

**GHID PRIVIND CALCULUL ȘI ALCĂTUIREA
CONSTRUCTIVĂ A PLANȘEEELOR COMPUSE
LEMN-BETON LA CLĂDIRI VECHI ȘI NOI**

Indicativ GP 116-2011

CUPRINS

- 1 PREVEDERI GENERALE
 - 1.1 Obiect
 - 1.2 Domeniu de aplicare
 - 1.3 Documente de referință
 - 1.4 Terminologie
 - 1.5 Notății
 - 2 ELEMENTE DEFINITORII PRIVIND REALIZAREA PLANȘEELEOR COMPUSE LEMN-BETON
 - 2.1 Conlucrarea lemn-beton
 - 2.1.1 Aspecte teoretice
 - 2.1.2 Tipuri de conectori
 - 2.1.3 Rigiditatea conlucrării lemn-beton
 - 2.2 Materiale
 - 2.2.1 Beton
 - 2.2.2 Lemn
 - 2.2.3 Armături
 - 2.2.4 Conectori lemn-beton
 - 3 PROIECTAREA PLANȘEELEOR COMPUSE LEMN-BETON
 - 3.1 Încărcări și solicitări
 - 3.2 Calculul lățimii de conlucrare a plăcii
 - 3.3 Ipoteze generale
 - 3.4 Calculul la starea limită ultimă și starea limită de serviciu
 - 3.4.1 Caracteristicile secțiunii compuse
 - 3.4.2 Distanța între conectori
 - 3.4.3 Verificarea eforturilor în secțiunea compusă la starea limită ultimă în stadiul inițial
 - 3.4.4 Verificarea eforturilor în secțiunea compusă la starea limită ultimă în stadiul final
 - 3.4.5 Verificarea la starea limită de serviciu în stadiul inițial
 - 3.4.6 Verificarea la starea limită de serviciu în stadiul final
 - 3.4.7 Verificarea planșeului compus în zonele de moment încovoietor negativ
 - 3.4.8 Noțiuni de proiectare seismică
 - 4 PREVEDERI CONSTRUCTIVE
 - 4.1 Dimensiuni
 - 4.2 Armare
 - 4.3 Conectori
 - 4.4 Rezemare
 - 4.5 Aptitudinea de exploatare (serviciu)
 - 5 COMPORTARE ÎN TIMP
 - 6 PREVEDERI DE EXECUȚIE ȘI TEHNOLOGIE
 - 6.1 Prevederi pentru clădiri noi
 - 6.2 Prevederi pentru clădiri existente
- ANEXA A (informativă) ÎNCERCAREA LA FORFECARE PE EPRUVETE
- Aspecte generale
 - Încercarea la forfecare pe epruvete
 - Efectuarea încercărilor experimentale
 - Determinarea capacității portante și a modulului de alunecare
- ANEXA B EXEMPLE DE CALCUL

1 PREVEDERI GENERALE

1.1 Obiect

(1) Presentul ghid se referă la calculul și alcătuirea constructivă a planșelor compuse lemn-beton la clădiri de tip curent încadrate în clasa de importanță și expunere la cutremur III conform prevederilor codului P 100-1;

(2) Presentul ghid se referă la:

a. calculul și alcătuirea constructivă a planșelor compuse lemn-beton pentru clădiri noi realizate cu pereți structurali din zidărie;

b. posibilități și modalități de reabilitare a planșelor vechi din lemn la clădiri existente cu pereți portanți din zidărie prin înlocuirea acestora cu planșee compuse lemn-beton utilizând grinzile existente din lemn;

(3) Ghidul conține prevederi referitoare la asigurarea comportării corespunzătoare în exploatare a planșelor compuse lemn-beton, precum și a condițiilor de rezistență asociate stărilor limită specifice de solicitare a acestora;

(4) Componentele principale ale unui planșeu compus lemn-beton sunt:

a. grinzi din lemn masiv sau lemn lamelat încleiat;

b. placă din beton armat turnată la partea superioară a grinzilor din lemn;

c. element de conlucrare între placa de beton și grinzile din lemn.

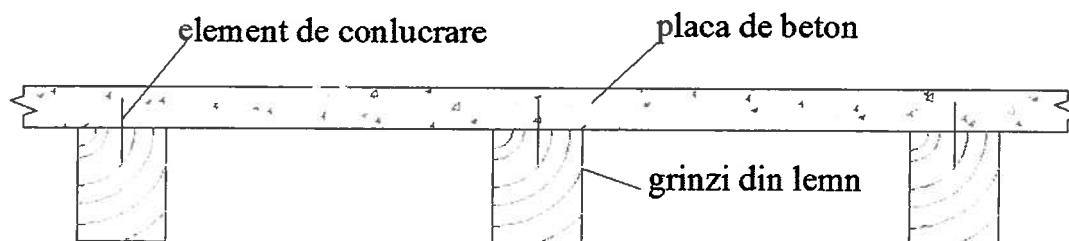


Fig. 1-1 Alcătuire de principiu a unui planșeu compus lemn-beton

1.2 Domeniu de aplicare

(1) Prevederile ghidului se aplică la proiectarea și consolidarea clădirilor la care încărcările sunt preponderent statice, uniform distribuite și concentrate, aplicate la partea superioară a planșeului compus;

(2) În cazul executării unui planșeu compus lemn-beton în cadrul clădirilor existente, se impune expertizarea întregii construcții pentru verificarea condițiilor de rezistență și stabilitate, în conformitate cu prevederile standardelor și reglementărilor tehnice aplicabile, în vigoare;

(3) Ghidul nu se aplică la reabilitarea/consolidarea planșelor existente la clădiri declarate monumente istorice;

(4) Prevederile prezentului ghid se referă la calculul planșelor compuse lemn-beton cu legătura dintre placa de beton și grinzile de lemn realizată prin elemente de conlucrare semi-rigide (de tip tije cilindrice);

(5) Planșeele compuse lemn-beton se pot realiza ca elemente simplu rezemate sau continue. Modul de armare, realizarea continuității în dreptul reazemelor intermediare la elementele continue și recomandările privind alcătuirea acestor tipuri de planșee sunt prezentate în capitolul 4;

(6) Acțiunile și combinațiile luate în considerare la proiectarea planșelor compuse lemn-beton se stabilesc conform codului CR 0 și standardelor relevante din seria SR EN 1991;

(7) Clasa de exploatare a elementelor din lemn la construcții noi este 1 și 2, conform SR EN 1995-1-1;

(8) Temperatura maximă a mediului ambiant în care pot fi exploatate elementele din lemn neprotejate, ca parte componentă a unui planșeu compus lemn-beton, este de 55°C;

(9) Aplicarea prevederilor prezentului ghid se face cu respectarea reglementărilor tehnice aplicabile și legislației în vigoare privind cerința esențială de securitate la incendiu, privind protecția elementelor de lemn împotriva agenților agresivi și privind izolarea fonică;

(10) Prevederile ghidului se adresează investitorilor, proiectanților, executanților de lucrări, precum și organismelor de verificare și control (verificarea și/sau expertizarea proiectelor, verificarea, controlul și/sau expertizarea lucrărilor).

1.3 Documente de referință

(1) Ghidul se utilizează împreună cu următoarele documente de referință

Nr. crt.	Standarde	Denumire
1	SR EN 335-1:2007	Durabilitatea lemnului și a materialelor derivate din lemn. Definiția claselor de exploatare. Partea 1: Generalități
2	SR EN 409:2009	Structuri de lemn. Metode de încercare. Determinarea momentului plastic al elementelor de fixare
3	SR EN 927-1:2002	Vopsele și lacuri. Produse de vopsire și sisteme de vopsire pentru lemn în exterior. Partea 1: Clasificare și selecție
4	SR EN 1194:2002	Structuri de lemn. Lemn lamelat încleiat. Clase de rezistență și determinarea valorilor caracteristice
5	SR EN 1991-1-1-2004	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-1 Acțiuni generale. Greutăți specifice, greutăți proprii, încercări utile pentru clădiri
6	SR EN 1991-1-1-2004/NA-2006	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-1 Acțiuni generale - Greutăți specifice, greutăți proprii, încărcări din exploatare pentru construcții. Anexă națională
7	SR EN 1991-1-2-2004	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-2 Acțiuni generale. Acțiuni asupra structurilor expuse la foc
8	SR EN 1991-1-2-2004/NA-2006	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-2 Acțiuni generale. Acțiuni asupra structurilor expuse la foc. Anexă națională
9	SR EN 1992-1-1-2004	Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1 Reguli generale și reguli pentru clădiri
10	SR EN 1992-1-1-2004/AC-2008	Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1 Reguli generale și reguli pentru clădiri
11	SR EN 1992-1-1-2004/NB-2008	Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1 Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa națională
12	SR EN 1995-1-1-2004	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri
13	SR EN 1995-1-1-2004/A1-2008	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri
14	SR EN 1995-1-1-2004/AC-2006	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri
15	SR EN 1995-1-1-2004/NB-2008	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri. Anexă națională
16	SR EN 12620+A1:2008	Agregate pentru beton
17	SR EN 26891:2002	Structuri de lemn. Îmbinări cu elemente mecanice de fixare. Principii generale pentru determinarea caracteristicilor de rezistență și deformare
18	STAS 1451-1980	Șuruburi cu filet pentru lemn. Șurub cu cap bombat, crestă. Dimensiuni
19	STAS 1452-1980	Șuruburi cu filet pentru lemn. Șurub cu cap înecat, crestă. Dimensiuni
20	STAS 1453-1980	Șuruburi cu filet pentru lemn. Șurub cu cap semiînecat crestă. Dimensiuni
21	STAS 1454-1980	Șuruburi cu filet pentru lemn. Șurub cu cap hexagonal. Dimensiuni
22	STAS 1455-1980	Șuruburi cu filet pentru lemn. Șurub cu cap pătrat. Dimensiuni
23	STAS 2111-1990	Cuie din sârmă de oțel

Nr. crt.	Reglementare tehnică	Act normativ prin care se aprobă reglementarea tehnică/publicația
1	Cod de proiectare seismică. Partea 1-Prevederi de proiectare pentru clădiri, indicativ P 100-1/2006 .	Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr.1711/2006, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr.803 și nr.803 bis din 25 septembrie 2006, cu completările și modificările ulterioare
2	Cod de proiectare seismică. Partea a III a . Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, indicativ P 100-3/2008 .	Ordinul ministrului dezvoltării regionale și locuinței nr.704/2009, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr.674 și nr.674 bis din 1 octombrie 2009
3	Cod de proiectare. Bazele proiectării structurilor în construcții, indicativ CR 0-2012 .	Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr.1530/2012, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr.647 și nr.647 bis din 11 septembrie 2012
4	Cod de proiectare pentru structuri din zidărie, indicativ CR 6-2006 .	Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr.1712/2006, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr.807 și nr.807 bis din 26 septembrie 2006
5	Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat-Partea 1: Producerea betonului, indicativ NE 012/1-2007 .	Ordinul ministrului dezvoltării lucrărilor publice și locuinței nr.577/2008 din 29 aprilie 2008, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr. 374 din 16 mai 2008
6	Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat-Partea 2: Executarea lucrărilor din beton, indicativ NE 012/2-2010 .	Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr.2.514/2010, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr. 853 și nr.853 bis din 20 decembrie 2010.
7	Specificatie tehnica privind produse din oțel utilizate ca armaturi: cerințe și criterii de performanță", indicativ ST 009-2011	Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 683/2012, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr.337 din 18 mai 2012
8	Normativ pentru proiectarea construcțiilor din lemn (revizuire NP 005-1996), indicativ NP 005-2003	Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr.303/2003 din 16 septembrie 2003, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I nr.671 din 23 septembrie 2003
9	Specificație tehnică privind protecțiile elementelor de construcții din lemn împotriva agenților agresivi-cerințe și criterii de performanță, indicativ ST 049-2006 .	Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr.1.731/2006, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr.932 din 16 noiembrie 2006

(2) Acest ghid cuprinde texte reproduse din standardele naționale SR EN 1995-1-1; SR EN 26891 și SR EN 409, identificate prin bară laterală.

1.4 Terminologie

(3) Se vor aplica termenii și definițiile din CR 0, SR EN 1991, SR EN 1992 și SR EN 1995-1-1, P 100-1 și P 100-3.

(4) **Conector:** realizează conlucrarea dintre grinda de lemn și placa de beton; este utilizat sub formă de îmbinare cu tije cilindrice din oțel, cu sau fără cap, introduse prin batere, înșurubare sau pregăurire.

1.5 Notății

Alfabet latin - litere mici

- a_1 distanța de la centrul de greutate al secțiunii de beton la centrul de greutate al secțiunii compuse
- a_2 distanța de la centrul de greutate al secțiunii de lemn la centrul de greutate al secțiunii compuse
- b distanța dintre grinzi
- b_{ef} lățimea efectivă de conlucrare a plăcii de beton

d	diametru element de îmbinare/conector
f_{cd}	valoarea de proiectare a rezistenței la compresiune a betonului
f_{ck}	valoarea caracteristică a rezistenței la compresiune a betonului măsurată pe cilindrii la 28 de zile
f_{ctd}	valoarea de calcul a rezistenței la întindere a betonului
f_{h2d}	valoarea de calcul a rezistenței de strivire locală a elementului de lemn
f_{md}	valoarea de calcul a rezistenței la încovoiere a lemnului
f_{mk}	valoarea caracteristică a rezistenței la încovoiere a lemnului
f_{t0d}	valoarea de calcul a rezistenței la întindere paralelă cu fibrele
f_{t0k}	valoarea caracteristică a rezistenței la întindere paralelă cu fibrele
f_{uk}	valoarea caracteristică a rezistenței la întindere a elementului de îmbinare
f_{vd}	valoarea de calcul a rezistenței la forfecare
f_{vk}	valoarea caracteristică a rezistenței la forfecare
f_{yd}	valoarea de proiectare a rezistenței la curgere a oțelului
f_{yk}	valoarea caracteristică a limitei de curgere a oțelului
k_{def}	coeficient care ia în considerare durata de acțiune a încărcărilor și clasa de exploatare a construcției
l	deschidere, lungime de contact
s_{ef}	distanța echivalentă între conectori
s_{max}	distanța maximă între conectori
s_{min}	distanța minimă între conectori
u_{ser}	deformația la starea limită de serviciu aferentă F_{ser}
u_u	deformația ultimă (lunecare sau rotire)
u_y	deformația elastică limită
w_{fin}	săgeată finală
$w_{fin,G}$	săgeată finală pentru acțiune permanentă
$w_{fin,Q}$	săgeată finală pentru acțiune variabilă
w_{inst}	săgeată instantanee finală
$w_{inst,G}$	săgeată instantanee pentru acțiunea permanentă
$w_{inst,Q}$	săgeată instantanee pentru acțiune variabilă

Alfabet latin -litere mari

$\%G$	procent din acțiunea permanentă
$\%Q$	procent din acțiunea variabilă
A_1	aria secțiunii de beton
A_2	aria secțiunii de lemn
D_s	ductilitate statică
E_1	modul de elasticitate longitudinal al betonului
E_2	modul de elasticitate longitudinal al lemnului
E_{cm}	modul de elasticitate al betonului pentru încărcări de scurtă durată
$E_{cm,fin}$	valoarea finală a modului de elasticitate al betonului pentru încărcări de lungă durată
$E_{mean,fin}$	valoarea finală medie a modului de elasticitate al lemnului
$E_{med}=E_{mean}$	valoarea medie a modului de elasticitate al lemnului
F_{td}	valoarea de calcul a forței în îmbinare
F_{ser}	forța la starea limită de serviciu
I_1	momentul de inerție al secțiunii de beton
I_2	momentul de inerție al secțiunii de lemn
K	modul de alunecare
K_{ser}	modul de alunecare la starea limită de serviciu
$K_{ser,fin}$	valoarea finală a modului de alunecare la starea limită de serviciu
K_u	modul de alunecare instantaneu pentru stări limită ultime
$K_{u,fin}$	valoarea finală a modului de alunecare instantaneu pentru stări limită ultime
M_{Ed}	moment încovoietor de calcul

M_{yd}	momentul plastic de calcul al îmbinării
M_{yk}	momentul plastic caracteristic al îmbinării
R_d	valoarea de calcul a capacității portante în îmbinare
F_{est}	forța de forfecare maximă estimată prin calcule sau încercări inițiale
V_{ed}	forța tăietoare de calcul

Litere grecești

γ_1	coeficient de reducere a rigidității pentru secțiunea de beton
γ_2	coeficient de reducere a rigidității pentru secțiunea de lemn
γ_c	coeficient parțial pentru beton
γ_M	coeficient parțial de siguranță pentru proprietăților materialului, ce ține seama și de aproximări de model și de variații
ρ_k	valoarea caracteristică a densității lemnului
σ_{c1d}	valoarea de calcul a efortului unitar de compresiune în secțiunea de beton
σ_{cd}	valoarea de calcul a efortului în fibra comprimată a secțiunii de beton
σ_{m1d}	valoarea de calcul a efortului unitar de întindere din încovoiere în secțiunea de beton
σ_{m2d}	valoarea de calcul a efortului unitar de întindere din încovoiere în secțiunea de lemn
σ_{t2d}	valoarea de calcul a efortului unitar de întindere din tracțiune în secțiunea de lemn
σ_{td}	valoarea de calcul a efortului în fibra întinsă a secțiunii de beton
τ_{max}	efort tangențial în centrul de greutate al secțiunii compuse
ψ_0	coeficient pentru valoarea grupării unei acțiuni variabile
ψ_1	coeficient pentru valoarea grupării unei acțiuni permanente
$\varphi_{(\infty,t_0)}$	coeficient de curgere lentă pentru beton
$v_{0,4}$	deplasarea aferentă la 40% din forța de forfecare maximă estimată
$v_{0,6}$	deplasarea aferentă la 60% din forța de forfecare maximă estimată

2 ELEMENTE DEFINITORII PRIVIND REALIZAREA PLANȘELOR COMPUSE LEMN-BETON

2.1 Conlucrarea lemn-beton

2.1.1 Aspecte teoretice

(1) La elementul compus, transmiterea forțelor de lunecare prin elemente de conlucrare se realizează concentrat (punctiform) și conduce la solicitări mari în aceste puncte și în consecință, la deformații corespunzătoare. Astfel, elementele compuse lemn-beton cu conlucrarea asigurată prin tije nu lucrează ca o secțiune unitară solicitată la încovoiere, ci ca două secțiuni care conlucrează elastic;

(2) Procedeele de calcul utilizate în mod curent pentru planșeele compuse lemn-beton se bazează pe teoria conlucrării elastice. Conform acestei teorii se admite în locul legăturii concentrate o conlucrare continuă având rigiditatea constantă;

(3) În calcule se ia în considerare atât deformabilitatea legăturii între lemn și beton cât și deformabilitatea elementului compus în ansamblu. Hotărâtoare pentru capacitatea portantă a unui element compus este rigiditatea elementelor de legătură, exprimată prin modulul de alunecare K_{ser} (respectiv K_u). Capacitatea de cedare și comportarea elasto-plastică a legăturii caracterizează capacitatea portantă și deformabilitatea elementului compus;

(4) Elementele de conlucrare utilizate la realizarea planșeele compuse lemn – beton pot fi clasificate, în funcție de tipul conlucrării pe care o realizează, în **legătură de tip rigid** (prin încluire), respectiv **legătură de tip elastic**, care la rândul ei se clasifică în:

a. Legătură mecanică cu conectori sub formă de tije: cuie, șuruburi (montate drept sau înclinat), cupoane din oțel beton profilat; tije se fixează direct în grinzile de lemn sau prin

intermediul unor „bulbi” din beton creați prin pătrunderea betonului plăcii în alveole realizate în prealabil în grinzile din lemn;

b. Legătură mecanică cu forme speciale constând în piese metalice în formă de papuc fixate pe grinda de lemn cu șuruburi sau cuie.

2.1.2 Tipuri de conectori

(1) Realizarea elementelor compuse lemn-beton și comportarea în exploatare a acestora depind de tipul de conlucrare realizat între grinzile din lemn și placa din beton;

(2) În cazul unei conlucrări rigide (prin încluire) deplasările între lemn și beton sunt nule, ceea ce face ca elementul să se comporte ca o grindă cu secțiune compusă (conlucrarea rigidă nu face obiectul prezentului ghid);

(3) Conlucrarea semi-rigidă (elasică) permite o anumită deplasare între lemn și beton, în funcție de rigiditatea acesteia, clasificându-se astfel în tipuri de legături cu:

a. conectori de tip tije: cuie, șuruburi, cupoane de oțel;

b. conectori și piese speciale de tip: pene inelare, pene cu crampoane, plăci multicuie;

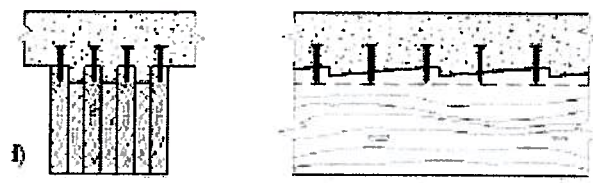
c. sisteme integrate: legătură continuă sub formă de grinzi cu zăbrele; legătură continuă din tablă îndoită; cu piese papuc.

