

Primljen / Received: 24.1.2019.

Ispravljen / Corrected: 4.8.2020.

Prihvaćen / Accepted: 20.9.2020.

Dostupno online / Available online: 10.3.2021.

Montažne aluminijske hale

Autori:

Izv.prof.dr.sc. **Davor Skejić**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

davor.skejic@grad.unizg.hr

Autor za korespondenciju

**Domagoj Orehovec**, dipl.ing.građ.

Under Hill Studio j.d.o.o.

domagoj@underhill.com.hrDoc.dr.sc. **Ivan Ćurković**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

ivan.curkovic@grad.unizg.hr

Stručni rad

Davor Skejić, Domagoj Orehovec, Ivan Ćurković

Montažne aluminijske hale

Aluminijske montažne hale su u pravilu privremene konstrukcije s višekratnom namjenom. Najveća prednost im je mala težina, što rezultira nižim troškovima transporta i brzom montažom. Danas se sve češće nameće zahtjev da aluminijske hale budu trajne građevine pa je, u smislu zadovoljavanja zahtjeva iz niza normi EN 199x, nužno optimizirati aspekt proračuna uobičajenih konstrukcijskih sustava s ojačanim vijčanim priključcima. U radu je dan pregled najčešćih konstrukcijskih sustava, tipičnih aluminijskih profila i priključaka s čeličnim ojačanjima, te uvriježenog pristupa kod proračuna i montaže.

Ključne riječi:

aluminij, montažne hale, privremene / trajne građevine, priključci s čeličnim ojačanjem

Professional paper

Davor Skejić, Domagoj Orehovec, Ivan Ćurković

Prefabricated aluminium halls

Prefabricated aluminium halls are usually temporary structures with multiple uses. Their biggest advantage is low weight resulting in lower transport costs and allowing for quick assembly. Today, there is a growing demand for aluminium halls to become permanent structures, and therefore, in meeting the requirements of EN 199x norm series, it is necessary to optimize the calculation aspect of conventional structural systems with reinforced bolted joints. An overview of the most common structural systems, typical aluminium profiles and joints with steel reinforcements, as well as a common approach for design and assembly, is presented in the paper.

Key words:

aluminium, prefabricated halls, temporary/permanent buildings, steel reinforced joints

Fachbericht

Davor Skejić, Domagoj Orehovec, Ivan Ćurković

Vorgefertigte Aluminiumhallen

Vorgefertigte Aluminiumhallen sind in der Regel temporäre Konstruktionen, die für mehrere Zwecke ausgelegt sind. Ihr größter Vorteil ist das geringe Gewicht, das zu geringeren Transportkosten und einer schnellen Montage führt. Heutzutage besteht eine zunehmende Nachfrage nach dauerhaften Strukturen für Aluminiumhallen. Um die Anforderungen aus der Reihe von Normen EN 199x zu erfüllen, ist es daher erforderlich, den Budgetaspekt herkömmlicher Konstruktionssysteme mit verstärkten Schraubverbindungen zu optimieren. Die Arbeit gibt einen Überblick über die gängigsten Konstruktionssysteme, typische Aluminiumprofile und Verbindungen mit Stahlverstärkungen sowie den Standardansatz für Berechnung und Montage.

Schlüsselwörter:

Aluminium, vorgefertigte Hallen, temporäre / dauerhafte Strukturen, Verbindungen mit Stahlverstärkung

1. Uvod

Aluminij je materijal koji se upotrebljava u građevinarstvu zbog svojih očitih prednosti poput male težine, otpornosti na koroziju i funkcionalnosti poprečnog presjeka [1]. Kao takav, izuzetno je pogodan za primjenu kod konstrukcija izvedenih u agresivnom okolišu. Aluminij se također, zbog svoje male specifične/zapremine težine, primjenjuje na mjestima gdje je transport zahtjevan ili pak na nedostupnim mjestima koja zahtijevaju nekonvencionalna transportna sredstva. Osim jeftinijeg transporta, aluminijske konstrukcije je lakše montirati i nisu potrebni veliki uređaji ni dizalice za njihovo sastavljanje. Konačno, funkcionalnost poprečnog presjeka, koja proizlazi iz uobičajenog načina proizvodnje samih profila ekstruzijom, osigurava optimizaciju utroška aluminijske legure u odnosu na njegovu namjenu, tj. namjenu samog aluminijskog profila [2]. Primjena montažnih aluminijskih hala (slika 1.) raznolika je, što znači da se one mogu koristiti kao privremene konstrukcije ili pak kao trajne samostojeće konstrukcije. S obzirom na to da se ipak većinom koriste kao montažne hale, najčešće za neka kratkotrajna događanja (svadbe, koncerti, privremena skladišta...), zbog čega se sama konstrukcija često sastavlja i rastavlja, primjena je aluminijskih elemenata optimalno rješenje. Poznato je da je aluminij tri puta lakši od čelika, što ubrzava transport, montažu i demontažu, pri čemu je cijeli postupak izvedbe omogućen s manje radne snage (slika 2.). Manji zahtjevi za održavanjem također idu u prilog ovakvom tipu konstrukcije, jer je čelik za razliku od aluminija osjetljiv na koroziju. Sve navedene činjenice idu u korist manje ukupne cijene aluminijskih konstrukcija.



Slika 1. Aluminijska hala kao skladišni prostor ili kao prostor za svadbene svečanosti

Budući da zavarivanje kod aluminijskih legura uzrokuje značajno smanjenje otpornosti [3], priključci aluminijskih elemenata izvode se pretežito vijcima. Uobičajeno se na mjestu priključka izvode čelična ojačanja s vanjske ili unutarnje strane aluminijskog elementa. Nadalje, aluminij ima tri puta manji modul elastičnosti od čelika pa su pomaci aluminijske konstrukcije u odnosu

na čeličnu varijantu veći. Stoga, kako bi se zadovoljili uvjeti graničnog stanja uporabljivosti aluminijske konstrukcije, moraju se primjenjivati profili nešto većih dimenzija u odnosu na čelične. Ideja ojačavanja aluminijskih profila s čeličnim elementima na mjestima priključaka ujedno može pozitivno utjecati i na smanjenje dimenzija aluminijskih profila [4].



