

Tankostijeni lamelni elementi konstrukcija

Ante Tvrdeić

Ključne riječi

tankostijena lamela, oblikovanje, nosivi elementi, objekti za zaštitu prometnica od vjetra, krovna konstrukcija

Key words

thin-walled lamella, shaping, load-bearing elements, screens for road protection against wind action, roof structure

Mots clés

lamelle à paroi mince, modelage, éléments portants, brise-vents routiers, toiture

Ключевые слова

тонкостенная ламель, формовка, несущие элементы, объекты для защиты дорог от ветра, конструкция крыши

Schlüsselworte

Dünnwandige Lamelle, Gestaltung, tragfähige Elemente, Windschutzbauwerke für Verkehrswege, Dachkonstruktion

A. Tvrdeić

Tankostijeni lamelni elementi konstrukcija

Opisuje se oblikovanje konstrukcija sastavljenih od tankostijenih lamela koje tvore nosive prostorne elemente. Prikazan je postupak spajanja niza tipskih elemenata s raznim zakrivljenostima u nosive konstrukcije koje mogu služiti u razne svrhe kao što su stijene za zaštitu prometnica od vjetra, krovne konstrukcije i drugo. Prikazana je primjena lamelnih elemenata za izradu saćastih konstrukcija na objektima zaštite prometnica od vjetra i na cilindričnoj krovnoj konstrukciji.

A. Tvrdeić

Thin-walled laminated structural elements

The design of structures composed of thin-walled lamellas formed in such a way to serve as load-bearing space elements is described. The author presents the procedure for linking a number of differently curved typical elements in order to form load bearing structures that may be used for various purposes, e.g. as screens for road protection against wind action, as roof structures, etc. The use of laminated elements for the construction of cellular wind screens applied on roads, as well as for cylindrical roof structures, is presented.

A. Tvrdeić

Éléments structurels lamellés à parois minces

L'étude des constructions composées des lamelles à parois minces modelées afin de servir comme éléments d'espace portants est décrite. L'auteur présente la manière dans laquelle les éléments typiques à courbures différentes sont liés pour former les structures portants qui peuvent être utilisées aux fins différents: comme brise-vents pour la protection des routes, comme toitures, etc. L'emploi des éléments lamellés pour la construction des brise-vents cellulaires utilisés sur les routes, ainsi que pour les toitures cylindriques, est présenté.

A. Тврдеић

Тонкостенные ламельные элементы конструкции

В статье описывается формовка конструкций, составленных из тонкостенных ламелей, составляющих пространственные элементы. Показан способ соединения ряда типовых элементов с разными радиусами кривизны в несущие конструкции, которые могут служить разным целям, такие, как например, стены для защиты дорог от ветра, конструкции крыши и т.д. Показано применение ламельных элементов по подготовке улейных конструкций на объектах по защите дорог от ветра и на цилиндрической конструкции крыши.

A. Tvrdeić

Dünnwandige Lamellenelemente der Konstruktion

Man beschreibt die Gestaltung von aus Lamellen zusammengefügt Konstruktionen die tragfähige räumliche Elemente bilden. Dargestellt ist ein Verfahren der Zusammensetzung einer Reihe von typisierten Elementen mit verschiedenen Krümmungen zu tragfähigen Konstruktionen die zu verschiedenen Zwecken dienen können, wie zB. Windschutzwände für Verkehrswege, Dachkonstruktionen u.a. Dargestellt ist die Anwendung von Lamellenelementen für die Herstellung von Wabenkonstruktionen an Windschutzbauwerken für Verkehrswege und an zylindrischer Dachkonstruktion.