(4) Mijloacele de conlucrare între lemn și beton au o gamă largă de posibilități de configurare, exemplificate la (5);

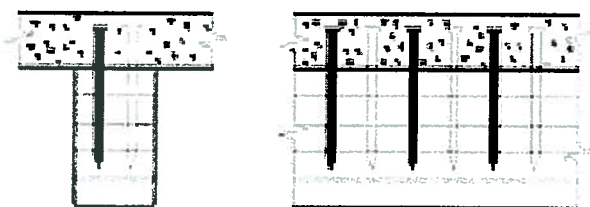
(5) Conlucrare lemn-beton cu tije cilindrice/alveole de beton (fig 2-1):



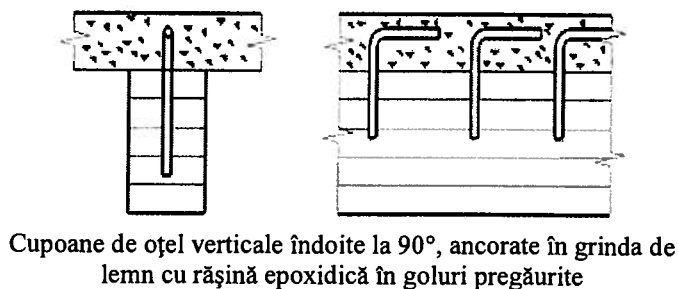
Piroane și tirfoane



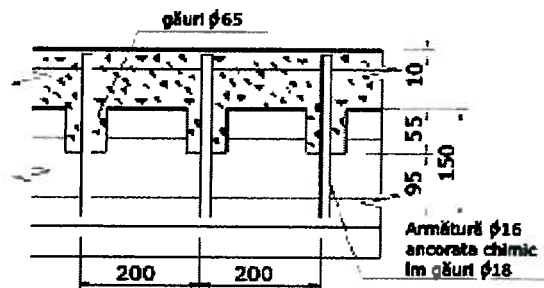
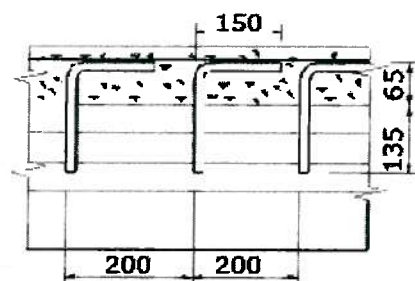
Tăieturi înclinate și tirfoane



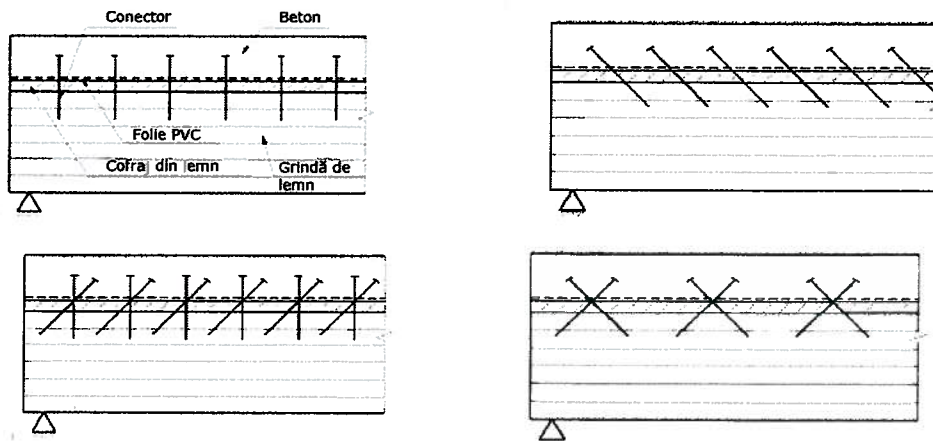
Cuie verticale pe unul sau două rânduri



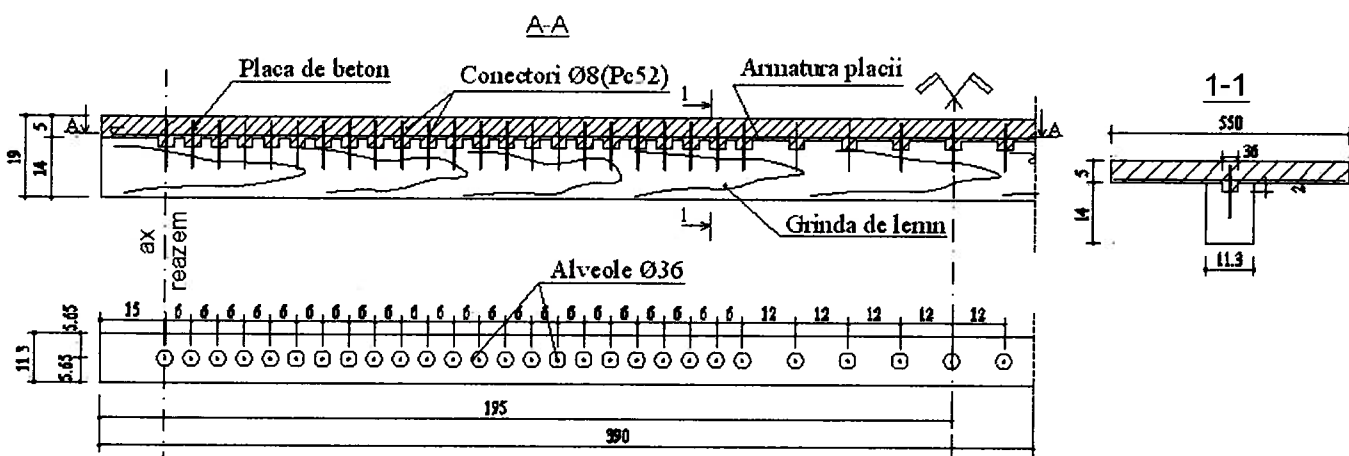
Cuoane de oțel verticale îndoite la 90°, ancorate în grinda de lemn cu rășină epoxidică în goluri pregăurite



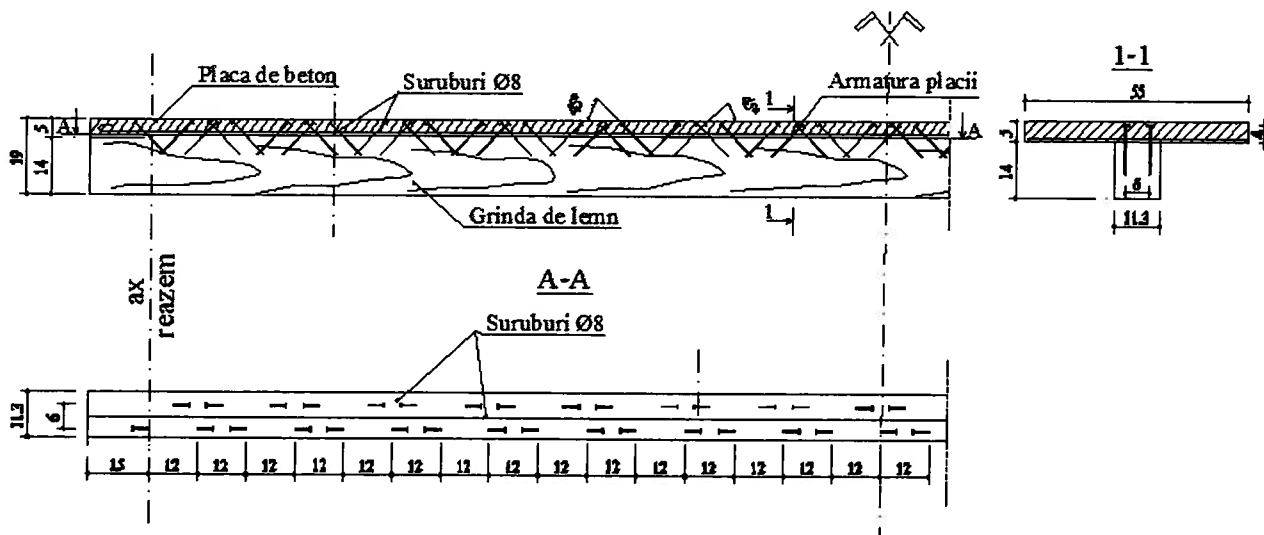
Cuoane de oțel sau dibluri verticale îndoite la 90° în alveole (goluri) în grinda de lemn, ancorate cu rășină epoxidică în goluri pregăurite



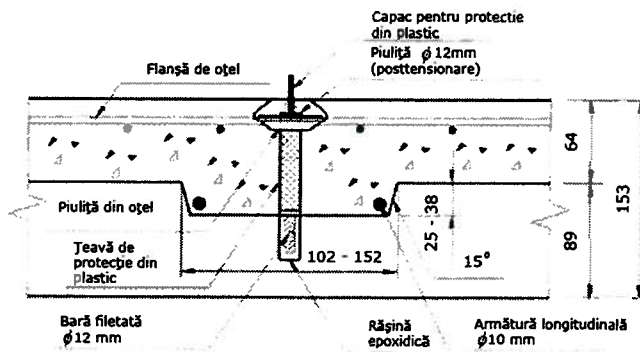
Șuruburi verticale sau înclinate dispuse pe unul sau două rânduri alternant în cruciș



Cupoane de oțel beton verticale în alveole de beton



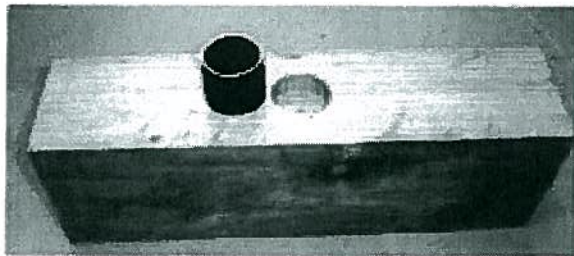
Șuruburi înclinate la 45°, pe două rânduri alternant în cruciș



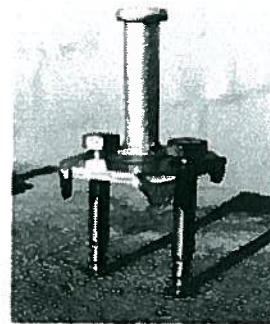
Șuruburi tensionate

Fig. 2-1 Conlucrare lemn-beton cu tije cilindrice/alveole de beton

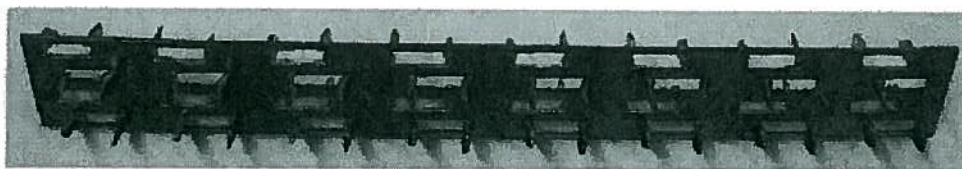
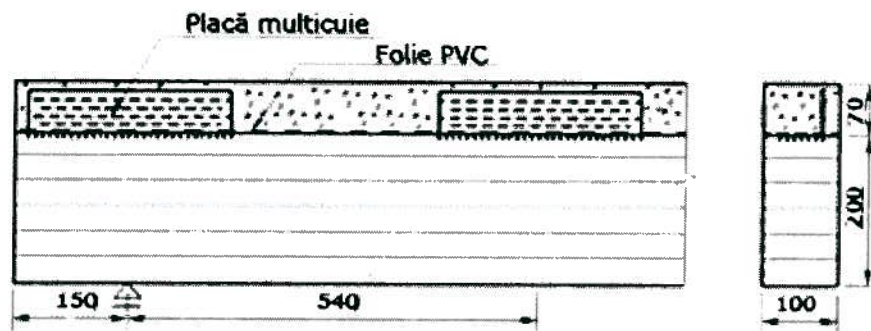
(6) Conlucrare lemn-beton cu țevi și piese speciale (fig. 2-2)



Cupoane de jeavă



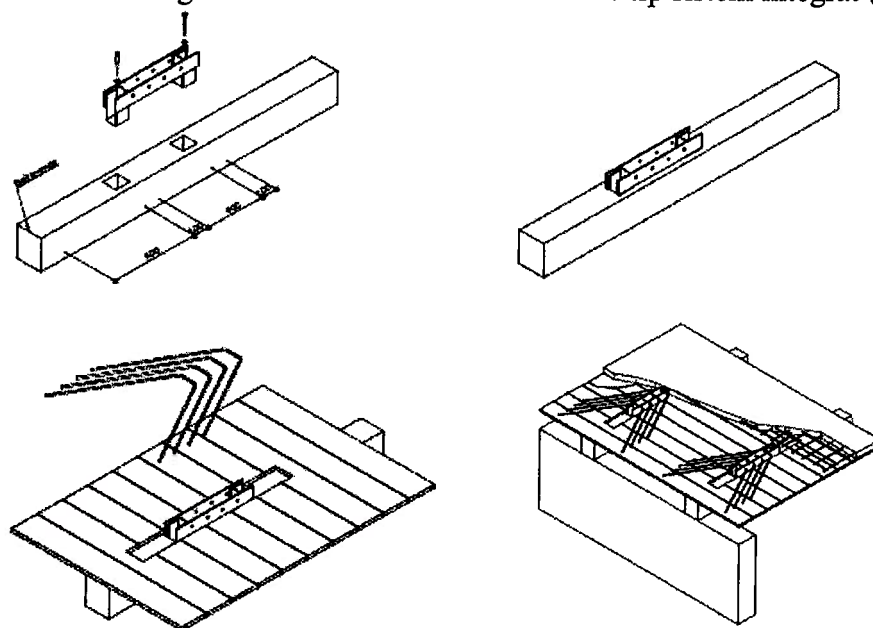
Conector tip bulon



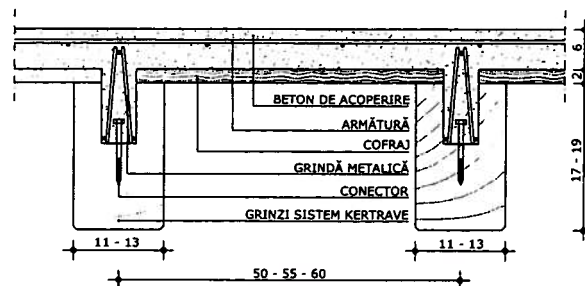
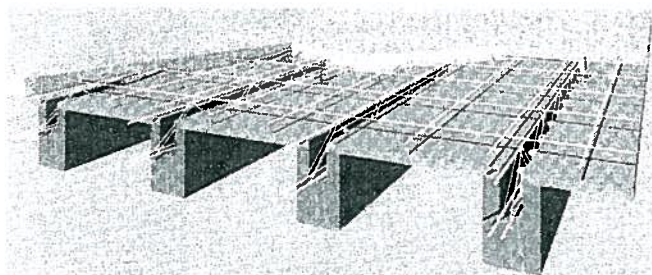
Plăci multicuie îndoite la 90° îmbinate pe fețele laterale sau la partea superioară a grinzilor din lemn

Fig. 2-2 Conlucrare cu țevi și plăci metalice

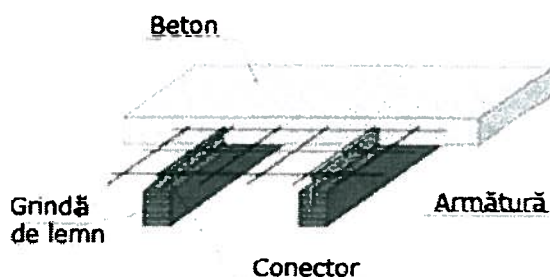
(7) Elemente de legătură lemn-beton cu conectori de tip sistem integrat (fig. 2-3)



Conlucrare cu papuc special și bare de oțel beton



Conlucrare cu conectori și nervuri din beton armat



Plăcuță multicuie introdusă într-un canal executat în grinda din lemn

Fig. 2-3 Conlucrare cu conectori de tip sistem integrat

2.1.3 Rigiditatea conlucrării lemn-beton

(1) Rigiditatea elementelor de legătură, exprimată prin modulul de alunecare K_{ser} (respectiv K_u), se determină prin calcule sau încercări la forfecare, pe epruvete compuse lemn-beton, în conformitate cu SR EN 26891;

$$K_{ser} = 0,4 \frac{F_{est}}{v_{0,4}}$$

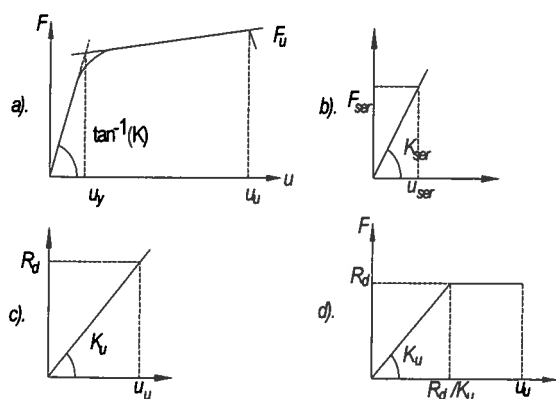
2-1

unde:

F_{est} – forța de forfecare maximă estimată prin calcule sau încercări inițiale
 $v_{0,4}$ – deplasarea aferentă la 40% din forța de forfecare maximă estimată

(2) Comportarea conlucrării lemn-beton la starea limită ultimă și la starea limită de serviciu se poate descrie pe baza ductilității statice (rel. 2-2) prin repartizarea conectorilor conform modelelor teoretice de conlucrare din fig.2-4. Ductilitatea statică a conlucrării este definită ca fiind raportul dintre deplasarea corespunzătoare forței maxime atinse în decursul încercării sub încărcare monoton crescătoare și deplasarea corespunzătoare stării limită elastice.

$$D_s = \frac{u_u}{u_y} \quad 2-2$$



(a) Definiția parametrilor;
 (b) Model pentru starea limită de serviciu;
 (c) și (d) Modele pentru stările limite ultime

Fig. 2-4 Modele de conlucrare

Unde

- D_s – ductilitate statică
- u_u – deformație ultimă (lunecare sau rotire)
- u_y – deformație elastică ultimă
- u_{ser} – deformație la starea limită de serviciu, aferentă lui F_{ser}
- F_{ser} – forța de lunecare la starea limită de serviciu
- R_d – valoarea de calcul a capacității portante în îmbinare

(3) Chiar dacă în exploatare pot apărea deformații plastice în beton și în elementele de legătură la starea limită de rezistență, pentru determinarea eforturilor se poate considera o comportare linear-elastică a elementului compus conform fig. 2-5;

(4) Efectul deformațiilor plastice intervine luând în considerare un modul secant nominal aferent modulului de elasticitate al betonului și un modul secant real aferent modulului de alunecare al conlucrării;

(5) Rigiditățile betonului, luate în considerare la calculul eforturilor unitare, se determină pentru secțiunea transversală nefisurată. La verificarea eforturilor unitare normale, corespunzătoare secțiunilor componente ale structurii compuse, se neglijează rezistența la întindere a betonului;

(6) Pe fața comprimată a secțiunii compuse se consideră, ca rezistență la compresiune, efortul limită la compresiune, căruia îi corespund deformațiile plastice ale betonului;

(7) În cazul în care axa neutră este poziționată în placa din beton se va prevedea o armătură corespunzătoare la partea inferioară a plăcii din beton;

(8) Modulul de alunecare instantaneu al conlucrării la starea limită ultimă este, conform SR EN 26891:

$$K_u = 0,6 \frac{F_{est}}{v_{0,6}} \quad 2-3$$

$v_{0,6}$ – deplasarea aferentă la 60% din forța de forfecare maximă estimată

pentru simplificare se poate considera: $K_u \cong \frac{2}{3} K_{ser}$;

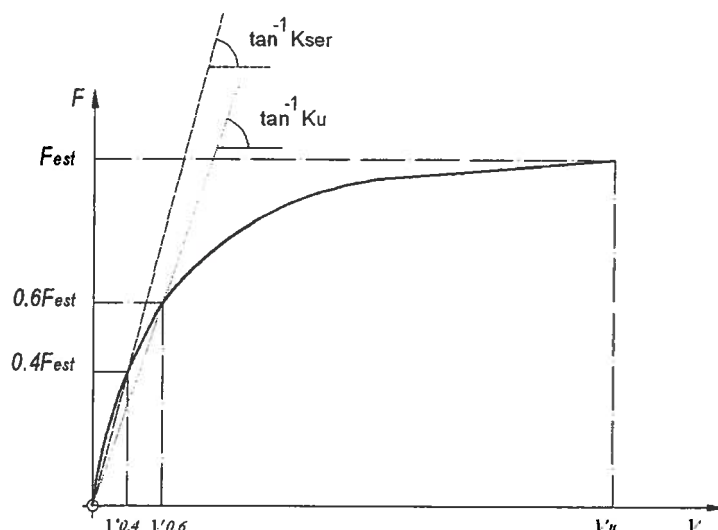


Fig. 2-5

(9) Standardul SR EN 1995-1-1 indică determinarea modului de alunecare K_{ser} , la îmbinarea lemn-lemn cu tije cilindrice, în funcție de densitatea lemnului și diametrul elementului de conlucrare, astfel:

Tip de îmbinare	K_{ser} [N/mm]
Cuie	$\frac{\rho_k^{1,5} d^{0,8}}{25}$
Cuie bătute în goluri pregăurite, domuri, șuruburi	$\frac{\rho_k^{1,5} d}{20}$
Buloane	$\frac{\rho_k^{1,5} d}{30}$

Notă: ρ_k = valoarea caracteristică a densității lemnului

(10) Potrivit rezultatelor încercărilor experimentale pe epruvete lemn-beton, modulul de alunecare al conlucrării lemn-beton cu tije cilindrice poate fi exprimat mai corect în funcție de diametrul elementului de conlucrare „ d ” și modulul de elasticitate al lemnului „ E_{mean} ”, astfel:

$$K_{ser} = 0,08 E_{mean} d \quad 2-4$$

2.2 Materiale

2.2.1 Beton

(1) Rezistențele caracteristice (normate) și de calcul ale betonului f_{ck} și f_{cd} , precum și alte caracteristici de calcul ale betonului realizat cu agregate obișnuite, grele sau ușoare, se stabilesc în conformitate cu prevederile din SR EN 1992-1, respectiv NE 012-1 și NE 012/2;

(2) Clasa minimă de beton recomandată este **C 20/25**;

(3) Diametrul maxim recomandat al agregatelor este $d_{max}=16$ mm, conform SR EN 12620 și SR EN 1992-1-1, respectiv NE 012-1;

(4) Pentru a evita umezirea lemnului în timpul turnării dar și pentru limitarea fenomenului de contracție, se recomandă un raport apă-ciment cât mai redus, conform prevederilor NE 012/1.

2.2.2 Lemn

(1) Lemn masiv

a. Grinzile din lemn masiv se pot confecționa atât din lemn masiv de rășinoase cât și din lemn masiv de foioase;

b. Rezistențele caracteristice (normate) ale lemnului, f_{mk} , f_{tok} și f_{vk} , precum și alte caracteristici de calcul, se stabilesc în conformitate cu SR EN 1995-1-1.

(2) Lemn lamelat încleiat

a. Rezistențele caracteristice (normate) ale lemnului lamelat încleiat, f_{mk} , f_{tok} și f_{vk} , precum și alte caracteristici de calcul, se stabilesc în conformitate cu SR EN 1194.

(3) Grinzi din lemn la clădiri existente

a. Evaluarea și analiza degradărilor grinzilor existente din lemn se va realiza conform prevederilor P100-3;

b. Intervențiile asupra grinzilor de lemn se vor realiza conform prevederilor P 100-3;

c. În funcție de posibilitățile de acces la elementele structurale, se recomandă extragerea unor epruvete din grinzile de lemn existente pentru determinarea rezistențelor caracteristice la încovoiere f_{mk} , la întindere paralelă cu fibrele f_{tok} și forfecare f_{vk} .

2.2.3 Armături

(1) Armăturile prevăzute în plăcile din beton ale planșelor compuse lemn-beton se vor realiza sub formă de plase sudate sau bare montate individual, formând plase legate cu sârmă;

(2) Rezistențele caracteristice (normate) și de calcul f_{yk} și f_{yd} , precum și alte caracteristici de calcul se stabilesc în conformitate cu prevederile SR EN 1992-1-1, respectiv ST 009 și NE 012/2.

