

KONEKTORU KOPŅU STINGUMA NODROŠINĀŠANA SOME OPINIONS ON THE DESIGN OF NAIL PLATE TRUSSES

L. Ozola

LLU Būvkonstrukciju katedra
Department of Building Constructions, LUA

Abstract. The article examines two significant problems for nail plate trusses design - determination of adequate design diagram of system and the optimal depth/span value evaluation. The study represents truss model test results. The combined system (system with continuous chords and hinge jointed diagonals) is considered as a more appropriate design diagram. There are carried out the stiffness analysis of pitched trusses (span values $L=10; 12$ m) and flat trusses (span values $L=15; 18$ m) for uniformly distributed load $q=4$ kN/m acting to the upper chord. Taking into consideration the diagonal bar ends slip in joints the maximum deflection of trusses are calculated for different depth/span relations ($h/L=1/5; 1/6; 1/7; 1/8$). The article also presents optimal depth/span values and the comparison of material consumption for different types of trusses.

Key words: timber constructions, nail plate trusses, design

1. Ievads

Konektoru jeb zobaino metāla plāksnišu savienojumi ir ekonomiskākie no būvkoku savienojumu veidiem. Konektoru savienojums nodrošina mezglā pievienojamo elementu pārnesto bīdes spēku uzņemšanu, nepalielinot dēļu šķērsriezuma laukumu, kas parasti nepieciešams, pielietojot naglotos, skrūvju un līmētos savienojumus. Daudzās attīstītās pasaules valstīs, kā Somijā (M. Leivo, 1991), Zviedrijā, ASV, Kanādā u. c. šīs konstrukcijas tiek sekmīgi pielietotas kā dzīvojamo, tā ražošanas ēku celtniecībā jau daudzus gadus. Bet Latvijā konektoru konstrukciju ražošana un pielietošana dažādu iemeslu dēļ notiek ļoti lēni.

2. Pētījumu uzdevumi

Koka konstrukciju projektēšanas normās (СНП II-25-80, 1982) nav doti norādījumi ne konektoru savienojumu, ne attiecīgo konstrukciju projektēšanai, pastāv tikai reģionālo institūtu izstrādātas rekomendācijas (Рекомендации..., 1985). Lai iegūtu iztrūkstošo informāciju, konektoru konstrukciju projektēšanai tika izvirzīti sekojoši teorētisko un eksperimentālo pētījumu uzdevumi:

1. kopnes aplēses shēmas definēšana;
2. bīdes deformāciju lielumu noteikšana mezglas pie pilnīgi izmantotas konektoru nestspējas;
3. pieļaujamo minimālo pārseguma kopnes augstumu, kas nodrošina pietiekošu stingumu ekspluatācijas laikā, noteikšana.

3. Materiāls un metodes

3.1. Modeļkopnes pārbaude uz statisku slodzi

Konektoru kopnes darba pētīšanai tika izgatavotas un pārbaudītas divas modeļkopnes (skat. 1. A att.) ar laidumu $L=1.6; 1.7$ m un augstumu $h=28; 35$ cm. Modeļkopnes tika slogotas ar pakāpeniski

pieaugošu statisku slodzi, katrā slodzes pakāpē ar tenzometriem nosakot šķiedru deformāciju lielumus joslās, elementu savstarpējo nobīdi balstmezglos (ar indikatoriem) un kopnes izlieces lielumus (ar izlieču mēritājiem). Normālo spriegumu eksperimentālie lielumi σ_e :

$$\sigma_e = \varepsilon * E_K, \quad (1)$$

kur E_K - koksnes elastības modulis īslaicīgai slodzei $E_K = 1200 \text{ kN/cm}^2$;
 ε - šķiedru relatīvā deformācija.

Normālo spriegumu teorētiskie lielumi σ_t tenzometru izvietojumam atbilstošajos joslu šķēlumos tika aprēķināti, izmantojot materiālu stiprības formulas

$$\text{neitrālās ass zonā:} \quad \sigma_t = N/A, \quad (2)$$

$$\text{šķēluma malā:} \quad \sigma_t = \pm N/A + M/W, \quad (3)$$

kur N - ass spēka stieni pēc atbilstošās aprēķina shēmas;
 M - lieces momenta stieni pēc atbilstošās aprēķina shēmas;
 A - stieņa šķērsriezuma laukums;
 W - šķēluma pretestības moments.