Stručni rad

Professional paper

Ouvrage professionnel

Отраслевая работа

Fachbericht

Autor: Ante Tvrdeić, dipl. ing. građ., VIG d.d., Rakitnica 2, Zagreb

1 Općenito

Niz nosivih elemenata konstrukcije čini nosivu strukturu koja se može svrstavati u različite grupe, ovisno o materijalu od kojeg su elementi izrađeni, vrsti elemenata, obliku strukture, načinu izrade, montaže i slično. Međutim, ono što bi trebala biti odlika svake nosive strukture jest njena ekonomičnost. Graditelji su kroz svoj povijesni razvoj mnogo toga učili iz prirode u kojoj su živjeli. Materijal za izradu osnovnih elemenata struktura nalazili su u prirodi. Kako u ranim fazama razvitka čovjek nije raspola-gao velikim znanjima iz područja građenja, upravo je u svom okolišu tražio i nalazio inspiraciju za svoje prve jednostavne konstrukcije. Postojanje čovjeka mnogo je kraće nego postojanje mnogih biljnih i životinjskih vrsta koje su, prolazeći kroz razne faze razvoja i prilagodbi okolišu, stvarale čudesne oblike, sklopove i optimalna rješenja iz kojih se i danas mogu crpiti i razvijati mnoge originalne ideje. Moglo bi se reći da je građevna bionika posebna znanstvena disciplina koja sistematski proučava zakone i principe funkcioniranja žive prirode i iz toga iznalazi rješenja za postavljene zadatke koja se odlikuju graditeljskom logikom, ekonomičnošću, lakoćom izvedbe i uvjerljivošću.

Kao uzor za osmišljavanje prostornih lamelnih struktura poslužila je po mnogočemu optimalna prostorna forma kojom se pčele koriste u košnicama – pčelinje saće. U ovom su radu obrađene različite strukture od niza jedna-ko oblikovanih trakastih nosivih elemenata – lamela. Osnovni cilj bio je osmisliti postupak konstruiranja lamelnih nosivih elemenata prilagođenih serijskoj izradi. To znači imati što više elemenata jednakih oblika i veličina koji se međusobno spajaju u cjelinu na sudarnicama tvo-

reći geometrijske oblike šesterokuta itd. povezane u pros-orno stabilnu strukturu [1],[2],[3].

2 Oblikovanje tankostijenih lamelnih elemenata

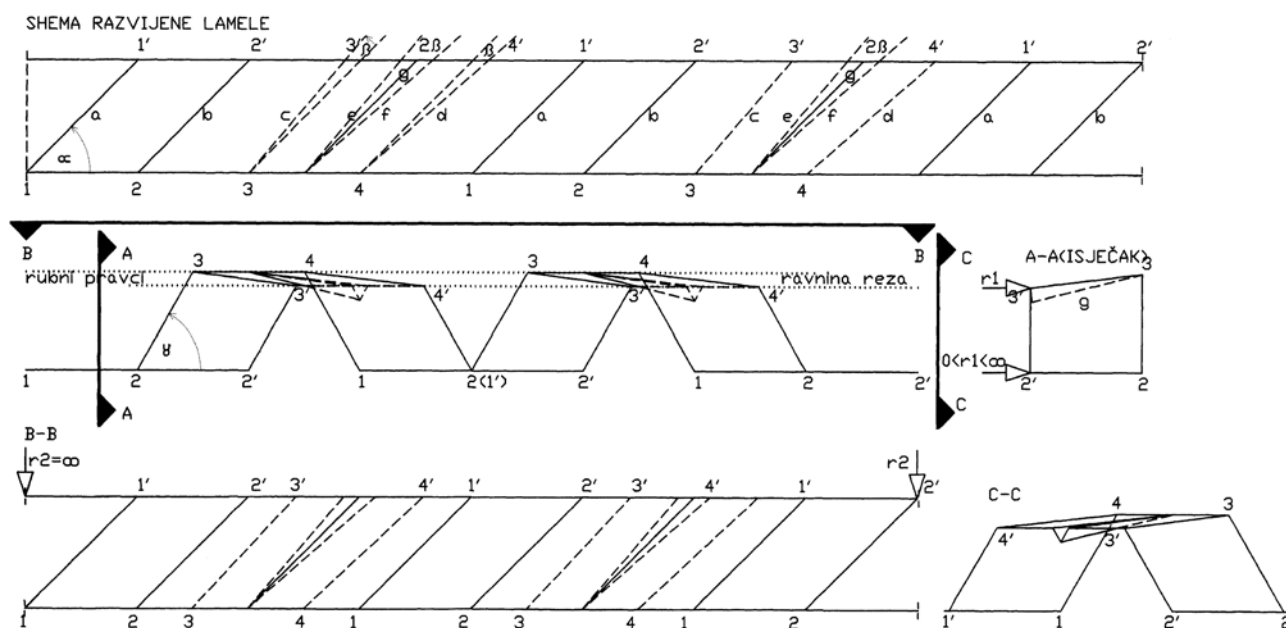
Tankostijeni (TA) lamelni element oblikuje se od tanko-stijene trake koja može biti izrađena od različitih vrsta materijala. Mora se savijati na označenim mjestima po točno utvrđenom postupku [4] preoblikujući se pritom iz trakastog elementa u lamelne elemente željene strukture i određene krutosti. S obzirom na predznak zakrivljenosti Gaussove krivulje [5], od ovako formiranih lamelnih ele-mentata moguća je tvorba sljedećih prostornih struktura:

- tip A - jednostruko zakrivljene (cilindrične, stožaste)
- tip B - pozitivno dvostruko zakrivljene (kupole: sfer-
ne, zašiljene, zvonolike, košaraste, elipsoidne,
hiperboloidne, paraboloidne)
- tip C - negativno dvostruko zakrivljene (torusne, ro-
tacijski jednoplošni hiperboloid, rotacijska
ploha parabole).

Osnovni konstruktivni tankostijeni lamelni elementi zr-
calno se slažu po reznim ravninama, međusobno spajaju
i tvore nosivu prostornu strukturu. S obzirom na uzduž-
nu os, oblik lamele i odabrani kut između lamela te veli-
činu stranice, otvori među lamelama mogu se kretati od
pravilnog preko izduženog šesterokuta sve do pravokut-
nika, ovisno o kutu gledanja.

Tip A lamelnih struktura

Tankostijeni lamelni element tipa A oblikuje se tako da
se na traci (lameli) nepromjenjive širine najprije označa-
vaju mjesta savijanja koja se nazivaju izvodnicama. Kako



Slika 1. Shematski prikaz oblikovanja tankostijenog element jednostruko zakrivljene strukture

je prikazano na slici 1. jednu seriju izvodnica čine izvodnice označene od a do g , koje se ponavljaju u istom redosljedu ovisno o željenoj dužini tankostijenog lameliranog elementa.

Lamelni tankostijeni element oblikuje se najprije savijanjem lamele za kut $+\gamma$ oko međusobno paralelnih izvodnica a i b , koje su proizvoljno koso položene pod kutem α u odnosu na uzdužnu os lamele. Pozitivan predznak kuta γ odgovara smjeru savijanja obrnutom od smjera vrtnje kazaljki na satu. Slijedi savijanje oko izvodnice c i paralelne izvodnice e nagnutih pod kutem $\alpha+\beta$ prema horizontali za kut $-\gamma$ te konačno savijanje oko izvodnice d i paralelne izvodnice f nagnutih pod kutem $\alpha-\beta$ prema horizontali također za kut $-\gamma$. Izvedba potrebnog otklona lamele uključuje i savijanje lamele za kut $+(180^\circ-2\gamma)$ oko izvodnice g koja je inače paralelna s izvodnicama a i b .

Dakle, bitno je uočiti tri grupe paralelnih izvodnica. Prvu grupu čine izvodnice a , b i g , drugu c i e , dok treću grupu čine izvodnice d i f . Budući da izvodnice slijede rubne pravce razvijenog segmenta plašta jednostruko zakrivljenih struktura (cilindra), očito je da su dužine 2-3 i 2'-3' uvijek iste, jednako kao i dužine 1-4 i 1'-4'.

Na sličan se način mogu od istog tipa oblikovati tankostijene lamelirane strukture drugačijih oblika ploha. Tako se ravne plohe konstruiraju kao poseban slučaj gore navedenog oblikovanja. Za stožaste se strukture lamelirani elementi oblikuju po istom postupku uz napomenu da se linearno mijenjaju dužine 2-3 i 2'-3' i dužine 1-4 i 1'-4'.

