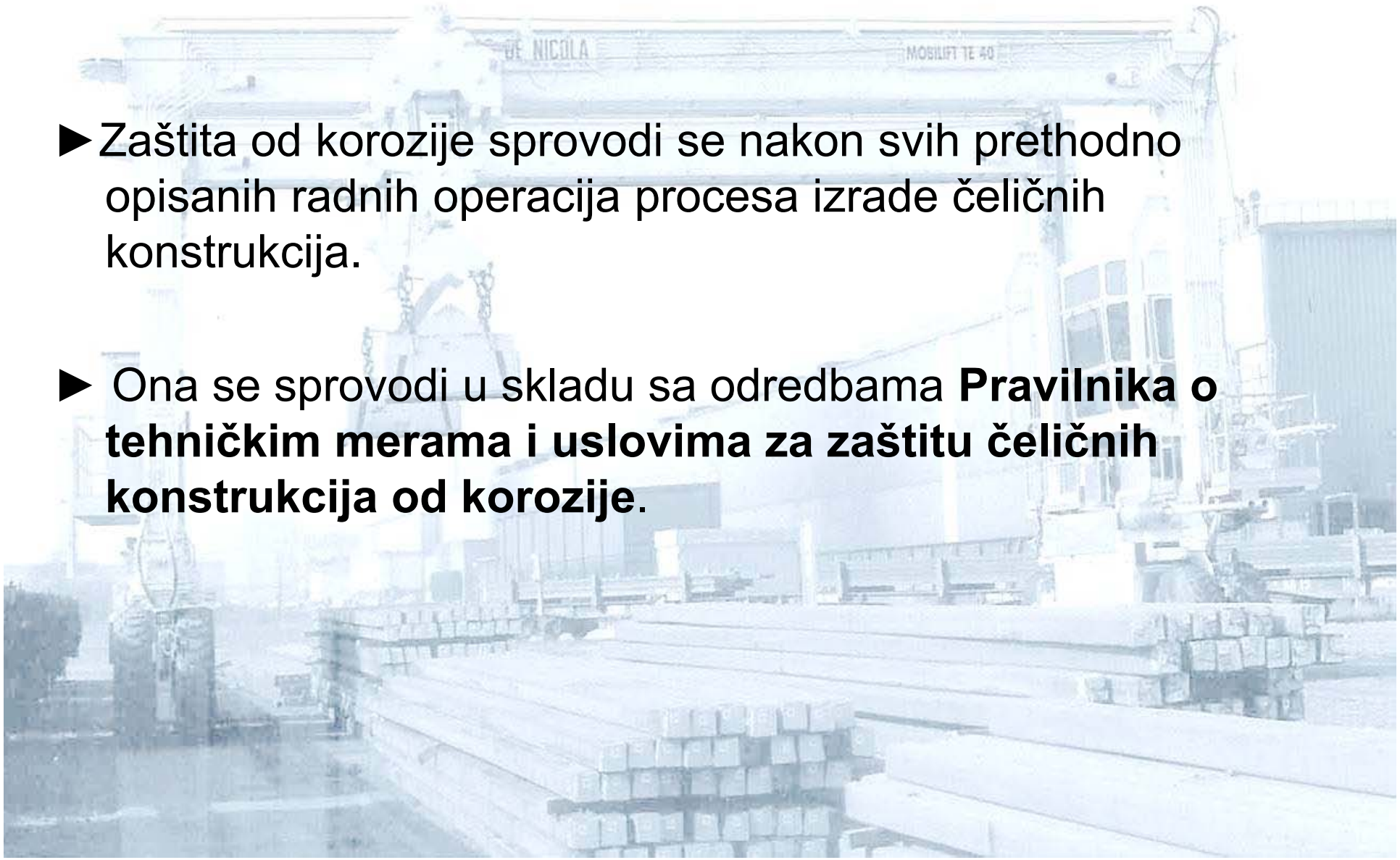
- Nanošenje alfanumeričkih oznaka sprovodi se na više načina:
  1. utiskivanjem u čeličnu konstrukciju (podaci o nazivu i položaju sklopa),
  2. ispisivanjem bojom (podaci o gabaritima, težini, mestima hvatanja pri utovaru, orijentaciji pri transportu i montaži),
  3. privezivanjem metalnih oznaka i
  4. lepljenjem nalepnica.

- Takođe se, prema potrebi, mogu označiti i podaci koji se odnose na mesto otpreme, isporučioca i naručioca, broj ugovora i dr. Na slici je prikazan montažni komad koji je označen i spreman za transport na gradilište.



Označeni montažni komad

Završna faza – zaštita od korozije



- Zaštita od korozije sprovodi se nakon svih prethodno opisanih radnih operacija procesa izrade čeličnih konstrukcija.

- Ona se sprovodi u skladu sa odredbama **Pravilnika o tehničkim merama i uslovima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije**.

Osnovni pojmovi o koroziji

- Definicija korozije: Korozija čelika predstavlja elektrohemijski proces čiji je mehanizam u osnovi isti kao kod obične baterije kod koje dva metala, anoda i katoda, u provodljivoj sredini (elektrolitu) reaguju tako da se anoda razlaže i generiše se električna struja. Pri koroziji čelika jedan deo njegove površine ponaša se kao anoda, a drugi kao katoda.

- Delovi površine čelika koji su prekriveni česticama nečistoće ponašaju se kao anoda, dok se delovi koji su izloženiji kiseoniku (čistije površine) ponašaju kao katoda. Sa razvojem procesa korozije dolazi do pomeranja i promena ovih površina, jer površine prekrivene rđom postaju anodične.

► Da bi došlo do pojave korozije, neophodno je prisustvo kako **kiseonika** tako i **vlage**. U odsustvu bilo kog od ovih činilaca do korozije neće doći, kao što je slučaj:

- u suvim sredinama (odsustvo vlage),
- kod hermetički zatvorenih šupljih profila (odsustvo kiseonika),
- u slučaju podvodnih i podzemnih konstrukcija, gde stepen korozije zavisi od dovoda kiseonika,
- u atmosferi, gde je kiseonik slobodan, stepen korozije zavisi od dužine trajanja prisustva vlage.



Primer dejstva korozije

- Korozija se manifestuje smanjenjem debljine čeličnog elementa, što posle dužeg perioda može da naruši nosivost i stabilnost čelične konstrukcije. Taj gubitak zavisi od sredine u kojoj se konstrukcija nalazi. Približni **godišnji gubitak u debljini čeličnog materijala** iznosi:
  - do 0,004 mm u pustinji,
  - 0,03 - 0,05 mm u otvorenoj nezagađenoj sredini,
  - 0,04 - 0,16 mm u industrijskoj sredini,
  - 0,06 - 0,16 mm u primorju.



Drumski most izložen dejstvu korozije

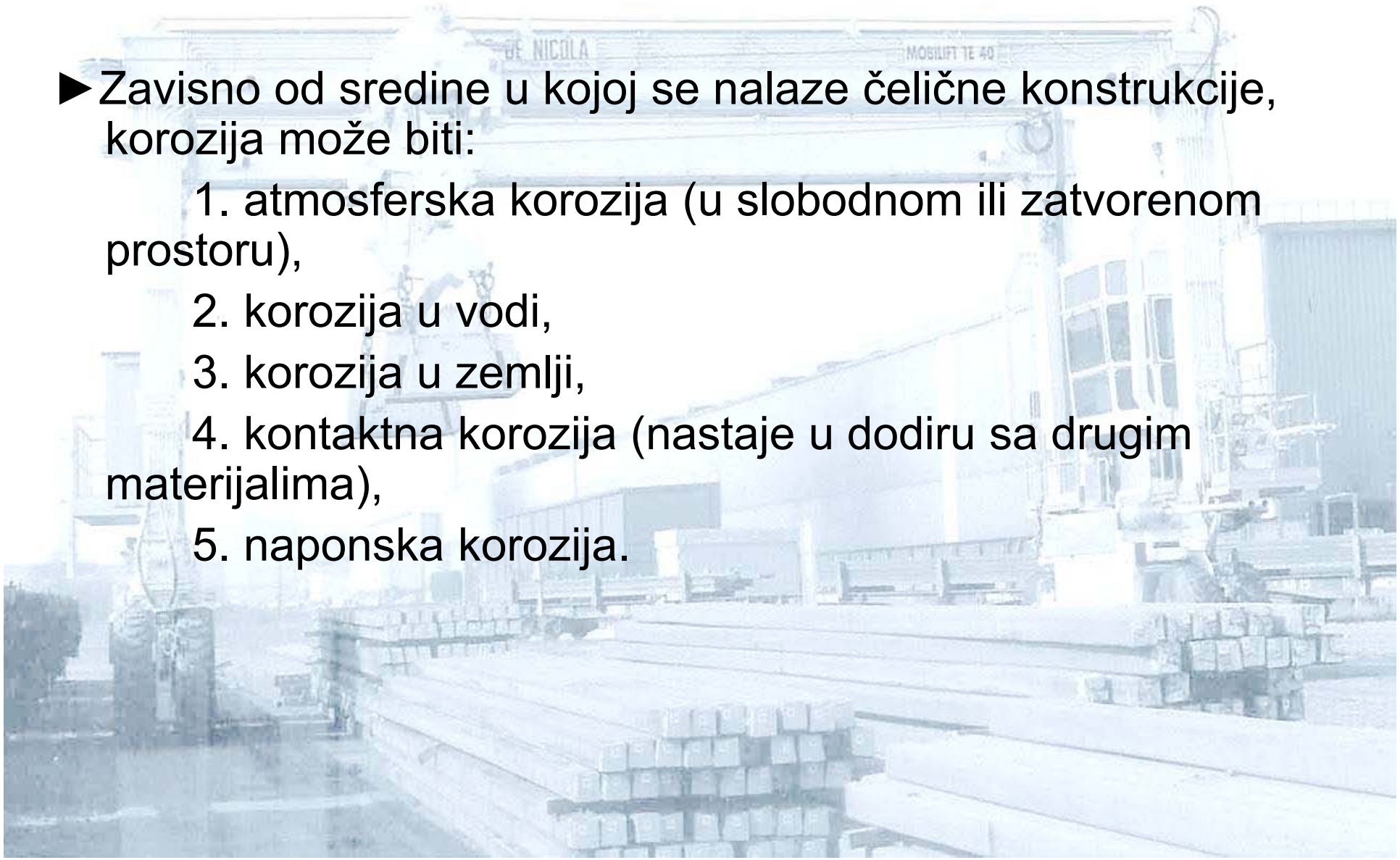


Potpuna degradacija čvornog lima na glavnom nosaču mosta usled dejstva korozije

Prekid glavnog nosača mosta usled dejstva korozije



Vrste korozije



- Zavisno od sredine u kojoj se nalaze čelične konstrukcije, korozija može biti:
  1. atmosferska korozija (u slobodnom ili zatvorenom prostoru),
  2. korozija u vodi,
  3. korozija u zemlji,
  4. kontaktna korozija (nastaje u dodiru sa drugim materijalima),
  5. naponska korozija.

Direktne i indirektne štete od korozije

► U **direktne štete** od korozije spadaju:

1. gubitak težine, odnosno umanjenje debljine čeličnog elementa,

2. negativna promena bitnih mehaničkih i tehnoloških svojstava čelika, kao što su:

a) granica razvlačenja,

b) čvrstoća na zatezanje,

c) izduženje,

d) otpornost na krti lom.

► Nakon dužeg perioda, sve pobrojano za posledicu može imati i narušavanje nosivosti, stabilnosti i upotrebljivosti čelične konstrukcije.

► Naročito nepovoljno dejstvo korozija ima kod savremenih čeličnih konstrukcija kod kojih postoji visok stepen iskorišćenja, ali time i mala rezerva nosivosti, a koje se pak sve više primenjuju:

1. prostorne konstrukcije,
2. lake konstrukcije,
3. ortotropne ploče,
4. tanki limeni elementi kod kojih postoji visok stepen iskorišćenja.

► Upoređenje procentualnog smanjenja površine poprečnog preseka, za različite debljine materijala, prikazano je u tabeli. Jasno može da se uoči drastična razlika iz koje se može izvesti zaključak o znatno većoj ugroženosti od korozije u slučaju tanjih elemenata, pri istoj vrednosti smanjenja debljine.

Debljina materijala	t	[mm]	1	5	10	15
Smanjenje debljine	Δt	[mm]	2x0,1=0,2	0,2	0,2	0,2
Gubitak površine poprečnog preseka	$\frac{\Delta t}{t} 100$	[%]	20	4	2	1,33

Upoređenje procentualnog smanjenja površine poprečnog preseka

► Moguće **indirektne štete** su:

1. prekid proizvodnje,
2. troškovi popravki,
3. ugrožena sigurnost ljudi i objekata itd.

► O ovim, indirektnim štetama treba posebno voditi računa pri razmatranju problema korozije, jer mogu višestruko premašiti direktne štete.

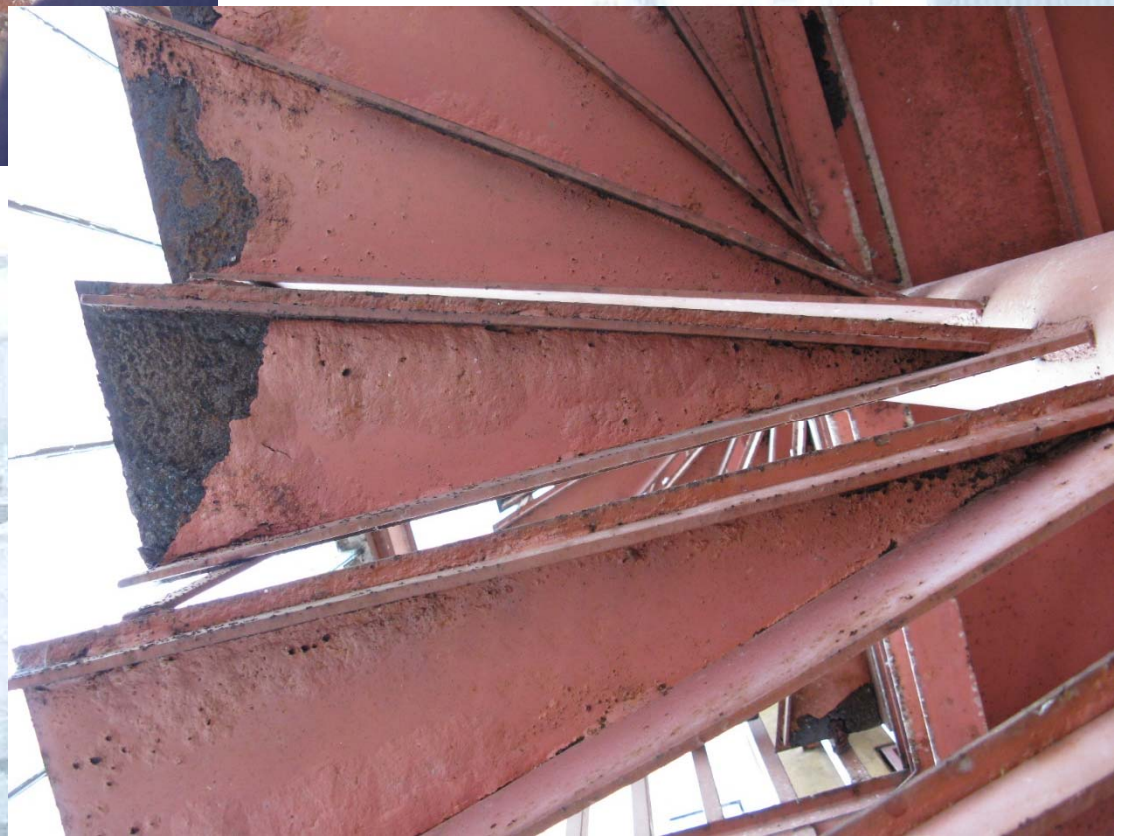


Dejstvo korozije na tanke elemente – podesti protivpožarnog stepeništa na Zmajevim soliterima u Zemunu



Dejstvo korozije na tanke elemente – podesti protivpožarnog stepeništa na Zmajevim soliterima u Zemunu

Dejstvo korozije na tanke elemente – gazišta protivpožarnog stepeništa na Zmajevim soliterima u Zemunu





Dejstvo korozije na tanke elemente – ograda protivpožarnog stepeništa na Zmajevim soliterima u Zemunu



Dejstvo korozije na tanke elemente – ograda protivpožarnog stepeništa na Zmajevim soliterima u Zemunu

Faktori od uticaja na izbor sistema zaštite

► Pri izboru sistema zaštite od korozije treba uzeti u obzir:

1. vrstu čelika,
2. stanje površine konstrukcije,
3. vrstu i način oblikovanja,
4. vrstu opterećenja,
5. položaj i stepen izloženosti konstrukcije spoljnim uticajima,
6. spoljnu sredinu i klimatske uslove (temperaturne promene, stepen vlažnosti, vetrove i dr.),
7. opasnost od skupljanja prašine i nečistoća,
8. pristupačnost i
9. mogućnosti pregleda i obnove primenjenog sistema zaštite.