3.2. Kopnes aplēses shēmas

Teorētiski aprēķināto spriegumu lielumu ticamība kopnes elementos ir atkarīga no pieņemtās statiskās aplēses shēmas. Tradicionālā koka kopņu aplēses shēma ir statiski noteicama kopne ar locīklām mezglos. Brusu un naglotu dēļu kopņu projektēšanā tā dod pietiekoši drošus rezultātus.

Konektoru kopņu aplēsē tradicionālā shēma nav pieņemama, jo rezultātā dod aptuvenus iekšējo spēku lielumus, pēc kuriem projektētie joslas stieņu šķērsizmēri ir vai nu neekonomiski (augšjoslā) vai nepietiekoši (apakšjoslā). Teorētiskiem aprēķiniem tika izvēlētas trīs kopnes statiskās aplēses shēmas (skat. 1. att. B,C,D): L - statiski noteicama stieņu sistēma ar locīklām mezglos, K - statiski nenoteicama kombinēta sistēma ar nepārtrauktām joslām; St - sistēma ar stingriem mezglēm uz locīklas tipa balstiem. Modeļkopnes teorētiskā aprēķina plāns dots blokshēmā (skat. 2. att.).

Eksperimentālie un teorētiskie normālo spriegumu un izlieces lielumi attēloti grafiski (skat. 3., 4. att.). Labākā sakritība ar teorētiskajiem novērojama, ja par aplēses shēmu pieņem kombinēto sistēmu ar nepārtrauktām joslām.

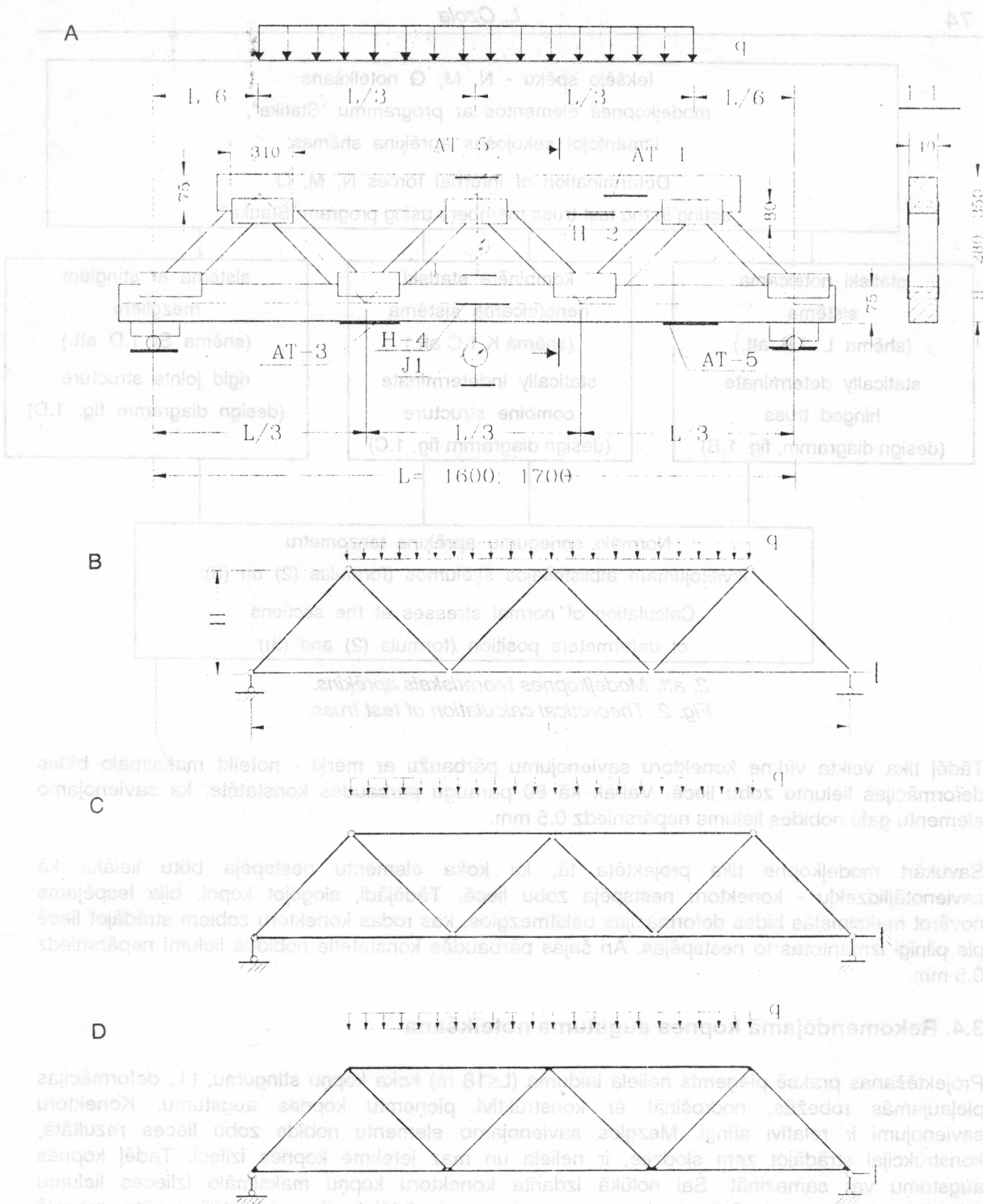
3.3. Kopnes elementu nobīde mezglos un tās ietekme uz kopnes izlieci