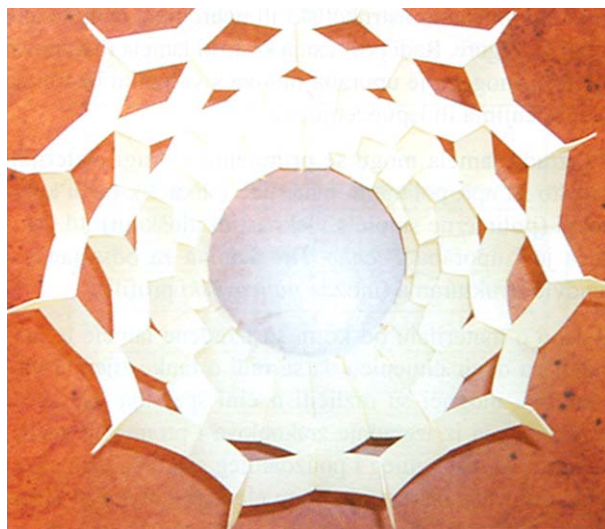
Tipovi B i C lamelnih struktura

Na sličan način kao što je opisan postupak oblikovanja lamelnih struktura tipa A oblikuju se i preostala dva tipa, B i C. Osnovna razlika kod ova zadnja dva tipa jest u tome što imaju drugačiji kut nagiba izvodnica e i f i međusobno i u odnosu prema tipu A.

Kod tipa B tankostijenoga lamelnog elementa za sfere izvodnica e nagnuta je prema uzdužnoj osi trake za kut veći od $(\alpha + \beta)$, dok je kut nagiba izvodnice f manji od $(\alpha + \beta)$. Cilindrične plohe mogu se konstruirati na isti način kao poseban slučaj.

Kod tankostijenog su lamelnog elementa tipa C (torus) nagibi navedenih izvodnica u odnosu na uzdužnu os trake drugačiji: za izvodnicu e kut je manji od $(\alpha + \beta)$ dok je za izvodnicu f veći od $(\alpha + \beta)$. Kao ilustracija ovog tipa na slici 2. prikazan je model strukture za rotacijsku plohu parabole.

U oba navedena slučaja karakteristična je promjena dužina izvodnica ovisno o tome kako navedene izvodnice slijede rubne krivulje razvijenog segmenta plašta ili pozitivno ili negativno dvostruko zakrivljene strukture.



Slika 2. Model strukture po rotacijskoj plohi parabole

Koristeći se postupcima nacrtne geometrije za razvijanje plašteva [6],[7] i opisanog postupka oblikovanja lamela, za svaku rotacijsku plohu mogu se konstruirati odgovarajuće prostorne tankostijene lamelirane strukture.

3 Karakteristike tankostijenih lamelnih struktura

Nosivi elementi tankostijenih struktura mogu se izradivati od različitih materijala. Zbog svojih mehaničkih karakteristika i zbog željenih mogućnosti oblikovanja savijanjem, najpogodniji su metalni materijali: u prvo-



Slika 3. Sačasti vjetrobran (PC)

me redu običan konstrukcijski ili nehrđajući čelik te aluminijске legure. Radi povećanja krutosti lamela ili njihovih dijelova moguća je uporaba limova s valjanim uzorcima (udubljenjima ili ispupčenjima).

Za izradu lamela mogu se primijeniti i drugi materijali kao što su npr. polimerni materijali (slika 3.), razni kompoziti (polimerne smole s vlaknastim uloškom) itd. Moguća je i uporaba *Techno Tex* tkanina za odstojanje u sendvič strukturama (možda *pultruzijski* profili).

Ovisno o materijalu od kojih su izrađene lamele te uzimajući u obzir činjenicu da se radi o tankostijenim elementima, mogući su različiti načini spajanja. Koristeći se iskustvima iz izgradnje zrakoplova i prometnih vozila, radi što jednostavnijeg i pouzdanijeg spajanja elemenata u cjelinu, veze među pojedinim elementima mogu se ostvariti vijčano, zakivanjem, točkastim zavarivanjem, lijepljenjem i prošivanjem.