► Prema Pravilniku o tehničkim merama i uslovima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije (Sl. list SFRJ 32/70), u cilju utvrđivanja merila za izbor sistema zaštite od korozije, čelične konstrukcije se razvrstavaju u tri klase, i to:

I klasa - značajne čelične konstrukcije na otvorenom prostoru (mostovi i druge konstrukcije koje služe javnom saobraćaju, tornjevi i jarboli za transmisiju),

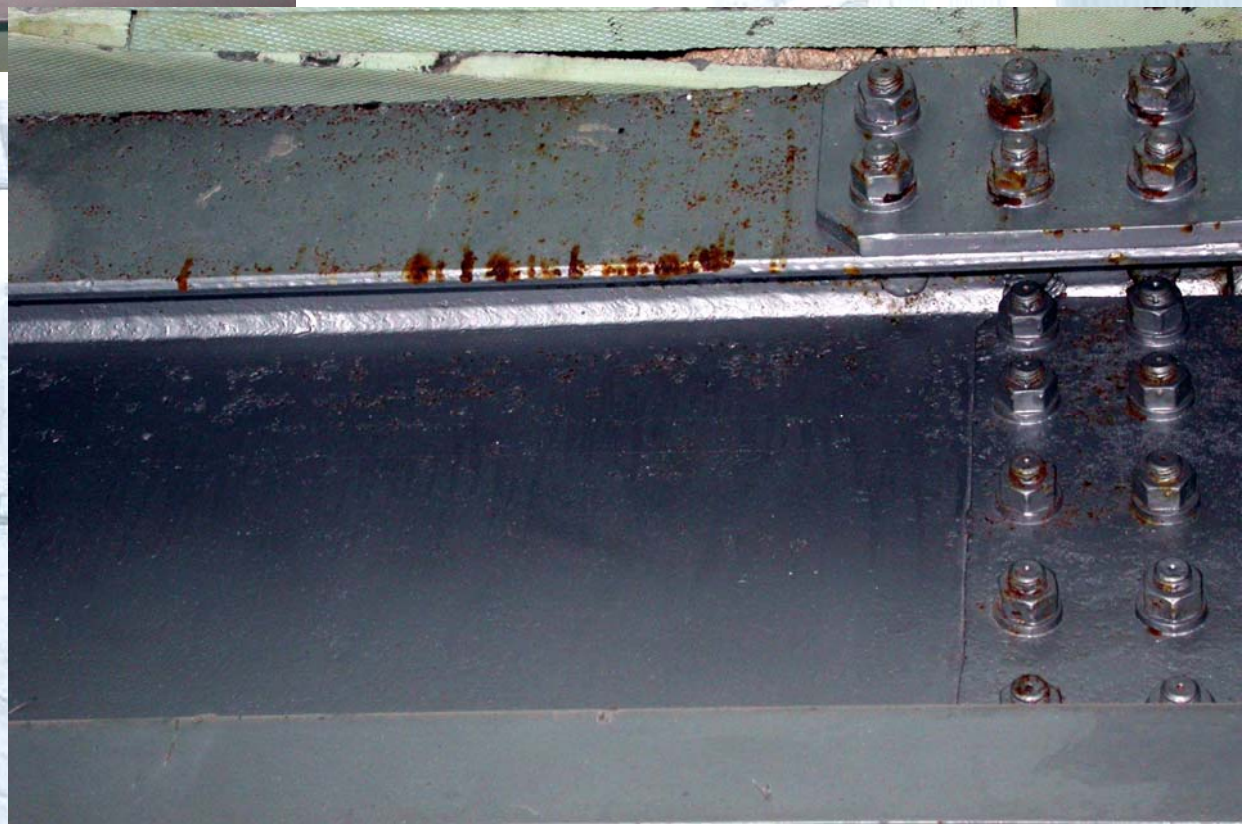
II klasa - ostale čelične konstrukcije na otvorenom prostoru (zgrade, uređaji, stubovi, cevovodi, rezervoari i sl.),

III klasa - čelične konstrukcije u zatvorenom prostoru (krovne konstrukcije, noseće konstrukcije zgrada i sl.).



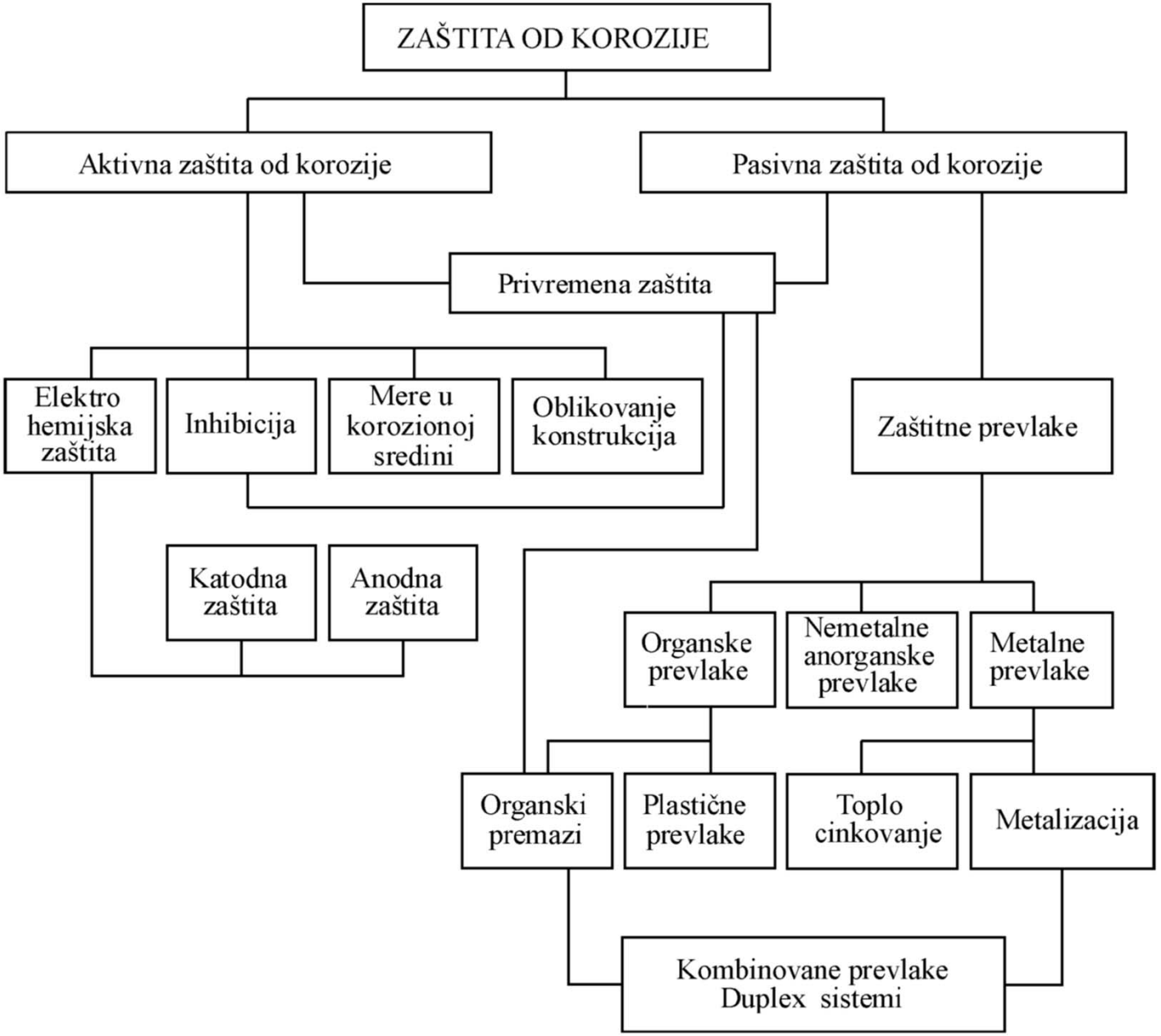
Početak pojave korozije (ubrzo nakon sanacije) na konstrukciji krova bazena Tašmajdan.

Ubrzano dejstvo korozije posledica je izuzeto agresivne sredine (isparavanje hlora)



Zaštita od korozije

- Postoje dva oblika zaštite čeličnih konstrukcija od korozije:
  1. aktivna i
  2. pasivna zaštita.
- Pod **aktivnom zaštitom** podrazumevaju se mere koje utiču na smanjenje agresivnosti okolne sredine, kao i izbor čeličnog materijala i povoljno konstrukcijsko oblikovanje sa stanovišta korozione otpornosti.
- **Pasivna zaštita** zasniva se na izolovanju čeličnih površina od sredine sa korozionim agensima.
- Šematski prikaz generalne klasifikacije mera za zaštitu od korozije prikazan je na slici.



Šematski prikaz mera za zaštitu od korozije

Mere aktivne zaštite od korozije

1. Mere prema korozionoj sredini

►Mere aktivne zaštite od korozije koje treba preduzeti još u fazi izbora lokacije objekta i izrade idejnog projekta usmerene su ka korozionoj sredini, odnosno ka nepovoljnim uslovima korišćenja koje sa stanovišta korozije treba izbegavati.

2. Katodna zaštita

►Još jedan vid aktivne zaštite od korozije predstavlja i katodna zaštita, koja se zasniva na katodnoj polarizaciji čeličnih konstrukcija u prisustvu elektrolita. Katodna polarizacija se ostvaruje pomoću spoljnog izvora jednosmerne struje ili vezivanjem čelične konstrukcije za metal (anodu), čiji je elektrohemijski potencijal negativniji od potencijala čelične konstrukcije koja se zaštićuje. Ovakav vid zaštite takođe utiče na smanjenje agresivnog delovanja okolne sredine.

Mere aktivne zaštite od korozije

3. Izbor materijala

►Različiti delovi konstrukcije često su izloženi različitim korozionim uslovima ili nisu podjednako pristupačni, pa im je i mogućnost obnove zaštite nejednaka.

►U cilju postizanja približno iste korozione otpornosti cele konstrukcije, kao alternativa primeni različitih sistema zaštite, a kao poseban vid aktivne zaštite, treba izvršiti prikladan izbor različitih materijala i kombinovati ih na odgovarajući način.

► Naročitu pažnju treba posvetiti opasnosti od **kontaktne korozije** i, gde je to potrebno, primeniti mere za njeno sprečavanje.

4. Niskolegirani čelici sa povećanom otpornošću na koroziju

►Sloj rđe koji se formira kod ugljeničnog čelika je porozan, propušta vodu i na taj način omogućava širenje procesa korozije na donje slojeve. Jedna od mera za sprečavanje takvog procesa je primena niskolegiranih čelika sa povećanom otpornošću prema koroziji (*weathering steel*), čija je otpornost na koroziju čak 4-6 puta veća u odnosu na ugljenične čelike.

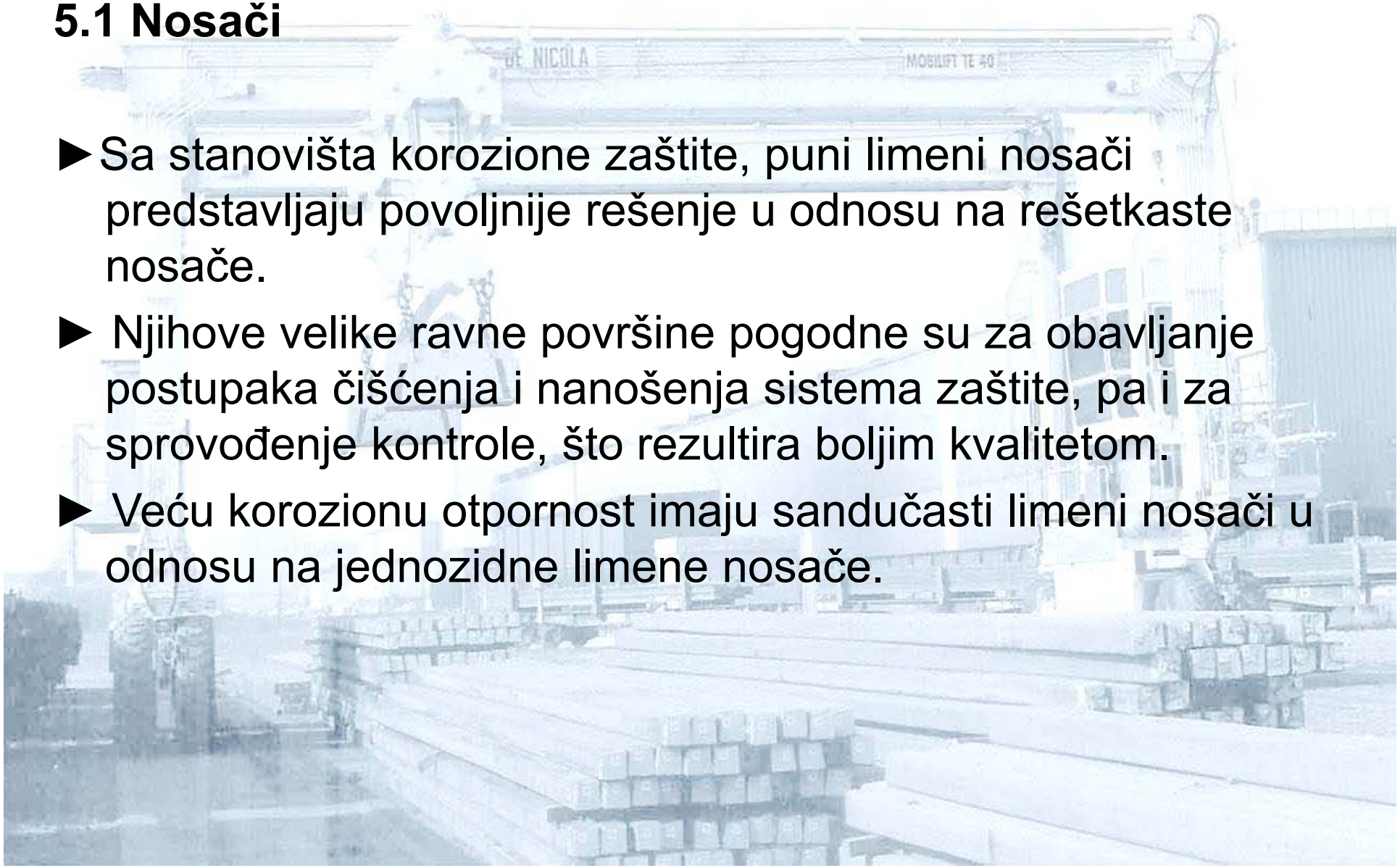
Mere aktivne zaštite od korozije

5. Oblikovanje čeličnih konstrukcija

- Još jedan vid aktivne zaštite čeličnih konstrukcija od korozije, koji treba posebno istaći i o kome svaki projektant treba da vodi računa, predstavlja oblikovanje čeličnih konstrukcija i njihovih elemenata na način koji je celishodan sa aspekta zaštite od korozije.
- Uz ostale mere aktivne zaštite, primenom ovakvog pristupa konstrukcijskom oblikovanju, korozija čelične konstrukcije, a samim tim i potreba za primenom različitih sistema pasivne zaštite, može se svesti na najmanji obim. Time se može postići ne samo smanjenje troškova pasivne zaštite, već i ekonomičnost zbog niskih troškova obnove takve zaštite u periodu eksploatacije objekta.