2.2.4 Conectori lemn-beton

(1) Conectorii sub forma de tije care se pot utiliza sunt:

a. Cuie cu secțiune rotundă cu formă torsionată sau cu striviri la suprafața, conform STAS 2111 (fig. 2-6);

b. Șuruburi pentru lemn cu cap semiînecat (STAS 1453), cu cap înecat crestă (STAS 1452), cu cap bombat crestă (STAS 1451), cu cap hexagonal (STAS 1454), cu cap pătrat (STAS 1455) (fig. 2-6);

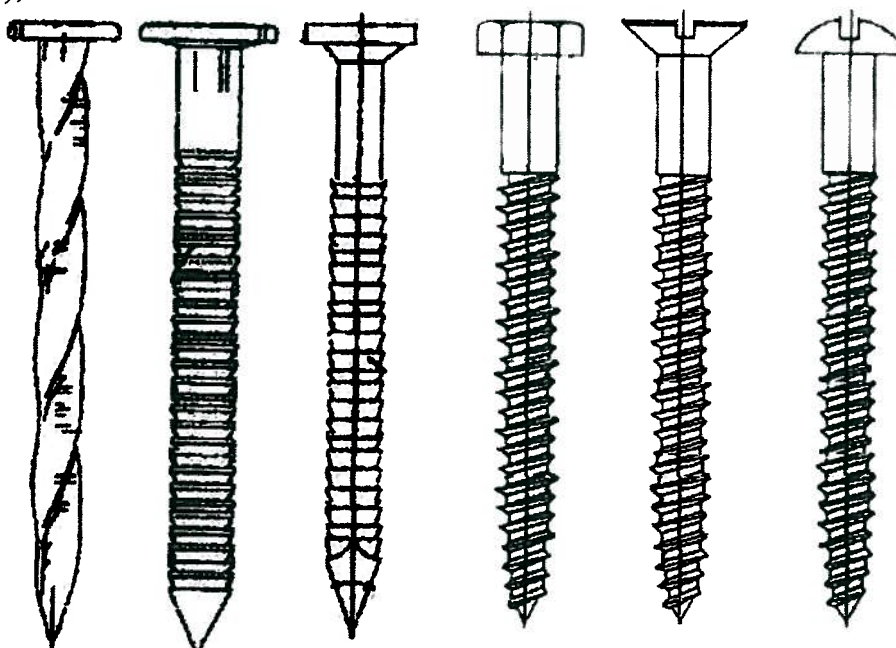


Fig. 2-6 Tipuri de cuie și șuruburi

(2) Se vor utiliza conectori realizați din oțel inoxidabil sau oțel protejat împotriva coroziunii;

(3) Valorile modulelor de alunecare ai conlucrării K_{ser} (respectiv K_u) se vor determina pe baza precizărilor de la pct. 2.1.3.

(4) Pentru alte tipuri de conectori, alții decât cei descriși mai sus, se va determina modulul de alunecare prin încercări la forfecare conform Anexei A.

3 PROIECTAREA PLANȘEELEOR COMPUSE LEMN-BETON

(1) Calculul planșeelor compuse lemn-beton se face în conformitate cu principiile metodei de calcul la stări limită, luându-se în considerare:

- proprietățile diferite ale materialelor – rezistența;
- comportarea diferită în timp, sub încărcare, a materialelor componente ale planșeului compus – curgerea lentă, durata de aplicare a încărcării;

(2) Calculul trebuie să satisfacă verificarea la starea limită ultimă și starea limită de serviciu atât pentru încărcări de scurtă, cât și de lungă durată;

(3) Verificarea la starea limită ultimă (SLU) se face prin determinarea eforturilor maxime în materialele componente (lemn, beton și conectori);

(4) Verificarea la starea limită de serviciu (SLS) se face prin determinarea săgeții maxime;

(5) Verificarea eforturilor în elementele componente ale planșeului compus la stările limită SLU și SLS se va face în stadiul inițial (luând în considerare modulii de elasticitate medii ai lemnului și betonului) și în stadiul final (luând în considerare fenomenul de fluaj care conduce la reducerea modulelor de elasticitate ai materialelor componente);

(6) Verificarea planșeului compus lemn-beton în faze de execuție nu este necesară având în vedere că se realizează sprijiniri provizorii pe perioada execuției;

(7) După întărirea betonului, întrucât grinda de lemn și placa de beton conlucrează, încărcările sunt preluate de elementul compus;

(8) Planșeul compus lemn-beton continuu poate fi calculat ca o succesiune de plăci compuse simplu rezemate deoarece în zonele de câmp secțiunea transversală a grinzilor de lemn asigură în general o capacitate portantă la încovoiere mai mare decât este necesară din verificarea la încovoiere a elementului compus. Verificarea planșeului compus în zonele de moment încovoiator negativ este explicitată la punctul 3.4.7.

3.1 Încărcări și solicitări

(1) Clasificarea acțiunilor/încărcărilor și gruparea efectelor structurale ale acțiunilor/încărcărilor pentru proiectarea planșeelor compuse lemn-beton se vor realiza conform SR EN 1991-1-1 și CR 0;

(2) Coeficienții parțiali de siguranță pentru acțiunile permanente și variabile se vor considera conform CR 0.

3.2 Calculul lățimii de conlucrare a plăcii

(3) Lățimea de conlucrare a plăcii " b_{ef} " este dependentă în principal de raportul dintre lățimea plăcii (distanța dintre grinzi " b ") și deschiderea grinzii „ l ” și este variabilă în lungul deschiderii grinzii în funcție de tipul încărcării și de schema statică. La baza determinării lățimii de conlucrare a plăcii stă distribuția în direcție transversală a eforturilor tangențiale în talpa de beton (fig. 3-1);

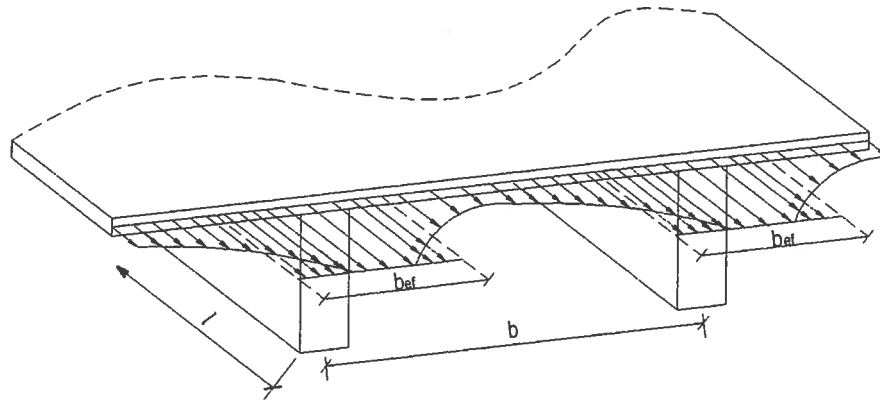


Fig. 3-1 Variația eforturilor unitare tangențiale în talpa de beton

(4) Pentru determinarea lățimii de conlucrare a plăcii se pot utiliza diverse relații acoperitoare care iau în considerare conlucrarea continuă între grinzile de lemn și placa de beton.

(5) Astfel, relațiile 3-1 și 3-2 țin cont de tipul încărcării în determinarea lățimii de conlucrare a plăcii din beton, după cum urmează :

- pentru încărcări uniforme distribuite:

$$b_{ef} = \left[1 - 1,4 \left(\frac{b}{l} \right)^2 \right] b \quad 3-1$$

- pentru încărcări concentrate:

$$b_{ef} = \left[1 - 1,4 \left(\frac{b}{l} \right)^2 - 0,8 \left(\frac{b}{l} \right) \right] b \quad 3-2$$

(6) Grosimea plăcii se stabilește din condiția ca raportul rigidităților celor două elemente ce conlucrează (beton-lemn) să fie subunitar:

$$\frac{E_1 I_1}{E_2 I_2} \leq 1 \quad 3-3$$

3.3 Ipoteze generale

Metoda de calcul a planșeelor compuse lemn-beton ia în considerare următoarele ipoteze:

- grinda de lemn este simplu rezemată;
- elementele componente ale planșeului compus sunt interconectate prin intermediul unor conectori având drept caracteristică de referință modulul de alunecare K ;
- distanța între conectori este constantă sau variază uniform în funcție de forța tăietoare, și are valori între s_{min} și s_{max} , unde $s_{max} \leq 4s_{min}$; s_{min} pentru zona marginală; s_{max} pentru zona de mijloc (a se vedea Fig. 4-1).

3.4 Calculul la starea limită ultimă și starea limită de serviciu

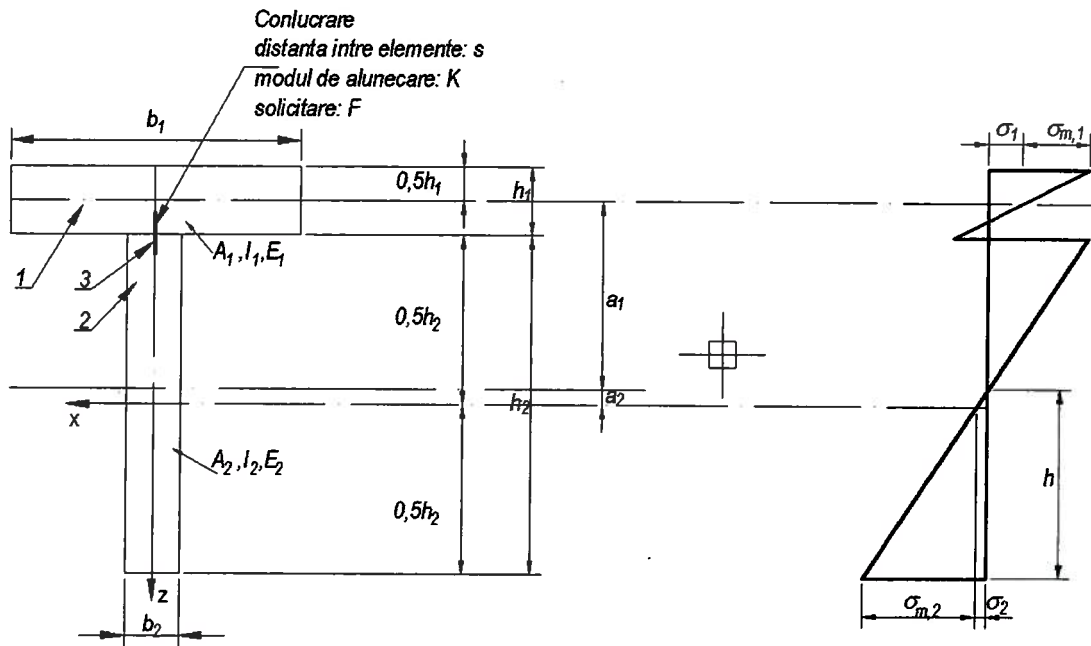
3.4.1 Caracteristicile secțiunii compuse

(1) Modul de lucru al secțiunii compuse și caracteristicile luate în calcul sunt prezentate în fig. 3-2;

(2) Rigiditatea echivalentă la încovoiere a secțiunii compuse se determină cu relația 3-4:

$$(EI)_{ef} = (E_1 \cdot I_1 + \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2) + (E_2 \cdot I_2 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2) \quad 3-4$$

unde: E_1, E_2 - valorile modului de elasticitate longitudinal pentru beton, respectiv lemn
 A_1, A_2 - aria secțiunii de beton (cu b_{ef} calculat conform relațiilor 3-1 și 3-2), respectiv aria secțiunii de lemn
 I_1, I_2 - momentul de inerție al secțiunii de beton (cu b_{ef} conform relațiilor 3-1 și 3-2), respectiv momentul de inerție al secțiunii de lemn



Notă : 1 – placa de beton
 2 – grinda de lemn
 3 – element de conlucrare

Fig. 3-2 Secțiune compusă

(3) Coeficientul de reducere a rigidității γ se determină cu relația 3-5, astfel:

- pentru placa din beton: $\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_{ef}}{K \cdot l^2}}$ 3-5

- pentru grinda din lemn: $\gamma_2=1$

unde: s_{ef} - distanța echivalentă între conectori
 K - modulul de alunecare al elementului de conlucrare, care pentru calculul la starea limită ultimă este K_u , iar pentru starea limită de exploatare normală este K_{ser}
 l - lungimea grinzii simplu rezemate

(4) Distanțele de la centrul de greutate al secțiunii de beton, respectiv al secțiunii de lemn, până la centrul de greutate al secțiunii compuse, a_1 respectiv a_2 , se determină cu relațiile 3-6 și 3-7, astfel:

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 \quad 3-6$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2)}{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2} \quad 3-7$$

unde: h_1 - grosimea plăcii de beton
 h_2 - înălțimea grinzii de lemn

(5) Grosimea plăcii se va verifica cu relația 3-3.

3.4.2 Distanța între conectori

(1) Distanța între conectori variază în funcție de efortul de lunecare între o valoarea minimă s_{min} la reazeme și s_{max} în zona mediană a grinzii. Pentru simplificare, în calcule se va considera o distanță echivalentă, astfel:

$$s_{ef} = 0,75 s_{min} + 0,25 s_{max} \quad 3-8$$

(2) Se va respecta ipoteza de la pct. 3.3 (1).

3.4.3 Verificarea eforturilor în secțiunea compusă la starea limită ultimă în stadiul inițial

(1) Eforturile normale de compresiune și întindere în placa de beton și în fibra extremă întinsă a lemnului se determină, conform SR EN 1995-1-1, cu relațiile:

$$\sigma_{c1d} = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot a_1 \cdot M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \quad 3-9$$

$$\sigma_{m1d} = \frac{0,5 \cdot E_1 \cdot h_1 \cdot M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \quad 3-10$$

$$\sigma_{t2d} = \frac{\gamma_2 \cdot E_2 \cdot a_2 \cdot M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \quad 3-11$$

$$\sigma_{m2d} = \frac{0,5 \cdot E_2 \cdot h_2 \cdot M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \quad 3-12$$

unde: M_{Ed} - moment încovoietor de calcul

(2) Eforturile în placa de beton vor îndeplini condițiile:

- la partea superioară:

$$\sigma_{cd} = \sigma_{c1d} + \sigma_{m1d} \leq f_{cd} \quad 3-13$$

- la partea inferioară:

$$\sigma_{td} = \sigma_{m1d} - \sigma_{c1d} \leq f_{td} \quad 3-14$$

(3) Eforturile la fața inferioară a secțiunii de lemn se verifică cu condiția:

$$\frac{\sigma_{t2d}}{f_{td}} + \frac{\sigma_{m2d}}{f_{md}} \leq 1 \quad 3-15$$

unde: f_{cd}, f_{td} - rezistența de calcul la compresiune și întindere axială a betonului, conform SR EN 1992-1-1.

f_{td}, f_{md} - rezistența de calcul la întindere respectiv încovoiere a lemnului, conform SR EN 1995-1-1.

(4) Verificarea eforturilor tangențiale în centrul de greutate al secțiunii compuse se realizează conform SR EN 1995-1-1, astfel:

$$\tau_{\max} = \frac{0,5 E_2 \cdot b_2 \cdot h^2 \cdot V_{Ed}}{b_2 \cdot (EI)_{ef}} \leq f_{vd} \quad 3-16$$

unde: $h = \frac{h_2}{2} + a_2$ - distanța de la fața întinsă a secțiunii de lemn la centrul de greutate al secțiunii compuse

V_{Ed} - forța tăietoare de calcul

(5) Valoarea de calcul a forței în îmbinare va respecta condiția:

$$F_{id} = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_{\min} \cdot V_{Ed}}{(EI)_{ef}} \leq R_d \quad 3-17$$

unde: R_d - valoarea de calcul a capacității portante în îmbinare conform pct. (8)

(6) Momentul plastic de calcul al îmbinării se determină astfel:

$$M_{yd} = \frac{M_{yk}}{\gamma_M} \quad 3-18$$

unde: M_{yk} - momentul plastic caracteristic al îmbinării, conform relațiilor 3-19 la 3-22

γ_M - coeficient parțial de siguranță aplicat proprietăților materialului.

(7) Momentul plastic caracteristic al unei îmbinări cu tije metalice, determinat conform formulelor empirice date în SR EN 409, are valorile:

- pentru îmbinări cu cuie rotunde cu suprafață netedă: $M_{yk} = 180d^{2,6}$ 3-19

- pentru cuie cu secțiune pătrată: $M_{yk} = 270d^{2,6}$ 3-20

- pentru buloane și dornuri: $M_{yk} = \frac{0,8 f_{uk} d^3}{6}$ 3-21

- pentru șuruburi: $M_{yk} = \frac{0,583 f_{uk} d^3}{6}$ 3-22

unde: f_{uk} - valoarea caracteristică a rezistenței la întindere a elementului de îmbinare, conform tabelelor 3-1 și 3-2

d - diametrul tijei în zona netedă la șuruburi sau latura pătratului la cuie cu secțiune pătrată (mm)

Tabel 3-1 Rezistența caracteristică ultimă la întindere pentru buloane obișnuite

Clasa bulonului	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8
f_{uk} (N/mm ²)	400	320	500	500	600

Tabel 3-2 Rezistența caracteristică ultimă la întindere pentru bare din oțel obișnuit

Tipul oțelului	S235	S275	S355
f_{uk} (N/mm ²)	400	400	500

(8) Rezistența îmbinării se determină ca valoare minimă care rezultă din respectarea următoarelor condiții:

- cedarea betonului la compresiune locală la suprafața de contact dintre beton și elementul de conlucrare:

$$R_d = 0,23d^2 \sqrt{\frac{f_{ck} E_{cm}}{\gamma_c}} \quad 3-23$$

γ_c - coeficient parțial pentru beton

f_{ck} - valoarea caracteristică a rezistenței la compresiune a betonului măsurată pe cilindri la 28 de zile

- ruperea la forfecare a elementului de conlucrare:

$$R_d = \frac{0,8 f_{uk} \pi d^2}{4 \gamma_M} \quad 3-24$$

- cedarea lemnului:

$$R_d = 1,5 \sqrt{2 M_{yd} f_{h2d} d} \quad 3-25$$

f_{h2d} - valoarea de calcul a rezistenței de strivire locală a elementului de lemn

3.4.4 Verificarea eforturilor în secțiunea compusă la starea limită ultimă în stadiul final

(1) Fenomenul de curgere lentă al elementelor compuse lemn-beton este influențat de particularitățile comportării în timp a materialelor componente precum și de condițiile de mediu existente (temperatură, umiditate);

(2) Comportarea diferită sub încărcări de lungă durată a elementelor componente ale unui planșeu lemn-beton se va lua în considerare prin reducerea modulilor de elasticitate ai lemnului și betonului și a modulului de alunecare al conlucrării, astfel:

- pentru beton: $E_{cm,fin} = E_{cm} \left(\frac{1}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \right)$ 3-26

$\varphi(\infty, t_0)$ - coeficient de fluaj pentru beton conform SR EN 1992-1-1

- pentru lemn: $E_{mean,fin} = E_{mean} \left(\frac{\%G}{1 + \psi_1 \cdot k_{def}} + \frac{\%Q}{1 + k_{def}} \right)$ 3-27

k_{def} - coeficient care ia în considerare deformația în funcție de timp sub efectul fluajului și umidității, conform SR EN 1995-1-1 pentru lemn și materiale lemnoase

$\%G, \%Q$ - procent din încărcarea permanentă, respectiv variabilă

- pentru conectori: $K_{u,fin} = \frac{K_u}{1 + k_{def}}$ 3-28

$K_{u,fin}$ - valoarea finală a modulului de alunecare instantaneu pentru starea limită ultimă

k_{def} - coeficient pentru îmbinări conform SR EN 1995-1-1.

(3) Se va refăce calculul cu relațiile de la punctele 3.4.1 și 3.4.3 utilizând modulii de elasticitate la lemn și beton, precum și modulul de alunecare, calculați conform pctului 3.4.4.

3.4.5 Verificarea la starea limită de serviciu în stadiul inițial

(1) Verificarea săgeții în stadiul inițial se va efectua luând în considerare modulii de elasticitate medii pentru beton E_{cm} și lemn E_{mean} , respectiv modulul de alunecare K_{ser} ;

- (2) Se vor reface calculul și verificările elementului compus conform pct. 3.4.1. și 3.4.3;
 (3) Săgeata instantanee finală se va calcula conform SR EN 1995-1-1, astfel:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} \quad 3-29$$

$w_{inst,G}$; $w_{inst,Q}$ - săgeata instantanee pentru acțiunea permanentă G respectiv, acțiunea variabilă Q ;

- (4) Săgeata instantanee finală trebuie să se încadreze în domeniul recomandat al valorilor limită indicat în SR EN 1995-1-1.

3.4.6 Verificarea la starea limită de serviciu în stadiul final

(1) Verificarea săgeților în stadiul final se va efectua luând în considerare modulii de elasticitate transformați funcție de deformațiile în timp și încărcare pentru beton și lemn, respectiv reducerea modului de alunecare K_{ser} , astfel:

- pentru acțiuni permanente:

- beton: $E_{cm,fin} = E_{cm} \left(\frac{1}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \right)$ 3-30

$\varphi(\infty, t_0)$ - coeficient de fluaj pentru beton conform SR EN 1992-1-1

- lemn: $E_{mean,fin} = E_{mean} \left(\frac{1}{1 + \psi_1 \cdot k_{def}} \right)$ 3-31

- conectori: $K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def}}$ 3-32

- pentru acțiuni variabile:

- beton: $E_{cm,fin} = E_{cm} \left(\frac{1}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \right)$ 3-33

- lemn: $E_{mean,fin} = E_{mean} \left(\frac{1}{1 + k_{def}} \right)$ 3-34

- conectori: $K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def}}$ 3-35

- (2) Se vor reface calculul și verificările elementului compus conform pct. 3.4.1 și 3.4.3;
 (3) Săgeata finală se va calcula conform SR EN 1995-1-1, astfel:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} \quad 3-36$$

$w_{fin,G}$; $w_{fin,Q}$ - săgeata în stadiul final pentru o acțiune permanentă G respectiv o acțiune variabilă Q .

- (4) Săgeata finală trebuie să se încadreze în domeniul recomandat al valorilor limită indicat în SR EN 1995-1-1.

3.4.7 Verificarea planșeului compus în zonele de moment încovoietor negativ

(1) Momentul încovoietor capabil al secțiunii compuse în direcția longitudinală a grinzilor de lemn se determină ca și pentru o secțiune din beton armat, pe baza distribuției eforturilor unitare normale conform fig. 3-3. Se neglijează aportul secțiunii transversale de lemn.