Kako za ovakve vrste konstrukcija ne postoje normirana rješenja, njihovo projektiranje podržano je pokusima. Rezultat su konstrukcije male vlastite težine s minimumom utroška materijala za relativno velika opterećenja, što ih svrstava u red laganih konstrukcija. Oblikovna rješenja pojedinih tipova lamelnih elemenata kao i njihovo spajanje u cjelinu daje konstrukcije s dostatnom krutošću koje se lagano montiraju i isto tako demontiraju. Pravil-

nim odabirom materijala, dimenzija i oblika lamelnih tankostijenih nosača mogu se u estetskom smislu dobiti strukture s raznolikim oblicima ploha za različite namjene te s malom cijenom koštanja.

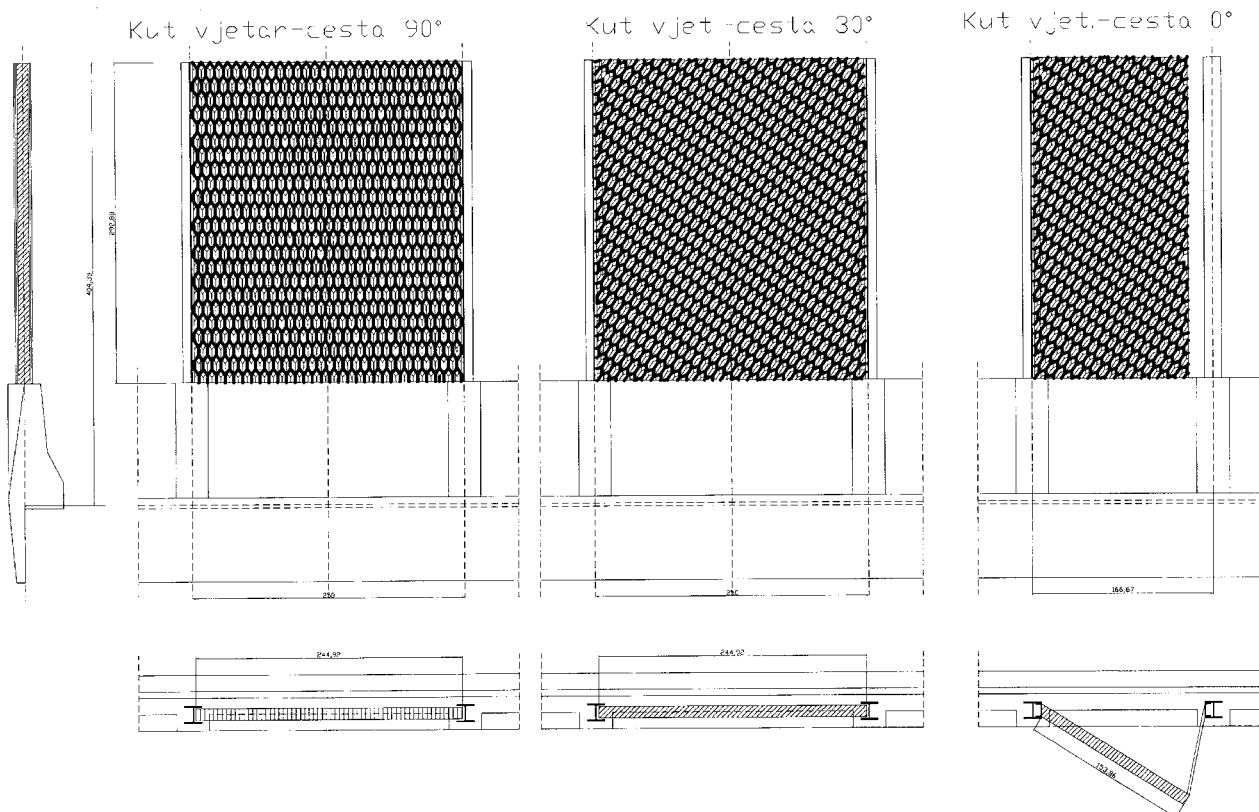
4 Primjeri primjene tankostijenih lamelnih struktura

4.1 Sačasti vjetrobrani

Na pojedinim dionicama prometnica s jakim i iznenadnim udarima vjetra mogu se primijeniti sačasti vjetrobrani prikazani na slici 4. Sastoje se od jačih čeličnih nosača (HE B profili) propisno usidrenih te sačastih zaslona potrebne visine ugrađenih u za to predviđene okvire.