Kopnes izlieces noteikšanai elastīgo deformāciju attīstības rezultātā izmanto Mora integrāli. Bet koka kopnes izliece summējas gan no elementu elastīgajām deformācijām stiepē un spiedē, gan no elementu galu nobīdes mezglīs konektoru zobiem strādājot liecē.

Celtniecības normu praktikums (СНИП II-25-80, 1986) piedāvā elementu nobīdes faktoru kopnes izlieces aprēķinā ievērtēt ar reducētā elastības moduļa palīdzību, ko aprēķina pēc formulas:

$$E_{red} = \frac{E}{1 + \frac{E * A * \sum_{i=1}^m \delta_i}{N * l}}, \quad (4)$$

kur E - koksnes elastības modulis saskaņā ar celtniecības normām;
 A - elementa šķēluma bruto laukums;
 N - piepūle stieni;
 l - stieņa garums;
 m - kopējais elementa pievienojumu skaits;
 δ_i - stieņa nobīde mezglā, kuras lielums pagaidām nav normēts.

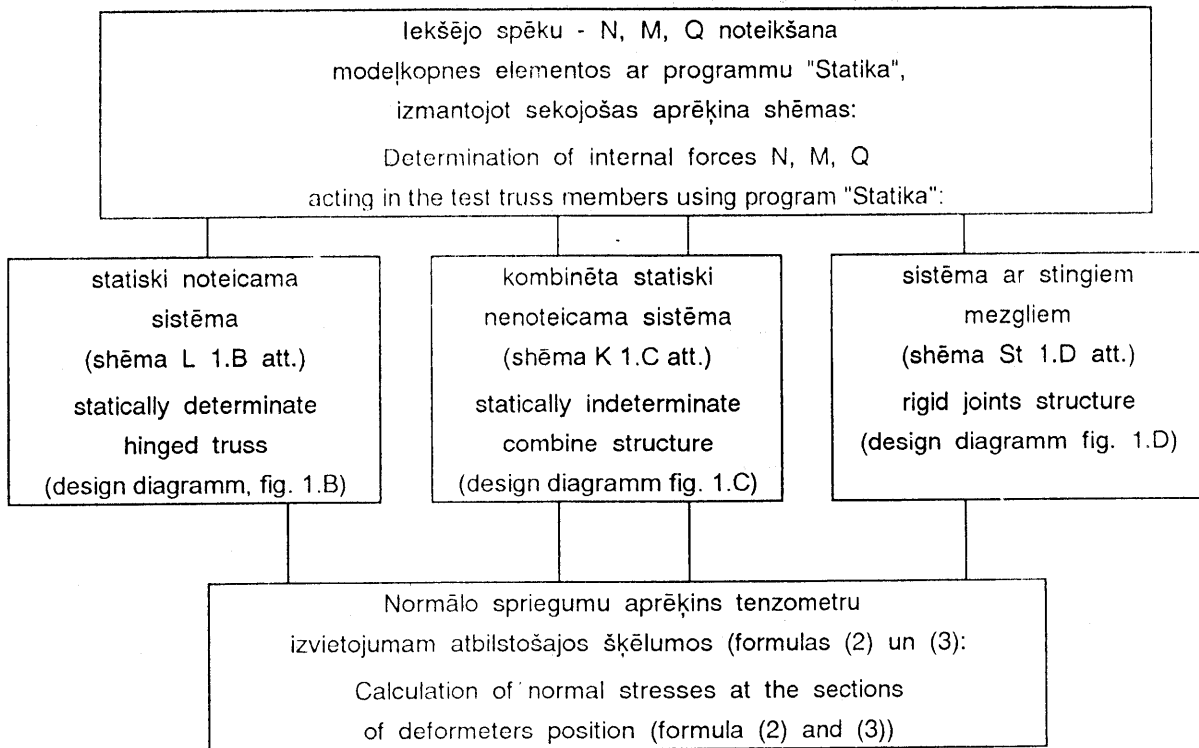


1. att. Modeļkopnes konstruktīvā un aplēses shēmas:

A - modeļkopne ar mērinstrumentu - tenzometru (AT un H) un izlieču mērītāju (J un J1) izvietojumu; B - statiski noteicama stieņu sistēma (shēma L); C - statiski nenoteicama kombinēta sistēma (shēma K); D - brīvi balstīta sistēma ar stingiem mezgliem (shēma St).

Fig. 1. Structural drawing of test truss and inspected design diagrams:

A - truss model with arrangement of measuring instruments - deformeters (AT and H) and deflectometers (J and J1); B - statically determinate hinged truss; C - statically indeterminate combine structure with continuous chords and hinge jointed diagonals; D - rigid joints structure on the simple supports.



2. att. Modeļkopnes teorētiskais aprēķins.
Fig. 2. Theoretical calculation of test truss.

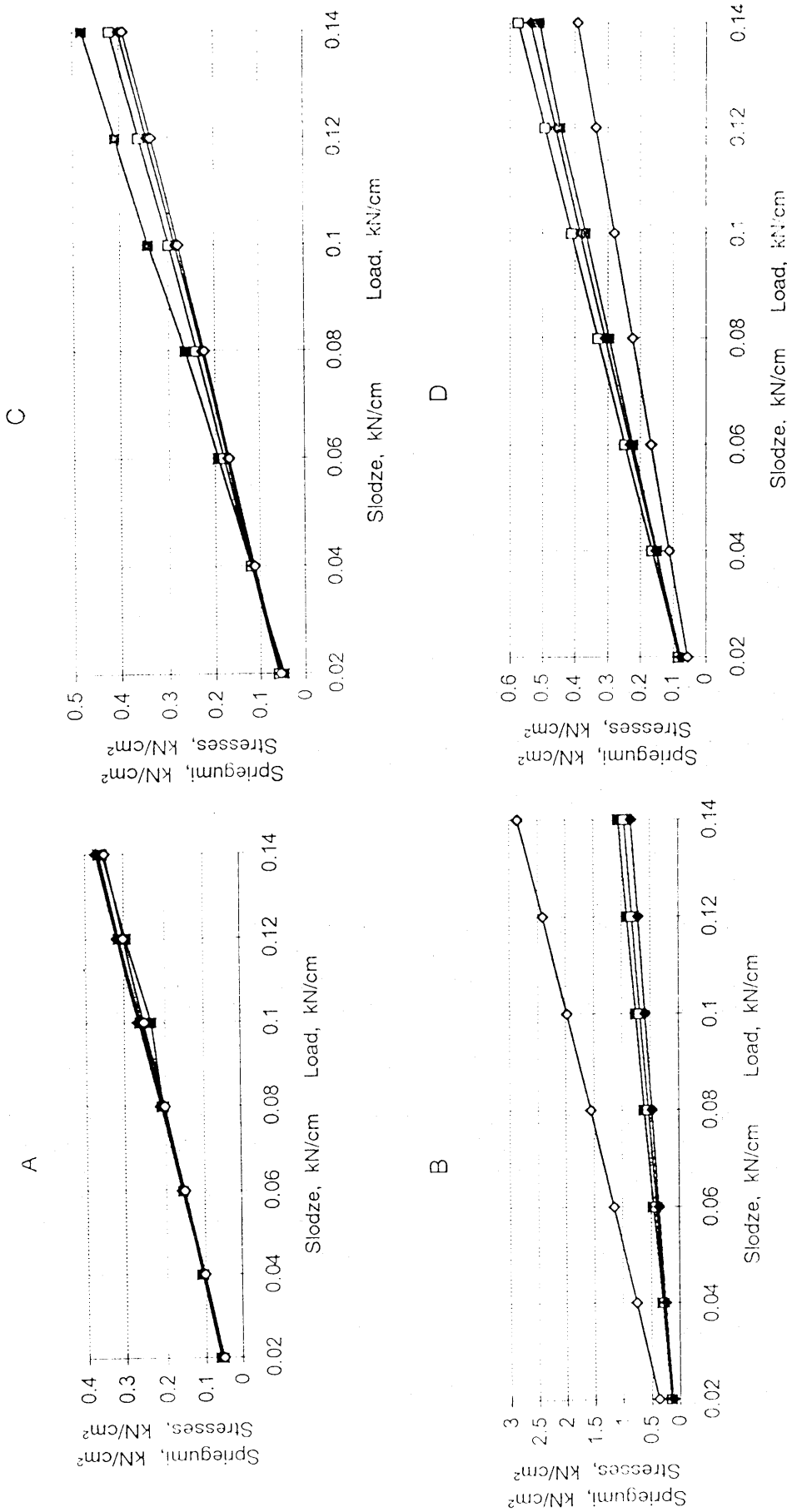
Tādēļ tika veikta virkne konektoru savienojumu pārbaužu ar mērķi - noteikt maksimālo bīdes deformācijas lielumu zobu liecē. Vairāk kā 50 paraugu pārbaudēs konstatēts, ka savienojamo elementu galu nobīdes lielums nepārsniedz 0.5 mm.