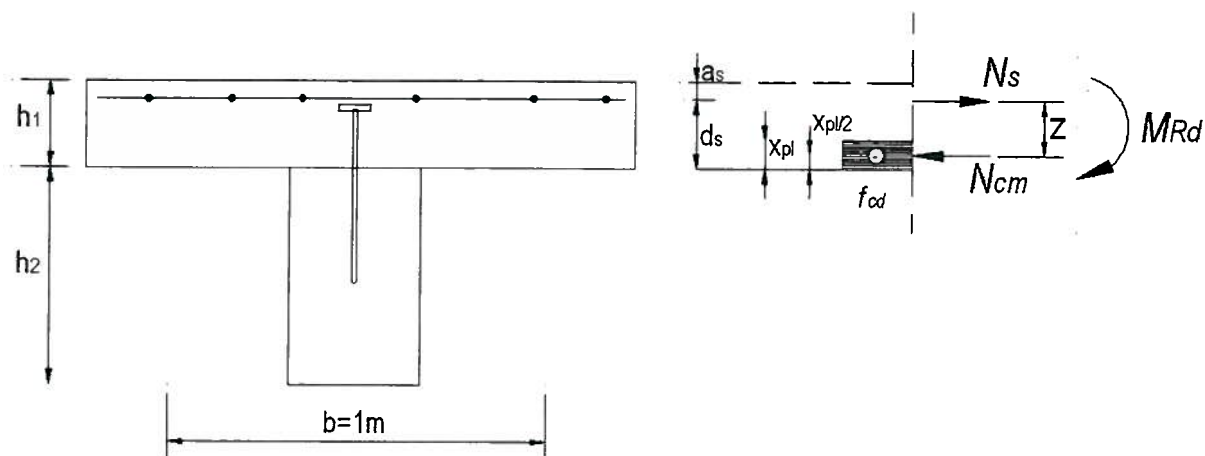


Fig. 3-3 Distribuția eforturilor unitare normale pentru moment negativ

Legendă:

- N_s - rezultanta eforturilor de întindere
- M_{Rd} - moment încovoiator negativ
- N_{cm} - rezultanta eforturilor unitare normale de compresiune
- z - braț de pârghie
- A_s - secțiunea armăturii de rezistență dispusă pe reazem, în mm^2/m ;
- a_s - distanța de la centrul de greutate al armăturii până la fibra superioară de beton a plăcii compuse
- x_{pl} - distanța între axa neutră plastică și fibra cea mai comprimată a secțiunii de beton
- d_s - înălțimea utilă a secțiunii de beton

$$M_{Rd} = N_s z \quad 3-37$$

(2) Rezultanta eforturilor de întindere N_s din armătura de pe reazem și brațul de pârghie z se determină cu relațiile:

$$N_s = A_s f_{sd} \quad 3-38$$

$$z = h - 0,5x_{pl} - a_s \quad 3-39$$

(3) Rezultanta eforturilor unitare normale de compresiune din beton, calculată pentru o lățime unitară de placă $b = 1 \text{ m}$, este:

$$N_{cm} = b x_{pl} f_{cd} \quad 3-40$$

Poziția axei neutre x_{pl} se determină din ecuația de proiecție $N_s = N_{cm}$:

$$x_{pl} = N_s / b f_{cd} \quad 3-41$$

3.4.8 Noțiuni de proiectare seismică

(1) În cazul în care planșeele compuse lemn-beton sunt sollicitate în planul lor (acțiunea seismică, acțiunea vântului etc.), este necesar ca planșeul să îndeplinească condițiile de șaibă orizontală, conform reglementărilor tehnice aplicabile, în vigoare;

(2) Verificarea planșeelor compuse lemn-beton la încărcări orizontale are ca scop asigurarea capacității de rezistență și a rigidității necesare pentru ca planșeul să poată fi considerat

diafragmă rigidă în plan orizontal. Forțele seismice de nivel se vor determina conform prevederilor din P 100-1;

(3) La clădiri cu forme simple în plan, care pot fi înscrise într-un dreptunghi, pentru calculul eforturilor secționale (forță tăietoare și moment încovoietor) provenite din forțele seismice orizontale, planșeul compus lemn-beton va fi considerat ca grindă continuă, rezemată pe pereții structurali. În acest caz calculul eforturilor secționale se va face conform modelului de calcul prezentat în CR 6, cap.6.

4 PREVEDERI CONSTRUCTIVE

4.1 Dimensiuni

(1) Dacă placa de beton are rol de diafragmă orizontală grosimea minimă va fi $h_1=80$ mm cu respectarea prevederilor din reglementările tehnice aplicabile, în vigoare, în ceea ce privește rezistența, rigiditatea, izolarea fonică, etc.;

(2) Grosimea minimă a plăcii de beton poate fi $h_1 = 60$ mm în alte cazuri decât cele prevăzute la (1);

(3) Se recomandă ca deschiderea maximă a grinzilor din lemn să fie:

- pentru grinzi din lemn masiv : $l_{max} = 5,0$ metri

- pentru grinzi din lemn încleiat : $l_{max} = 8,0$ metri

(4) Se recomandă ca raportul dintre înălțimea grinzilor din lemn h_2 și deschiderea planșeului l să fie: $\frac{l}{h_2} = 25...16$.

4.2 Armare

(1) Armătura utilizată trebuie să respecte prevederile de la punctul 2.2.3;

(2) Acoperirea minimă cu beton este $c_{min} = 10$ mm;

(3) Toleranțele admisibile în poziționarea armăturilor vor respecta condițiile impuse de prevederile din SR EN 1992-1-1 și NE 012-2;

(4) În cazul în care din calcule nu este necesară armarea la partea inferioară a plăcii din beton se va prevedea armătură constructivă, astfel:

a. distanța dintre bare, atât pe direcția transversală cât și longitudinală, trebuie să fie maxim 250 mm;

b. aria minimă a armăturii, pentru fiecare direcție, este de $250 \text{ mm}^2/\text{m}$;

c. diametrul minim al armăturilor este $d_{min} = 6$ mm;

(5) Armăturile din plase legate cu sârmă, utilizate la armarea plăcilor compuse, se amplasează din diferite considerente în anumite zone, astfel:

a. în zonele de reazem, la partea superioară a plăcii, cu rol de rezistență pentru preluarea momentelor negative;

b. în zonele de câmp, la partea inferioară a plăcii, cu rol de rezistență pentru preluarea momentelor pozitive;

(6) Dacă planșeul a fost calculat ca o succesiune de plăci simplu rezemate, la partea superioară a elementului de reazem se va prevedea o armătură minimă, respectând ambele condiții:

a. procent din secțiunea de beton: $A_{s,min} = 0,4\%A_1$;

b. minim $80 \text{ mm}^2/\text{m}$.

(7) Armătura utilizată trebuie să respecte prevederile de la punctul 2.2.3;

(8) Lungimea de ancorare a armăturilor în centurile din beton armat trebuie să respecte prevederile prevăzute în CR 6.

4.3 Conectori

- (1) Conectorii de tip cuie se dispun pe unul sau două rânduri, alternant, în cruciș, perpendicular pe grinda de lemn. Diametrul minim al cuielor este $d_{min} = 8$ mm;
- (2) Conectorii de tip șurub se dispun pe unul sau două rânduri, alternant, în cruciș, înclinați la un unghi de 45° față de grinda de lemn. Diametrul minim al șurubului este $d_{min} = 6$ mm;
- (3) Dispunerea conectorilor pe grinda de lemn se face conform fig. 4-1.

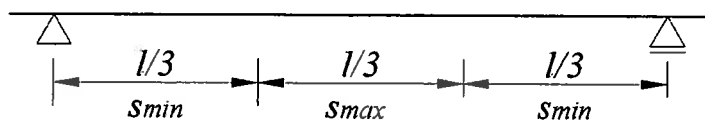


Fig. 4-1 Dispunerea conectorilor

- (4) Distanța între conectori se recomandă a se încadra între următoarele valori:

$$s_{min} = 80 \text{ mm} \dots 150 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 150 \text{ mm} \dots 300 \text{ mm}$$

4.4 Rezemare

- (1) Planșeele compuse lemn-beton reazemă pe tot conturul lor prin intermediul centurilor din beton armat, pe pereți portanți din zidărie de cărămidă. Sunt excluse rezezele concentrate (stâlpi);
- (2) La clădirile noi se vor respecta:
 - a. condițiile de rezemare prevăzute în SR EN 1995-1-1 pentru grinzile de lemn;
 - b. condițiile de ancorare a plăcii de beton pe tot conturul în centuri din beton armat, realizate conform prevederilor din CR 6;
- (3) În fig. 4-2 este prezentat un caz exemplificativ de rezemare a planșeului compus pentru construcții noi;
- (4) La clădirile existente se va proceda conform rezultatelor evaluării și analizei efectuate conform prevederilor din P 100-3. Placa de beton se va ancora în centuri create la fața interioară a pereților (fig. 4-3), la fața exterioară (fig. 4-4) sau sub grinzile din lemn (fig. 4-5); continuitatea plăcii de beton în dreptul rezezelor intermediare se va asigura prin turnarea betonului din placă în goluri create în zidăria existentă. Armătura prevăzută în aceste goluri se va dimensiona astfel încât să fie asigurată transmiterea eforturilor dintr-o deschidere a plăcii în alta;
- (5) La contactul elementelor de lemn cu alte materiale, unde se produc umeziri din diferite cauze, lemnul se protejează prin straturi hidroizolante sau, dacă este posibil, contactul se face prin piese din materiale rezistente la umiditate, astfel încât să se poată crea spații libere de continuă aerare a elementelor de lemn;
- (6) Porțiunile grinzilor de lemn care se află în contact cu zidăria se protejează în dreptul rezezelor cu hidroizolație, alcătuită din unul sau două straturi de carton sau pânză bitumată. Capătul grinzii se montează la o distanță de aproximativ 2 cm de zidărie, creând astfel un locaș de aerisire.

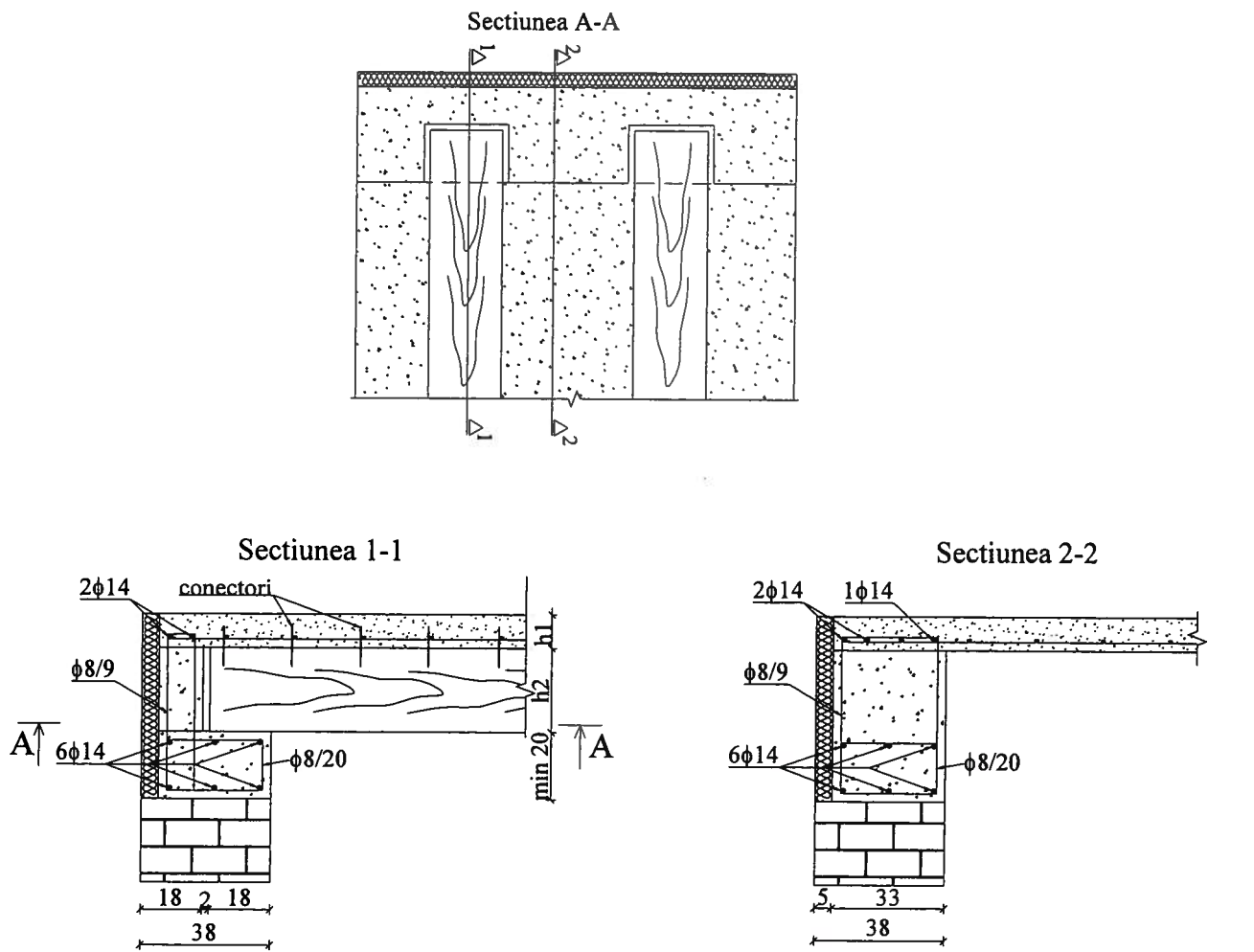


Fig. 4-2 Exemplu de rezemare la clădiri noi

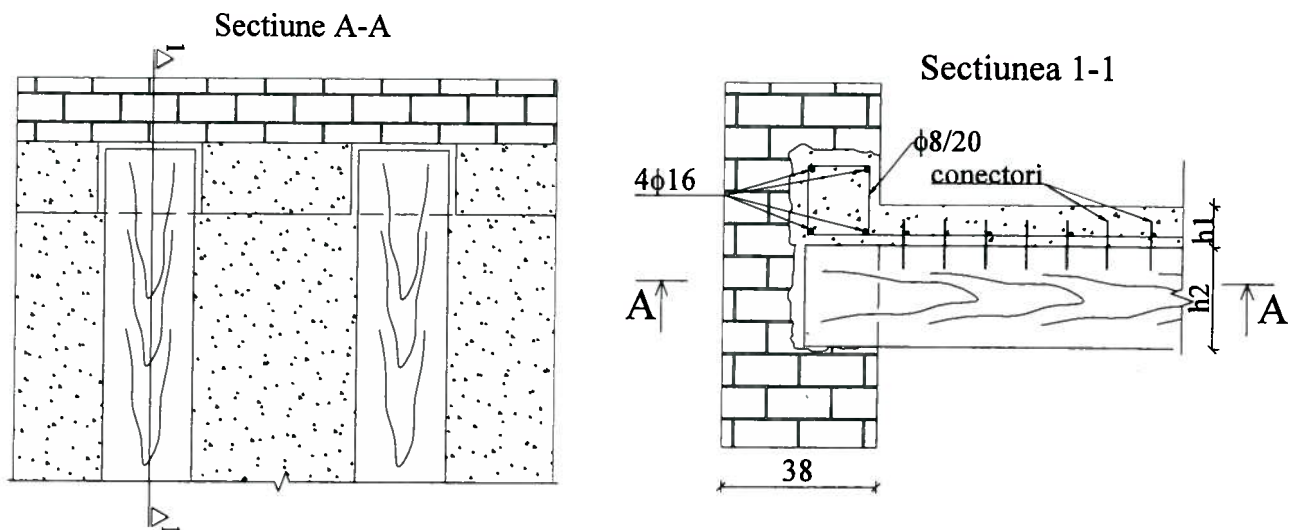


Fig. 4-3 Exemplu de ancorare la clădiri existente:
ancorare în centuri create la fața interioară a pereților

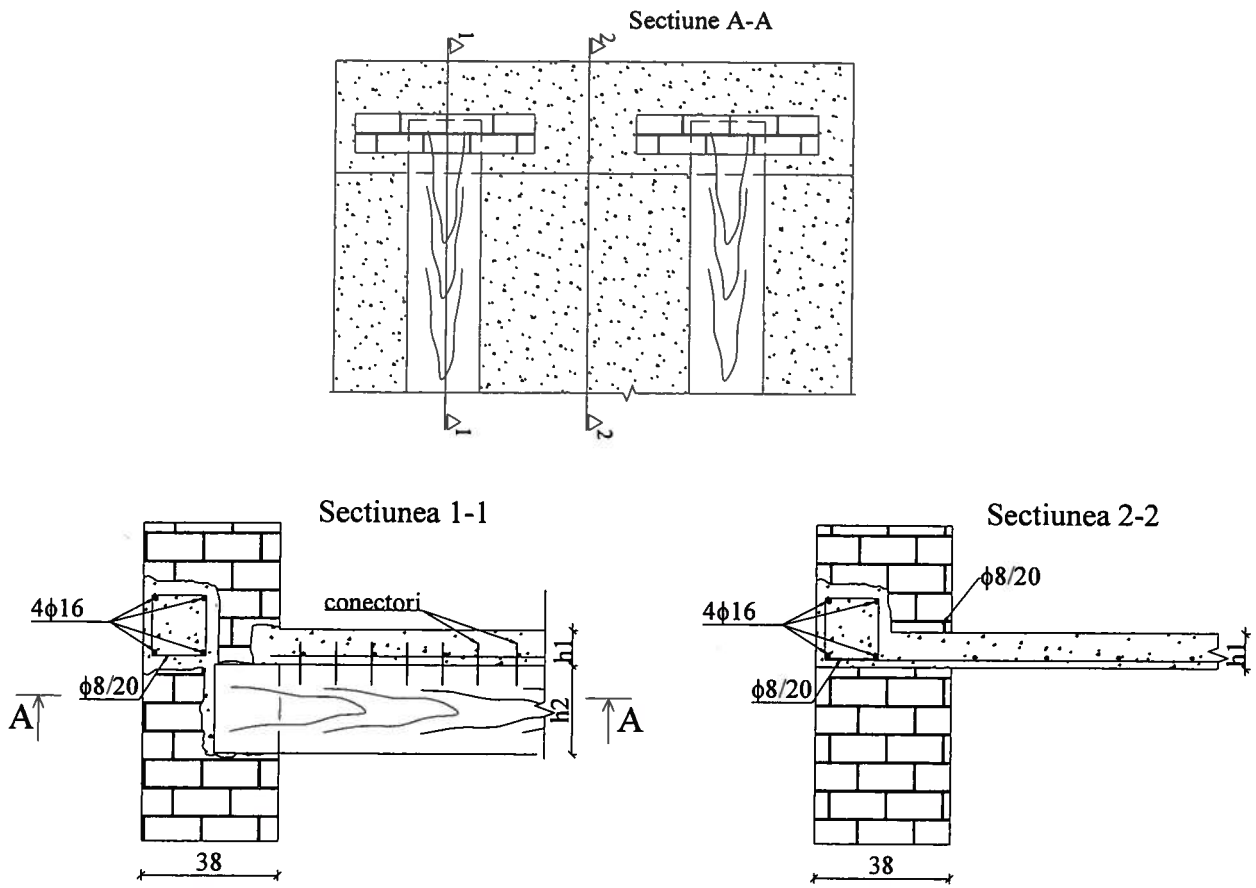


Fig. 4-4 Exemplu de ancorare la clădiri existente:
ancorare în centuri create la fața exterioară a pereților

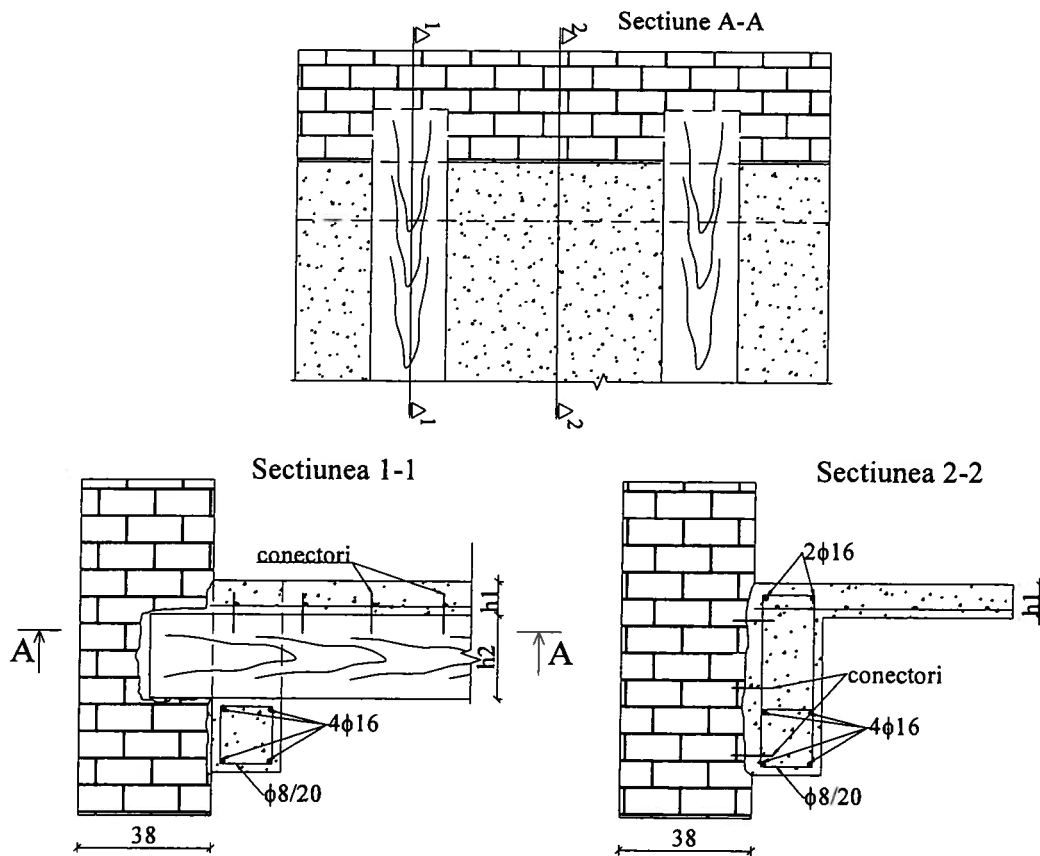


Fig. 4-5 Exemplu de ancorare la clădiri existente:
ancorare în centuri create sub grinzile din lemn

4.5 Aptitudinea de exploatare (serviciu)

(1) Pentru a se asigura durabilitatea planșelor compuse lemn-beton, în procesul de exploatare este necesar ca:

- a. elementele de lemn ale planșeului să nu fie expuse acțiunii umidității;
- b. să fie asigurate măsuri de protecție pentru a evita apariția condensului sau crearea de umidități prea mari în încăperi;
- c. executarea de pereți despărțitori sau sobe pe planșee să se facă în urma unei expertize tehnice și în baza unui proiect conform reglementarilor tehnice aplicabile, în vigoare;
- d. în cazul spațiilor închise (subsoluri, poduri) să se prevadă măsuri de aerisire și ventilare;
- e. dispunerea traseelor de instalații sanitare, electrice sau gaze să se facă conform reglementărilor tehnice aplicabile, în vigoare;

(2) Sistemele de protecție a elementelor din lemn împotriva agenților chimici și biologici se vor alege în funcție de natura și starea grinzilor din lemn, de natura și agresivitatea mediului, de durabilitatea estimată a protecției;

(3) Natura și gradul de agresivitate a mediului se stabilesc de către proiectant în baza evaluării rezultatelor analizelor calitative și cantitative de agenți agresivi (chimici și biologici) și ale umidității relative și temperaturii aerului. Agenții agresivi chimici și biologici care acționează asupra construcțiilor din lemn sau a componentelor din lemn sunt clasificați conform prevederilor ST 049;

(4) Definirea claselor de exploatare din punct de vedere al agresivității mediului se stabilește conform prevederilor ST 049, SR EN 335-1 și SR EN 1995-1-1, precum și reglementărilor tehnice specifice privind proiectarea construcțiilor din lemn, în vigoare;

(5) Clasele de risc de atac biologic se stabilesc conform SR EN 335-1 și reglementărilor tehnice specifice privind proiectarea construcțiilor din lemn, în vigoare;

(6) Sistemele de protecție aplicate pe suprafața elementelor din lemn împotriva agenților agresivi trebuie să îndeplinească criteriile de performanță și cerințele esențiale, funcționale și tehnologice menționate în ST 049;

(7) Criteriile și nivelurile de performanță pentru grinzile de lemn și pentru sistemele de protecție se referă la:

- a. stratul suport: grinzile de lemn sau cofrajul pierdut;
- b. sistemele de protecție împotriva agenților fizico-chimici, prezentate ca valori concrete, minime, pentru a obține o protecție eficientă a lemnului;
- c. sistemele de protecție împotriva agenților biologici;

(8) Pentru ca întreaga construcție să corespundă unui anumit grad de rezistență la foc, elementele principale ale acesteia trebuie să îndeplinească condițiile minime de reacție la foc și de rezistență la foc conform reglementările tehnice aplicabile și legislației în vigoare;

(9) Pentru grinzile de lemn ce fac parte integrantă din planșeul compus, prin tratament ignifug se vor respecta cerințele minime necesare în conformitate cu legislația în vigoare privind clasificarea și încadrarea produselor pentru construcții pe baza performanțelor de comportare la foc;

(10) Produsele de ignifugare trebuie să respecte prevederile generale cât și condițiile de pregătire a suprafețelor, condițiile și tehnologia de aplicare prevăzute în reglementările tehnice specifice în vigoare.