Slika 2. Montaža aluminijske hale

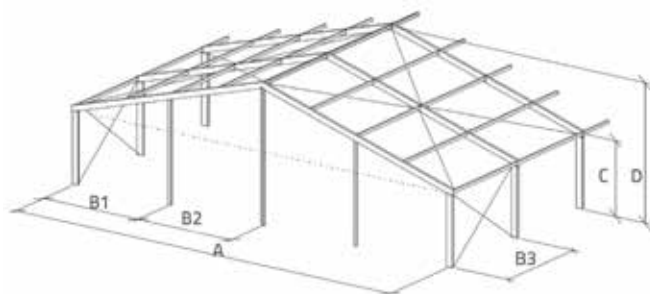
Razmatrajući primjene takvih privremenih građevina, treba se prisjetiti kako se one koriste za mjesta na kojima je potrebna brza izvedba, poput sajмова na kojima se one montiraju i demontiraju po potrebi. Osim toga, mogu prekrivati bazene i druge građevine s vlažnim okolišem.

S ciljem popularizacije primjene aluminijskih legura u Hrvatskoj, u ovom će se radu detaljno opisati najčešće primjenjivane aluminijske konstrukcije - montažne hale. Prikazuju se uobičajeno korišteni konstrukcijski sustavi i daje osvrt na oblike poprečnih presjeka koji se kod navedenih sustava primjenjuju. Kako bi se optimizirala konstrukcija, priključci tih konstrukcija izvode se u kombinaciji s čeličnim elementima. Pri tome je važno napomenuti da takvi priključci nisu predviđeni normom, a njihov proračun je više utemeljen na inženjerskoj intuiciji nego na stvarnom poznavanju njihova ponašanja koje je, još uvijek, nužno istražiti. Štoviše, takve privremene konstrukcije često ostaju u upotrebi znatno dulje od planiranoga vremena. Stoga je, i iz tog aspekta, potrebno voditi računa o njihovom pouzdanom projektiranju. Konačno, ukratko je opisan postupak montaže aluminijskih montažnih hala kako bi se istaknule prednosti primjene takvih konstrukcijskih sustava.

2. Konstrukcijski sustavi

2.1. Općenito

Dimenzije aluminijskih montažnih hala ovise o ponudi proizvođača i tipova presjeka koje nude, pa se tako može navesti da su za skladišne montažne hale i sajamske montažne hale okvirni rasponi od 5 do 30 metara ako je hala izvedena bez unutrašnjih stupova. Bočna visina može biti u rasponu od 3,5 do 4,5 metra, a dužina pojedinog segmenta oko 5 metara. Visina montažne konstrukcije u sljemenu može biti do 7,5



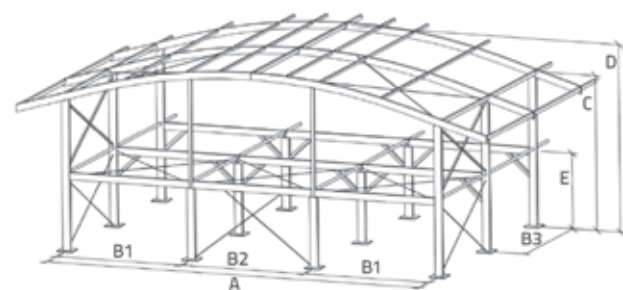
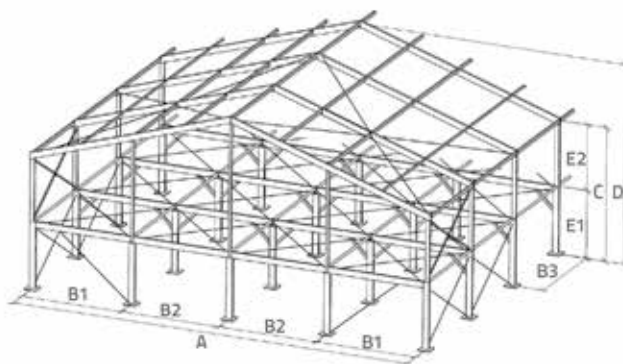
Slika 3. Okviri s ravnim prečkama P i P+1 - sa zategama i bez njih

metara. Pokrov se najčešće izvodi od lagane i nezapaljive PVC folije (trevire) i nešto rjeđe s limovima. Fasadne strane se mogu izvoditi i od trapeznih limova i raznih panela. PVC folija se spaja pomoću specijalno oblikovanih sustava - profila s utorima, a limeni elementi obloge spajaju se vijcima ili pop zakovicama, što opet osigurava osnovnu prednost ovakvih hala, tj. brzu montažu.

2.2. Okviri s ravnom prečkom

Namijenjeni su najčešće za privremene građevine za potrebe sajmovia i skladišta. Izvode se kao klasični portalni okviri (P - prizemlje) ili u varijanti s katom (P+1, prizemlje + kat), slika 3. Stope stupova mogu biti upete ili zglobne, a često se za veće raspone primjenjuje varijanta okvira sa zategama. Rasponi okvirne konstrukcije mogu iznositi od, standardnih, 10 do 20 m pa sve do 30 i 40 m. Razmaci zabatnih stupova i razmaci stupova međukatne konstrukcije (B1 i B2) kao i razmaci okvira u uzdužnom smjeru (B3) u većini slučajeva iznose do 5 m. Visina kata (E1 i E2) obično je u rasponu od 3 do 5,5 m, ovisno o tome radi li se o P ili P+1 izvedbi hale. Visina sljemena (D) je u rasponu od 4 do 12 m.