Mere aktivne zaštite od korozije

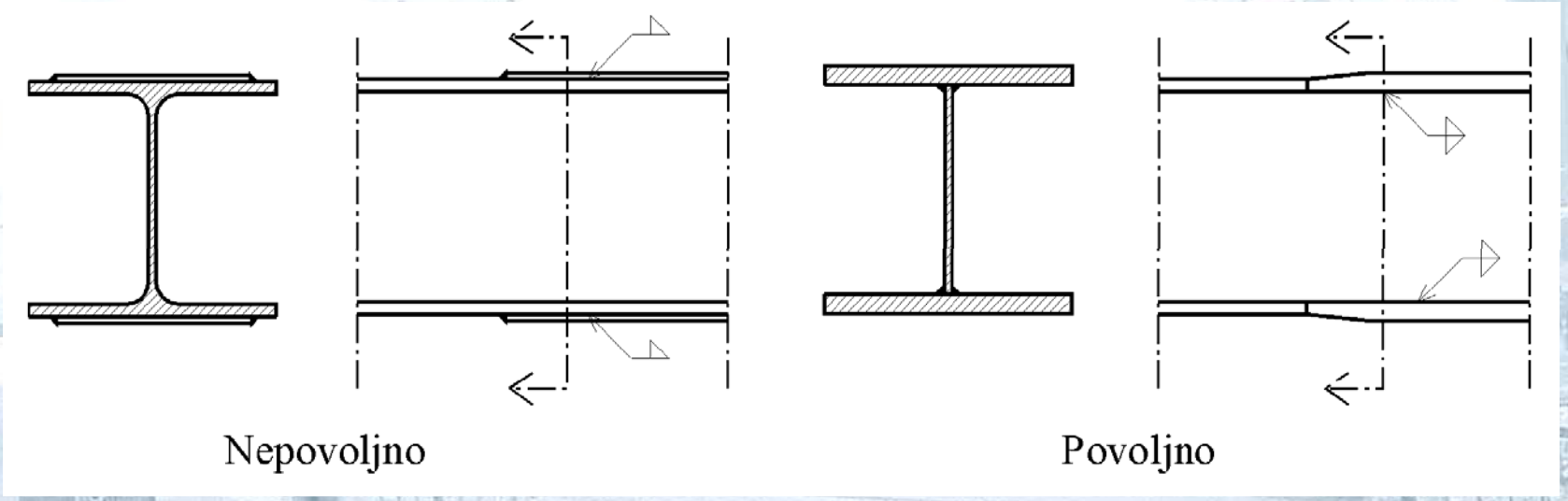
5.1 Nosači



- Sa stanovišta korozione zaštite, puni limeni nosači predstavljaju povoljnije rešenje u odnosu na rešetkaste nosače.
- Njihove velike ravne površine pogodne su za obavljanje postupaka čišćenja i nanošenja sistema zaštite, pa i za sprovođenje kontrole, što rezultira boljim kvalitetom.
- Veću korozionu otpornost imaju sandučasti limeni nosači u odnosu na jednozidne limene nosače.

Mere aktivne zaštite od korozije

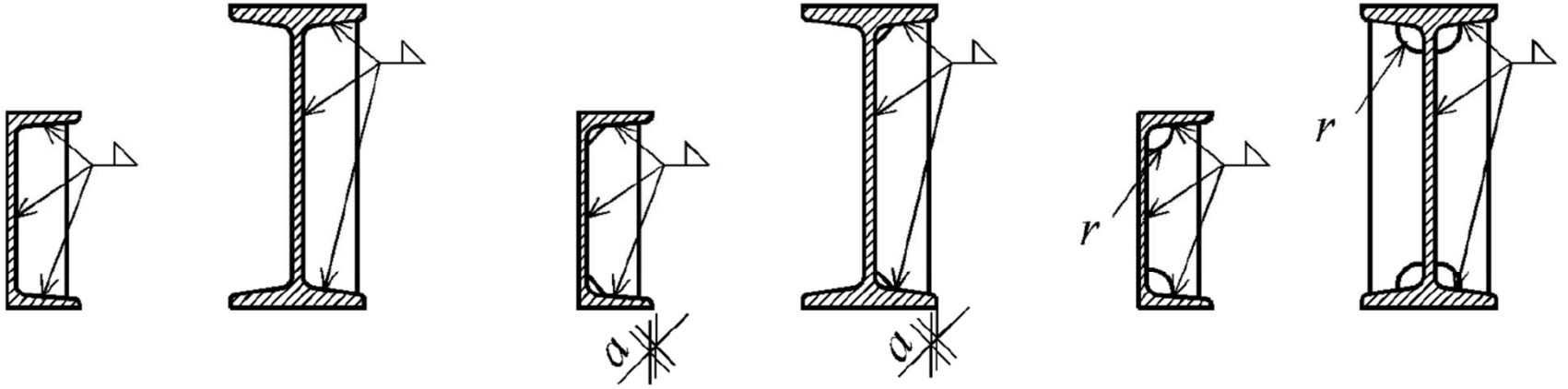
► Pri ojačanju **punih nosača** povoljnije je usvojiti pojasne lamele promenljivih dimenzija zavarene sučeonim šavovima nego dodatne lamele zavarene ugaonim šavovima (slika).



Oblikovanje punih nosača

Mere aktivne zaštite od korozije

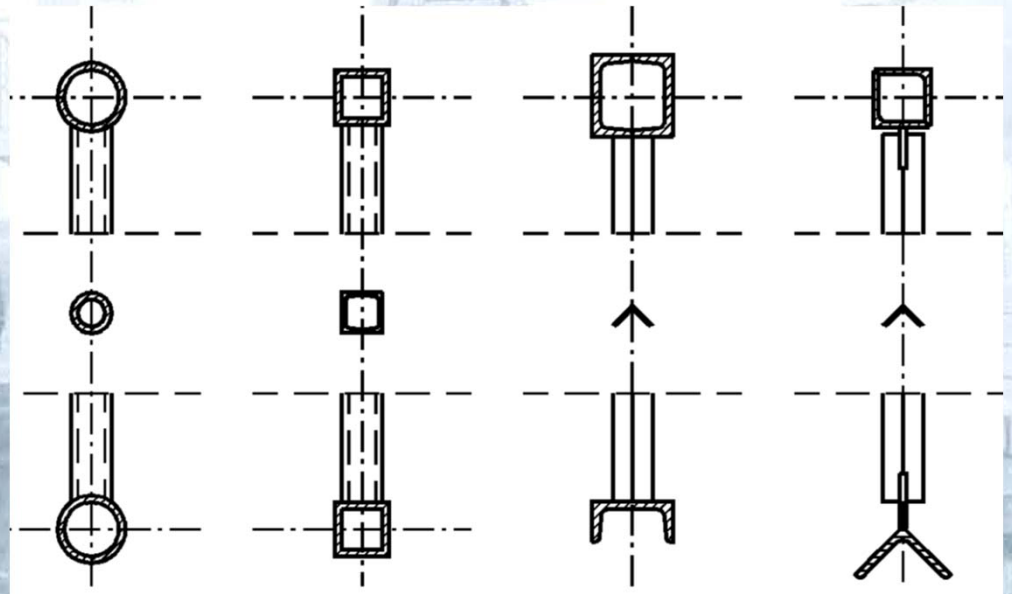
- Ukrućenja limenih nosača treba oblikovati na način prikazan na slici, ili ih izbeći, ukoliko je to moguće sa stanovišta njihove statičke funkcije.



Oblikovanje poprečnih ukrućenja punih nosača

Mere aktivne zaštite od korozije

- **Rešetkasti nosači**, zbog svoje razuđene konstrukcije, brojnih oštrih ivica, čvornih limova i zazora, koji predstavljaju mesta pogodna za započinjanje korozije (tzv. "korozione tačke"), nepovoljniji su sa korozionog aspekta.
- Prilikom oblikovanja ovakvih nosača potrebno je, stoga, težiti izbegavanju takvih mesta. Najpovoljniji su rešetkasti nosači bez čvornih limova, formirani direktnim zavarivanjem okruglih, zatim četvorougaonih šupljih profila, pa najzad oštroivičnih profila (slika).



Oblikovanje rešetkastih nosača

Mere aktivne zaštite od korozije

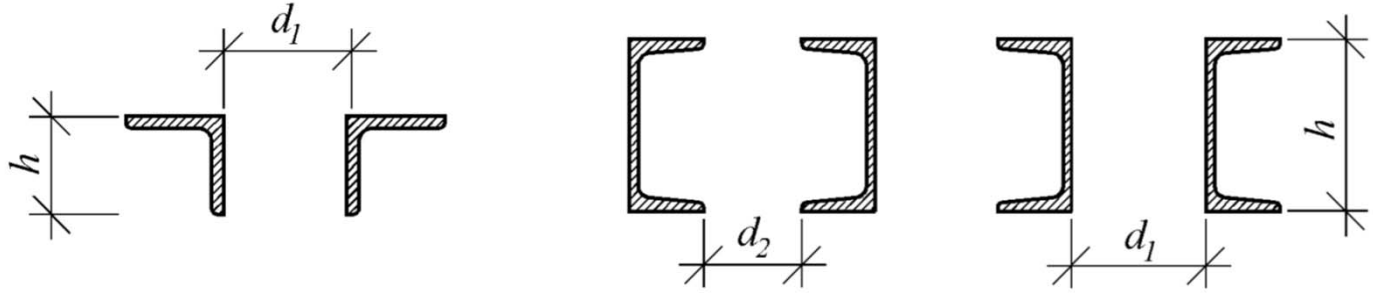
5.2 Poprečni preseci

► Što se oblika poprečnih preseka tiče, poželjno je primenjivati preseke sa manjim odnosom površine predviđene za zaštitu od korozije i težine (O/G [m^2/t]), jer se tako postiže ekonomičnost predviđenog sistema antikorozione zaštite.

► Mogućnost pojave i brzina širenja korozije zavise od oblika poprečnih preseka. Sa tog aspekta, najveću korozionu otpornost imaju okrugli, zatim četvorougaoni šuplji profili, pa oštroivični profili.

Mere aktivne zaštite od korozije

► U slučaju višedelnih i otvorenih preseka (slika), u cilju nesmetanog nanošenja, ili obnove zaštite, propisane su minimalne vrednosti razmaka *d*1 i *d*2, u zavisnosti od visine preseka *h* (tabela).



Oblikovanje višedelnih štapova

Razmak	Visina preseka	Nanošenje zaštite
$d_1 \geq h/2$	h	Prskanjem
$d_1 \geq h$	h	Premazivanjem četkama
$d_2 \geq 120$ mm	$h \leq 300$ mm	
$d_2 \geq 120+0{,}767(h-300)$	$300 < h < 600$	
$d_2 \geq 350$ mm	$h \geq 600$ mm	

Minimalne vrednosti razmaka kod višedelnih profila

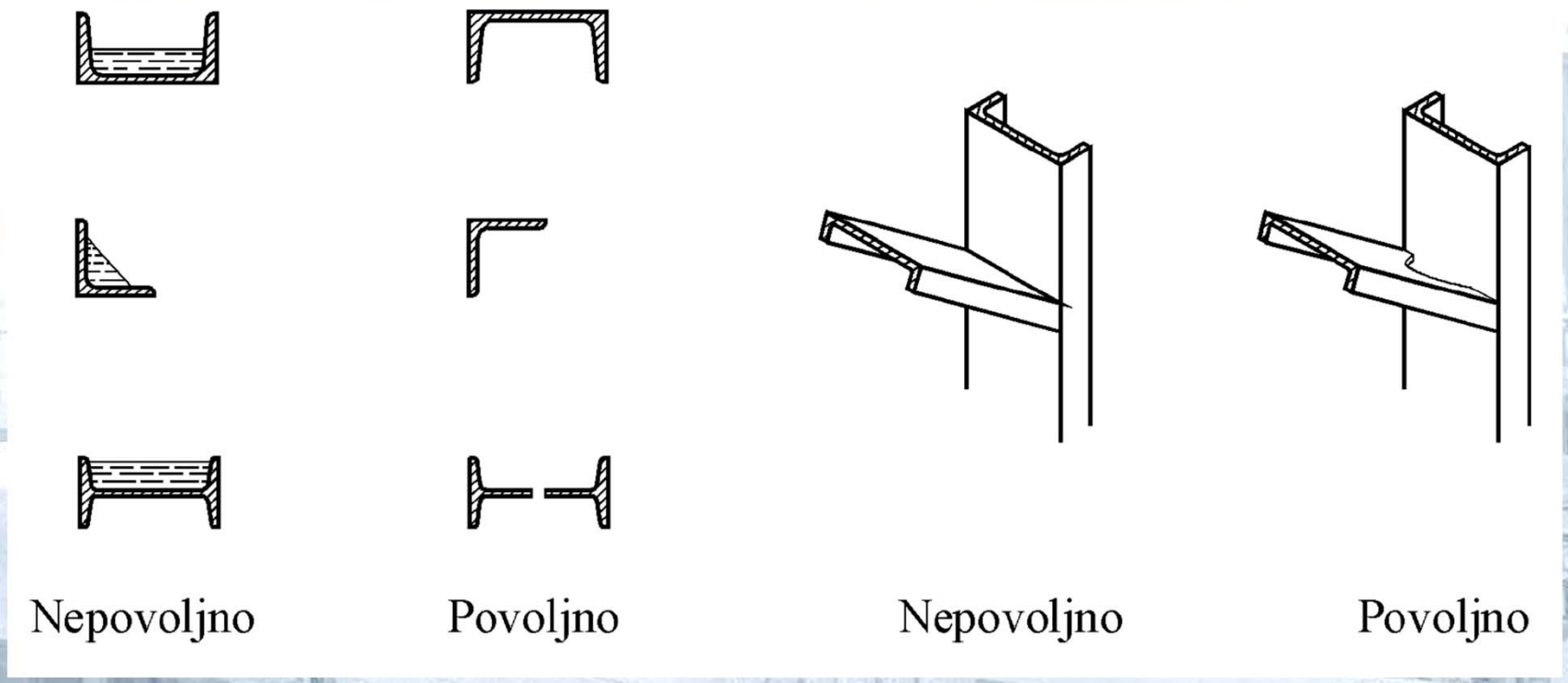
Mere aktivne zaštite od korozije

- Elemente čeličnih konstrukcija **zatvorenog neprohodnog poprečnog preseka**, radi sprečavanja unutrašnje korozije, potrebno je hermetički zatvarati poklopcima koji se zavaruju na njihovim krajevima. Takvi elementi zaštićuju se samo sa spoljne strane.