5 COMPORTARE ÎN TIMP

(1) Urmărirea comportării în exploatare se va realiza în conformitate cu reglementările tehnice aplicabile și legislația în vigoare privind comportarea în timp a construcțiilor. Prin urmărirea curentă, se înțelege activitatea de urmărire a comportării construcției prin observarea și

înregistrarea unor aspecte, fenomene și parametri ce pot semnala modificări ale capacității construcției de a îndeplini cerințele de rezistență, stabilitate și durabilitate stabilite prin proiect;

(2) Urmărirea curentă are un caracter permanent, durata ei coincidând cu durata de serviciu efectivă a clădirii;

(3) Prevederi specifice de urmărire curentă la construcțiile noi cu planșee compuse lemn-beton:

a. Se va avea în vedere identificarea prin observații vizuale sau cu dispozitive de măsurare a următoarelor fenomene: tasări în zona de rezemare a grinzilor de lemn, crăpături longitudinale în grinzile de lemn, deformații exagerate pe verticală la mijlocul deschiderii planșeului, apariția locală a unor pete pe finisajul existent din umezire sau prezența mucegaiurilor;

b. Principalele zone avute în vedere la urmărirea curentă sunt: zonele de rezemare și la mijlocul deschiderii grinzilor din lemn;

c. În funcție de finisajul aplicat la partea inferioară a planșeului compus se va prevedea accesul la elementele necesare a fi inspectate;

(4) Prevederi specifice de urmărire curentă la construcțiile existente cu planșee compuse lemn-beton:

a. Se va avea în vedere identificarea prin observații vizuale sau cu dispozitive de măsurare a următoarelor fenomene: tasări în zona de rezemare a grinzilor de lemn, crăpături longitudinale în grinzile de lemn, deformații exagerate pe verticală la mijlocul deschiderii planșeului, apariția locală a unor pete pe finisajul existent din umezire sau prezența mucegaiurilor, apariția unor degradări a centurilor noi turnate pe zidăria existentă.

b. Principalele zone avute în vedere la urmărirea curentă sunt: zonele de rezemare și la mijlocul deschiderii grinzilor din lemn cât și cele care se vor stabili împreună cu expertul tehnic.

c. În funcție de finisajul aplicat la partea inferioară a planșeului compus se va prevedea accesul la elementele necesare a fi inspectate.

(5) Orice modificare a destinației spațiului construit se va realiza în baza unei expertize tehnice și conform reglementărilor tehnice aplicabile și legislației în vigoare.

6 PREVEDERI DE EXECUȚIE ȘI TEHNOLOGIE

6.1 Prevederi pentru clădiri noi

Procedura generală pentru executarea unui planșeu compus lemn-beton la clădirile noi este următoarea:

- (1) Disponerea grinzilor din lemn pe pereții portanți din zidărie la distanțele precizate în proiect;
- (6) Hidroizolarea capetelor grinzilor de lemn înainte de pozarea acestora înainte de montarea grinzilor de lemn;
- (7) Executarea de sprijiniri provizorii ale grinzilor din lemn, de regulă la 1/3 din deschidere;
- (8) Executarea cofrajului prin disponerea acestuia la partea superioară a grinzilor din lemn sau în interspațiile dintre grinzile de lemn;
- (9) Montarea unei folii PVC sau a unei membrane hidroizolante pentru protejarea grinzilor din lemn contra umezirii în urma turnării betonului;
- (10) Disponerea conectorilor la distanțele prevăzute în proiect;

- (11) Disponerea armăturilor din placa din beton și ancorarea acestora în centurile din beton armat de pe contur conform proiectului;
- (12) Verificarea disponerii conectorilor și a armăturilor conform proiectului;
- (13) Turnarea betonului din placă și centuri cu respectarea reglementarile tehnice aplicabile, în vigoare;
- (14) Protejarea betonului proaspăt turnat împotriva deshidratării.

6.2 Prevederi pentru clădiri existente

Procedura generală pentru realizarea unui planșeu compus lemn-beton la clădirile existente este:

- (1) Evaluarea stării de degradare a grinzilor existente din lemn. Se vor identifica urmări de degradări, precum:
 - a. putrezirea capetelor grinzilor din lemn
 - b. apariția unor defecte sau crăpături în câmpul grinzilor;
 - c. apariția unor deformații mari datorită modificării încărcărilor
- (2) Remedierea degradărilor/consolidarea grinzilor din lemn prin adoptarea de soluții precum:
 - a. înlocuirea grinzilor din lemn ale căror capete sunt putrezite
 - b. disponerea unor eclise laterale din dulapi de lemn, antiseptizate, care se solidarizează de grinda existentă cu ajutorul cuielor sau șuruburilor
 - c. disponerea unor reazeme din profile U, solidarizate de grinda existentă cu buloane;
- (3) Introducerea unor grinzi noi din lemn, poziționate între cele existente;
- (4) Executarea de sprijiniri provizorii ale grinzilor din lemn, de regulă la 1/3 din deschidere;
- (5) Îndepărtarea pardoselii existente, a straturilor de izolație (pământ, zgură, etc.) și a tavanului în cazul în care este degradat;
- (6) Realizarea cofrajului pentru centurile perimetrice prevăzute pentru ancorarea armăturilor din planșeu compus;
- (7) Executarea cofrajului planșeului compus prin disponerea acestuia la partea superioară a grinzilor din lemn sau în interspațiile dintre grinzi;
- (8) Montarea unei folii PVC sau a unei membrane hidroizolante pentru protejarea grinzilor din lemn contra umezirii în urma betonării;
- (9) Disponerea conectorilor la distanțele prevăzute în proiect;
- (10) Disponerea armăturilor din placa din beton și ancorarea acestora în centurile din beton armat de pe contur; în cazul plăcilor continue se vor realiza golurile de continuitate cu placa alăturată;
- (11) Verificarea disponerii conectorilor și a armăturilor conform proiectului;
- (12) Turnarea betonului din centuri și placă conform reglementarile tehnice aplicabile, în vigoare;
- (13) Protejarea betonului proaspăt turnat împotriva deshidratării.

ANEXA A (INFORMATIVĂ) ÎNCERCAREA LA FORFECARE PE EPRUVETE

Aspecte generale

- (1) Anexa prezintă etapele care trebuie parcurse în cadrul încercărilor specifice pentru determinarea modului de alunecare al conectorilor (elemente de conlucrare), alții decât cei la care se face referire în prezentul ghid;
- (2) Încercarea la forfecare se realizează conform prevederilor din SR EN 26891.

Etape pregătitoare pentru încercarea la forfecare pe epruvete

- (1) Confecționarea a cel puțin cel puțin șase epruvete, alcătuite conform fig. A-1,
- (2) Dispunerea conectorilor la o distanță egală „s” între aceștia.

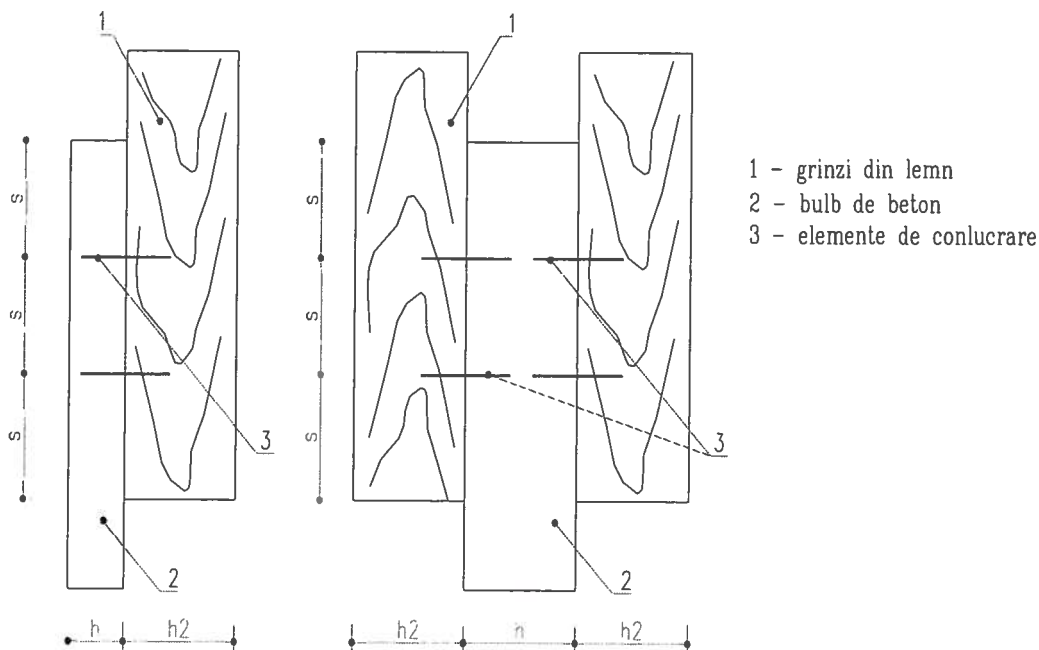


Fig. A-1 Modalități de realizare a epruvetelor

- (3) Stabilirea parametrilor încărcării: încărcarea maximă estimată F_{est} pentru tipul de conlucrare supus încercării se determină pe baza experienței, a calculului sau din rezultatele încercărilor preliminare efectuate pe o epruvetă lemn-beton; încărcarea se menține la o intensitate constantă pe toată durata încercării, fiind modificată numai dacă pe parcurs se constată că valoarea medie a forței maxime diferă cu peste 20% față de cea estimată F_{est} ;

Efectuarea încercărilor experimentale

- (1) Încercarea epruvetelor se realizează pe un stand specializat;
- (2) Încercarea se efectuează urmărind încărcarea până la 70% din forța de forfecare maximă estimată, după care se verifică deformația;
- (3) Încercarea se va considera încheiată atunci când:
 - a. forța de forfecare maximă estimată F_{est} este atinsă
 - b. deplasarea dintre lemn și beton este 15 mm.
- (4) Durata totală a încercării unei epruvete trebuie să fie între 10 și 15 minute. În fig. A-2 este trasată curba încărcare-timp.

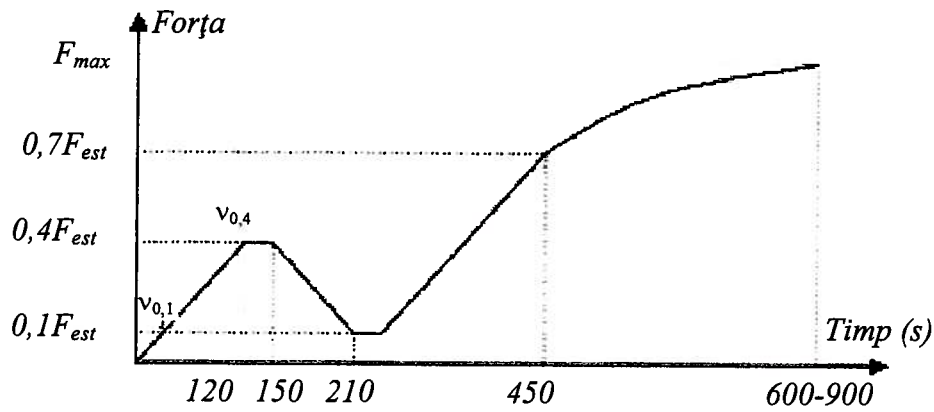


Fig. A-2 Curba încărcare -timp

Determinarea capacității portante și a modulului de alunecare

(1) Forța de forfecare maximă F_{max} rezultă din diagrama forță-deplasare trasată cu valorile obținute în urma încercărilor experimentale;

(2) Modulul de alunecare al îmbinării K_{ser} se determină în funcție de valoarea forței de forfecare maxime estimate și deformația corespunzătoare valorilor a două forțe din timpul încercării, astfel:

$$K_{ser} = \frac{0,4 \cdot F_{est}}{\frac{4}{3}(v_{0,4} - v_{0,1})}$$

A-1

unde: $v_{0,4}$ - deformația aferentă unui procent de 40% din F_{est} ;

$v_{0,1}$ - deformația aferentă unui procent de 10% din F_{est} ;

F_{est} - forța maxima estimată prin calcule sau încercări inițiale.

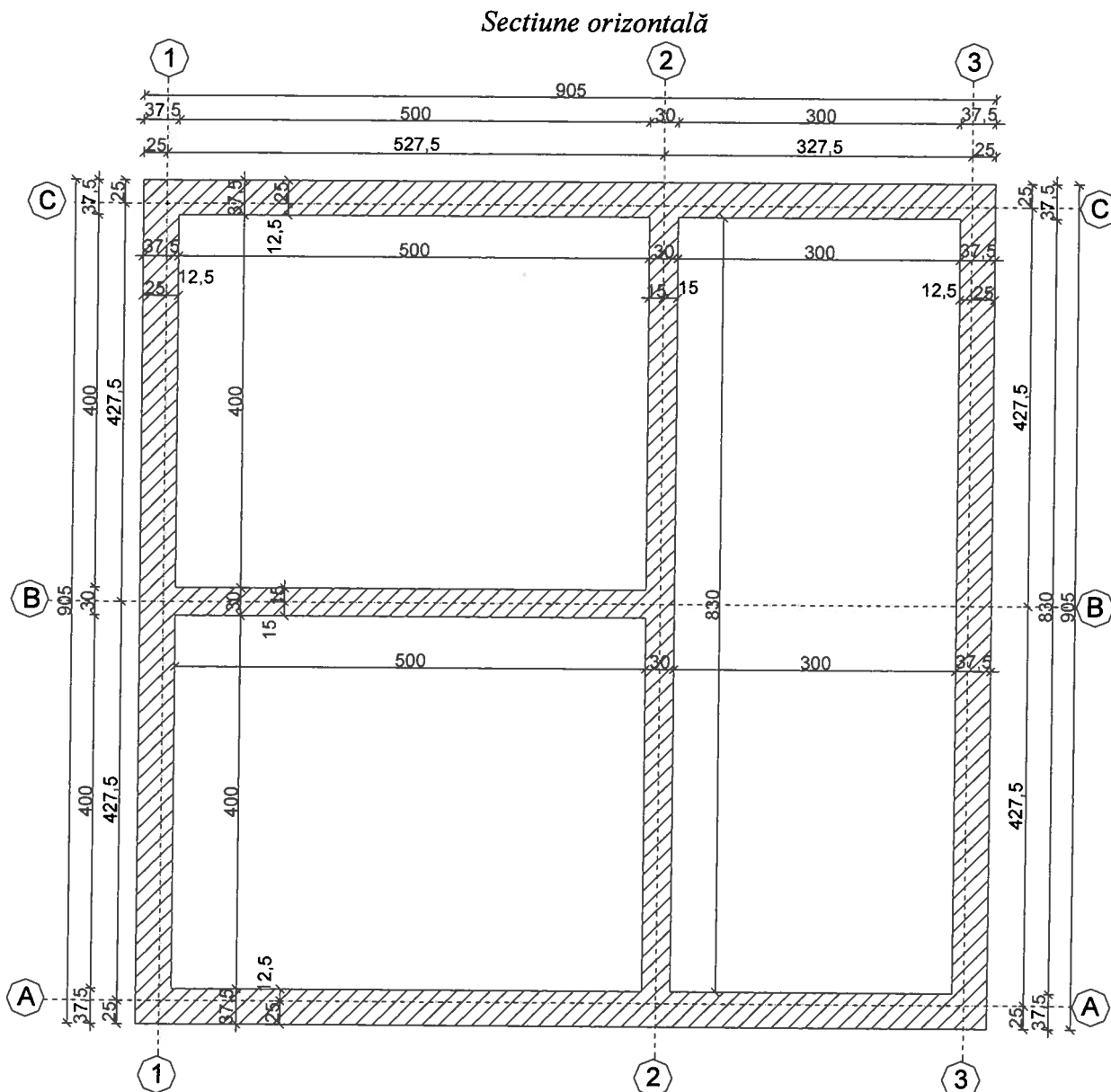
ANEXA B EXEMPLE DE CALCUL

Exemplul 1: Planșeu compus lemn-beton cu mai multe deschideri

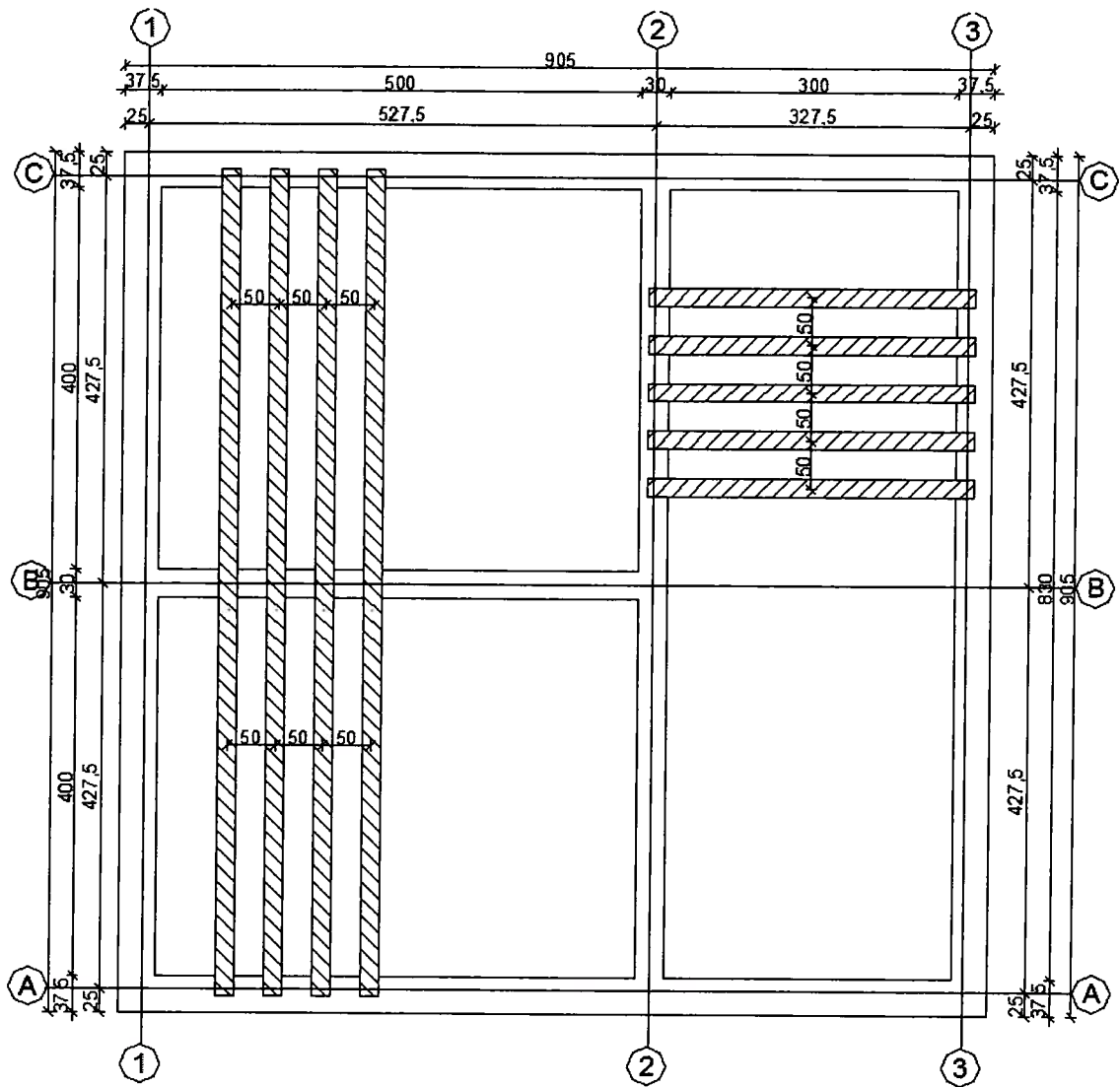
Se prezintă proiectarea unui planșeu intermediar al unei clădiri noi de locuit P+1E, cu dimensiunile în plan 9,05 x 9,05 metri și înălțimea nivelului $h_{et} = 2,90\text{m}$.

Clădirea este amplasată în zona seismică cu $a_g = 0,16g$ și are structura alcătuită din pereți de zidărie confinată (ZC) cu grosimea pereților exteriori de 38 cm, respectiv 30 cm cei interiori.

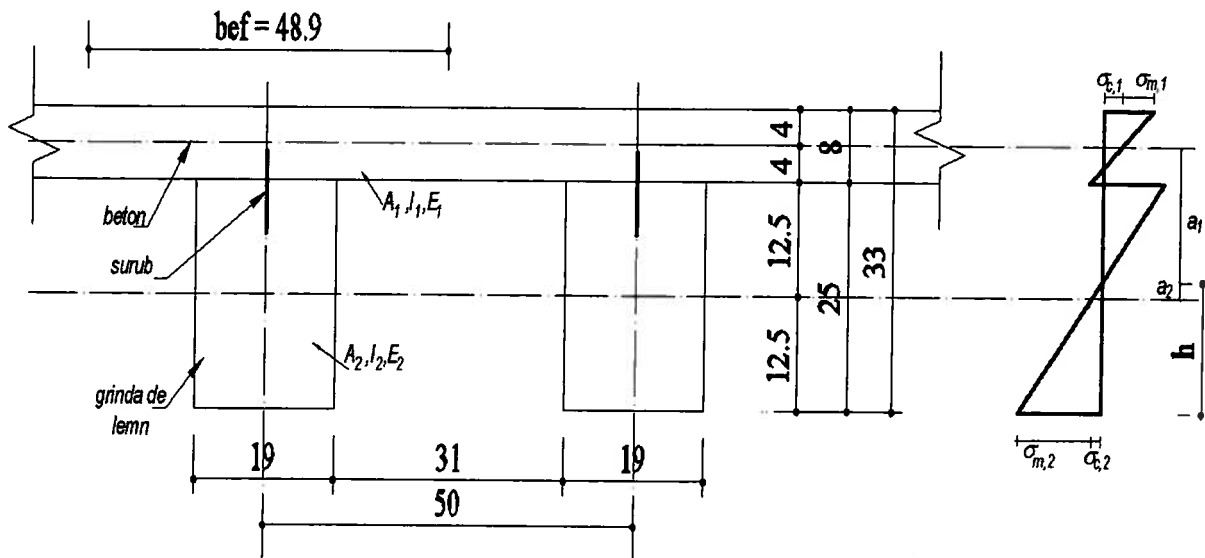
Planșeul se va realiza în soluție compusă lemn-beton utilizând beton clasa C25/30, grinzi din lemn masiv și conectori de tip șurub cu cap hexagonal.