Na slici 4. prikazano je arhitektonski primjerenije rješenje hale P+1 sa zakrivljenom prečkom. Geometrija konstrukcije odgovara geometriji portalnog okvira s ravnom prečkom.



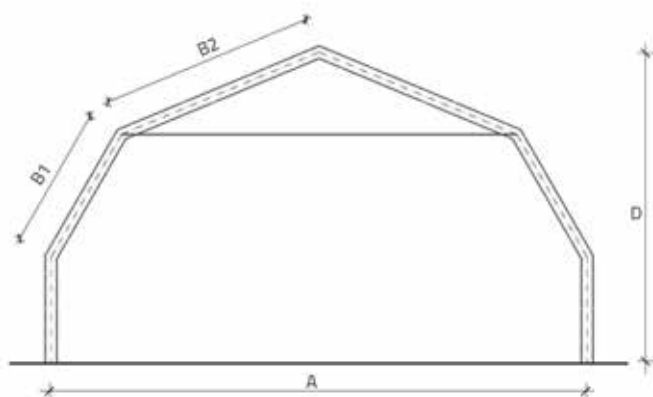
Slika 4. Okvir sa zakrivljenom prečkom, P+1

2.3. Poligonalni okviri

Poligonalni okviri primjenjuju se najčešće za sportske objekte (dvorane za tenis, rukomet/nogomet i sl.) te privremene građevine gdje se traži veća slobodna visina, slika 5. Raspon takvih konstrukcija (A) može biti od 15 do 40 m s bočnim visinama 3 do 4 m i visinom sljemena (D) od 6 do 12 m. Segmenti poligonalnih prečki (B1 i B2) obično su 5 do 6 m.

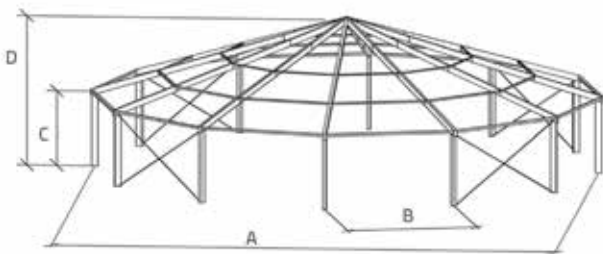
2.4. Radijalno razmješteni polu-okviri

Radijalno razmješteni poluokviri koji se spajaju u sljemenu tvore specifične 'šatoraste' konstrukcije koje su u tlocrtu



Slika 5. Poligonalni okviri



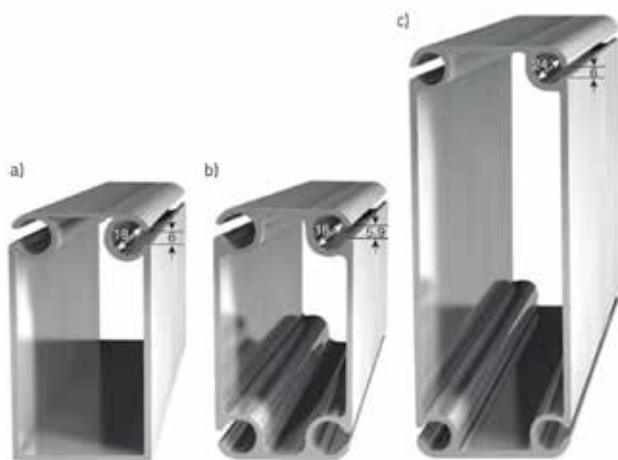


Slika 6. Radijalno razmješteni poluokviri [5]

poligonalnog oblika. Takve, uglavnom prizemne (P), konstrukcije se uobičajeno nazivaju paviljoni, a koriste se za potrebe sajмова i sličnih manifestacija, slika 6. Raspon (A) je od 10 do 30 m, obodni razmak okvira (B) najčešće između 5 i 6 m, bočna visina (C) između 3 i 4 m, a visina sljemena je u granicama od 5 do 9 m.

3. Odabir poprečnog presjeka aluminijskih profila

Poprečni presjeci aluminijskih profila povoljnih su oblika, odnosno zbog načina njihove proizvodnje ekstruzijom mogu se izvesti proizvodni poprečni presjeci što je jedna od glavnih prednosti aluminijskih legura. Na taj se način optimizira funkcionalnost oblika aluminijskih profila, čime se smanjuje nepotrebno trošenje materijala. Pojedini proizvođači nude različite tipove poprečnih presjeka koji su predgotovljeni za određenu namjenu. Primjerice, kod montažnih aluminijskih konstrukcija postoje posebni poprečni presjeci kojima se izvode konstrukcije za šatore (obloga PVC folijom). U tom se slučaju koriste profili s posebnim utorima koji su namijenjeni za montiranje PVC obloge šatora. Tipični aluminijski pravokutni cijevni profili s jednostranim ili obostranim utorima prikazani su na slici 7.



Slika 7. Uobičajeni poprečni presjeci aluminijskih elemenata s utorima [6]



Odabir vrste profila ovisi prije svega o namjeni objekta. Najčešće se profili s dva utora (slika 7.a) primjenjuju kod građevina kod kojih ne postoji potreba za termičkom izolacijom. Profili s četiri utora (slike 7.b i 7.c) omogućuju izvođenje obloge u dva sloja, pri čemu međuprostor koji je ispunjen zrakom služi kao toplinski izolator.

Nadalje, odabir dimenzija poprečnog presjeka isključivo je u funkciji nosivosti samog objekta. Neki proizvođači unaprijed daju okvirne smjernice koje se tiču dimenzija profila i dopuštenih raspona. Tako primjerice profili s visinom 150 mm i širinom 120 mm (150/120 mm) služe za jednokatne hale do 15 m raspona, oni dimenzija 250/120 mm za hale do 30 m raspona, a za raspane do 50 m primjenjuju se profili dimenzija 300/120 mm, [7].