Za razliku od klasičnog zida, koji za vozilo koje se kreće prometnicom može prouzročiti opasne vrtloge, sačasti vjetrobran usmjerava vjetar u vis [8] te rasipa energiju vjetra u niz mikrovrtloga stvarajući pri tome minimalne sile na njegovim osloncima. Propusnost sačastih vjetrobrana je prilagodljiva i u funkciji je kuta pod kojim se savijaju lamele, širine same lamele i veličine šesterokuta.

Najdjelotvornija zaštita postiže se kada vjetar djeluje okomito na vjetrobran, a sam je zaslon formiran ortogonalno. Za druge kutove naleta vjetra rabe se kosi sačasti zasloni. U slučaju kada je vjetar usmjeren uzduž ceste,



Slika 4. Tipovi sačastih vjetrobrana

moгу se upotrijebiti, analogno principima dinamike jedrenja, zasloni koji su primjereno zakrenuti u odnosu na os ceste.

Odgovarajuća primjena saćastih vjetrobrana na vjetru izloženim izlazima iz tunela stvara zavjetrinu na zaštićenom dijelu ceste pa se tako može usporiti ili barem odgoditi zaleđivanje zaštićenog dijela kolnika. Valja napomenuti da ovakvi saćasti vjetrobrani refleksijom ujedno smanjuju prometnu buku.

Model saćastog vjetrobrana dodatno je ispitan u okviru provjere mogućih sistema zaštite od vjetra za dionicu autoceste od tunela Sv. Rok do Masleničkog mosta [9].

4.2 Cilindrična krovna konstrukcija sa zategom

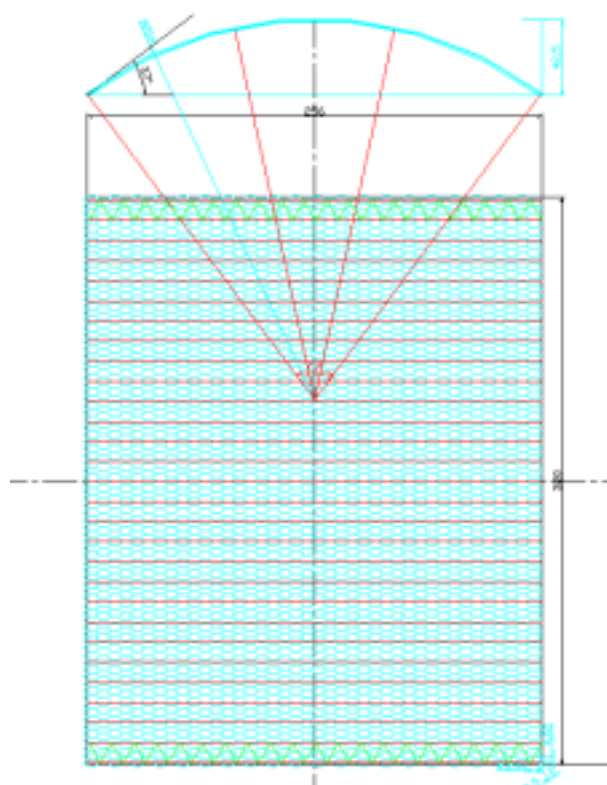
Na slici 5. prikazana je krovna konstrukcija tlocrtnih dimenzija 25,6 x 32 metra. Krovna je ploha cilindrična sa strjelicom luka 4,25 metara što je otprilike 1/6 raspona.