Grinzile din lemn se vor dispune pe direcția scurtă a ochiurilor de placă conform secțiunii orizontale de mai jos. Distanța dintre grinzi (interax) se alege: $b = 50\text{ cm}$



Dispunerea grinzilor din lemn



Secțiunea compusă lemn-beton

PROIECTAREA PLANȘEI COMPUS

1. Caracteristicile materialelor componente alese

1.1. Lemn – grinzi: lemn masiv de rășinoase clasa C27; clasa de serviciu 1.

Valori caracteristice – conform SR EN 1995-1-1

- încovoiere: $f_{mk} = 27 \text{ N/mm}^2$
- întindere în lungul fibrei: $f_{t0k} = 16 \text{ N/mm}^2$
- forfecare: $f_{vk} = 2,8 \text{ N/mm}^2$
- modul de elasticitate: $E_{mean}(E_2) = 12000 \text{ N/mm}^2$
- densitate: $\rho_{0k} = 380 \text{ kg/m}^3$

Coeficienți parțiali de siguranță:

- coeficient ce ține seama de efectul duratei încărcării și umiditate, conform SR EN 1995-1-1 Tabel 3.1. nota (2)
 $k_{mod} = 0,60$
- coeficient parțial de siguranță pentru material și rezistențe, conform SR EN 1995-1-1 Tabel 2.3.
 $\gamma_M = 1,30$
- coeficient care ține seama de deformațiile în timp și de durata încărcării, conform NP 005
 $k_{def,perm} = 0,60$
 $k_{def,medis} = 0,60$

Valori de calcul:

- încovoiere: $f_{md} = \frac{k_{mod} \times f_{mk}}{\gamma_M} = \frac{0,60 \times 27}{1,3} = 12,46 \text{ N/mm}^2$
- întindere în lungul fibrei: $f_{t0d} = \frac{k_{mod} \times f_{t0k}}{\gamma_M} = \frac{0,60 \times 16}{1,3} = 7,38 \text{ N/mm}^2$
- forfecare: $f_{vd} = \frac{k_{mod} \times f_{vk}}{\gamma_M} = \frac{0,60 \times 2,8}{1,3} = 1,29 \text{ N/mm}^2$

1.2. Beton – placă: clasa C 25/30

Valori caracteristice : conform SR EN 1992-1-1

- pe cub: $f_{ckcube} = 30 \text{ N/mm}^2$
- pe cilindru: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
- medie la întinderea axială: $f_{ct} = 2,6 \text{ N/mm}^2$
- modul de elasticitate: $E_{cm}(E_1) = 31000 \text{ N/mm}^2$

Coeficienți parțiali de siguranță

- coeficient pentru SLU, conform SR EN 1992-1-1, Tabel 2.1.

$$\gamma_c = \begin{cases} 1,5 & \text{— permanentă, tranzitorie} \\ 1,25 & \text{— accidentală} \end{cases}$$

- conform SR EN 1992-1-1 se aleg coeficienții care iau în considerare efectul de lungă durată și efectele defavorabile rezultate din modul de aplicare al încărcărilor, astfel:

$$\alpha_{cc}: (0,8 \dots 1) \text{ din SR EN 1992-1-1}; \alpha_{cc} = 0,85$$

$$\alpha_{ct}: \text{recomandat } 1; \alpha_{ct} = 0,85$$

$$k_t = 0,85$$

Valori de calcul

- pe cub: $f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \times f_{ckcubs} \times k_t}{\gamma_c} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{1,5} = 14,45 \text{ N/mm}^2$
- întindere axială: $f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \times f_{ct}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \times 2,6}{1,5} = 1,47 \text{ N/mm}^2$

1.3. Conectori

Tipul conectorului: *Șurub cu cap hexagonal cu lungimea L=10 cm*

Diametrul conectorului: $d=12 \text{ mm}$

Valori caracteristice:

- întindere: $f_{uk} = 500 \text{ N/mm}^2$

- modul de alunecare (relația 2-5):

$$K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{mean} = 0,08 \times 12 \times 12000 = 11520 \text{ N/mm} \quad \text{— pentru SLS}$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} = \frac{2}{3} \times 11520 = 7680 \text{ N/mm} \quad \text{— pentru SLU}$$

Coeficienți parțiali de siguranță

- coeficient pentru conlucrare (îmbinare), conform SR EN 1995-1-1 Tabel 2.3.

$$\gamma_M = 1,3$$

- coeficient care ține seama de deformații în timp și de durata încărcării

$$k_{def,perm} = 0,60$$

$$k_{def,medie} = 0,60$$

2. Caracteristicile geometrice ale elementelor componente alese

2.1. Grinda de lemn

- lățime: $b_2 = 190 \text{ mm}$
- înălțime: $h_2 = 250 \text{ mm}$
- moment de inerție: $I_2 = \frac{b_2 \times h_2^3}{12} = \frac{190 \times 250^3}{12} = 2,47 \times 10^8 \text{ mm}^4$
- aria: $A_2 = b_2 \times h_2 = 190 \times 250 = 47500 \text{ mm}^2$
- deschidere: $l = 4000 \text{ mm}$
- distanța dintre grinzi (interax): $b = 500 \text{ mm}$

2.2. Placa de beton

- grosime: $h_1 = 80 \text{ mm}$
- lățimea de conlucrare calculată pentru încărcări uniform distribuite conform relației 3-3:

$$b_{ef} = \left[1 - 1,4 \times \left(\frac{b}{l} \right)^2 \right] \times b = \left[1 - 1,4 \times \left(\frac{500}{4000} \right)^2 \right] \times 500 = 489 \text{ mm}$$
- moment de inerție: $I_1 = \frac{b_{ef} \times h_1^3}{12} = \frac{489 \times 80^3}{12} = 2,09 \times 10^7 \text{ mm}^4$
- aria: $A_1 = b_{ef} \times h_1 = 489 \times 80 = 39125 \text{ mm}^2$

2.3. Verificarea grosimii de placă (relația 3-3):

$$\frac{E_1 \times I_1}{E_2 \times I_2} = \frac{31000 \times 2,09 \times 10^7}{12000 \times 2,4 \times 10^8} = 0,22 \leq 1$$

3. Încărcări

Calculul se va face ca pentru o grindă simplu rezemată cu deschiderea $l = 4,00 \text{ m}$.

3.1. Valori caracteristice, coeficienți parțiali de siguranță și valori de calcul

Tip de încărcare		Caracteristici	Coeficient parțial de siguranță	Valori de calcul
Permanentă	Greutate proprie placă din beton armat	2000 N/m^2	1,35	2700 N/m^2
	Pardoseală	1300 N/m^2	1,35	1755 N/m^2
	Pereți despărțitori ușori	1000 N/m^2	1,35	1350 N/m^2
	Greutatea proprie a grinzilor din lemn	180 N/m	1,35	243 N/m
Utilă		2000 N/m^2	1,50	3000 N/m^2

3.2. Încărcări în lungul grinzilor de lemn

- Încărcarea permanentă:
 $g_d = (2700 + 1755 + 1350) \times 0,50 + 243 = 3145 \text{ N/m}$
- Încărcarea utilă
 $q_d = 3000 \times 0,50 = 1500 \text{ N/m}$

3.3. Eforturi

- Moment încovoietor de calcul:

$$M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \times l^2}{8} = \frac{(3,145 + 1,5) \times 4000^2}{8} = 9,3 \times 10^6 \text{ Nmm}$$
- Forță tăietoare de calcul: $V_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \times l}{2} = \frac{(3,145 + 1,5) \times 4000}{2} = 9,3 \times 10^3 \text{ N}$

4. Verificarea îmbinărilor

4.1. Momentul plastic al îmbinării (relația 3-22)

$$M_{yd} = \frac{M_{yk}}{\gamma_M} = \frac{0,583 \times f_{uk} \times d^3}{6 \times \gamma_M} = \frac{0,583 \times 500 \times 12^3}{6 \times 1,3} = 64,6 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

4.2. Capacitatea portantă a îmbinării Rezistența conlucrării la cedarea betonului (relația 3-23)

$$R_d = 0,23 \times d^2 \times \sqrt{\frac{f_{ck} \times E_{cm}}{\gamma_c}} = 0,23 \times 12^2 \times \sqrt{\frac{25 \times 31000}{1,25}} = 26078,71 \text{ N}$$

4.3. Capacitatea portantă a îmbinării Rezistența conlucrării de rupere la forfecare (relația 3-24)

$$R_d = 0,8 \times \frac{f_{uk} \times \pi \times d^2}{4 \times \gamma_M} = 0,8 \times \frac{500 \times 3,14 \times 12^2}{4 \times 1,3} = 34781,54 \text{ N}$$

4.4. Capacitatea portantă a îmbinării Rezistența la cedarea lemnului (relația 3-25)

$$R_d = 1,5 \times \sqrt{2 \times M_{yd} \times f_{h2d} \times d} = 1,5 \times \sqrt{2 \times 64,6 \times 10^3 \times 12,66 \times 12} = 6640 \text{ N}$$

unde:

$$f_{h2k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 12) \times 380 = 27,42 \text{ N/mm}^2$$

Se vor introduce ρ_k în kg/m^3 , respectiv d în mm .

$$f_{h2d} = \frac{k_{mod} \times f_{h2k}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \times 27,42}{1,3} = 12,66 \text{ N/mm}^2$$

5. Verificarea eforturilor la SLU în stadiul inițial

5.1. Caracteristicile secțiunii compuse (relația 3-4)

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2) \\ &= (31000 \times 2,09 \times 10^7 + 0,080 \times 31000 \times 39125 \times 140,89^2) + 12000 \times 2,47 \\ &\quad \times 10^8 + 1 \times 12000 \times 47500 \times 24,11^2 = 5,88 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_{ef}}{K_u \times l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 31000 \times 39125 \times 117,5}{7680 \times 4000^2}} = 0,080$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$s_{ef} = 0,75 \times s_{min} + 0,25 \times s_{max} = 0,75 \times 90 + 0,25 \times 200 = 117,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2)} \\ &= \frac{0,080 \times 31000 \times 39125 \times (80 + 250)}{2 \times (0,080 \times 31000 \times 39125 + 1 \times 12000 \times 47500)} = 24,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{80 + 250}{2} - 24,11 = 140,89 \text{ mm}$$

5.2. Eforturile în placa din beton (relația 3-9 și relația 3-10)

$$\sigma_{c1d} = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times a_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,080 \times 31000 \times 140,89 \times 9,3 \times 10^6}{5,88 \times 10^{12}} = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m1d} = \frac{0,5 \times E_1 \times h_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 31000 \times 80 \times 9,3 \times 10^6}{5,88 \times 10^{12}} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

5.3. Verificarea eforturilor în placa din beton

- la partea superioară: $\sigma_{cd} = \sigma_{c1d} + \sigma_{m1d} = 0,55 + 1,96 = 2,51 \leq f_{cd} = 14,45 \text{ N/mm}^2$

- la partea inferioară: $\sigma_{td} = \sigma_{m1d} - \sigma_{c1d} = 1,96 - 0,55 = 1,40 \leq f_{td} = 1,47 \text{ N/mm}^2$

5.4. Verificarea eforturilor în grinda de lemn (relația 3-11 și 3-12)

$$\sigma_{t2d} = \frac{\gamma_2 \times E_2 \times a_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{1 \times 12000 \times 24,11 \times 9,3 \times 10^6}{5,88 \times 10^{12}} = 0,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m2d} = \frac{0,5 \times E_2 \times h_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 12000 \times 250 \times 9,3 \times 10^6}{5,88 \times 10^{12}} = 2,37 \text{ N/mm}^2$$

5.5. Verificarea eforturilor în grinda din lemn (relația 3-15)

- la partea inferioară: $\frac{\sigma_{t2d}}{f_{td}} + \frac{\sigma_{m2d}}{f_{md}} = \frac{0,46}{7,38} + \frac{2,37}{12,46} = 0,25 \leq 1$

5.6. Verificarea eforturilor tangențiale

$$h = \frac{h_2}{2} + a_2 = \frac{250}{2} + 24,11 = 149,11 \text{ mm}$$

$$\tau_{max} = \frac{0,5 \times E_2 \times b_2 \times h^2 \times V_{Ed}}{b_2 \times (EI)_{ef}} \leq f_{vd}$$

$$\tau_{max} = \frac{0,5 \times 12000 \times 190 \times 149,11^2 \times 9,3 \times 10^3}{190 \times 5,88 \times 10^{12}} = 0,2107 \leq 1,29 \text{ N/mm}^2$$

5.7. Verificarea eforturilor în elementele de conlucrare

$$F_{1,d} = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1 \times s_{min} \times V_{Ed}}{(EI)_{ef}} \leq \min(R_d)$$

$$F_{1,d} = \frac{0,080 \times 31000 \times 39125 \times 140,89 \times 90 \times 9,3 \times 10^3}{5,88 \times 10^{12}} = 1953,04 \leq 6643,31 \text{ N}$$

6. Verificarea planșului la SLU în stadiul final

Se vor lua în considerare deformațiile în timp, pentru toate materialele, astfel:

- Modulul de elasticitate transformat al grinzilor de lemn (relația 3-27):

$$E_{mean\ fin} = E_{msan} \times \left(\frac{\%G}{1 + \Psi \times k_{def}} + \frac{\%Q}{1 + k_{def}} \right) = 12000 \times \left(\frac{0,68}{1 + 0,50 \times 0,60} + \frac{0,32}{1 + 0,6} \right) \\ = 8144 \text{ N/mm}^2$$

- Modulul de alunecare al conlucrării (relația 2-5):

$$K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{mean\ fin} = 0,08 \times 12 \times 8144 = 7814 \text{ N/mm} \quad - \text{pentru SLS}$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} = \frac{2}{3} \times 7814 = 5212 \text{ N/mm} \quad - \text{pentru SLU}$$

- Modulul de elasticitate transformat al betonului (relația 3-26):

$$E_{cm\ fin} = E_{cm} \times \left(\frac{1}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \right) = 31000 \times \left(\frac{1}{1 + 3,25} \right) = 7294,1 \text{ N/mm}^2$$

6.1. Caracteristicile secțiunii compuse

Se vor utiliza formulele prezentate la punctul 5 introducând modulii de elasticitate transformați pentru lemn $E_{msan\ fin}$, beton $E_{cm\ fin}$ și modulul de alunecare transformat pentru conectori.

$$(EI)_{ef} = (E_{cm\ fin} \times I_1 + \gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times a_1^2) \\ + (E_{msan\ fin} \times I_2 + \gamma_2 \times E_{msan\ fin} \times A_2 \times a_2^2) \\ = (7294 \times 2,09 \times 10^7 + 0,201 \times 7294,1 \times 39125 \times 143,65^2) \\ + (8144 \times 2,47 \times 10^8 + 1 \times 8144 \times 47500 \times 21,35^2) = 3,53 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times s_{ef}}{K_u \times l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 7294,1 \times 39125 \times 117,5}{5212 \times 4000^2}} = 0,201$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 + \gamma_2 \times E_{msan\ fin} \times A_2)}$$

$$a_2 = \frac{0,201 \times 7294,1 \times 39125 \times (80 + 250)}{2 \times (0,201 \times 7294,1 \times 39125 + 1 \times 8144 \times 47500)} = 21,35 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{80 + 250}{2} - 21,35 = 143,65 \text{ mm}$$

6.2. Eforturile în placa din beton

$$\sigma_{c1d} = \frac{\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times a_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,201 \times 7294,1 \times 143,65 \times 9,3 \times 10^6}{3,53 \times 10^{12}} = 0,556 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m1d} = \frac{0,5 \times E_{cm\ fin} \times h_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 7294,1 \times 80 \times 9,3 \times 10^6}{3,53 \times 10^{12}} = 0,768 \text{ N/mm}^2$$

6.3. Verificarea eforturilor în placa din beton

- la partea superioară:

$$\sigma_{cd} = \sigma_{c1d} + \sigma_{m1d} = 0,556 + 0,768 = 1,324 \leq f_{cd} = 14,45 \text{ N/mm}^2$$

- la partea inferioară:

$$\sigma_{td} = \sigma_{m1d} - \sigma_{c1d} = 0,768 - 0,556 = 0,212 \leq f_{ctd} = 1,47 \text{ N/mm}^2$$

6.4. Eforturile în grinda de lemn

$$\sigma_{t2d} = \frac{\gamma_2 \times E_{mean \text{ fin}} \times a_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{1 \times 8144 \times 21,35 \times 9,3 \times 10^6}{3,53 \times 10^{12}} = 0,458 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m2d} = \frac{0,5 \times E_{mean \text{ fin}} \times h_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 8144 \times 250 \times 9,3 \times 10^6}{3,53 \times 10^{12}} = 2,679 \text{ N/mm}^2$$

6.5. Verificarea eforturilor în grinda din lemn

- la partea inferioară: $\frac{\sigma_{t2d}}{f_{td}} + \frac{\sigma_{m2d}}{f_{md}} = \frac{0,458}{7,38} + \frac{2,679}{12,46} = 0,277 \leq 1$

6.6. Verificarea eforturilor tangențiale

$$h = \frac{h_2}{2} - a_2 = \frac{250}{2} - 21,35 = 146,35 \text{ mm}$$

$$\tau_{max} = \frac{0,5 \times E_{mean \text{ fin}} \times b_2 \times h^2 \times V_{Ed}}{b_2 \times (EI)_{ef}} \leq f_{vd}$$

$$\tau_{max} = \frac{0,5 \times 8144 \times 190 \times 146,35^2 \times 9,3 \times 10^3}{190 \times 3,53 \times 10^{12}} = 0,229 \leq f_{vd} = 1,29$$

7. Verificarea săgeților în stadiul inițial

Se vor utiliza formulele prezentate la punctul 5 introducând modulii de elasticitate pentru lemn E_{mean} și beton E_{cm} și modulul de alunecare K_{ser} pentru conectori.

7.1. Caracteristicile secțiunii compuse

$$(EI)_{ef} = (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2)$$

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= (31000 \times 2,09 \times 10^7 + 0,116 \times 31000 \times 39125 \times 132,34^2) \\ &\quad + (12000 \times 2,47 \times 10^8 + 1 \times 12000 \times 47500 \times 32,66^2) \\ &= 6,69 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_{ef}}{K_{ser} \times l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 31000 \times 39125 \times 117,5}{11520 \times 4000^2}} = 0,116$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2)}$$

$$a_2 = \frac{0,116 \times 31000 \times 39125 \times (80 + 250)}{2 \times (0,116 \times 31000 \times 39125 + 1 \times 12000 \times 47500)} = 32,66 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{80 + 250}{2} - 32,66 = 132,34 \text{ mm}$$

7.2. Calculul săgeților

- săgeata din acțiunea permanentă

$$w_{inst G} = \frac{5 \times g_d \times l^4}{384 \times (EI)_{ef}} = \frac{5 \times 3145 \times 10^{-3} \times 4000^4}{384 \times 6,69 \times 10^{12}} = 1,57 \text{ mm}$$

- săgeata din acțiunea variabilă (utilă)

$$w_{inst Q} = \frac{5 \times q_d \times l^4}{384 \times (EI)_{ef}} = \frac{5 \times 1500 \times 10^{-3} \times 4000^4}{384 \times 6,69 \times 10^{12}} = 0,748 \text{ mm}$$

- săgeata finală instantanee

$$w_{inst} = w_{inst G} + w_{inst Q} \leq w_{inst,adm} = \frac{l}{300}$$

$$w_{inst} = 1,57 + 0,748 = 2,32 \text{ mm} \leq w_{inst,adm} = \frac{4000}{300} = 13,3 \text{ mm}$$

8. Verificarea săgeților la SLE în stadiul final

- a. Acțiuni permanente: se vor lua în considerare deformațiile în timp, pentru toate materialele, astfel:

- Modul de elasticitate transformat al grinzilor de lemn:

$$E_{mean fin} = \frac{E_{msan}}{1 + \Psi \times k_{def}} = \frac{12000}{1 + 0,5 \times 0,6} = 9230 \text{ N/mm}^2$$

- Modulul de alunecare al conlucrării:

$$K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{mean,fin} = 0,08 \times 12 \times 9230 = 8860 \text{ N/mm}^2$$

- Modulul de elasticitate transformat al betonului:

$$E_{cm fin} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,0} = 10333 \text{ N/mm}^2$$

8.1. Caracteristicile secțiunii compuse

$$(EI)_{ef} = (E_{cm fin} \times I_1 + \gamma_1 \times E_{cm fin} \times A_1 \times a_1^2)$$

$$+ (E_{msan fin} \times I_2 + \gamma_2 \times E_{msan fin} \times A_2 \times a_2^2) =$$

$$(EI)_{ef} = (10333 \times 2,09 \times 10^7 + 0,232 \times 10333 \times 39125 \times 135,89^2)$$

$$+ (9230 \times 2,47 \times 10^8 + 1 \times 9230 \times 47500 \times 29,11^2) = 4,61 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_{cm fin} \times A_1 \times s_{ef}}{K_{ser} \times l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 10333 \times 39125 \times 117,5}{8860 \times 4000^2}} = 0,232$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 + \gamma_2 \times E_{mean\ fin} \times A_2)} =$$

$$a_2 = \frac{0,232 \times 10333 \times 39125 \times (80 + 250)}{2 \times (0,232 \times 10333 \times 39125 + 1 \times 9230 \times 47500)} = 29,11 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{80 + 250}{2} - 29,11 = 135,89 \text{ mm}$$

8.2. Calculul săgeții:

- săgeata din acțiunea permanentă

$$w_{fin\ G} = \frac{5 \times g_d \times l^4}{384 \times (EI)_{sf}} = \frac{5 \times 3145 \times 10^{-3} \times 4000^4}{384 \times 4,61 \times 10^{12}} = 2,30 \text{ mm}$$

- b. Acțiunea variabilă: se vor lua în considerare deformațiile în timp, pentru toate materialele, astfel:

- Modul de elasticitate transformat al grinzilor de lemn:

$$E_{mean\ fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def,g}} = \frac{12000}{1 + 0,6} = 7500 \text{ N/mm}^2$$