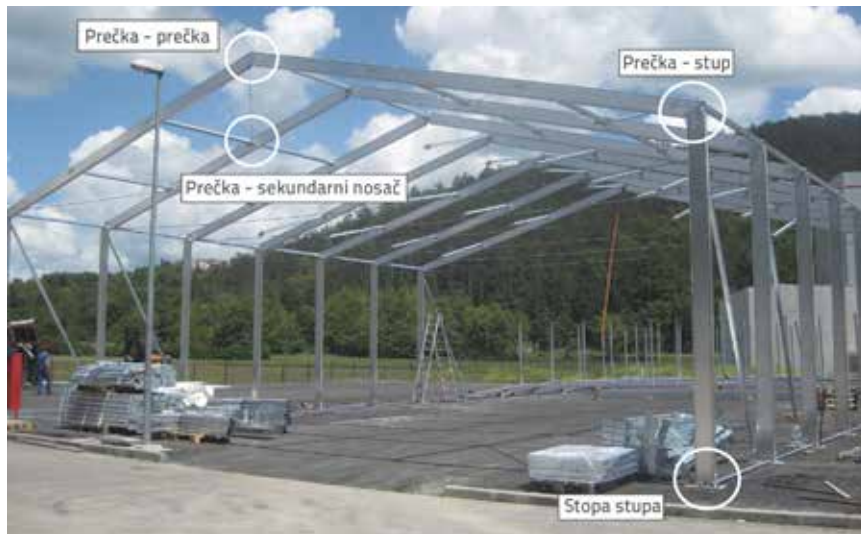
Što se tiče samog materijala, u primjeni su kovke toplinski obradljive aluminijske legure koje pripadaju nizu 6xxx i ubrajaju se u razred trajnosti B [2]. Najčešće se odabiru aluminijske legure koje po svojim mehaničkim svojstvima približno odgovaraju kvaliteti čelika S 235, npr. EN-AW 6005A. Te su legure pogodne za ekstruziju profila općenite namjene kao i proizvoda kod kojih se zahtijeva srednja čvrstoća materijala. Nadalje, ove legure imaju visoku razinu otpornosti na koroziju kao i dobru mogućnost termičke obrade.

4. Priključci montažnih hala

4.1. Općenito

Priključci montažnih aluminijskih hala izvode se pomoću čeličnih adaptera (umetaka i/ili pokrivnih ploča) koji se postavljaju na mjestima spoja dviju prečki u sljemenu i na mjestima spoja prečke i stupa. Čelični umetci mogu se stavljati i na mjestima stope stupa ako je to potrebno, ali takvo rješenje usporava montažu. Karakteristični priključci montažnih hala su: stopa stupa, prečka-stup, prečka-prečka, prečka-sekundarna prečka (podrožnica), slika 8.

Priključci kod montažnih aluminijskih hala mogu se ostvariti primjenom spojnih sredstava izvedenih od različitih materijala što će u većini slučajeva ovisiti o okolišu u kojem se hala postavlja kao i pretpostavljenom vremenu njezine uporabe. Najčešće su u upotrebi čelični pocinčani vijci, no u izrazito vlažnom (morskom) okolišu koriste se vijci od nehrđajućeg čelika, dok je uporaba

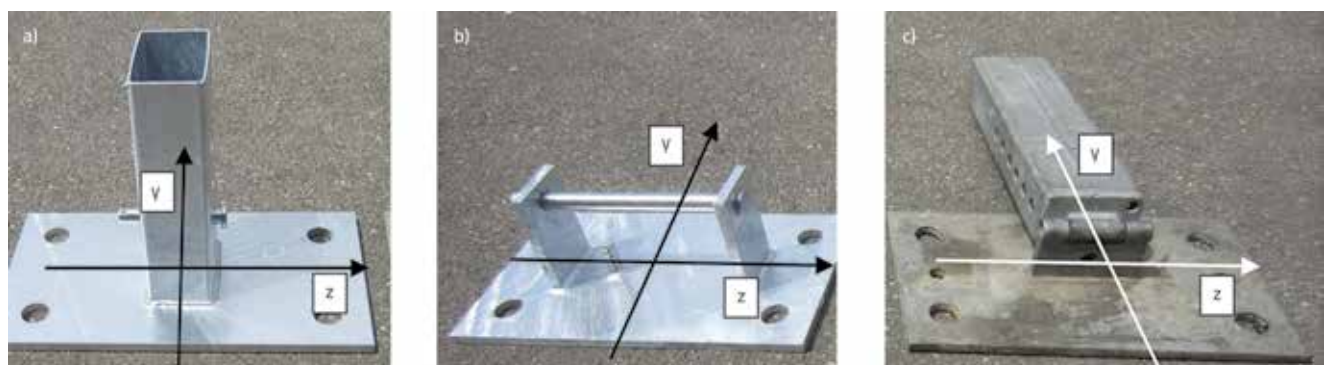


Slika 8. Karakteristični priključci montažne aluminijske hale

aluminijskih vijaka izuzetno rijetka. Izvedba priključaka gdje su u kontaktu metali različitih potencijala može dovesti do formiranja galvanskih članaka, tj. u konačnici do pojave kontaktne korozije. S obzirom na to da su montažne aluminijske hale namijenjene privremenoj uporabi, problem kontaktne korozije ne dolazi do izražaja. Štoviše, i hale koje su u upotrebi ostale i dulje od predviđenog roka nisu pokazale problem s kontaktnom korozijom kada su korišteni dodatni pocinčani čelični elementi. Navedeno zapažanje je posljedica ili premale količine elektrolita (relativna vlažnost zraka manja od 70 %), ili male razlike u električnom potencijalu pojedinih elemenata (tolerira se razlika od 0,25 V u potencijalu ako se radi o prostorima skladišta bez kontrole relativne vlage i temperature prostora), ili pak dobroj usklađenosti količine elemenata od kojih je jedan anoda a drugi katoda (element koji se ponaša kao anoda uvijek mora biti veći od onog koji se ponaša kao katoda).