Savukārt modeļkopne tika projektēta tā, lai koka elementu nestspēja būtu lielāka kā savienotājliedzokļu - konektoru nestspēja zobu liecē. Tādējādi, slogojot kopni, bija iespējams novērot maksimālās bīdes deformācijas balstmezglos, kas rodas konektoru zobiem strādājot liecē pie pilnīgi izmantotas to nestspējas. Arī šajās pārbaudēs konstatētie nobīdes lielumi nepārsniedz 0.5 mm.

3.4. Rekomendējamā kopnes augstuma noteikšana

Projektēšanas praksē pieņemts neliela laiduma ($L \leq 18$ m) koka kopņu stingumu, t.i., deformācijas pieļaujamās robežās, nodrošināt ar konstruktīvi pieņemtu kopnes augstumu. Konektoru savienojumi ir relatīvi stingi. Mezglos savienojamo elementu nobīde zobu lieces rezultātā, konstrukcijai strādājot zem slodzes, ir neliela un maz ietekmē kopnes izlieci. Tādēļ kopnes augstumu var samazināt. Šai nolūkā izdarīta konektoru kopņu maksimālo izlieces lielumu teorētiska analīze atkarībā no kopnes augstuma, ievērtējot eksperimentāli iegūto mezglā pievienojamā elementa maksimālās nobīdes lielumu (0.5 mm). Tika apskatītas trijstūrveida ($L = 10; 12$) un trapecveida ($L = 15; 18$ m) konektoru kopnes ar augstuma un laiduma attiecībām $h/L = 1/5; 1/6; 1/7; 1/8$.

Izmantojot kompjuāterprogrammu "Statika" (СНП II-25-80, 1982), tika noteikti maksimālie izlieces lielumi (skat. 1. tab.) no vienmērīgi sadalītas slodzes uz augšjoslu $q=4$ kN/m, definējot kopni kā statiski nenoteicamu kombinēto sistēmu un izlieces aprēķinā ņemot vērā režģa elementu maksimālo nobīdi savienojumos ar kopnes joslām. Rezultātā katram kopņu tipam tika noteikta minimālā kopnes augstuma un laiduma attiecība, pie kuras ir nodrošināts stingums, t.i., kopnes izliece nepārsniedz pieļaujamo ($f_{adm} = L/300$) saskaņā ar normām (СНП II-25-80, 1982).