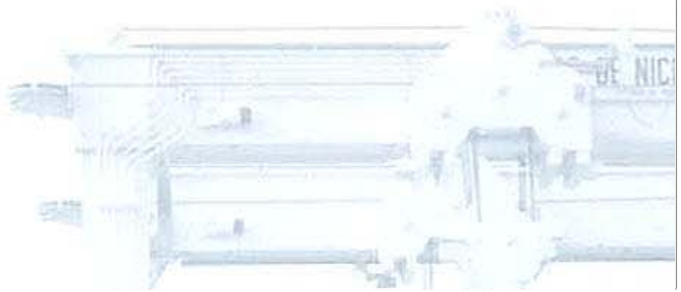
- Elementi čeličnih konstrukcija **III klase** ne moraju se hermetički zatvarati zavarivanjem, ako su njihove unutrašnje površine zaštićene od korozije i ukoliko im je obezbeđeno dobro provetravanje i odvodnjavanje. Pažnju treba usmeriti i ka orijentaciji poprečnih preseka, naime, treba težiti da poprečni preseci budu postavljeni tako da ne zadržavaju vodu (slika)

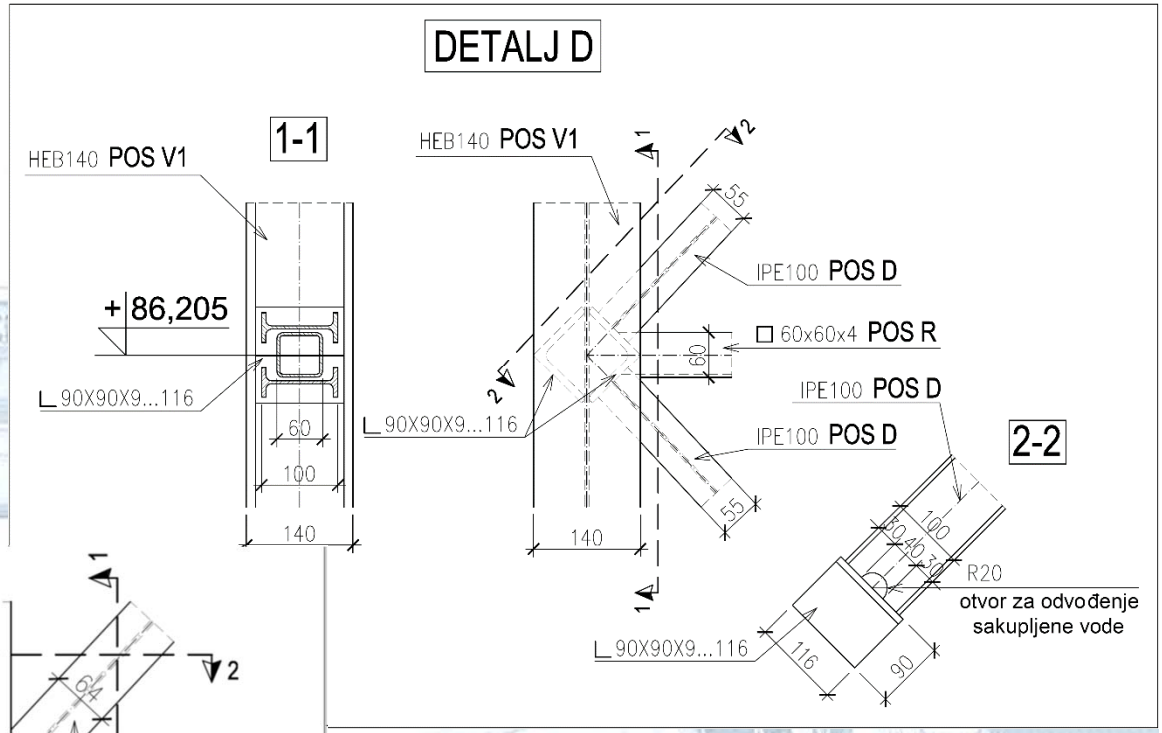
Mere aktivne zaštite od korozije

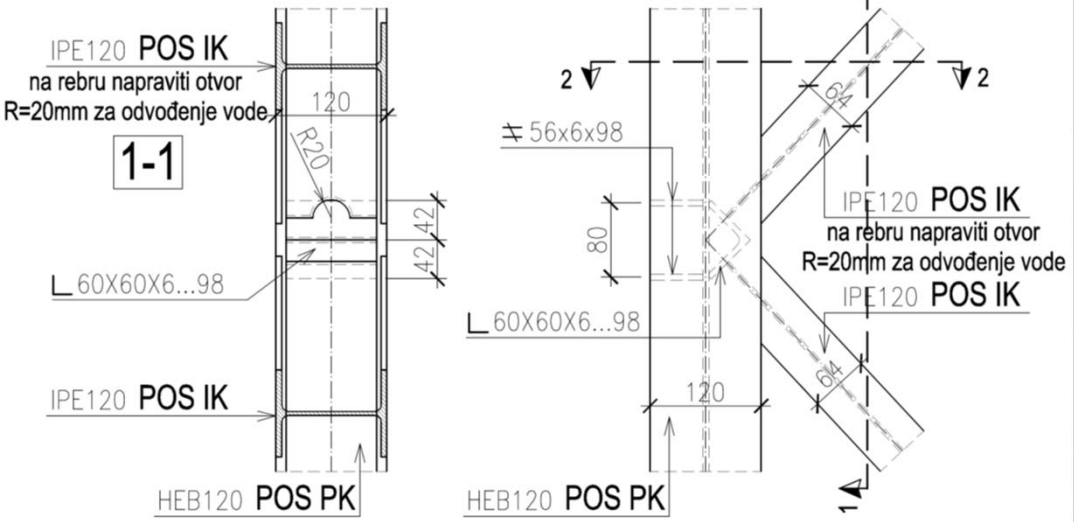
- Pažnju treba usmeriti i ka orijentaciji poprečnih preseka, naime, treba težiti da poprečni preseci budu postavljeni tako da ne zadržavaju vodu (slika)

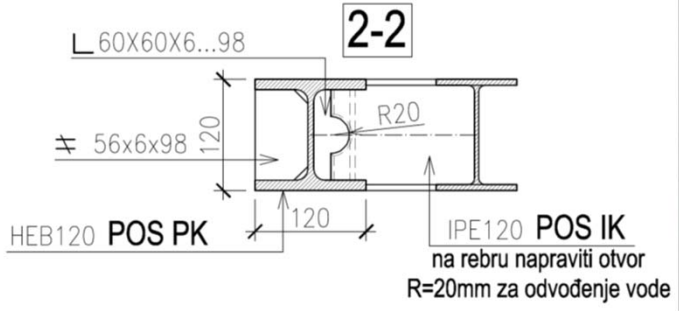


Položaj otvorenih preseka u konstrukciji











Detalji čelične konstrukcije pasarele sa naglašenim merama za sprečavanje zadržavanja vode

Mere aktivne zaštite od korozije

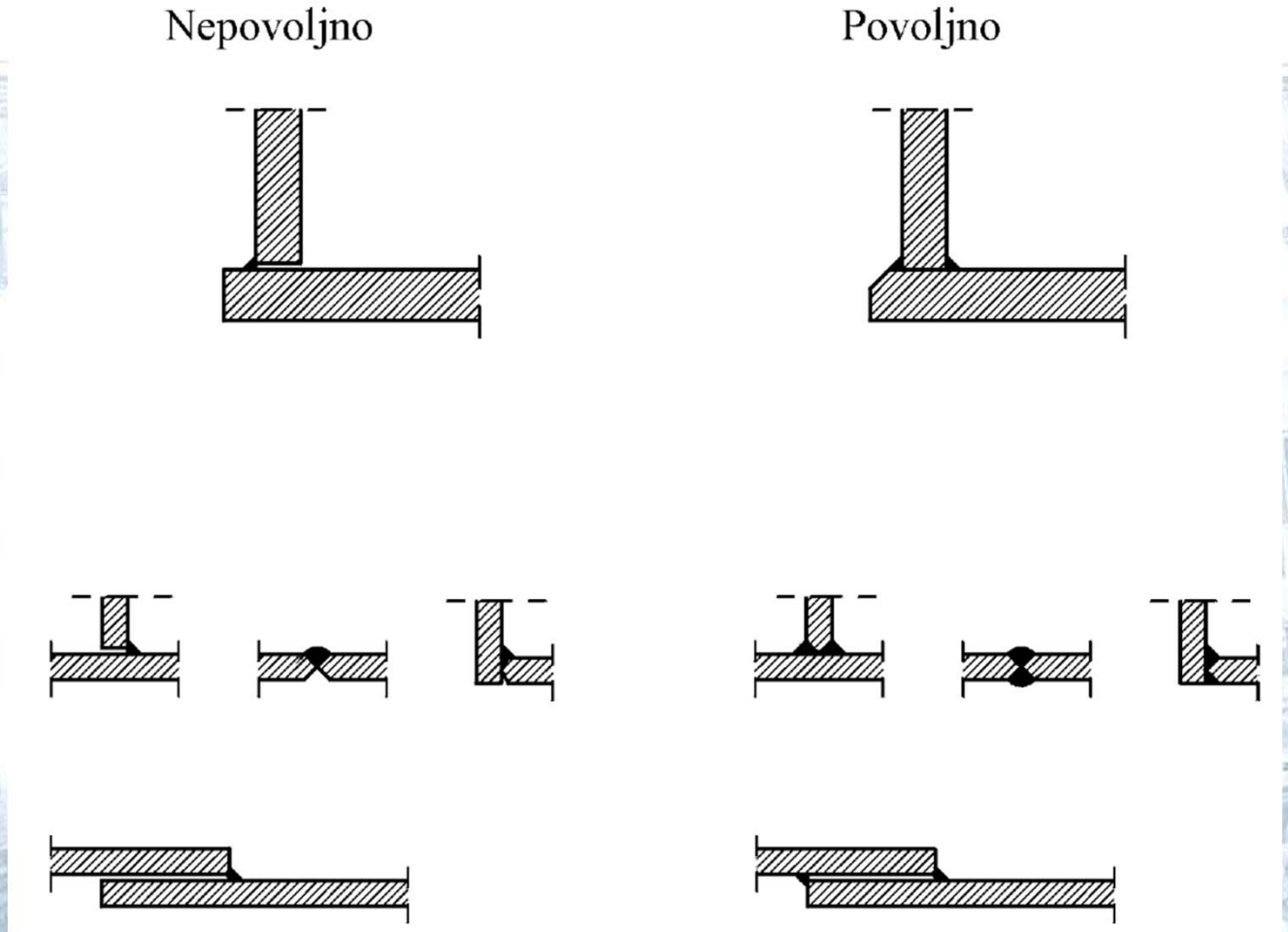
5.3 Spojna sredstva

- ►Spojevi i spojna sredstva, takođe, predstavljaju kritična mesta sa stanovišta korozije.
- ► U odnosu na mehanička spojna sredstva zavarivanje ima prednost u smislu prevazilaženja problema korozije.
- ► Ipak, treba izbegavati isprekidane šavove, jednostrane ugaone i nepotpuno provarene sučeone šavove, jer zazori koji u tim slučajevima figurišu predstavljaju "korozione tačke" (slika).
- ► Takođe je potrebno otkloniti sve neravnine, ispupčenja i zareze na površini šavova, jer oni onemogućavaju stvaranje ravnomernog sloja zaštite i time narušavaju njegov kvalitet.



Korozija spojnih sredstava

Mere aktivne zaštite od korozije

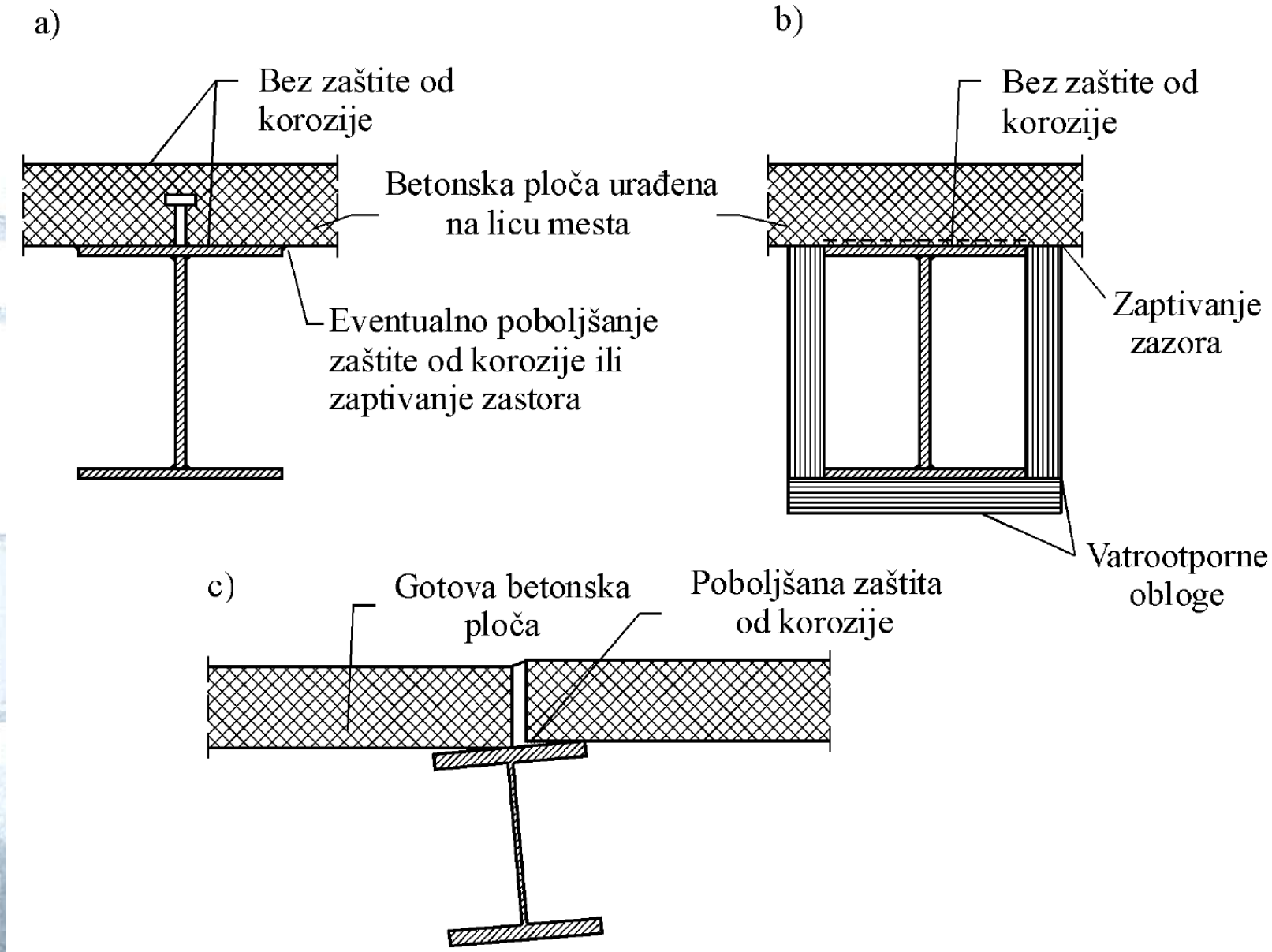


Oblikovanje zavarenih spojeva

Mere aktivne zaštite od korozije

5.4 Međuspratne konstrukcije

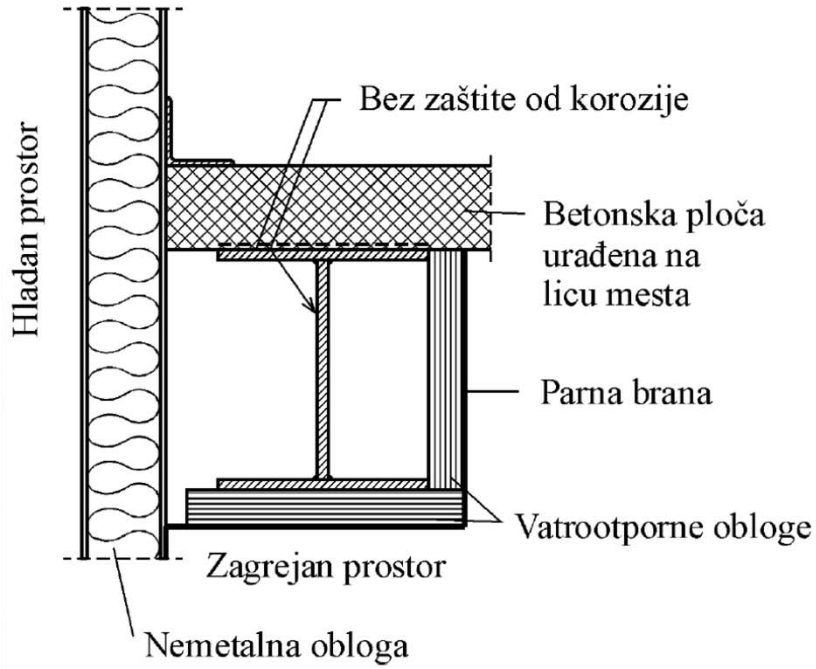
- U ovom slučaju, važan faktor predstavljaju **temperaturni uslovi** iznad i ispod međuspratne konstrukcije.
- Ukoliko je **prostor zagrejan sa obe strane betonske ploče**, dovoljno je primeniti posebnu zaštitu ili potpuno zaptivanje podužnih zazora u spoju nosača ili vatrootporne obloge sa betonskom pločom.
- U slučaju primene prefabrikovanih betonskih ploča, alternativa zaptivanju podužnih zazora je nanošenje poboljšane zaštite od korozije na dodirnu površinu nosača međuspratne konstrukcije i betonske ploče (slika).