4.2. Stopa stupa

Spojevi stope i temelja se razlikuju po svojoj upetosti u temelj. Slika 9. prikazuje moguća rješenja stope stupa, ovisno o tome kako je modelirana hala (ima li prijenosa momenta ili ne), ovisno



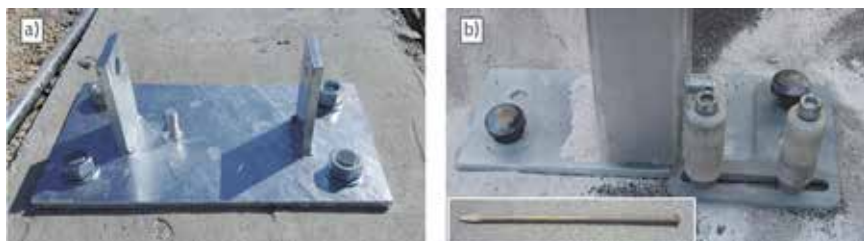
Slika 9. Varijante stope stupa

o brzini montaže i o namjeni građevine. Os z-z predstavlja smjer pružanja okvira, odnosno poprečni smjer hale, a os y-y predstavlja uzdužni smjer hale.

Kod primjene spoja s čeličnim umetkom, slika 9.a), osigurava se upetost u oba smjera (osi y-y i z-z), no nedostatak takvog spoja je njegova dugotrajna montaža. Brža montaža se ostvaruje zglobnim spojevima koji osiguravaju upetost samo oko jedne osi (osi y-y), (slike 9.b i 9.c). Pri tome izrada detalja stope s klasičnim čeličnim trnom (slika 9.b) predstavlja ekonomski povoljniju varijantu od one prikazane na slici 9.c.

Što se tiče samog načina povezivanja stope stupa s tлом, potrebno je razlikovati dva načina: povezivanje sidrenjem (slika 10.) i povezivanje uz pomoć balastnog tereta (slika 11.). Odabir prikladnog načina povezivanja konstrukcije s tлом ovisi prije svega o samom temeljnom tlu, tj. njegovoj nosivosti, mogućnosti izrade klasičnih temelja, kao i o samoj namjeni građevine odnosno o trajnosti njene uporabe. Na slici 10. prikazana su rješenja gdje se stopa stupa sidrenjem povezuje s tлом. U prvoj varijanti na slici 10.a primijenjeno je rješenje sa sidrenim vijcima koji se koriste za velika opterećenja. U drugoj varijanti (slika 10.b) koriste se klinovi koji se zabijaju izravno u tlo (zemlju, šljunak, asfalt...). Takvo rješenje se najčešće primjenjuje u slučaju privremenih građevina s manjim intenzitetom opterećenja, te građevina s kraćim vijekom uporabe. Važno je da je tlo ispod same stope dobro zbijeno kako ne bi došlo do većih pomaka konstrukcije te kako bi se ujedno osiguralo dostatno trenje između tla i klina čime bi se spriječilo njegovo izvlačenje.

U slučaju kad nije moguće izraditi klasične betonske temelje niti je moguće intervenirati u postojeće tlo (podlogu), povezanost konstrukcije s tлом osigurava se uz pomoć balastnog tereta. Kod takvog rješenja objekt je okružen teretom za koji se najčešće koriste betonski blokovi (slika 11.). Ovakvo se rješenje gotovo uvijek odnosi samo na građevine s kratkotrajnom upotrebom.



Slika 10. Način povezivanja konstrukcije s tlom: a) sidreni vijci, b) klinovi



Slika 11. Osiguranje stabilnosti konstrukcije blokovima za sidrenje

4.3. Priključci elemenata okvira

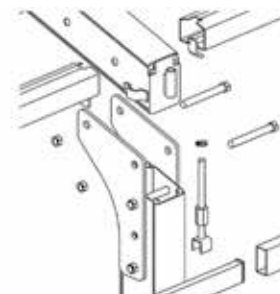
Izvedba priključaka elemenata okvira aluminijskih hala rade se s čeličnim ojačanjima. Dva najčešća načina izvedbe su ojačanje s čeličnim pločama i ojačanje čeličnim umetkom. Čelični umeci se formiraju zavarivanjem u radionici, te se na njih aluminijski profili spajaju vijčano na gradilištu. Osim s čeličnim umecima, ovi se priključci mogu izvesti s čeličnim pločama koje se spajaju na aluminijski profil sa svake strane pomoću vijaka i/ili trnova. Ovo svakako osigurava bržu montažu zbog jednostavnosti spajanja elemenata, ali se često na taj način ne može ostvariti potrebna otpornost za trajnu namjenu kakvu takve građevine često imaju.

4.3.1. Priključci s čeličnim pločama

Ojačanje aluminijske konstrukcije se ovdje izvodi s čeličnim pločama koje se postavljaju s obje vanjske strane aluminijskih elemenata (slika 12.). Montiraju se na gradilištu i spajaju spojnim sredstvima najčešće vijcima ili, nešto rjeđe, trnovima. Ovakvi se priključci najčešće primjenjuju kod privremenih



Slika 12. Priključci prečka - stup s čeličnim pločama [8]



Slika 13. Priključak prečka - prečka s čeličnim umetkom



Slika 14. Priključak prečka-stup, varijanta s rukom i zategom

građevina. Prednost ovog priključka je jasan prijenos sila preko spojnih sredstava što omogućava jednostavan proračun, te njegova brza montaža i demontaža.