3. att. Eksperimentālās un teorētiskās normālo spriegumu un slodzes sakarības (apzīmējumus skat. 4. att.):

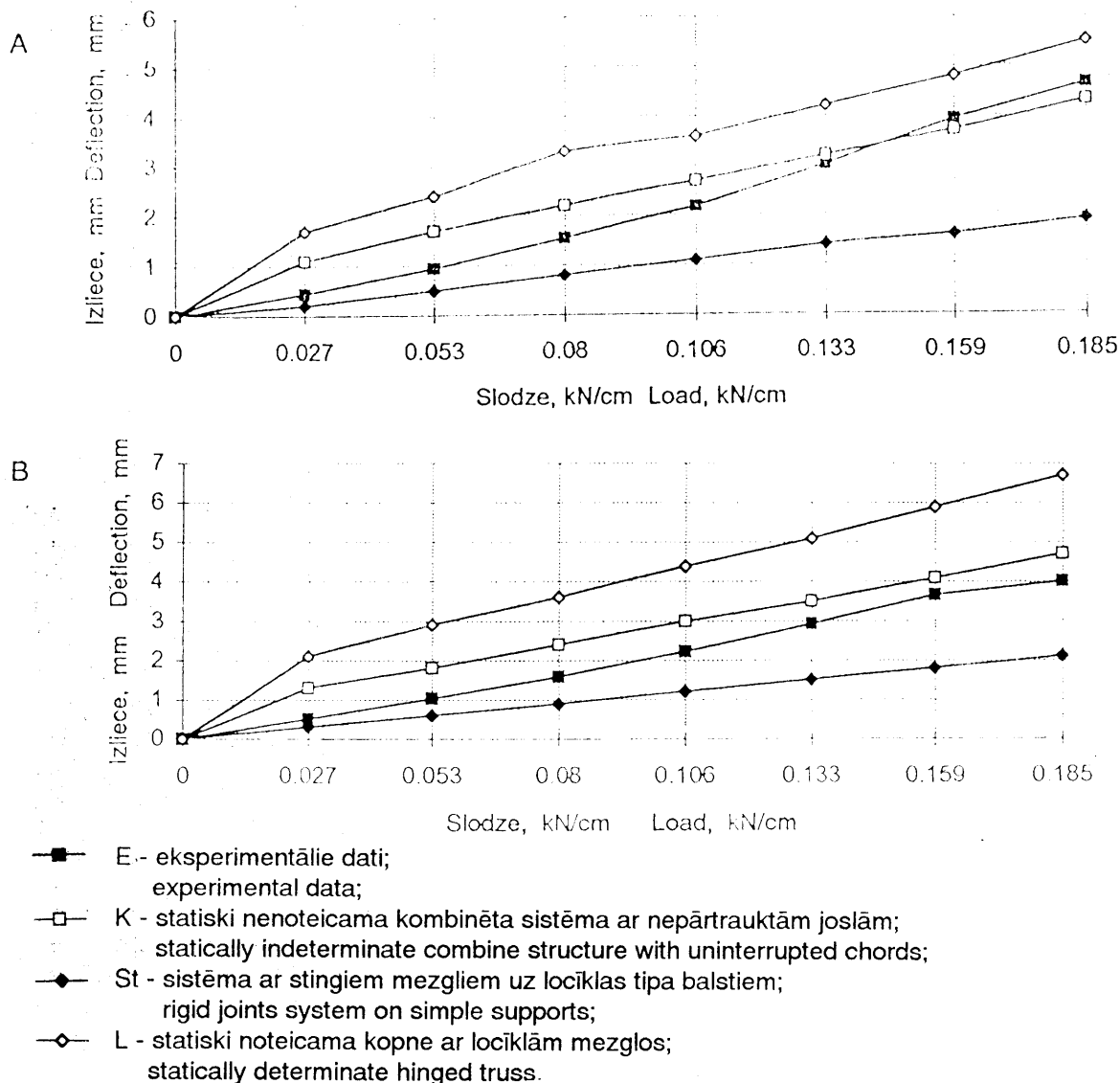
A - augšjoslā neitrālās ass zonā (AT-1); B - augšjoslā malējās šķiedrās (H-2);

C - apakšjoslas vidējā panelī neitrālās ass zonā (H-4); D - apakšjoslas malējās šķiedrās mezgla zonā.