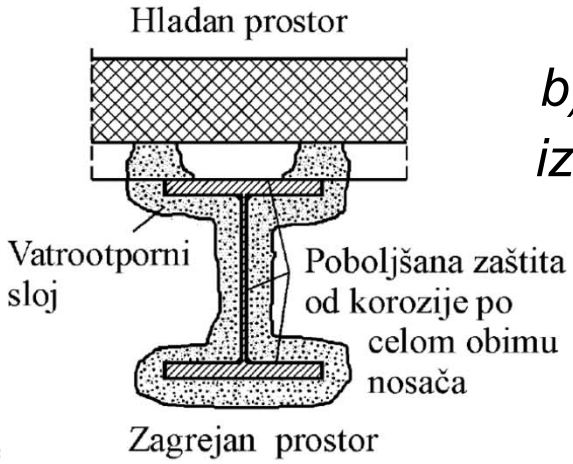


Mere zaštite u slučaju iste temperature iznad i ispod betonske ploče

Mere aktivne zaštite od korozije

- Ukoliko postoji **razlika u zagrejanosti prostora sa različitih strana betonske ploče**, ili u slučaju **ivičnih nosača uz fasadnu oblogu**, potrebno je postaviti parnu branu po celom obimu vatrootporne obloge i izvršiti dobro zaptivanje u spoju sa betonskom pločom i fasadnom oblogom (slika a).
- Ukoliko je primenjen vatrootporni sloj, ili u odsustvu bilo kakve zaštite od požara, neophodno je izvršiti poboljšanu zaštitu od korozije po celom obimu nosača (slika b).

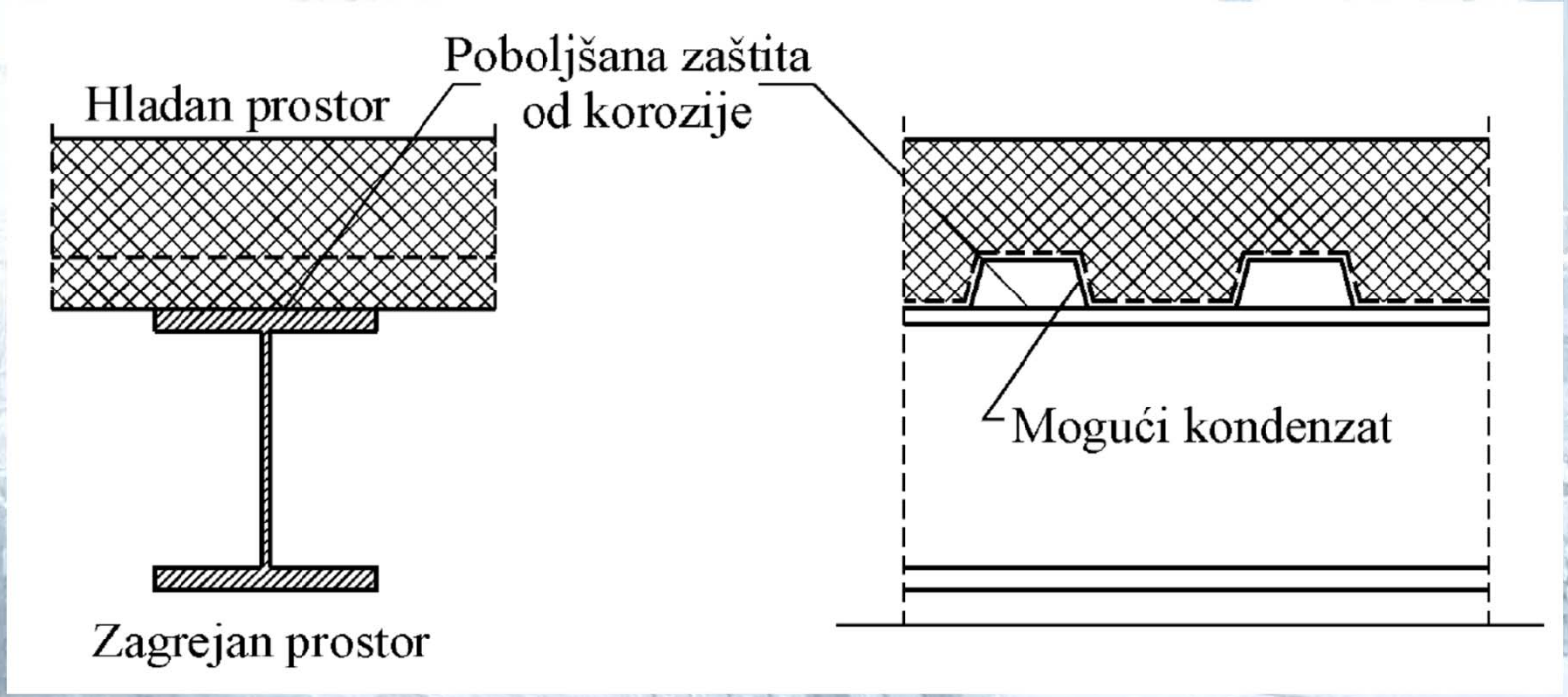




Mere zaštite u slučaju:
a) ivičnih nosača;
b) razlike temperature iznad i ispod betonske ploče

Mere aktivne zaštite od korozije

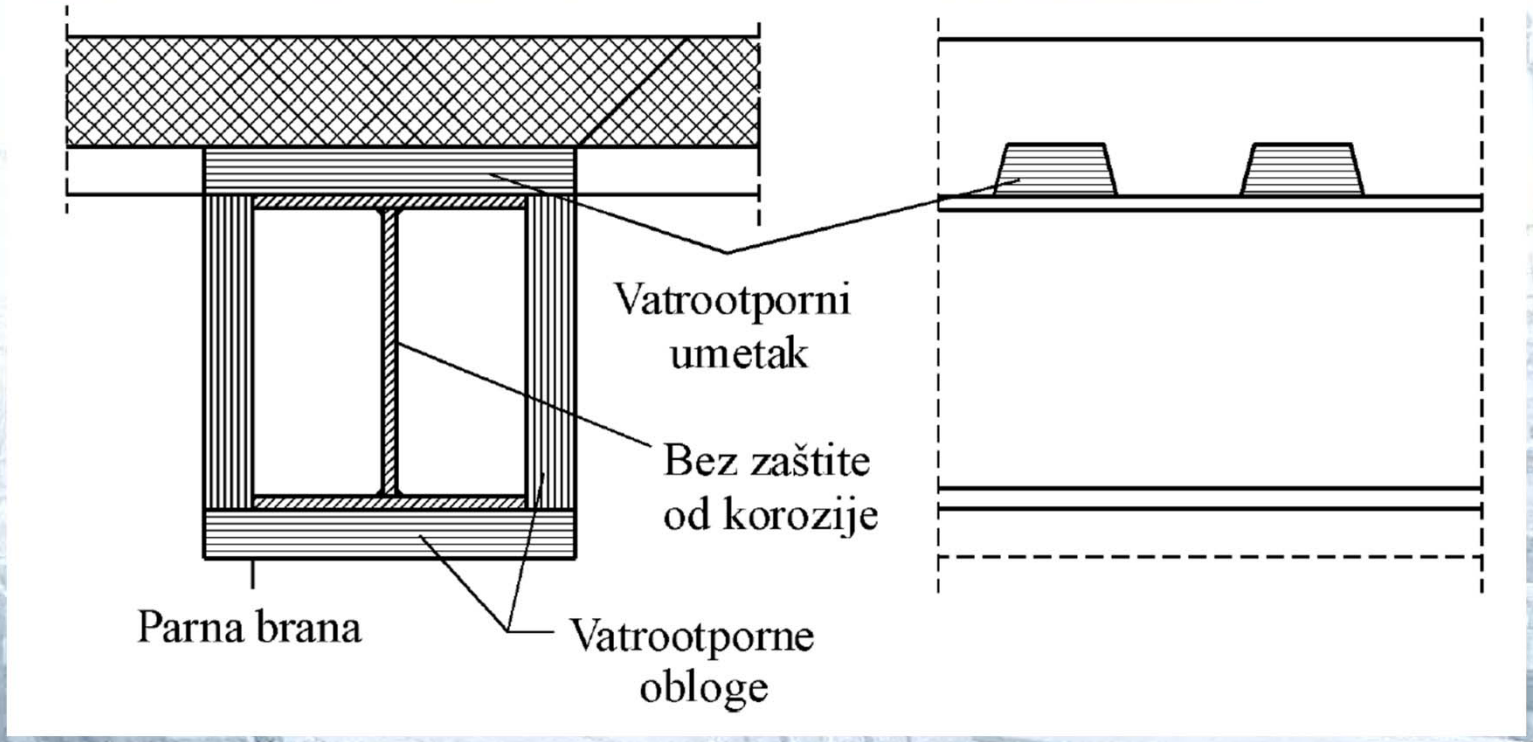
►U slučaju **betonskih ploča sa profilisanim limovima**, kritična mesta za pojavu kondenzata, a time i za pojavu korozije, predstavljaju šuplji prostori između gornjeg pojasa nosača međuspratne konstrukcije i trapezastog lima, te je potrebno sprovesti njihovu poboljšanu zaštitu (slika).



Mere zaštite u spoju nosača i betonske ploče sa profilisanim limovima

Mere aktivne zaštite od korozije

► Ukoliko je čelični nosač obložen vatrootpornom oblogom, vrši se utiskivanje vatrootpornih umetaka u šupljine između profilisanog lima i nosača, a po obimu vatrootporne obloge postavlja se parna brana (slika b).

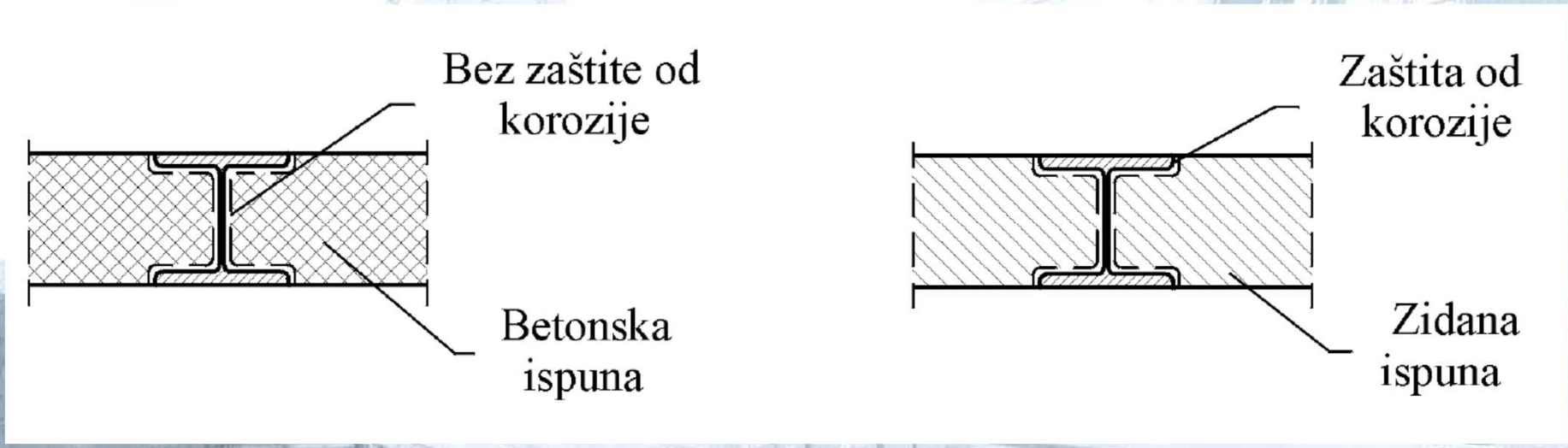


Mere zaštite u spoju nosača i betonske ploče sa profilisanim limovima

Mere aktivne zaštite od korozije

5.5 Stubovi u obimnim zidovima i stope stubova

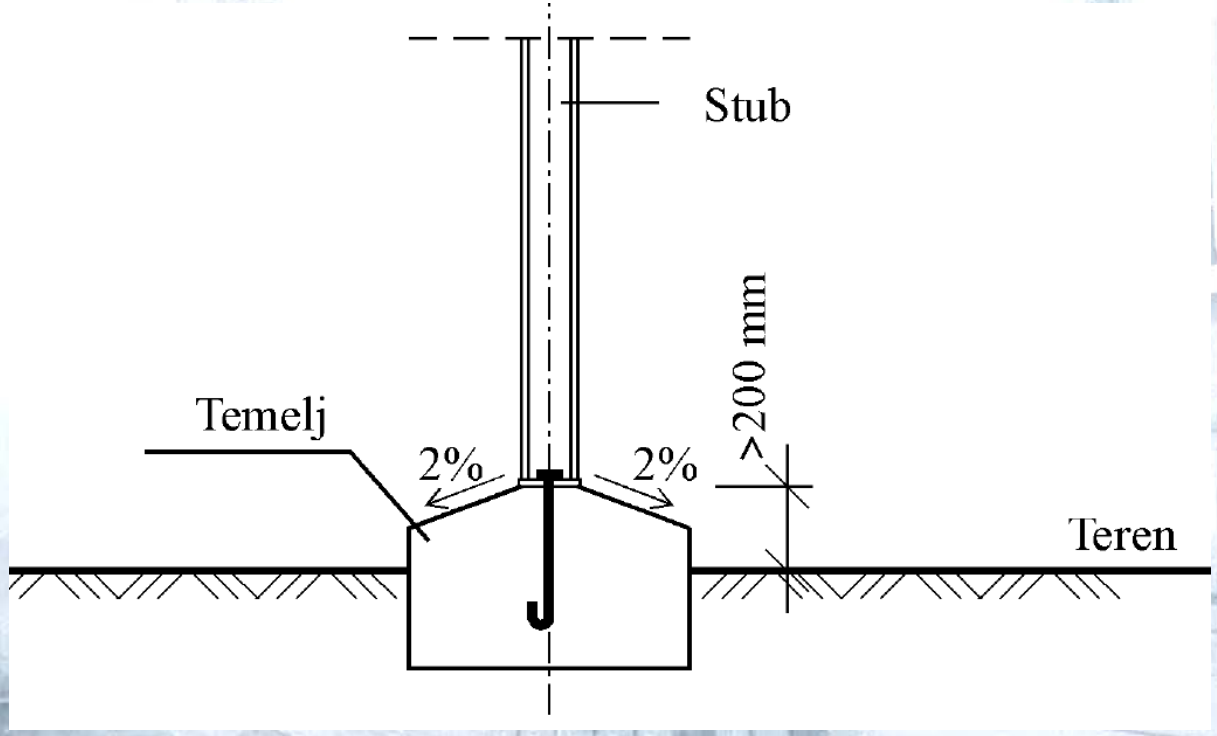
►Kada ispuna obimnih zidova i stubovi leže u istoj ravni, pri čemu je materijal ispune beton bez prslina, nije potrebno primeniti zaštitu od korozije dodirnih površina. U slučaju primene zidane ispune, odgovarajuća zaštita se mora predvideti (slika).