4.3.2. Priključci s čeličnim umetkom

Priključci s čeličnim umetkom izvode se na način da se čelični cijevni profil umetne unutar aluminijskog cijevnog profila. Čelični umetak na taj način ojačava aluminijske elemente, te omogućava prijenos sila s jednog elementa na drugi, npr. s prečke na stup ili s prečke na prečku (sljeme krova), slika 13. Montiraju se na gradilištu i spajaju se vijcima.

Problem kod ovakvih spojeva montažnih hala je kompleksni prijenos sila gdje se prijenos momenta s aluminijskog profila na čelični umetak ostvaruje djelomično kontaktom između dvaju elemenata a djelomično vijčanim spojem. Aproksimacijom takvog mehanizma prijenosa djelovanja dobiva se spreg sila koje djeluju na čelični umetak, te tako opterećuju element i/ili sam vijčani spoj.



Slika 15. Čelični sekundarni nosač



Slika 16. Aluminijski sekundarni nosač

Kod većih raspona montažnih hala ili pak kod većeg gravitacijskog opterećenja (snijeg) potrebno je dodati vlačnu zategu i/ili ruku (slika 14.). Takva rješenja mijenjaju mehanizam prijenosa sila u konstrukciji kao i unutar samog priključka prečka-stup, te dodatno kompliciraju proračun otpornosti samog priključka.

4.4. Priključak prečka - sekundarni nosač

Sekundarni nosači mogu biti aluminijski ili čelični, ovisno o namjeni građevine, o tome je li ona trajna ili privremena, opterećenjima koja na nju djeluju, rasponima sekundarnih nosača, načinu spajanja na prečku okvira, itd. Najčešće je u primjeni statički sustav proste grede. Kada je riječ o građevinama s duljim razdobljem korištenja (npr. skladišta), sekundarni profili su obično čelični, a spoj se izvodi vijčano preko čelne ploče (slika 15.).

Aluminijski profili koriste se kada je riječ o privremenim građevinama (šatori, sale za proslave...). Kod takvih objekata bitna je jednostavnost i brzina sklapanja konstrukcije, pa se koriste spojevi na kopču (slika 16.).

5. Proračun aluminijskih montažnih hala

Pri projektiranju aluminijskih montažnih hala potrebno je prije svega razmotriti radi li se o trajnoj ili privremenoj konstrukciji. U većini slučajeva situacija je jasna jer je prvotna ideja aluminijskih montažnih hala proizašla iz zahtjeva za konstrukcijama koje služe za razne vremenski ograničene manifestacije pa je njihovo korištenje uglavnom ograničeno na trajanje od desetak, ili pak, samo od nekoliko dana. Ipak, događa se često da predviđeno kratkotrajno korištenje zbog naknadne odluke vlasnika bude zamijenjeno trajnim. Stoga, bilo bi poželjno da se konstrukcije

koje se planiraju koristiti dulje razdoblje, ili za koje se može naslutiti da bi mogle ostati trajno, projektiraju kao trajne u skladu s nizom konstrukcijskih europskih normi HRN EN 199x na koje upućuje sadašnji tehnički propis (u RH - [9]). Bez obzira na to radi li se o privremenim ili trajnim aluminijskim montažnim halama dimenzioniranje aluminijskih elemenata se provodi u skladu s normom HRN EN 1999-1-1 [10].

Ako je jasno da se radi o privremenim aluminijskim halama natkrivenim PVC folijom (najčešći slučaj), projektiranje se može provesti u skladu sa zahtjevima norme HRN EN 13782 [11], koja se odnosi na privremene konstrukcije šatora. Prema HRN EN 13782 [11] za privremene konstrukcije način je određivanja djelovanja snijega i vjetra drugačiji od onoga za trajne građevine koji se provodi isključivo prema HRN EN 1991-1-3 [12] za snijeg, odnosno prema HRN EN 1991-1-4 [13] za vjetar.

Za razliku od stalnih, kod privremenih građevina opterećenje snijegom se ne mora uzeti u obzir za građevine podignute na područjima gdje je mala vjerojatnost pojave snijega, kada se koriste samo u određeno doba godine u kojem se ne očekuje snijeg ili gdje se već unaprijed planiraju aktivnosti sprječavanja zadržavanja snijega na krovu [11]. Taj uvjet može se postići s instalacijom opreme za grijanje, pri tome vodeći računa da grijanje počne prije snježnih padalina, da se cijela građevina grije tako da je temperatura s vanjske strane obloge (tende) veća od +2 °C, te da se onemoguću skupljane vode i dodatno opterećivanje potkonstrukcije. U slučaju da je najveća visina snijega od 8 cm osigurana njegovim redovitim uklanjanjem, može se usvojiti reducirana vrijednost opterećenja snijegom od 0,20 kN/m² na cijeloj površini krova.

Određivanje opterećenja vjetrom za privremene građevine bazirano je na HRN EN 1991-1-4 [13], ali se pri tome mora uzeti u obzir lokacija, trajanje i period ugradnje, način korištenja,

mogućnosti zaštite, te specifična priroda platna koje može biti napravljeno od raznih materijala (tekstil, PVC). Za bilo koju lokaciju gdje je temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra, $v_{b,or}$, veća od 28 m/s, proračun mora biti proveden za stabilnost i otpornost s obzirom na lokalne uvjete. Za izračun vršnog tlaka brzine vjetra $q_p(z_e)$ primjenjuje se norma HRN EN 1991-1-4 [13] sa zahtjevima iz nacionalnih dodataka. Dobivene vrijednosti mogu se smanjiti faktorom 0,7.