Fig. 3. Experimental and theoretical relationships of normal stress values to load (conventional signs see in fig. 4.):

A - at the zero line zone of upper chord section (AT-1); B - at the extreme fibre of upper chord section (H-2);

C - at the zero line zone of bottom chord middle bay section (H-4); D - at the extreme fibre of bottom chord joint zone section (AT-3).



4. att. Eksperimentālās un teorētiskās izlieces un slodzes sakarības:

A - apakšjoslas vidū; B - augšjoslas vidū.

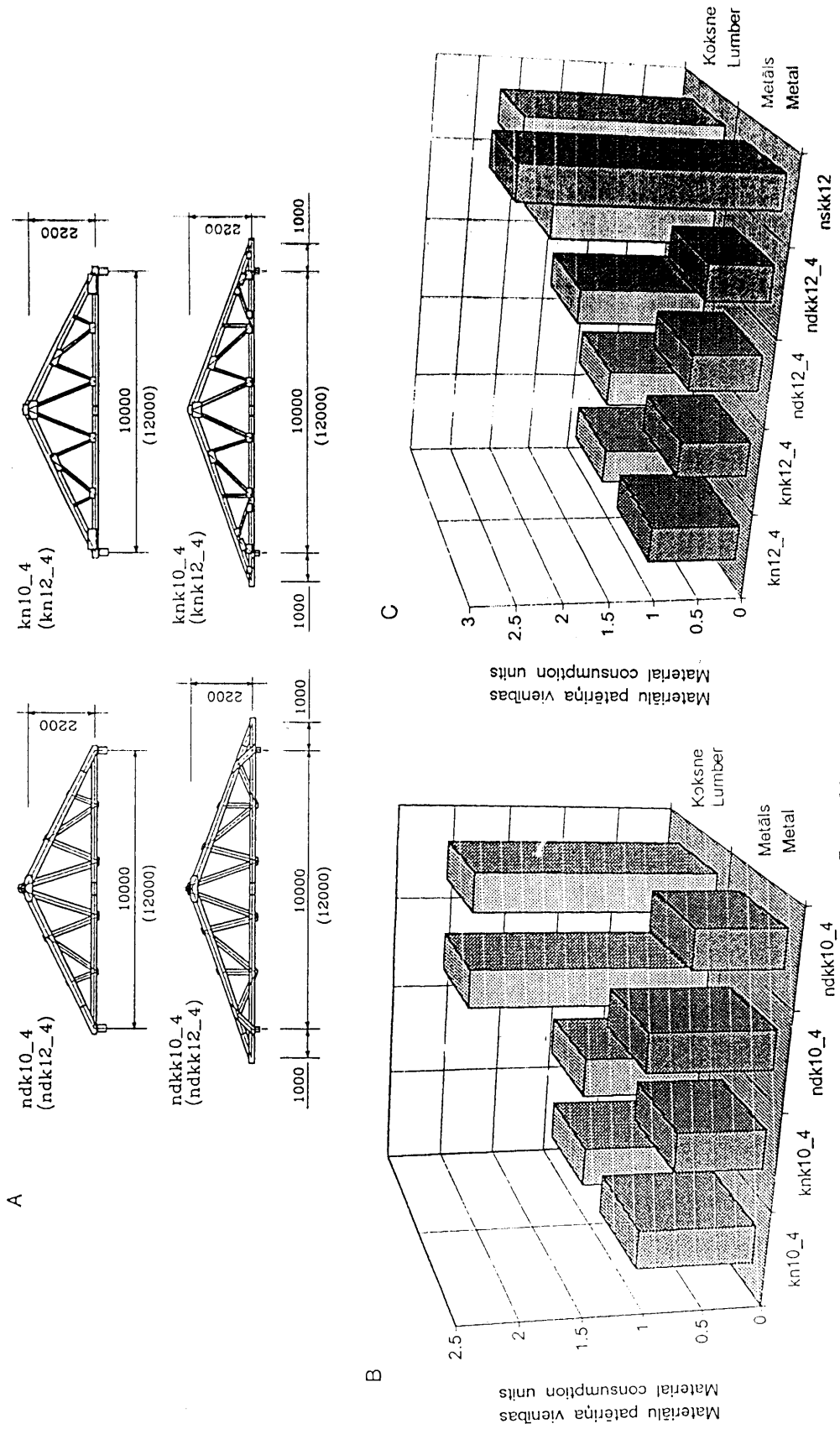
Fig. 4. Experimental and theoretical relationships of deflection values to load:
A - at the midspan of bottom chord; B - at the middle point of upper chord.