Mere zaštite u spoju čeličnog stuba i zidne ispune

Mere aktivne zaštite od korozije

- U cilju zaštite od korozije stopa čeličnih stubova, potrebno je izdići betonski temelj najmanje 20 cm iznad terena, a oblik temelja prilagoditii brzom oticanju vode sa mesta kontakta čelika i betona (slika).



Oblikovanje stope stubova

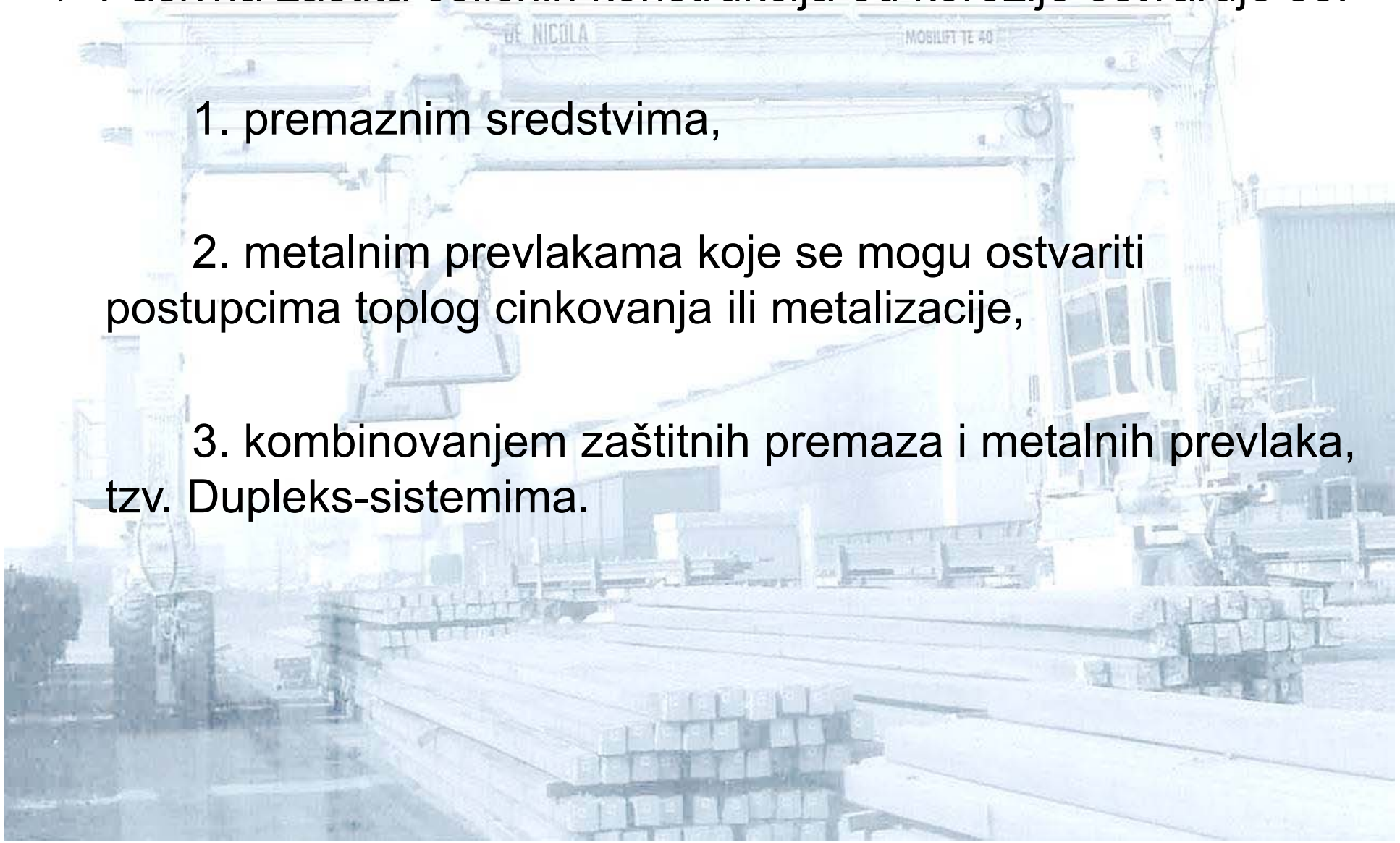
Mere pasivne zaštite od korozije

► Pasivna zaštita čeličnih konstrukcija od korozije ostvaruje se:

1. premaznim sredstvima,

2. metalnim prevlakama koje se mogu ostvariti postupcima toplog cinkovanja ili metalizacije,

3. kombinovanjem zaštitnih premaza i metalnih prevlaka, tzv. Dupleks-sistemima.



Mere pasivne zaštite od korozije

Priprema površina čeličnih konstrukcija za zaštitu od korozije

► Da bi se izvela kvalitetna zaštita od korozije, neophodno je prethodno pripremiti površinu čelične konstrukcije. Priprema obuhvata uklanjanje:

1. masnoća,
2. nečistoća,
3. kovarina od valjanja i žarenja, rđe i stranih materija (kao što su oštećeni delovi postojećih premaza ili prevlaka i sl.) sa čeličnih površina.

► Pravilnikom o tehničkim merama i uslovima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije definisana su **tri stepena čišćenja čeličnih površina**:

I stepen - potpuno uklanjanje nečistoća i uklanjanje slabo vezanih delova kovarine, rđe i stranih materija,

II stepen - potpuno uklanjanje nečistoća i uklanjanje slabo vezanih delova kovarine, rđe i stranih materija do te mere da na čeličnoj površini smeju ostati samo tamne pore, odnosno tragovi premaza,

III stepen - potpuno uklanjanje nečistoća, kovarine, rđe i stranih materije - sve do čistog metala.

Mere pasivne zaštite od korozije

► Kod nas ipak najčešću primenu nalazi gradacija stepena čistoće čeličnih površina definisana svetski poznatom i priznatom švedskom normom **SIS 055900**. Kategorizacija stepena čistoće površina definisana ovim standardom, sa opisom odgovarajućih bitnih obeležja pripreme površina, prikazana je u tabeli.

Stepen čistoće	Bitna obeležja pripreme čeličnih površina
Sa 1	Odstranjeni su samo slabo vezani slojevi buđi, rđe i drugih naslaga (videti sliku 11.16d).
Sa 2	Skoro u potpunosti su odstranjeni buđ, rđa i ostale naslage tako da na površini smeju ostati samo veoma čvrsto vezani ostaci ovih slojeva (kao kod uzorka na slici 11.16e).
Sa 2½	Buđ, rđa i ostale naslage su odstranjene u toj meri da njihovi ostaci ostaju uočljivi na površini samo kao blage senke pora (videti uzorak na slici 11.16f).
Sa 3	Buđ, rđa i ostale naslage su u potpunosti odstranjene (kada se površina posmatra bez uvećanja)

Kategorizacija stepena čistoće površina prema SIS 055900

Mere pasivne zaštite od korozije

- U okviru pripreme čeličnih površina sprovode se tehnološke operacije:
    1. odmašćivanja,
    2. čišćenja,
    3. otprašivanja i
    4. prethodne zaštite.

- **Odmašćivanje** se vrši brisanjem čistim krpama ili četkama natopljenim rastvaračima masnoće, kao i u posebnim uređajima za odmašćivanje. Nakon odmašćivanja sve čelične površine moraju se obrisati suvim, čistim krpama.

Mere pasivne zaštite od korozije

►Za **čišćenje čeličnih površina** primenjuju se sledeći postupci:

- **Čišćenje mlazom abraziva** (peskarenje) je najčešće primenjivani postupak, koristi se za dostizanje drugog i trećeg stepena čišćenja i pri najvećem stepenu zarđalosti površine. Za ovaj postupak mogu se koristiti ručne ili automatske protočne peskare;
- **Čišćenje plamenom** je postupak čišćenja čelične površine oksiacetilenskim plamenom i pogodnim gorionikom, uz zagrevanje do 150 °C. Ovim postupkom može se ostvariti drugi stepen čišćenja. Ne sme se primenjivati za materijale debljine do 6 mm;
- **Čišćenje hemijskim sredstvima** vrši se potapanjem čeličnih površina u rastvore neorganskih ili organskih kiselina. Mora se primeniti u slučaju zaštite od korozije toplim cinkovanjem;
- **Mašinsko čišćenje** je postupak koji se obavlja uz pomoć specijalnog mašinskog alata i uređaja (specijalnih čekića, rotacionih čeličnih četki, brusilica i dr.). Može se primeniti u slučaju jake rđe ili čvrste kovarine;
- **Ručno čišćenje** obavlja se pomoću čekića, strugalice, lopatice ili čelične četke. Pogodno je za čišćenje manje pristupačnih delova koji se ne mogu čistiti mašinskim putem.





Mobilna peskara

Peskarenje konstrukcije mobilnom peskarom





Peskarenje konstrukcije





Peskarenje konstrukcije tramvajskog mosta u Beogradu

Mere pasivne zaštite od korozije

► Nakon čišćenja čeličnih površina, mora se izvršiti njihovo **otprašivanje** i to usisavanjem, ili oduvavanjem prašine mlazom komprimovanog vazduha.

► **Prethodna zaštita** čeličnih konstrukcija izvodi se pomoću:

1. voš-prajmera (*wash-primer*),
2. ič-prajmera (*etch-primer*), ili
3. sredstva za ispiranje površina,

a predstavlja privremenu zaštitu očišćene površine do nanošenja osnovnog premaza ili drugog sredstva zaštite od korozije.

Mere aktivne zaštite od korozije

Premazna sredstva

- Primena zaštitnih premaza najčešće je primenjivani način zaštite čeličnih konstrukcija od korozije.
- Premazna sredstva predstavljaju materije koje posle sušenja na vazduhu ostavljaju suvi film kao zaštitnu prevlaku. Nanose se ručnim postupkom (četkom, pištoljem ili valjkom), mašinskim postupkom, ili automatskim postupkom, zavisno od oblika čelične konstrukcije i njenih delova koje treba zaštititi.
- Zaštitni premaz može biti osnovni i pokrivni.
- **Osnovni premaz** se nanosi u jednom ili dva sloja, a **pokrivni** u dva ili tri sloja.
- Prvi osnovni premaz na bazi uljanog minijuma nanosi se, po pravilu, četkama neposredno nakon pripreme čelične površine u radionici i njegova trajnost iznosi oko 6 meseci. Ostali premazi mogu se naneti na gradilištu nakon završene montaže čelične konstrukcije.

Mere aktivne zaštite od korozije

- Danas postoji širok spektar zaštitnih premaza na bazi:
  1. uljanih boja,
  2. alkidnih i epoksidnih smola,
  3. vinila,
  4. poliestera,
  5. poliuretana,
  6. bitumena,
  7. hlor-kaučuka,
  8. neorganskih silikata itd.
- Svi zaštitni premazi, do određene mere, propuštaju vlagu i kiseonik i osetljivi su na UV zrake i dejstvo hemikalija, što ograničava njihovu trajnost, pa treba predvideti periodično obnavljanje premaza.
- Trajnost zaštitnih premaza raste sa povećanjem ukupne debljine, koja zavisi od agresivnosti sredine i iznosi oko **100-300 µ**. Ona može iznositi i **5 do 10 godina**, ukoliko se sprovede propisana tehnologija i izvrši pravilan izbor sistema premaza.

Mere aktivne zaštite od korozije

Metalne prevlake

► Zaštita od korozije može se ostvariti i oblaganjem površine čelika drugim metalom.

► Za zaštitu čeličnih konstrukcija najviše se koriste cink i aluminijum, a postupci za njihovo nanošenje su:

1. toplo cinkovanje i
2. metalizacija.

► Dobijena zaštita ima po pravilu veću trajnost nego zaštitni premazi, i efikasna je u slučaju sredine sa jačim korozionim agensima, kao i kod konstrukcija sa otežanim uslovima za obnovu zaštite.

Mere aktivne zaštite od korozije

Metalne prevlake – toplo cinkovanje

► Postupak toplog cinkovanja je našao primenu kod svih vrsta čeličnih konstrukcija u:

- građevinarstvu,
- mašinstvu,
- rudarstvu,
- poljoprivredi,
- industriji, kao i kod velikog broja proizvoda za domaćinstvo i kod drugih proizvoda kod kojih se koriste elementi od tankog lima.

► Ovaj postupak se primenjuje i kod betonskih konstrukcija u jako agresivnim sredinama kod kojih se vrši **toplo cinkovanje armature.**



Cink u čvrstom stanju, pripremljen za rastapanje u kadama za toplo cinkovanje

Mere aktivne zaštite od korozije

Metalne prevlake – toplo cinkovanje

►Postupak toplog cinkovanja (slika) sastoji se od sledećih operacija:

1. **Mehaničko uklanjanje nečistoća**, kao što su kovarina, troska od zavarivanja, pesak od peskarenja i dr;

2. **Hemijsko čišćenje čelične konstrukcije** od masnih mrlja, boje, ulja i drugih nečistoća potapanjem konstrukcije u razblaženi rastvor hlorovodonične kiseline, čime se površina nagriza i omogućava bolje nanošenje prevlake od cinka (slika a);

3. **Ispiranje u kadi sa vodom** (slika b);

4. Potapanje čelične konstrukcije u kadu sa rastopom ili rastvorom topitelja (flusa), tzv. **flusovanje** (slika c);

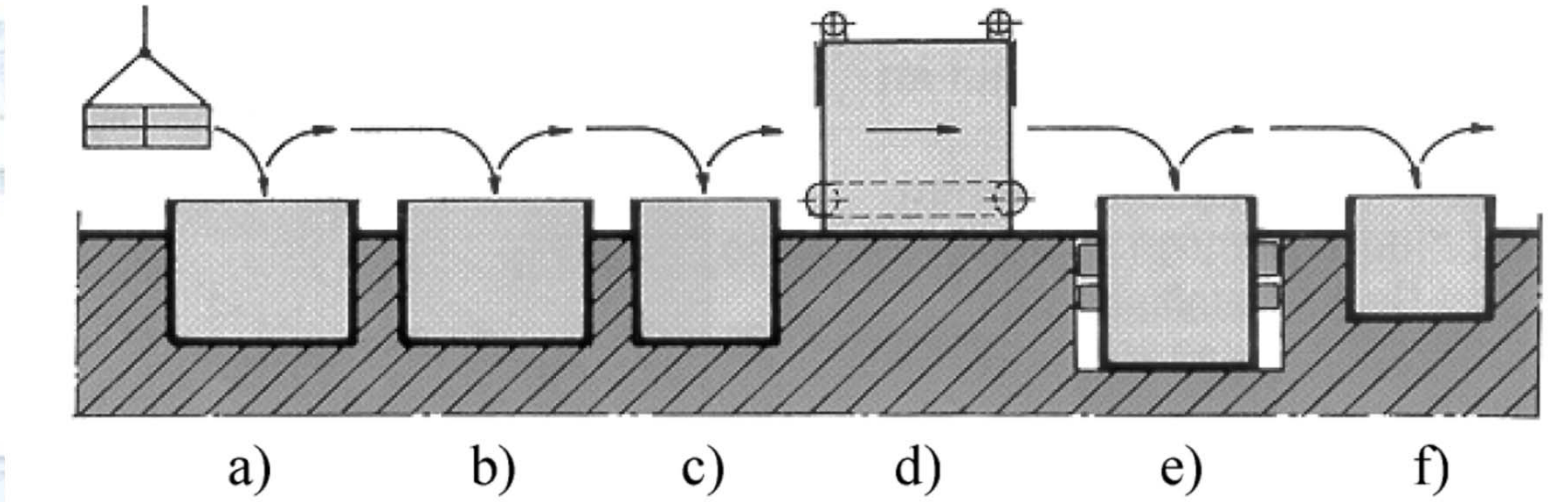
5. **Sušenje konstrukcije** zagrejanim vazduhom u peći (slika d);