- Modulul de alunecare al conlucrării:

$$K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{mean\ fin} = 0,08 \times 12 \times 7500 = 6000 \text{ N/mm}$$

- Modulul de elasticitate transformat al betonului:

$$E_{cm\ fin} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 1,25} = 13777 \text{ N/mm}^2$$

8.3. Caracteristicile secțiunii compuse

$$(EI)_{sf} = (E_{cm\ fin} \times I_1 + \gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times a_1^2) + (E_{mean\ fin} \times I_2 + \gamma_2 \times E_{mean\ fin} \times A_2 \times a_2^2)$$

$$(EI)_{sf} = (13777 \times 2,09 \times 10^7 + 0,1557 \times 13777 \times 39125 \times 133,53^2) + (7500 \times 2,47 \times 10^8 + 1 \times 7500 \times 47500 \times 31,47^2) = 3,99 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times s_{sf}}{K_{ser} \times l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 13777 \times 39125 \times 117,5}{6000 \times 4000^2}} = 0,1557$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 + \gamma_2 \times E_{mean\ fin} \times A_2)}$$

$$a_2 = \frac{0,1557 \times 13777 \times 39125 \times (80 + 250)}{2 \times (0,1557 \times 13777 \times 39125 + 1 \times 7500 \times 47500)} = 31,47 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{80 + 250}{2} - 31,47 = 133,53 \text{ mm}$$

8.4. Calculul săgeților

- săgeata din acțiunea variabilă

$$w_{fin Q} = \frac{5 \times q_d \times l^4}{384 \times (EI)_{ef}} = \frac{5 \times 1500 \times 10^{-3} \times 4000^4}{384 \times 3,99 \times 10^{12}} = 1,25 \text{ mm}$$

8.5. Verificarea săgeții finale

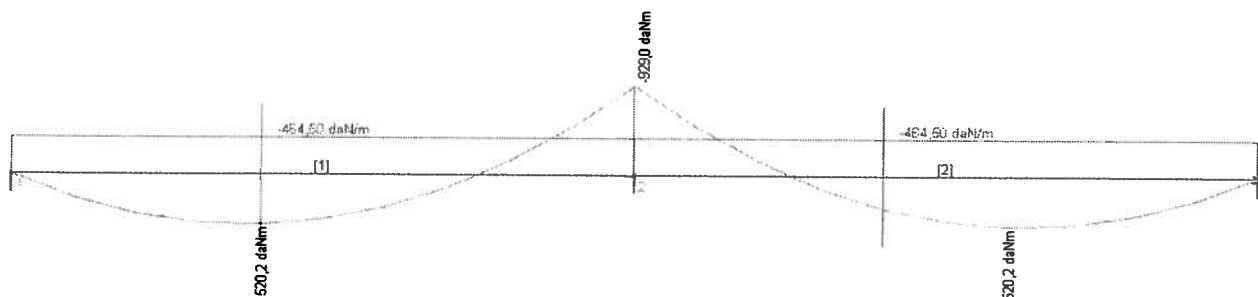
$$w_{fin} = w_{fin G} + w_{fin Q} \leq w_{fin,adm} = \frac{l}{200}$$

$$w_{fin} = 2,3 + 1,25 = 3,5 \text{ mm} \leq w_{fin,adm} = \frac{4000}{200} = 20 \text{ mm}$$

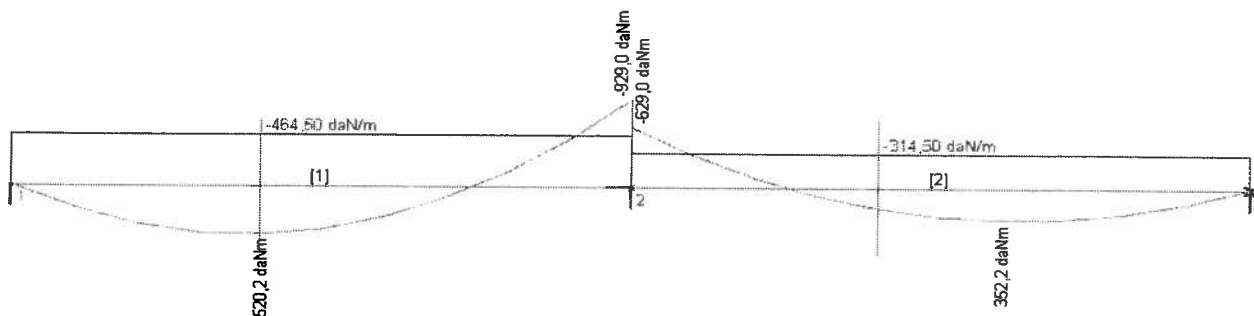
9. Determinarea armăturii necesare pe reazemul intermediar

Pentru calcul, planșeul se modelează ca o grindă continuă, cu două deschideri. Valorile momentelor încovoietoare pentru 2 ipoteze de încărcare s-au determinat prin calcul automat.

Ipooteza 1: Incărcarea permanentă+utilă



Ipooteza 2: Incărcare permanentă+utilă în șah



Aria de armătură necesară pentru preluarea momentului negativ se determină ca pentru o secțiune dreptunghiulară de beton, cu lățimea $b = 100 \text{ cm}$ și înălțimea $h = 8 \text{ cm}$.

$$h_0 = h - a_s = 80 - 10 - 4 = 66 \text{ mm}$$

$$m = \frac{M}{b \times h_0^2 \times f_{cd}} = \frac{929 \times 10^4}{1000 \times 66^2 \times 14,45} = 0,147$$

⇒ procentul de armare: $p = 0,96 \%$

$$A_s = p \times b \times h_0 / 100 = 0,96 \times 1000 \times 66 / 100 = 633 \text{ mm}^2$$

Conform pct. 4.2(6) din prezentul ghid:

$$A_{s \text{ min}} = 0,4\% \times A_c = 0,4 \times 1000 \times 80 / 100 = 320 \text{ mm}^2$$

⇒ Aria necesară pentru preluarea momentului negativ: $A_s = 633 \text{ mm}^2$, rezultă $\Phi 8/8 \text{ cm}$.

10. Verificarea planșeului compus ca diafragmă orizontală

Determinarea forței seismice de nivel se va realiza conform P 100-1. Starea de eforturi se va determina conform cap. 3.4.8 din prezentul ghid sau prin calcul automat.

Evaluarea forței seismice:

Date generale

Clădire de locuit P+1E

Înălțimea de nivel $h_{et} = 2,90$ m

Structura din zidărie confinată (ZC), identică la parter și etaj I

Zona seismică $a_g = 0,16g$

Materiale

- elemente pentru zidărie: cărămida plină de argilă arsă, $f_b = 7,5$ N/mm²;

- mortar M5;

- rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei $f_k = 2,30$ N/mm² (CR 6, Tabel 4.2a, fig.4.1b);

- rezistența caracteristică la forfecare cu efort unitar de compresiune nul a zidăriei $f_{vk0} = 0,20$ N/mm² (CR 6, Tabel 4.3);

- modulul de elasticitate longitudinal al zidăriei $E_z = 1000 f^k = 2,300$ N/mm² (CR 6, Tabel 4.9);

- modulul de elasticitate transversal al zidăriei $G_z = 0,4E_z = 0,4 \times 2300 = 920$ N/mm² (CR 6, relația 4.9).

Determinarea încărcărilor verticale

Aria totală a nivelului : $9,05 \times 9,05 = 81,91$ m²

Ariile nete ale încăperilor : $2 \times (4 \times 5) + 3 \times 8,8 = 66,4$ m²

Ariile ocupate de pereți : $4 \times (0,38 \times 9,05) + 0,3 \times 8,8 + 0,3 \times 5,0 = 17,896$ m²

Volum zidărie pe nivel: $17,896 \times 2,90 = 51,90$ m³

Greutate zidărie:

greutatea volumetrică a zidăriei: $\gamma_{zid} = 1,95$ tone/m³ (inclusiv tencuiala)

greutate totală zidărie: $G_{zid/nivel} = 1,95 \times 51,90 = 101,2$ tone = 1012 kN

Greutate planșeu:

placă din beton armat 8 cm 200 daN/m²

pardoseală 130 daN/m²

pereți despartitori 100 daN/m²

Încărcare de exploatare

q_u 200 daN/m²

ψ_{2i} 0,40

$\psi_{2i} \times q_u = 200 \times 0,40 =$ 80 daN/m²

Încărcarea totală pe 1 m² de planșeu

510 daN/m²

Greutatea totală planșeu/nivel: $66,4 \times 510 = 33864$ daN = 33,86 tone

Greutate totală clădire/nivel: $G_{nivel} = 101,2 \times + 33,86 = 135,06$ tone = 1350,6 kN

$$q_{echiv} = 135,06/81,91 = 1,64 \text{ tone/ m}^2 = 16,4 \text{ kN/m}^2$$

Greutate totală clădire: $G = 2 \times 135,06 = 270,12 \text{ tone} = 2701,2 \text{ kN}$

Forța seismică se va calcula cu următorii coeficienți:

factor de importanță	$\gamma_I = 1,0$
factor de comportare	$q = 2,5 \times 1,25 = 3,125$
factor de reducere	$\eta = 0,88$
valoarea spectrului elastic de proiectare	$S_e = 0,16g \times 3,0$

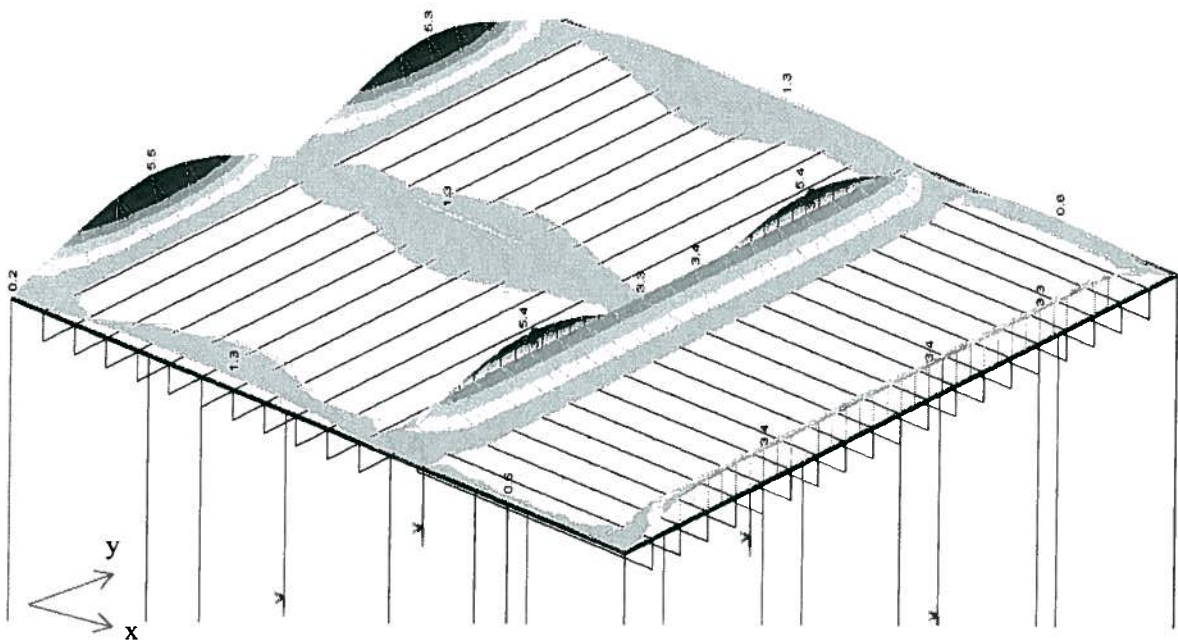
Eforturile secționale în planșeu s-au determinat prin calcul automat.

Rezultate obținute:

Tensiune normală în direcția x:

$$\sigma_x = 5,5 \frac{daN}{cm^2} = 0,55 \text{ MPa}$$

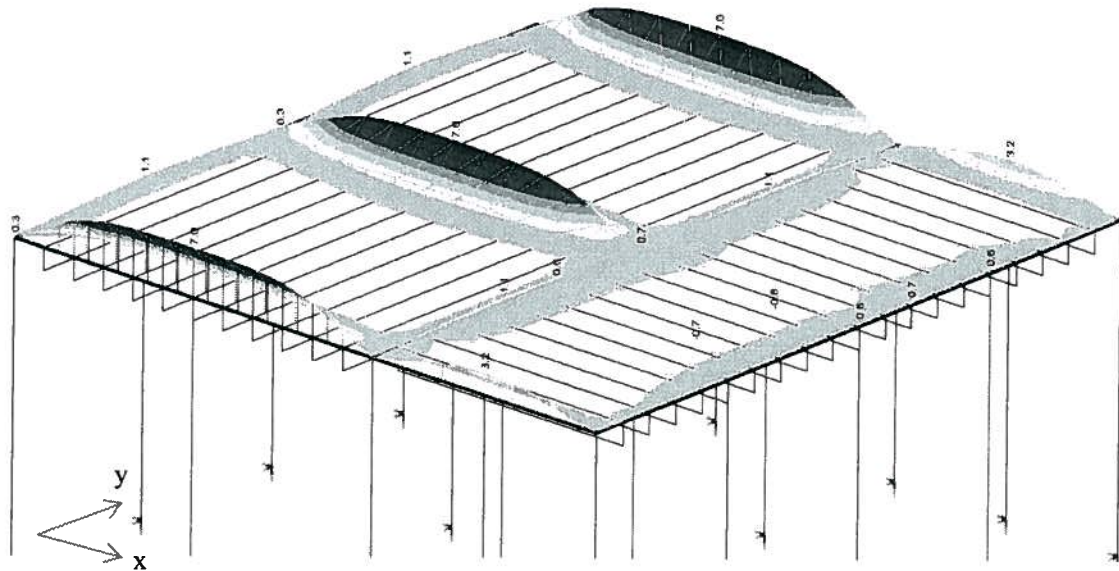
$$\sigma_x < f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$



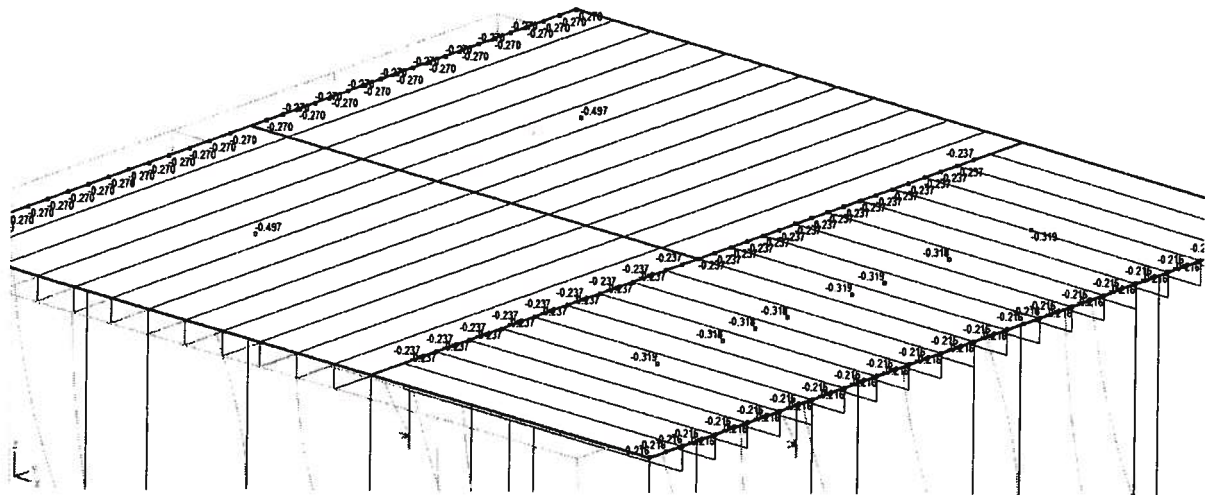
Tensiune normală în direcția y:

$$\sigma_y = 7,0 \frac{daN}{cm^2} = 0,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y < f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$



Deplasarea pe direcția z : $d_r = 0.497 \text{ mm}$



11. Alcătuirea și armarea planșului compus lemn-beton

Grinzile din lemn masiv de rășinoase se vor dispune la o distanță $b = 50 \text{ cm}$ (interax).

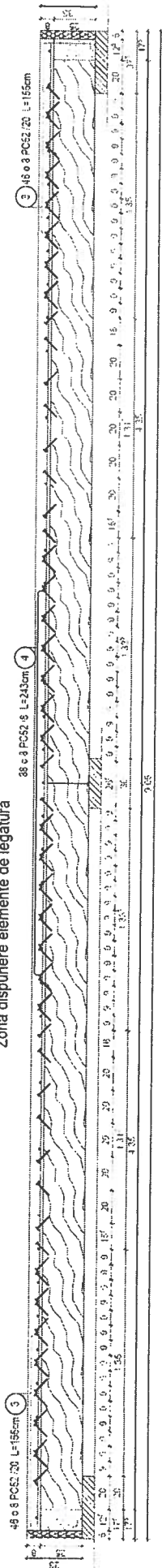
Conectorii se vor dispune pe un rând, înclinați la 45° , alternant în lungul secțiunii longitudinale. Adâncimea de pătrundere în lemn a extremității înfiletate a șurubului este de minim 60 mm .

Deoarece condiția de verificare a eforturilor, la partea inferioară a plăcii din beton, este îndeplinită, se va adopta armarea constructivă prevăzută la pct.-ul 4.2.(4) – plasă legată cu sârmă $\Phi 8/200 \times \Phi 8/200$, dispusă la 10 mm de partea inferioară a plăcii din beton.

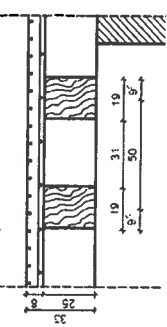
Plasa de armătură de la partea inferioară se va ancora în centuri din beton armat pe o lungime de 32 cm .

Pe reazemul intermediar, la partea superioară a plăcii de beton, se va dispune o plasă formată din călăreți $\Phi 8/8 \text{ cm}$, dispuși în lungul grinzilor de lemn, legați cu armătură de repartiție $\Phi 6/20 \text{ cm}$, perpendicular pe aceștia.

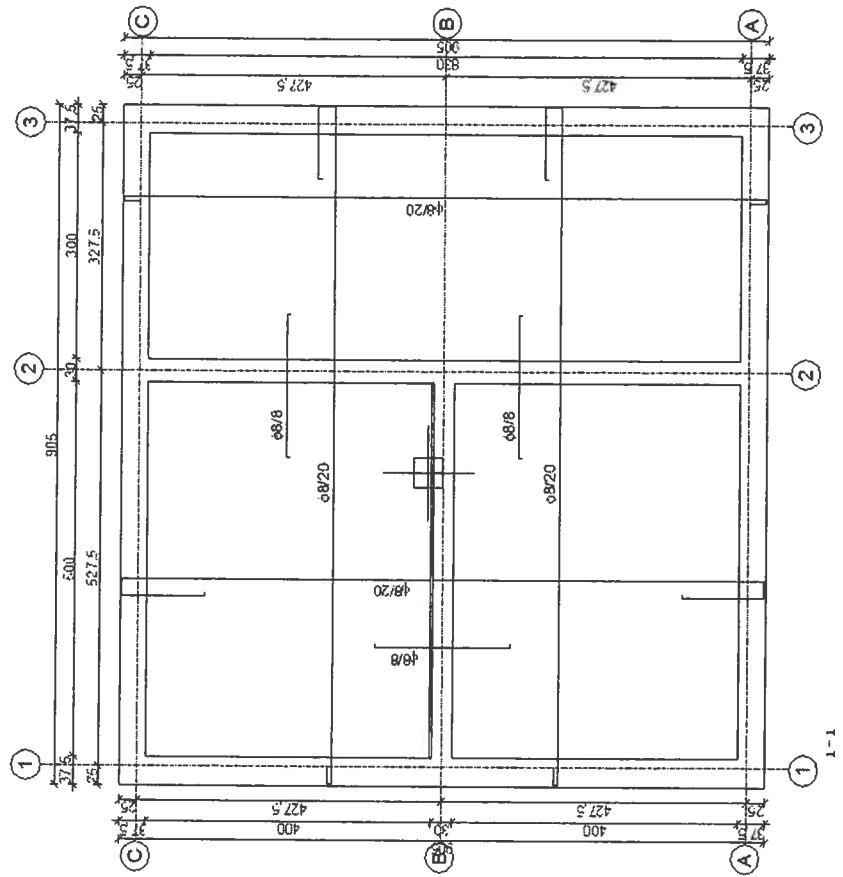
Secțiune longitudinală prin grinda de lemn
Zona dispunere elemente de legătură