Za mjesta na kojima je temeljna vrijednost brzine vjetra, $v_{b,or}$, manja ili jednaka 28 m/s, opterećenje vjetrom se prema HRN EN 13782 [11] može izračunati iz vršnog tlaka brzine vjetra koji je prikazan u tablici 1. Suprotno vrijednostima u tablici 1. može se primijeniti reducirana vrijednost vršnog tlaka brzine vjetra $q_p(z_e) = 0,30 \text{ kN/m}^2$ u slučaju da je širina šatora manja ili jednaka od 10 m i visina manja ili jednaka od 5 m.

Tablica 1. Vršni tlak brzine vjetra [11]

Referentna visina z_e [m]	Vršni tlak brzine vjetra $q_p(z_e)$ [kN/m ²]
$z_e \leq 5$	0,50
$5 < z_e \leq 10$	0,60
$10 < z_e \leq 15$	0,66
$15 < z_e \leq 20$	0,71
$20 < z_e \leq 25$	0,76

U tablici 2. prikazane su usporedne vrijednosti vršnog tlaka za brzinu vjetra od 28 m/s koje su usvojene prema normi HRN EN 13782 [11], odnosno izračunane prema HRN EN 1991-1-4 [13] za dvije ekstremne kategorije terena. Vidljivo je da su vrijednosti dobivene prema HRN EN 13782 [11] gotovo uvijek manje od onih dobivenih prema HRN EN 1991-1-4 [13] čak i za najpovoljniju IV. kategoriju terena. Jedino je za referentnu visinu od 10 m prema HRN EN 13782 [11] dobivena nešto veća vrijednost (0,60 u odnosu na 0,58).

Na temelju navedenoga jasno je da je ispravno razmatranje trajanja uporabljivosti građevine (privremeno ili trajno) od presudne važnosti za optimalno dimenzioniranje aluminijskih montažnih hala. Budući da je težnja za optimalnom gradnjom takvih građevina vrlo izražena, daljnji razvoj proračuna aluminijskih elemenata i njihovih priključaka, kao i razumijevanje njihovog fizičkog ponašanja, nužan preduvjet za

širu primjenu ovih laganih i vrlo često ekonomski opravdanih konstrukcija.

Ako se građevina projektira kao trajna, potrebno je provesti i proračun konstrukcije na djelovanje požara. Budući da su aluminijske legure izrazito osjetljive na povišene temperature koje se javljaju pri požaru, rano dolazi do smanjenja njihovih mehaničkih svojstava, [14], odnosno gubitka otpornosti. Iz tog je razloga osobito važno primijeniti suvremene metode procjene razvoja požara uzimajući pri tome u obzir svojstva pokrova specifičnih za ovakve građevine.

6. Montaža

Prednost aluminijskih montažnih konstrukcija najviše dolazi do izražaja u fazi montaže, osobito u slučaju privremenih konstrukcija (hale za kratkotrajna događanja), slika 1., gdje se ona sastavlja i ponovo rastavlja u kratkom razdoblju. Činjenica da je aluminij materijal male specifične težine i da nema zavarenih spojeva, to na gradilištu znatno ubrzava montažu i demontažu konstrukcije. Posljedica toga je manja količina radne snage i mehanizacije što u konačnici rezultira manjim troškovima izvedbe.

Pripremna faza montaže aluminijske konstrukcije obavlja se u radionici pripremom i grupiranjem predgotovljenih elemenata, te njihovim paletiranjem radi lakše manipulacije i transporta do gradilišta, slika 17.



Slika 17. Skladištenje predgotovljenih elemenata na gradilištu

Razmjernost i postavljanje temeljnih stopa prvi je korak montaže konstrukcije na gradilištu. Temeljne stope povezuju se

Tablica 2. Usporedba vrijednosti vršnog tlaka za brzinu vjetra od 28 m/s

Referentna visina z_e [m]	Vršni tlak brzine vjetra od 28 m/s - $q_p(z_e)$ [kN/m ²]		
	HRN EN 13782 [11]	HRN EN 1991-1-4 [13], kategorija terena IV	HRN EN 1991-1-4 [13], kategorija terena 0
5	0,50	0,58	1,27
10	0,60	0,58	1,47
15	0,66	0,71	1,58
20	0,71	0,81	1,67
25	0,76	0,89	1,72

s tlom pomoću sidrenih vijaka ili klinova, a odabir vrste sidrenja ovisi o vrsti tla na lokaciji te intenzitetu opterećenja, slika 10. Glavni nosivi okviri se okrupnjuju na tlu te se jedan po jedan diže i međusobno povezuju sa sekundarnom konstrukcijom (slika 18.).

Kao pravilo, montaža počinje od polja u kojemu se nalaze stabilizacijski vezovi, tj. formiranjem prostorno stabilnog dijela konstrukcije.

Izvedba stopa stupova sa zglobovima koji omogućuju rotaciju oko osi z-z (slike 9.b i 9.c) znatno ubrzava montažu same konstrukcije. Naime, nakon što se okviri okrupne na tlu, povezuju se sa stopama nakon čega se podižu na način da rotiraju oko zgloba stope stupa (slika 19.). Od mehanizacije za podizanje (zakretanje) okvirne konstrukcije upotrebljava se autodizalica i/ili viličar, a za povezivanje

okvira s ostatkom konstrukcije najčešće se koristi škarasta platforma.

Montaža započinje od polja u kojemu se nalazi vertikalna uzdužna stabilizacija tako da se osigura stabilnost konstrukcije u svim fazama montaže. U završnoj fazi montaže konstrukcije izvodi se ugradnja i zatezanje ostatka sekundarnih i stabilizacijskih elemenata konstrukcije (slika 20.). Nakon postavljanja obloge (PVC folije) dodatno se zatežu vlačni elementi (stabilizacijske dijagonale i zatege).