3.5. Konektoru kopņu salīdzinājums ar citām dēļu kopnēm pēc materiālu patēriņa

Konektoru kopņu ekonomisko efektivitāti ilustrē materiālu patēriņa salīdzinājums koka pārseguma kopnēm ar laidumu $L=10$ un 12 m (skat. 5. att.), pielietojot dažādus savienotājlīdzekļus mezglos: konektorus (markas *kn*, *knk*), naglas (markas *ndk* un *ndkk*) un skrūves (marka *nsk*). Naglotām un skrūvsavienojumu kopnēm koksnes patēriņš pie vienas un tās pašas nestspējas ir 1.6-2 reizes lielāks kā konektoru kopnēm. Metāla patēriņam konektoru kopnēm attiecībā pret naglotām nav īpašu priekšrocību, bet skrūvsavienojumu kopnēm metāla patēriņš ir ievērojami lielāks.

3. Rezultāti un slēdziens

1. Objektīvākā aprēķina shēma konektoru kopņu statistiskajai aplēsei ir kombinētā sistēma.



5. att. Materiālu patēriņš dēļu kopnēm:

A - kopņu konstruktīvās shēmas: ndk - naglotās kopnes, kn - konektoru kopnes; B - materiālu patēriņš 10 m laiduma kopnēm;

C - materiālu patēriņš 12 m laiduma kopnēm; nsk - kopnes ar skrūšsavienojumiem.

Fig. 5. Material consumption for trusses:

A - structural drawings of trusses: ndk - simple nail trusses, kn - nail plate trusses; B - material consumption for 10 m span trusses;

C - material consumption for 12 m span trusses; nsk - trusses with bolted joints.

1. tabula/Table 1

Kopņu tipi un maksimālās izlieces, atkarībā no augstuma
Truss types and ultimate deflection values for different depth values

<p>$q = 4 \text{ kN/m}$</p> <p>$L = 10000$</p>	$\frac{h}{L}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$
	f_{\max} (mm)	24	27	33	38
$f_{\text{adm}} = 33 \text{ mm}$					
<p>$L = 15000$</p>	$\frac{h}{L}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$
	f_{\max} (mm)	34	36	42	47
$f_{\text{adm}} = 40 \text{ mm}$					
<p>$L = 15000$</p>	$\frac{h}{L}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$
	f_{\max} (mm)	30	39	41	48
$f_{\text{adm}} = 50 \text{ mm}$					
<p>$L = 18000$</p>	$\frac{h}{L}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$
	f_{\max} (mm)	38	48	54	58
$f_{\text{adm}} = 60 \text{ mm}$					

2. Apkopojojot modeļkopņu un iepriekš veiktos atsevišķu konektoru savienojumu pārbaudes rezultātus, konstatēts, ka elementa nobīdes lielums mezglā, pilnīgi izmantojot konektora aprēķina nestspēju, nepārsniedz 0.5 mm.

3. Konektoru kopņu stinguma nodrošināšanai nepieciešamais kopnes augstums jāpieņem pēc sekojošiem nosacījumiem:

- trijstūrveida kopnēm ar laidumu līdz 12 m minimālā augstuma un laiduma attiecība $h/L = 1/6$;
- trapecveida kopnēm ar laidumu līdz 18 m minimālā kopnes augstuma un laiduma attiecība $h/L = 1/8$.

Literatūra

1. Ķirulis B., Ozola L. (1996). Plakanu stieņu sistēmu statiskā aprēķina programma: Apraksts un lietošanas instrukcija. Jelgava. 36.
2. Leivo M. (1991). On the stiffness changes in nail plate trusses. Espoo. 192.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80). (1986). ЦНИИСК им. Кучеренко. М: Стройиздат. 216.
4. Рекомендации по проектированию и изготовлению дощатых конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах.(1985). М: ЦНИИСК. 40.
5. СНиП II-25-80. (1982). Деревянные конструкции. Госстрой СССР. М: Стройиздат. 66.