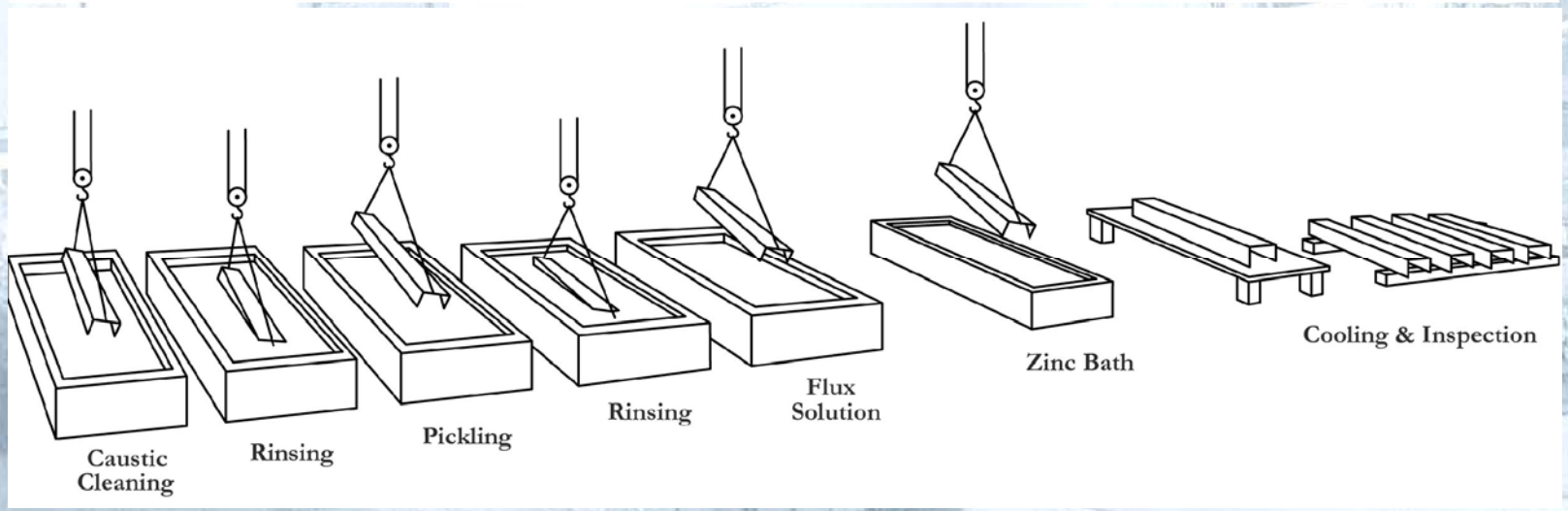
6. **Potapanja čelične konstrukcije u kadu sa rastopljenim cinkom** (slika e), pri čemu se čelik zagreva do temperature od 450 °C, uz zadržavanje od oko 1,5-5 minuta. Na površini čelika formiraju se različiti slojevi legura gvožđa i cinka, preko koje se nakon izvlačenja iz kade za cinkovanje stvara čist sloj cinka.

7.Hlađenje konstrukcije u kadi sa vodom (slika f).

Mere aktivne zaštite od korozije

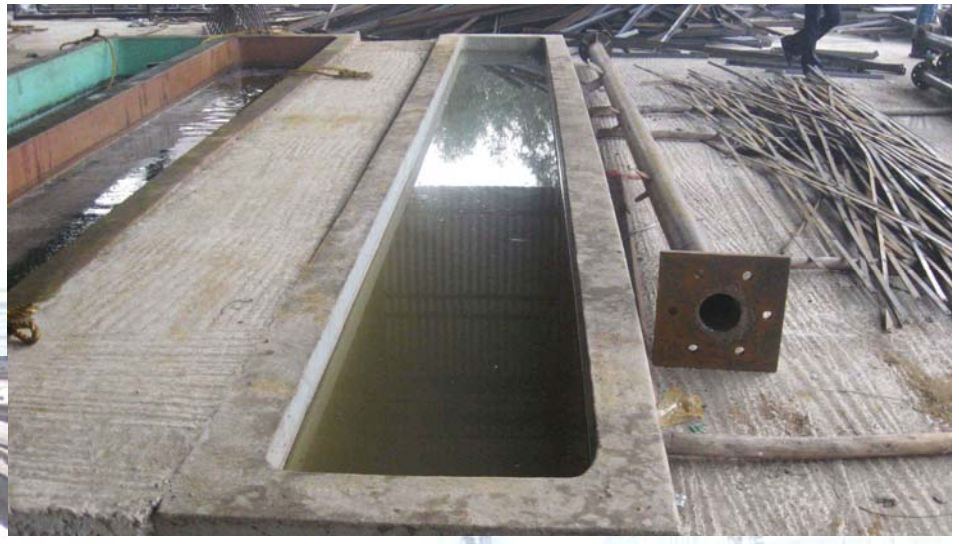
Metalne prevlake – toplo cinkovanje





Šema postupka toplog cinkovanja

I faza – odmašćivanje i uklanjanje mehaničkih nečistoća





II faza – potapanje u kiselinu i nakon toga u vodu

III faza – toplo cinkovanje





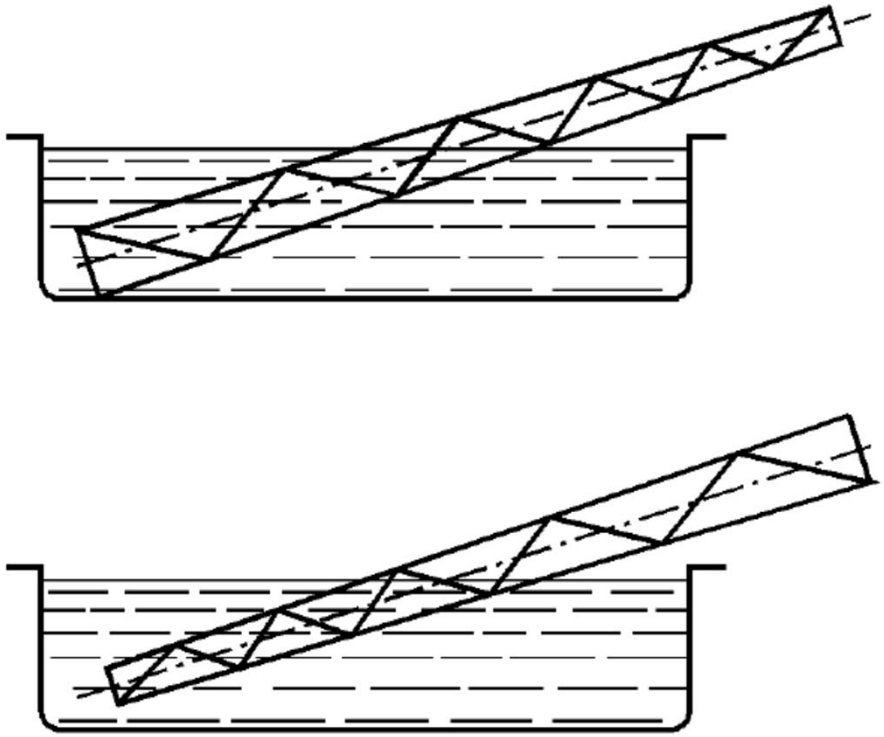
Postupak toplog cinkovanja u kadama prilagođenim površinskim elementima

Mere aktivne zaštite od korozije

Metalne prevlake – toplo cinkovanje

- Veličina delova koji mogu da se cinkuju uslovljena je veličinom kada koje su na raspolaganju. Najčešće se, ukoliko su dimenzije elemenata usaglašene sa dimenzijama kade, čelični elementi celi potapaju u kadu.

- Dužina kade kreće se od 5-20 m, širina do 2,0 m i dubina do 2,2 m. Ukoliko su dimenzije elemenata veće od dimenzija kade, element se potapa u cink iz dva puta (slika).



Toplo cinkovanje velikih elemenata



Kade pripremljenje za sprovođenje postupka toplog cinkovanja

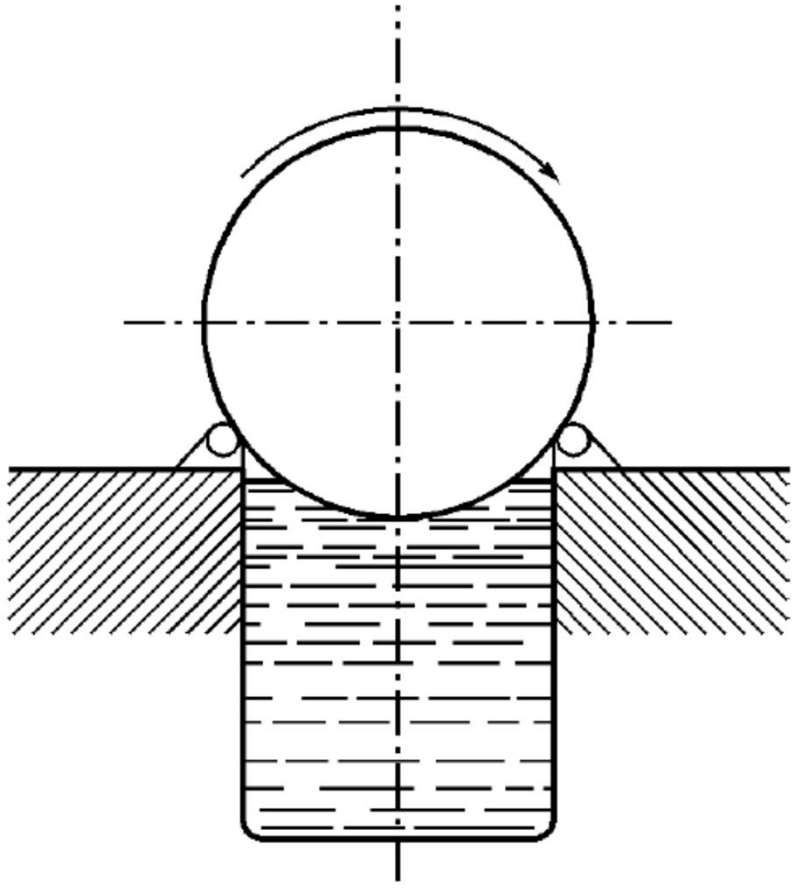


Ceđenje elemenata nakon cinkovanja

Mere aktivne zaštite od korozije

Metalne prevlake – toplo cinkovanje

- Elementi od šupljih profila velikog prečnika se cinkuju okretanjem iznad kade (slika). U ovim slučajevima dolazi do neravnomernog zagrevanja delova konstrukcije, što može da izazove znatne deformacije.



Toplo cinkovanje velikih elemenata

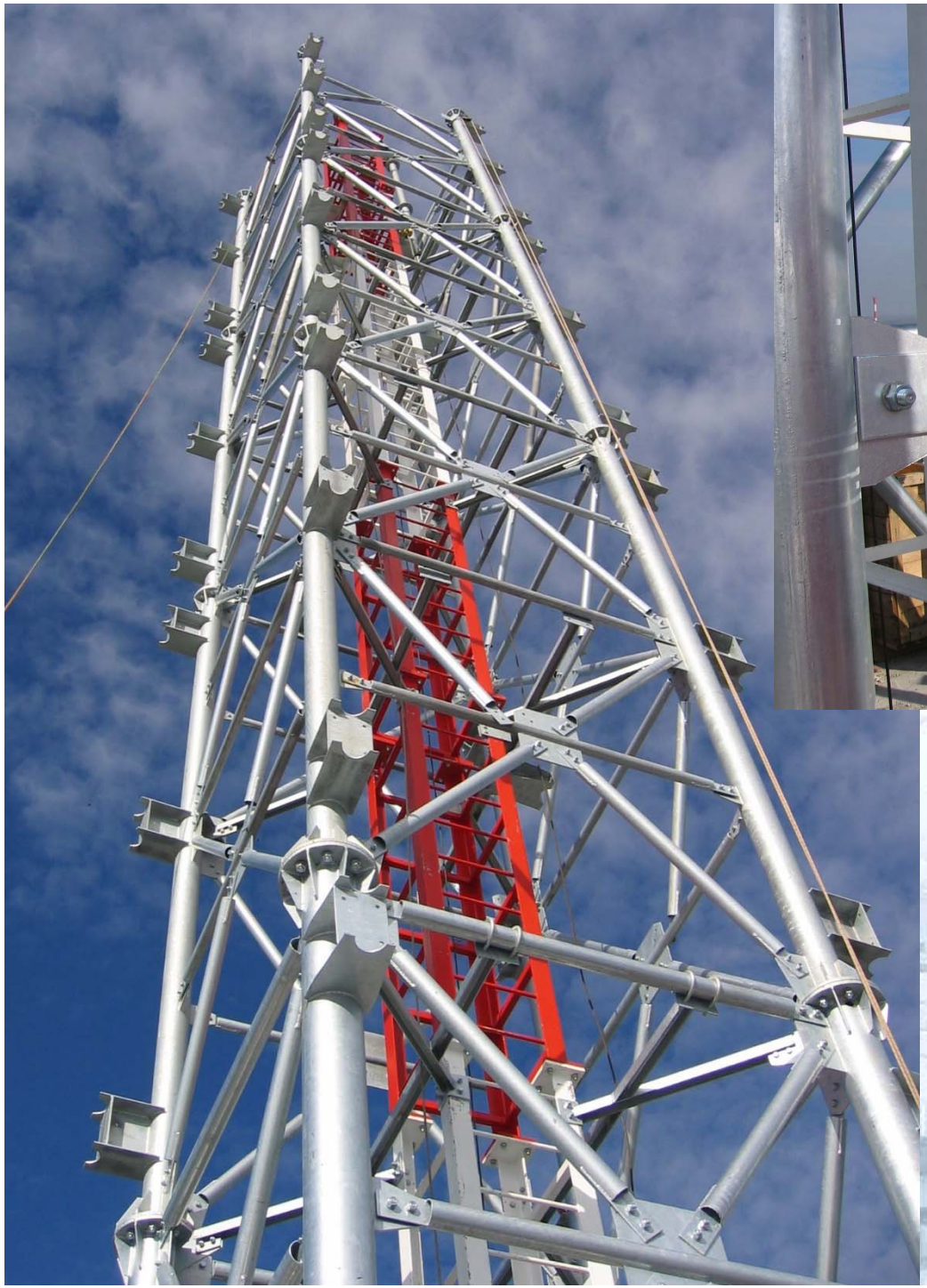
►Popravke loše pocinkovanih delova konstrukcije mogu se vršiti upotrebom cinka u vidu spreja (manje površine).