Glavnu nosivu strukturu čini tankostijena lamelna struktura kojoj su lamele izrađene od čelika kvalitete Č.0147. Mikroprofilirane trake (vanjska visina profilacije 5,0 mm; širina 160 mm) od kojih su načinjeni nosivi lamelni elementi izrađeni su od lima debljine 1,0 mm i razvijene širine 184,00 mm. Oni tvore izdužene šesterokute s dimenzijom stranice od 350 mm. Lokalna je vitkost dijelova lamelnih nosivih elemenata između mjesta spajanja 134. Zatege su postavljene na razmaku 1,0 m i načinjene su od čelične užadi \varnothing 8,0 mm. Na čeličnoj lamelnoj strukturi postavljena je aluminijska potkonstrukcija pokriva koja nosi pokrov izrađen od višekomornih PC ploča.

Konstrukcija je projektirana s korisnim opterećenjem od 1,25 kN/m² zbog djelovanja snijega i vjetra te za stalno opterećenje koje ukupno iznosi otprilike 13 kg/m². Težina same čelične tankostijene lamelne strukture jest svega 8,63 kg/m², što dovoljno pokazuje o kako je laganoj konstrukciji riječ.

LITERATURA

- [1] Butner, O.; Hempte, E.: *Bauwerk Tragwerk Tragstruktur*, Ernst&Sohn, Berlin 1985.(476 str.)
- [2] Мельников, Н. П.: *Металлические конструкции*, Справочник проектировщика Москва, Стройиздат 1980 (776 str.)
- [3] Žagar, Z.: *Drvene konstrukcije I*, Pretei d.o.o. Zagreb, 2002. (591str.)
- [4] Tvrdeić, A.: Tankostijeni elementi nosivih lamelnih struktura, Prijava patenta br. HR P20020465A A2
- [5] Zloković, Đ.: *Ljuske*, Tehnička enciklopedija br.7, str. 623-633
- [6] Horvatić-Baldasar, K.; Babić, I.: *Nacrtna geometrija*, SAND d.o.o. Zagreb 2001.(152 str.)
- [7] Laskowski, M.; John, G.: *Rozvinate součásti z plechu*, SNTL Praha, 1975.(148 str.)
- [8] Sachs, P.: *Uticaoj vetra na konstrukcije*, Građevinska knjiga, Beograd 1986.(439 str.)
- [9] Gjetvaj, G.; Lončar, G.; Dolovčak, R.; Pušić, V.; Šikić, A.; Živković, F.: *Ispitivanje ispune vjetrobrana u zračnom tunelu*, Izvještaj br. 540, Građevinski fakultet-Zavod za hidrotehniku Zagreb, lipanj 2004. (68 str.)



Slika 5. Tlocrt i presjek krovne konstrukcije

5 Zaključak

Opisani su postupci oblikovanja tankostijenih traka (lamela) u željene oblike lamelnih struktura koje se odlikuju visokim odnosom korisnog opterećenja prema vlastitoj težini konstrukcije. Za njihovu se izradu mogu upotrijebiti različiti materijali, a imaju široku primjenu pri raznim ravnim i zakrivljenim oblicima krovnih ploha. Primjenjive su isto tako i za vjetrobrane i, primjerice, strukturne usmjerivače vjetra za iskorištavanje energije vjetra s pomoću akcijskih vjetroturbina.

- [10] Verein deutscher Ingenieure (VDI 2055): *Wärme-und Kälteschutz für betriebs-und haustechnische Anlagen* (65 str.)
- [11] Brandl, H.: *Geothermal utilisation of deep foundations*, AIT-Proceedings Nov. 1999.
- [12] Relja, Ž.; Lazanica, Ž.: *Primjena aluminijskih materijala*, Aluminijski materijali, Metalburo Zagreb, 1985. (106 str.)
- [13] *Primjena aluminija u građevinarstvu*, Priručnik katalog, Građevinski institut OOUR fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Splitu, Split 1998.(312 str.)
- [14] DIN 4113 Teil 1 *Aluminiumkonstruktionem unter vorwiegend ruhrender belastung* (22 str.)
- [15] Androić, B.; Džeba, I.: *Proračun tankostijenih hladno oblikovanih čeličnih profila*, GRAĐEVINAR 33 (1981) 8
- [16] Petersen, C.: *Stahlbau*, Vieweg Braunschweig/Wiesbaden 1988.(1413 str.)