Ovisno o namjeni građevine slijedi postavljanje obloge i ugradnja otvora. Najuočajanija obloga je PVC folija (trevera), premda se konstrukcija može zatvoriti i sendvič-panelima ili trapeznim limovima (slika 21.). Otvori i vrata ovise o tipu namjene i mogu biti od običnih PVC zastora do sofisticiranih ostakljenih aluminijskih vrata.



Slika 18. Okrupnjivanje okvira na tlu



Slika 19. Podizanje okvira i povezivanje s ostatkom konstrukcije



Slika 20. Montaža sekundarnih elemenata i stabilizacija



Slika 21. Montaža obloga i vrata

7. Zaključak

Aluminijske montažne hale su konstrukcije s polivalentnom i višekratnom namjenom. Najveća prednost im je mala težina, što rezultira nižim troškovima transporta, te ujedno brzom i ekonomičnom montažom, bez upotrebe velikih i teških strojeva. Jednostavna rastavljivost spojeva omogućava višekratnu uporabu za različite namjene na raznim lokacijama. Nadalje, treba naglasiti da je aluminij s aspekta proizvodnje i ugradnje 'zeleni' materijal, tj. materijal koji je izrazito u skladu s filozofijom održive gradnje. Ako se, uz visoki postotak recikliranja, u obzir uzme i činjenica da konstrukcijske aluminijske legure zapravo ne treba štiti od korozije (niti održavati), vrijednost aluminijske građevnog materijala dodatno dolazi do izražaja.

Navedene prednosti dodatno potvrđuju sve veći zahtjev za izgradnjom trajnih aluminijskih hala. S tim ciljem potrebno je inženjerima u praksi ponuditi pouzdana rješenja i

pojednostavljene dokaze za brzo dimenzioniranje aluminijskih hala, odnosno njihovih elemenata i priključaka. Dio tih aktivnosti vezanih uz ponašanje aluminijskih priključaka već se provodi na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu [15-17].

U posljednje vrijeme projektanti se sve češće susreću sa željama investitora za primjenom aluminijskih montažnih hala. Nadamo se da će objavljeni materijal riješiti mnoge nepoznanice koje se nameću tijekom projektiranja ovih izuzetno ekonomičnih konstrukcijskih rješenja.

Zahvala

Autori zahvaljuju tvrtki HALTOR d.o.o. (Samobor, Hrvatska) na ustupljenoj fotodokumentaciji realiziranih građevina i mnoštvu praktičnih savjeta vezanih uz proizvodnju i montažu aluminijskih montažnih hala i šatora.

LITERATURA

- [1] Boko, I., Skejić, D., Torić, N.: Aluminijske konstrukcije, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Udžbenik Sveučilišta u Splitu i Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Split, 2017.
- [2] Skejić, D., Boko, I., Torić, N.: Aluminium as a material for modern structures, GRAĐEVINAR, 67 (2015) 11, pp. 1075-1085, <https://doi.org/10.14256/JCE.1395.2015>
- [3] Dokšanović, T., Markulak, D., Džeba, I.: Stanje područja stabilnosti i zavarivanja elemenata od aluminijskih legura, GRAĐEVINAR, 66 (2014) 2, pp. 115-125, <https://doi.org/10.14256/JCE.932.2013>
- [4] Gligić, B., Buđevac, D., Marković, Z., Mišković, Z.: Nosači od aluminijskih legura ojačani elementima od čelika, GRAĐEVINAR, 68 (2016) 10, pp. 787-799, <https://doi.org/10.14256/JCE.1588.2016>
- [5] Pavillion type C 25.00M, 12-SIDED, www.eschenbach-group.com, 13.12.2018.
- [6] Ingrid L. Blecha GmbH: Program isporuke 2018, katalog proizvođača, www.blecha.at, 13.12.2018.
- [7] Losberger GmbH: Product information: Frame Identification Chart, katalog proizvođača, www.losberger.com, 12.12.2018.
- [8] Losberger GmbH: Product information: easyflex Basic P5N/easyflex plus Basic P5N, katalog proizvođača, www.losberger.com, 12.12.2018.
- [9] Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja: Tehnički propis za građevinske konstrukcije, NN 17/17, Zagreb, 2017.
- [10] Hrvatski zavod za norme (HZN): HRN EN 1999-1-1, Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila (EN 1999-1-1:2007+A1:2009+A2:2013), drugo izdanje, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2015.
- [11] Hrvatski zavod za norme (HZN): HRN EN 13782, Privremene konstrukcije - Šatori - Sigurnost (EN 13782:2015), drugo izdanje, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2015.
- [12] Hrvatski zavod za norme (HZN): HRN EN 1991-1-3, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-3: Opća djelovanja - Opterećenja snijegom (EN 1991-1-3:2003+AC:2009), drugo izdanje, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2012.
- [13] Hrvatski zavod za norme (HZN): HRN EN 1991-1-4, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja - Djelovanja vjetra (EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010), drugo izdanje, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2012.

- [14] Skejić, D., Ćurković, I., Jelčić Rukavina, M.: Behaviour of Aluminium Structures in Fire, 4th International Conference on APPLICATIONS OF STRUCTURAL FIRE ENGINEERING, ASFE'15, Dubrovnik, pp. 300-305, 2015.
- [15] Harasti, D.: Eksperimentalna i numerička analiza aluminijskog nosača s čeličnom ispunom, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2018.
- [16] Josipović, M.: Ponašanje aluminijskog montažnog priključka prečka-stup, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2018.
- [17] Skejić, D., Mazzolani, F., Ćurković, I., Damjanović, D.: Experimental testing of prefabricated aluminium knee joints reinforced by steel, 14th International Aluminium Conference (INALCO2019): Environmental Advantages of Sustainable Aluminium Structures - Sustainability, Durability and Life Cycle, Ito International Research Center, Proceedings of 14th INALCO2019, Japan Light Metal Welding Association, Japan Aluminium Association, pp. 160-161, 2019, Tokyo, Japan.