Cink u spreju (različiti proizvođači) pripremljen za upotrebu





Antenski stub na zgradi PC Ušće u Beogradu – konstrukcija koja se ne farba već joj je završni sloj cink.

Mere aktivne zaštite od korozije

Metalne prevlake – metalizacija

- Pod metalizacijom se podrazumeva vrsta zaštite čelične konstrukcije od korozije ostvarena prskanjem rastopljenog metala (cinka, aluminijuma ili olova) pištoljem.
- Klasifikacija prevlaka dobijenih ovim postupkom, prema najmanjoj debljini, data je u tabeli.

Metal koji se nanosi	Oznaka	Najmanja debljina [μ]
Cink	Zn M 40	40
	Zn M 80	80
	Zn M 120	120
	Zn M 200	200
Aluminijum	Al M 120	120
	Al M 200	200
	Al M 300	300
Olovo	Pb M 300	300
	Pb M 500	500
	Pb M 1000	1000

Klasifikacija metalnih prevlaka

Mere aktivne zaštite od korozije

Metalne prevlake – metalizacija

►Za čelične površine predviđene za metalizaciju zahteva se **čišćenje do trećeg stepena mlazom abraziva**.

►S obzirom na stroge zahteve pripreme površine troškovi izrade su veći, ali se mogu smanjiti u slučaju većih serija istovetnih elemenata konstrukcije.

►Prednost ovog postupka je mogućnost zaštite elemenata proizvoljnih dimenzija.

►Metalne prevlake dobijene postupkom metalizacije mogu se popunjavati ili zaštititi premazima.

Mere aktivne zaštite od korozije

Kombinovane prevlake

- Kada je potrebno obezbediti dugotrajnu zaštitu od korozije, na primer u slučaju agresivne industrijske ili primorske sredine, ili kod konstrukcija na kojima je zbog nepristupačnosti otežano obnavljanje zaštite, kao što su stubovi dalekovoda, televizijski, radio i reflektorski stubovi i jarboli, krovni i fasadni elementi, lake čelične konstrukcije, ograde i pešačke staze mostova, svoju primenu sve više nalaze kombinovane prevlake.
- Ovakve prevlake, poznatije kao "Dupleks sistemi", formiraju se nanošenjem zaštitnih premaza preko metalnih prevlaka, i uz redovnu kontrolu i obavljanje pravovremenih popravki i obnove premaza, mogu imati praktično neograničeni vek trajanja.

Završna faza – skladištenje konstrukcije

- Na kraju svih faza izrade, čelična konstrukcija se skladišti na posebno uređenom prostoru i to na način koji obezbeđuje njenu zaštitu od svakog dejstva koje može prouzrokovati oštećenje. Pri tome treba voditi računa o sledećem:
  - da uskladištenje delova bude stabilno,
  - da delovi konstrukcije ne naležu na tlo,
  - da se delovi konstrukcije polažu na podmetače, a pri slaganju u više redova da se između njih stave umeci,
  - da razmak između podmetača i umetaka isključi pojavu trajnih deformacija čelične konstrukcije,
  - da se na uskladištenim delovima konstrukcije ne zadržava voda i
  - da nosači, po pravilu, budu u vertikalnom položaju.

Završna faza – otprema konstrukcije

- Pre otpreme sa skladišta na montažu čelična konstrukcija treba da bude:
  - sortirana po pojedinim objektima, oznakama i redosledu montaže,
  - pregledana i utvrđena oštećenja otklonjena,
  - pripremljena za montažu, što podrazumeva da su nečistoće i rđa otklonjeni, nanesene potrebne oznake, na delove konstrukcije postavljeni montažni uređaji, formirani krupniji montažni delovi, oslonački elementi očišćeni i podmazani,
  - zaštićena od korozije (po potrebi).

Završna faza – otprema konstrukcije

- Otprema čelične konstrukcije na gradilište podrazumeva njeno:
  1. pakovanje,
  2. utovar i
  3. transport.

- Pri tome se mora voditi računa da se konstrukcija **zaštiti od oštećenja**, osigura bezbedan transport, i da se tovarni prostor u što većoj meri iskoristi.

- **Dimenzije delova konstrukcije** koji se transportuju zavise od propisanih gabarita i saobraćajnih uslova transporta u železničkom, drumskom i vodenom saobraćaju, o čemu treba voditi računa još u fazi izrade projektne dokumentacije.



Utovar čelične konstrukcije

Konstrukcija stepeništa spremna za transport





Utovar delova rešetkastih nosača u kamion

Transport ravanskih elemenata čelične konstrukcije

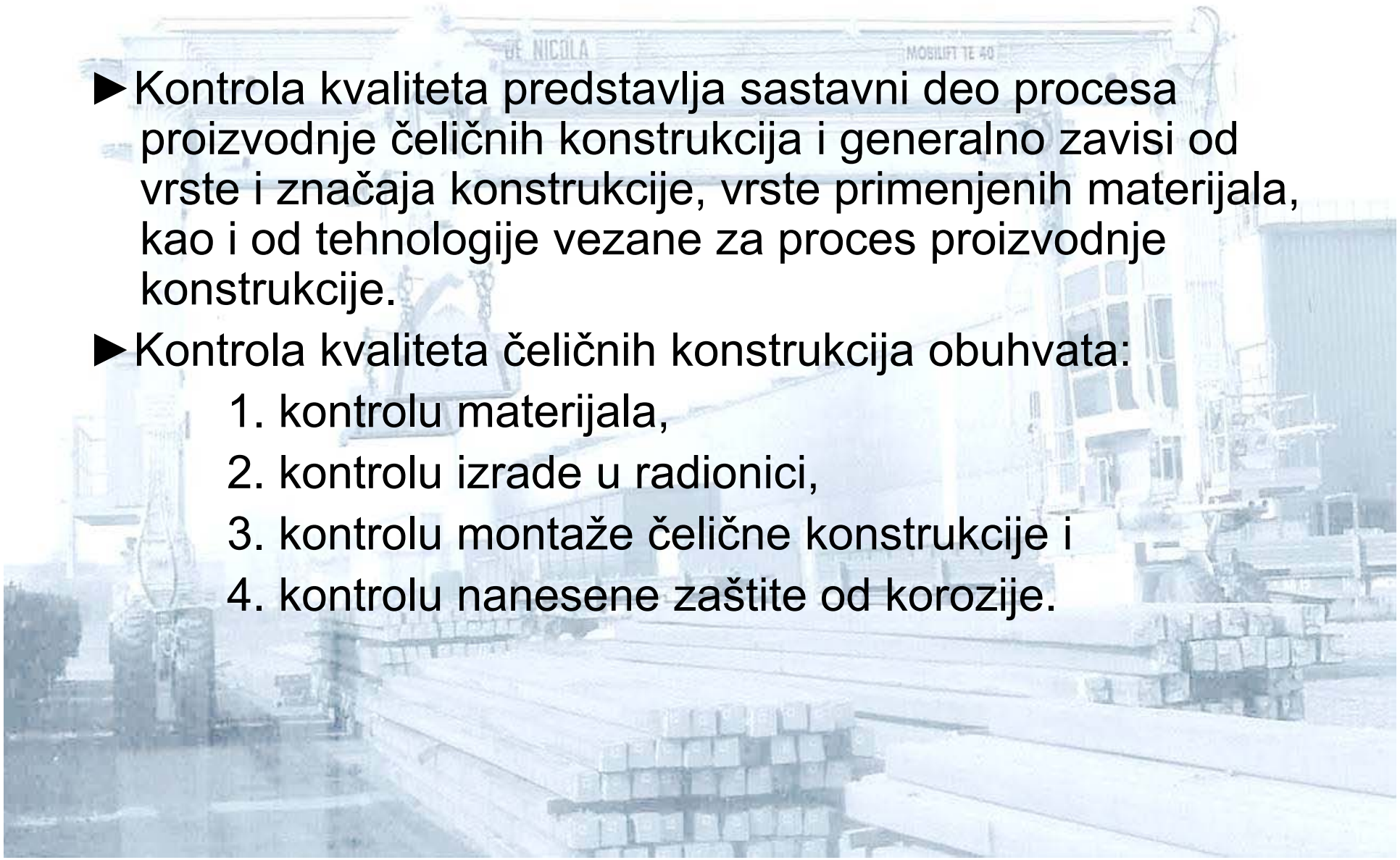




Proces proizvodnje u fabrici

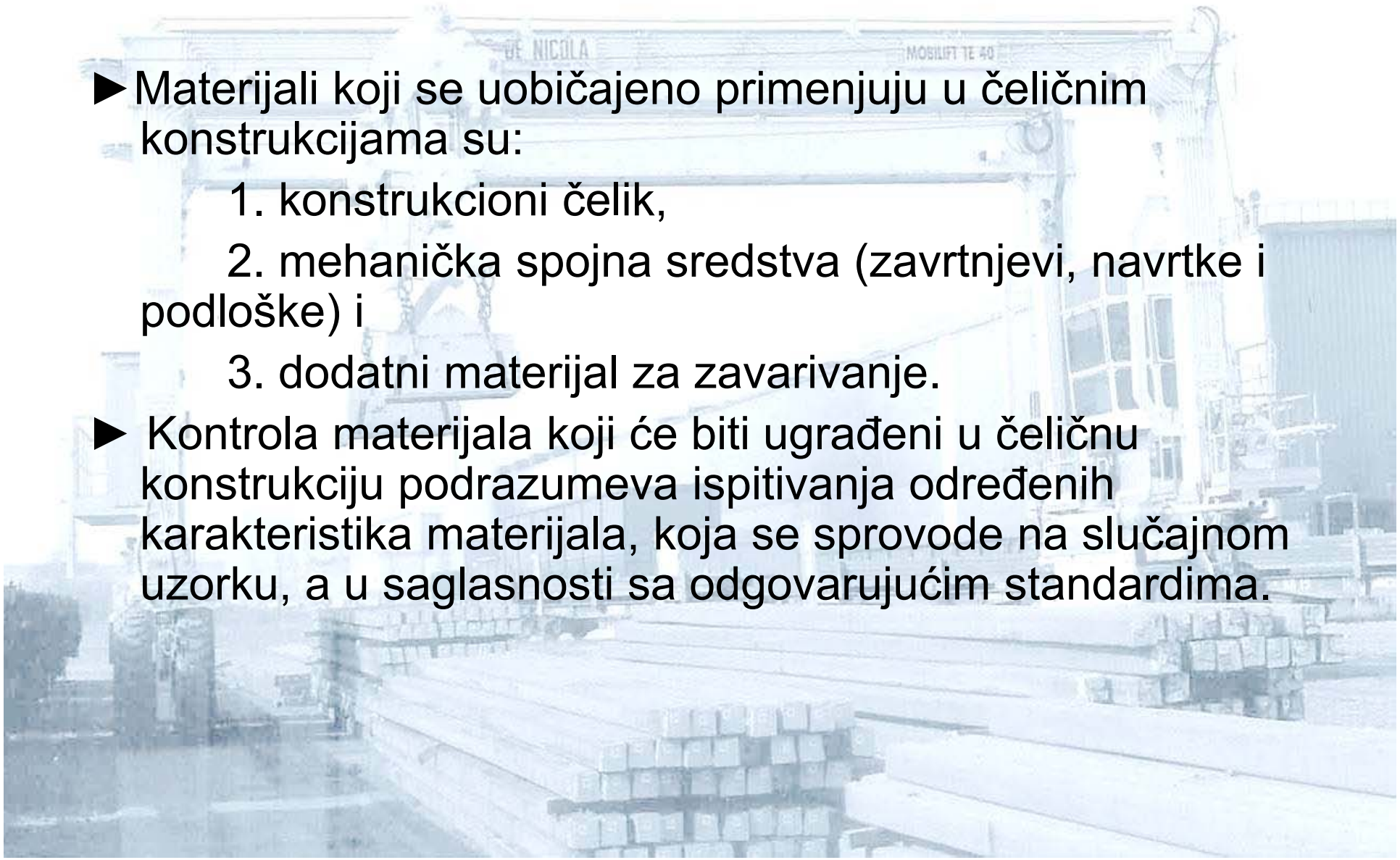
4.2 Kontrola kvaliteta čeličnih konstrukcija

OPŠTE



- Kontrola kvaliteta predstavlja sastavni deo procesa proizvodnje čeličnih konstrukcija i generalno zavisi od vrste i značaja konstrukcije, vrste primenjenih materijala, kao i od tehnologije vezane za proces proizvodnje konstrukcije.
- Kontrola kvaliteta čeličnih konstrukcija obuhvata:
    1. kontrolu materijala,
    2. kontrolu izrade u radionici,
    3. kontrolu montaže čelične konstrukcije i
    4. kontrolu nanesene zaštite od korozije.

KONTROLA I PRIJEM MATERIJALA



- Materijali koji se uobičajeno primenjuju u čeličnim konstrukcijama su:
  1. konstrukcioni čelik,
  2. mehanička spojna sredstva (zavrtnjevi, navrtke i podloške) i
  3. dodatni materijal za zavarivanje.
- Kontrola materijala koji će biti ugrađeni u čeličnu konstrukciju podrazumeva ispitivanja određenih karakteristika materijala, koja se sprovode na slučajnom uzorku, a u saglasnosti sa odgovarujućim standardima.

KONTROLA I PRIJEM MATERIJALA

- Za **konstrukcione čelike** uobičajeno je ispitivanje sledećih svojstava:
  1. granice razvlačenja,
  2. čvrstoće na zatezanje,
  3. modula elastičnosti,
  4. izduženja pri lomu,
  5. elastičnosti (za tanke limove i kružne šuplje profile),
  6. savijanja (za profile) i
  7. hemijskog sastava (samo u specijalnim slučajevima).
- Ispitivanja **mehaničkih spojnih sredstava** koja se sprovode u cilju potvrde njihovog kvaliteta su:
  1. za zavrtnjeve, izpitivanje zatezanjem i izpitivanje stanja površina,
  2. za navrtke i podloške, ispitivanje tvrdoće.

KONTROLA IZRADE U RADIONICI I PRIJEM KONSTRUKCIJE

► Pri izradi čelične konstrukcije u radionici, u zavisnosti od njene vrste i značaja, sprovodi se **stalna** ili **povremena kontrola**, koju, po pravilu, sprovode ovlašćeni predstavnici naručioca u prisustvu ovlašćenih predstavnika izvođača radova na izradi čelične konstrukcije. Ona, u osnovi, treba da obuhvati sledeće aktivnosti:

1. isporuku materiala za koje je prethodno izvršena kontrola u fabrici,
2. nadzor nad izradom radioničke dokumentacije i šablona za sečenje,
3. kontrolu sečenja,
4. kontrolu zavarivanja,
5. kontrolu spojeva sa zavrtnjevima,
6. dimenzionalnu kontrolu gotovih elemenata.

KONTROLA MONTAŽE I PRIJEM MONTIRANE ČELIČNE KONSTRUKCIJE

- Montaža i spajanje elemenata čelične konstrukcije izvode se po redosledu i na način koji su određeni **projektom montaže**, i to tako da montirana konstrukcija dobije oblik i položaj koji su predviđeni projektom. U fazi montaže čelične konstrukcije neophodno je:

  1. kontrolisati osovinski i visinski položaj montiranog dela čelične konstrukcije odgovarajućim brojem merenja,
  2. kontrolisati nivelisanjem potrebno nadvišenje čelične konstrukcije, definisano projektom montaže,
  3. proveriti odgovarajućim instrumentima pravilnost postavljene čelične konstrukcije, kao i učvršćivanje, odmah po završetku montaže svakog krutog segmenta konstrukcije,
  4. kontrolisati montažne spojeve, koji mogu biti izvedeni mehaničkim spojnim sredstvima ili zavarivanjem.