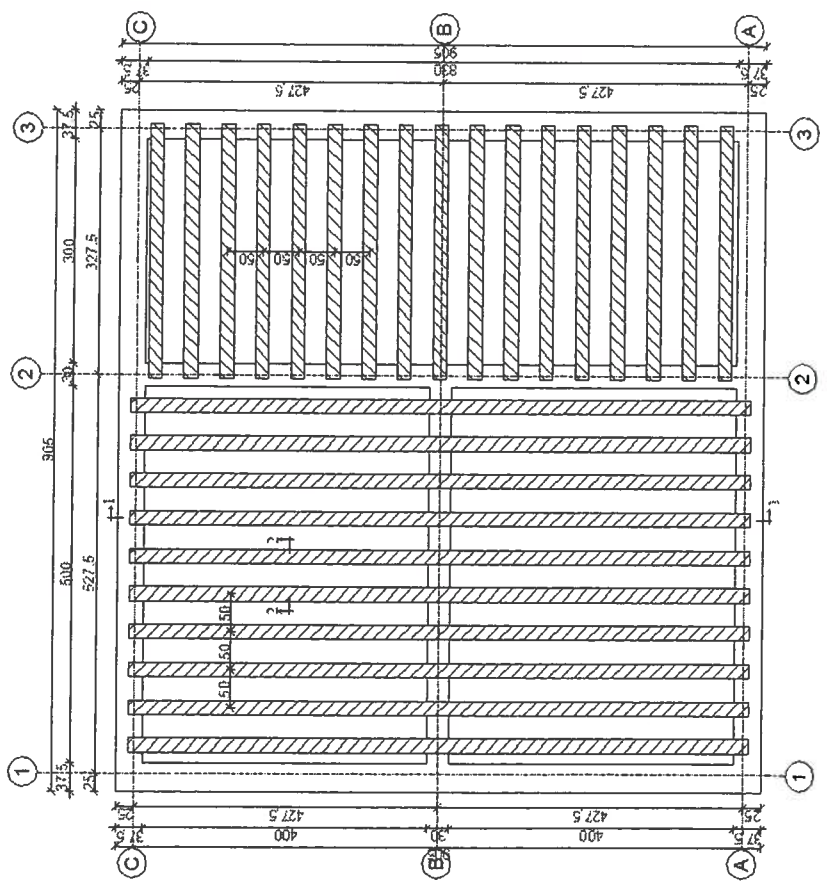
Secțiune transversală 2-2



Plan armare planșeu compus



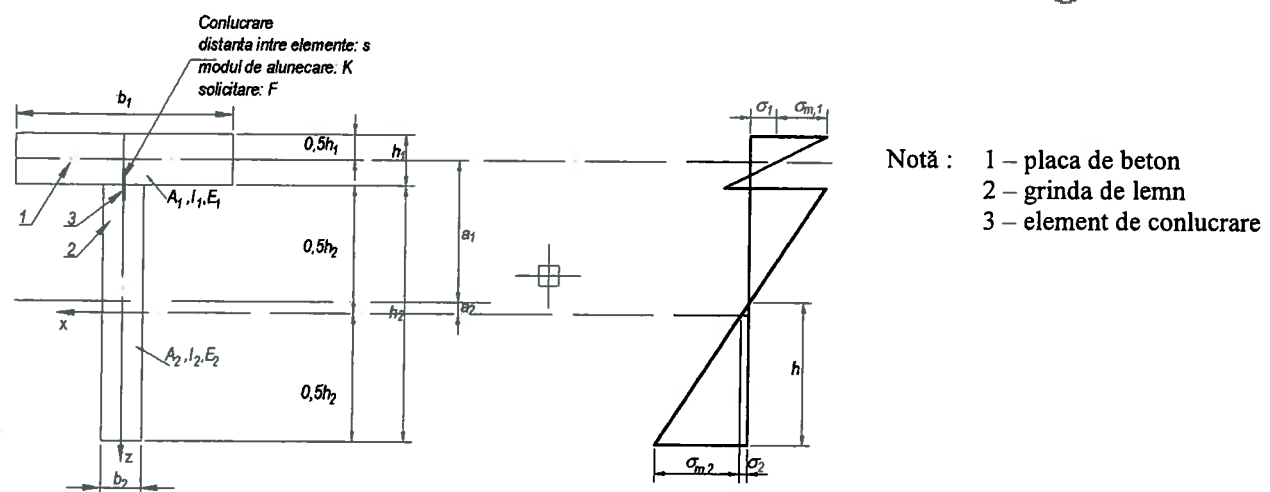
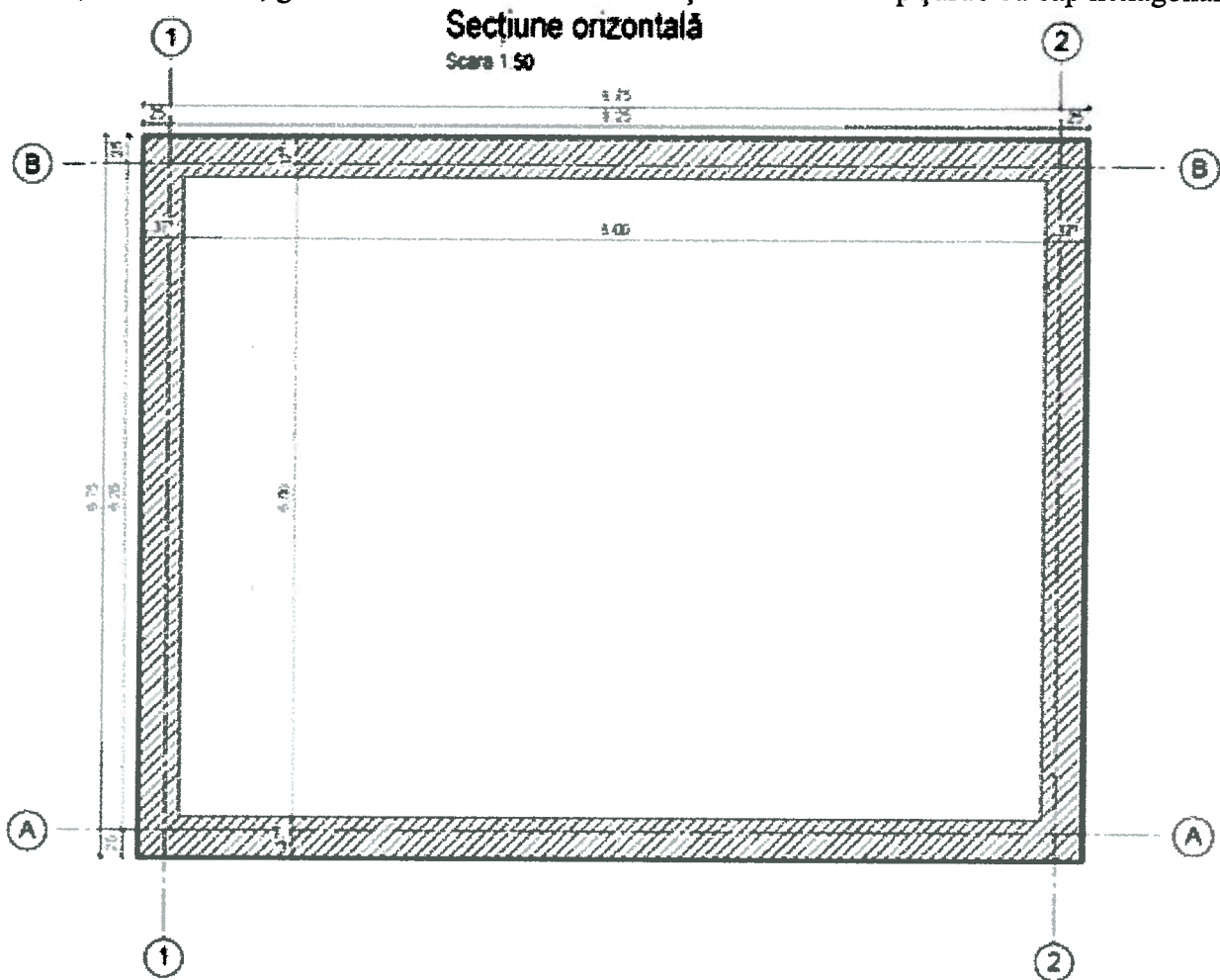
Plan dispunere grinzi de lemn



45

Exemplul 2: Planșeu compus lemn-beton cu o deschidere

Se prezintă proiectarea unui planșeu intermediar al unui garaj, cu dimensiunile în plan 8,75 x 6,75 metri și înălțimea nivelului $h_{et} = 2,90\text{m}$. Structura clădirii este alcătuită din pereți portanți din zidărie confinată (ZC) cu grosimea de 37,5 cm. Planșeul se va realiza în soluție compusă lemn – beton, clasa C25/30, grinzi din lemn lamelat încleiat și conectori de tip șurub cu cap hexagonal.



Secțiunea compusă lemn – beton

Grinzile din lemn se vor dispune pe direcția scurtă a ochiului de placă. Distanța dintre grinzi (interax) se alege: $b = 70\text{ cm}$

PROIECTAREA PLANȘEI COMPUS

1. Caracteristicile materialelor componente alese

1.1. Lemn – grinzi: grindă din lemn lamelat încleiat omogen GL 28h; clasa 2 de exploatare.

Valori caracteristice – conform SR EN 1995-1-1

- încovoiere: $f_{m,g,k} = 28 \text{ N/mm}^2$
- întindere în lungul fibrei: $f_{t,0,g,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$
- forfecare: $f_{v,g,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$
- modul de elasticitate: $E_{mean}(E_2) = 12600 \text{ N/mm}^2$
- densitate: $\rho_{g,k} = 410 \text{ kg/m}^3$

Coefficienți parțiali de siguranță:

- coeficient ce ține seama de efectul duratei încărcării și umiditate, conform SR EN 1995-1-1 Tabel 3.1. nota (2)

$$k_{mod} = 0,80$$

- coeficient parțial de siguranță pentru material și rezistențe, conform SR EN 1995-1-1 Tabel 2.3.

$$\gamma_M = 1,25$$

- coeficient care ține seama de deformații în timp și de durata încărcării, conform NP 005

$$k_{def,perm} = 0,60$$

$$k_{def,medis} = 0,60$$

Valori de calcul:

- încovoiere: $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \times f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \times 28}{1,25} = 17,92 \text{ N/mm}^2$
- întindere în lungul fibrei: $f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \times f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \times 19,5}{1,25} = 12,48 \text{ N/mm}^2$
- forfecare: $f_{v,d} = \frac{k_{mod} \times f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \times 3,2}{1,25} = 2,05 \text{ N/mm}^2$

1.2. Beton – placă : clasa C 25/30

Valori caracteristice : conform SR EN 1992-1-1

- pe cub: $f_{c,k,cube} = 30 \text{ N/mm}^2$

- pe cilindru: $f_{c,k} = 25 \text{ N/mm}^2$
- medie la întinderea axială: $f_{c,t} = 2,6 \text{ N/mm}^2$
- modul de elasticitate: $E_{c,m}(E_1) = 31000 \text{ N/mm}^2$

Coefficienți parțiali de siguranță

- coeficient pentru SLU, conform SR EN 1992-1-1, Tabel 2.1.

$$\gamma_c = \begin{cases} 1,5 - \text{permanentă, tranzitorie} \\ 1,25 - \text{accidentală} \end{cases}$$
- conform SR EN 1992 se aleg coeficienții care iau în considerare efectul de lungă durată și efectele defavorabile rezultate din modul de aplicare al încărcărilor, astfel:
 $\alpha_{cc}: (0,8 \dots 1) \text{ din SR EN 1992-1-1}; \alpha_{cc} = 0,85$
 $\alpha_{ct}: \text{recomandat } 1; \alpha_{ct} = 0,85$
 $k_t = 0,85$

Valori de calcul

- pe cub: $f_{c,d} = \frac{\alpha_{cc} \times f_{c,k,cubs} \times k_t}{\gamma_c} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{1,5} = 14,45 \text{ N/mm}^2$
- întindere axială: $f_{c,t,md} = \frac{\alpha_{ct} \times f_{ct}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \times 2,60}{1,5} = 1,47 \text{ N/mm}^2$

1.3. Conector

Tipul conectorilor: *Șurub*

Diametrul conectorului: $d=12 \text{ mm}$

Valori caracteristice :

- întindere : $f_{u,k} = 500 \text{ N/mm}^2$
- modul de alunecare:
 $K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{mean} = 0,08 \times 12 \times 12600 = 12096 - \text{pentru SLS}$
 $K_u = \frac{2}{3} K_{ser} = \frac{2}{3} \times 12096 = 8064 - \text{pentru SLU}$

Coefficienți parțiali de siguranță

- coeficient pentru conlucrare (îmbinare), conform SR EN 1995-1-1 Tabel 2.3.
 $\gamma_M = 1,3$
- coeficient care ține seama de deformații în timp și de durata încărcării
 $k_{def,perm} = 0,60$
 $k_{def,mdis} = 0,60$

2. Caracteristicile geometrice ale elementelor componente alese

2.1. Grinda de lemn

- lățime: $b_2 = 120 \text{ mm}$
- înălțime: $h_2 = 500 \text{ mm}$

- moment de inerție: $I_2 = \frac{b_2 \times h_2^3}{12} = \frac{120 \times 500^3}{12} = 1,25 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- aria: $A_2 = b_2 \times h_2 = 120 \times 500 = 60000 \text{ mm}^2$
- deschidere: $L = 6000 \text{ mm}$
- distanța dintre grinzi (interax): $b = 700 \text{ mm}$

2.2. Placa de beton

- grosime: $h_1 = 90 \text{ mm}$
- lățimea de conlucrare calculată pentru încărcări uniform distribuite conform relației 3 – 3:

$$b_{ef} = \left[1 - 1,4 \times \left(\frac{b}{L} \right)^2 \right] \times b = \left[1 - 1,4 \times \left(\frac{700}{6000} \right)^2 \right] \times 700 = 687 \text{ mm}$$

- moment de inerție: $I_1 = \frac{b_{ef} \times h_1^3}{12} = \frac{687 \times 90^3}{12} = 4,17 \times 10^7 \text{ mm}^4$
- aria: $A_1 = b_{ef} \times h_1 = 687 \times 90 = 61800 \text{ mm}^2$

2.3. Verificarea grosimii de placă:

$$\frac{E_1 \times I_1}{E_2 \times I_2} = \frac{31000 \times 4,17 \times 10^7}{12600 \times 1,25 \times 10^9} = 0,08 \leq 1$$

3. Încărcări

3.1. Valori caracteristice, coeficienți parțiali de siguranță și valori de calcul

Tip de încărcare		Caracteristici	Coeficient parțial de siguranță	Valori de calcul
Permanentă	Greutate proprie placă din beton armat	2250 N/m^2	1,35	$3037,5 \text{ N/m}^2$
	Pardoseală	1300 N/m^2	1,35	1755 N/m^2
	Pereți despărțitori ușori	1000 N/m^2	1,35	1350 N/m^2
	Greutatea proprie a grinzilor din lemn	442 N/m	1,35	597 N/m
Utilă		2000 N/m^2	1,50	3000 N/m^2

3.2. Încărcări în lungul grinzilor de lemn

- Încărcarea permanentă:
 $g_d = (3037 + 1755 + 1350) \times 0,700 + 597 = 4816 \text{ N/m}$
- Încărcarea utilă
 $q_d = 3000 \times 0,700 = 2100 \text{ N/m}$

3.3. Eforturi

- Moment încovoietor: $M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \times L^2}{8} = \frac{(4,816 + 2,10) \times 6000^2}{8} = 30,9 \times 10^6 \text{ Nm}$
- Forță tăietoare: $V_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \times L}{2} = \frac{(4,816 + 2,10) \times 6000}{2} = 20,6 \times 10^3 \text{ N}$

4. Verificarea îmbinărilor

4.1. Momentul plastic al îmbinării (relația 3-22)

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{0,583 \times f_{u,k} \times d^3}{6 \times \gamma_M} = \frac{0,583 \times 500 \times 12^3}{6 \times 1,3} = 6,46 \times 10^4 \text{ Nmm}$$

4.2. Capacitatea portantă a îmbinării. Rezistența conlucrării la cedarea betonului (relația 3-22)

$$R_d = 0,23 \times d^2 \times \sqrt{\frac{f_{c,k} \times E_{cm}}{\gamma_c}} = 0,23 \times 12^2 \times \sqrt{\frac{25 \times 31000}{1,25}} = 26078,71 \text{ N}$$

4.3. Capacitatea portantă a îmbinării. Rezistența conlucrării la rupere la forfecare (relația 3-24)

$$R_d = 0,8 \times \frac{f_{u,k} \times \pi \times d^2}{4 \times \gamma_c} = 0,8 \times \frac{500 \times 3,14 \times 12^2}{4 \times 1,25} = 36172,8 \text{ N}$$

4.4. Capacitatea portantă a îmbinării. Rezistența la cedarea lemnului (relația 3.25)

$$R_d = 1,5 \times \sqrt{2 \times M_{y,d} \times f_{h,2,d} \times d} = 1,5 \times \sqrt{2 \times 6,46 \times 10^4 \times 18,93 \times 12} = 8,13 \times 10^3 \text{ N}$$

unde:

$$f_{h,2,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 12) \times 410 = 29,58 \text{ N/mm}^2$$

Se vor introduce : ρ_k în kg/m^3 respectiv d în mm

$$f_{h,2,d} = \frac{k_{mod} \times f_{h,2,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \times 29,58}{1,25} = 18,93 \text{ N/mm}^2$$

5. Verificarea eforturilor la SLU în stadiul inițial

5.1. Caracteristicile secțiunii compuse (relația 3-4)

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2) \\ &= (31000 \times 4,17 \times 10^7 + 0,09 \times 31000 \times 61800 \times 240,44^2) + 12600 \times 1,25 \\ &\quad \times 10^9 + 1 \times 12600 \times 60000 \times 54,56^2 = 2,92 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_{ef}}{K_u \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 31000 \times 61800 \times 156,25}{8064 \times 6000^2}} = 0,09$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$s_{ef} = 0,75 \times s_{min} + 0,25 \times s_{max} = 0,75 \times 125 + 0,25 \times 250 = 156,25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2)} \\ &= \frac{0,09 \times 31000 \times 61800 \times (90 + 500)}{2 \times (0,09 \times 31000 \times 61800 + 1 \times 12600 \times 60000)} = 54,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{90 + 500}{2} - 54,56 = 240,44 \text{ mm}$$

5.2. Eforturi în placa din beton (relația 3-9 și 3-10)

$$\sigma_{c,1,d} = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times a_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,09 \times 31000 \times 240,44 \times 30,9 \times 10^6}{2,92 \times 10^{13}} = 0,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{0,5 \times E_1 \times h_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 31000 \times 90 \times 30,9 \times 10^6}{2,92 \times 10^{13}} = 1,48 \text{ N/mm}^2$$

5.3. Verificarea eforturilor în placa din beton

- la partea superioară: $\sigma_{c,d} = \sigma_{c,1,d} + \sigma_{m,1,d} = 0,71 + 1,48 = 2,18 \leq f_{c,d} = 14,45$

- la partea inferioară: $\sigma_{t,d} = \sigma_{m,1,d} - \sigma_{c,1,d} = 1,48 - 0,71 = 0,77 \leq f_{c,t,m,d} = 1,47$

5.4. Eforturi în grinda de lemn (relația 3-11 și relația 3-12)

$$\sigma_{t,2,d} = \frac{\gamma_2 \times E_2 \times a_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{1 \times 12600 \times 54,56 \times 30,9 \times 10^6}{2,92 \times 10^{13}} = 0,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{0,5 \times E_2 \times h_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 12600 \times 500 \times 30,9 \times 10^6}{2,92 \times 10^{13}} = 3,34 \text{ N/mm}^2$$

5.5. Verificarea eforturilor în grinda din lemn (relația 3-15)

- la partea inferioară: $\frac{\sigma_{t,2,d}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,73}{12,48} + \frac{3,34}{17,92} = 0,395 \leq 1$

5.6. Verificarea eforturilor tangențiale

$$h = \frac{h_2}{2} + a_2 = \frac{500}{2} + 54,56 = 304,56 \text{ mm}$$

$$\tau_{max} = \frac{0,5 \times E_2 \times b_2 \times h \times V_{Ed}}{b_2 \times (EI)_{ef}} \leq f_{v,g,d}$$

$$\tau_{max} = \frac{0,5 \times 12600 \times 120 \times 304,56 \times 20,6 \times 10^3}{120 \times 2,92 \times 10^{13}} = 0,0014 \leq 2,05 \text{ N/mm}^2$$

5.7. Verificarea eforturilor în elementele de conlucrare

$$F_{1,d} = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1 \times s_{min} \times V_{Ed}}{(EI)_{ef}} \leq \min(R_d)$$

$$F_{1,d} = \frac{0,09 \times 31000 \times 61800 \times 240,44 \times 125 \times 20,6 \times 10^3}{2,92 \times 10^{13}} = 3641,64 \leq 8125,89 \text{ N}$$

6. Verificarea planșului SLU în stadiul final

Se vor lua în considerare deformațiile în timp, pentru toate materialele, astfel:

- Modul de elasticitate transformat al grinzilor de lemn (relația 3-27):

$$E_{msan\ fin} = E_{msan} \times \left(\frac{\%G}{1 + \Psi \times k_{def}} + \frac{\%Q}{1 + k_{def}} \right) = 12600 \times \left(\frac{0,70}{1 + 0,60} + \frac{0,30}{1 + 0,6} \right) \\ = 7875 \text{ N/mm}^2$$

- Modulul de alunecare al conlucrării (relația 2-5):

$$K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{msan\ fin} = 0,08 \times 12 \times 7875 = 7560$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} = \frac{2}{3} \times 7560 = 5040 - \text{pentru SLU}$$

- Modulul de elasticitate transformat al betonului (relația 3-26):

$$E_{cm\,fin} = E_{cm} \times \left(\frac{1}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \right) = 31000 \times \left(\frac{0,70}{1 + 3,25} \right) = 10634 \, N/mm^2$$

6.1. Caracteristicile secțiunii compuse

Se vor utiliza formulele prezentate la punctul 5 introducând modulii de elasticitate pentru lemn E_{mean} și beton E_{cm} și modulul de alunecare K_{ser} pentru conectori.

$$\begin{aligned} (EI)_{sf} &= (E_{1,t} \times I_1 + \gamma_1 \times E_{1,t} \times A_1 \times a_1^2) + (E_{2,t} \times I_2 + \gamma_2 \times E_{2,t} \times A_2 \times a_2^2) \\ &= (10634 \times 4,17 \times 10^7 + 0,152 \times 10634 \times 61800 \times 243,52^2) \\ &\quad + (7875 \times 1,25 \times 10^9 + 1 \times 7875 \times 60000 \times 51,48^2) = 1,75 \times 10^{13} \, Nmm^2 \end{aligned}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_{1,t} \times A_1 \times s_{sf}}{K_u \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 10634 \times 61800 \times 156,25}{5040 \times 6000^2}} = 0,152$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_{1,t} \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_{1,t} \times A_1 + \gamma_2 \times E_{2,t} \times A_2)}$$

$$a_2 = \frac{0,152 \times 10634 \times 61800 \times (90 + 500)}{2 \times (0,152 \times 10634 \times 61800 + 1 \times 7875 \times 60000)} = 51,48 \, mm$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{90 + 500}{2} - 51,48 = 243,52 \, mm$$

6.2. Eforturile în placa din beton

$$\sigma_{c,1,d} = \frac{\gamma_1 \times E_{cm\,fin} \times a_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{sf}} = \frac{0,152 \times 10634 \times 243,52 \times 30,9 \times 10^6}{1,75 \times 10^{13}} = 0,697 \, N/mm^2$$

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{0,5 \times E_{cm\,fin} \times h_1 \times M_{Ed}}{(EI)_{sf}} = \frac{0,5 \times 10634 \times 90 \times 30,9 \times 10^6}{1,75 \times 10^{13}} = 0,848 \, N/mm^2$$

6.3. Verificarea eforturilor în placa din beton

- la partea superioară: $\sigma_{c,d} = \sigma_{c,1,d} + \sigma_{m,1,d} = 0,697 + 0,848 = 1,546 \leq f_{c,d} = 14,45$

- la partea inferioară: $\sigma_{t,d} = \sigma_{m,1,d} - \sigma_{c,1,d} = 0,848 - 0,697 = 0,151 \leq f_{c,t,m,d} = 1,47$

6.4. Eforturile în grinda de lemn

$$\sigma_{t,2,d} = \frac{\gamma_2 \times E_{mean\,fin} \times a_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{sf}} = \frac{1 \times 7875 \times 51,48 \times 30,9 \times 10^6}{1,75 \times 10^{13}} = 0,718 \, N/mm^2$$

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{0,5 \times E_{mean\,fin} \times h_2 \times M_{Ed}}{(EI)_{sf}} = \frac{0,5 \times 7875 \times 500 \times 30,9 \times 10^6}{1,75 \times 10^{13}} = 3,489 \, N/mm^2$$

6.5. Verificarea eforturilor în grinda din lemn

- la partea inferioară: $\frac{\sigma_{t,2,d}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,718}{12,48} + \frac{3,489}{17,92} = 0,252 \leq 1$

7. Verificarea săgeților în stadiul inițial

Se vor utiliza formulele prezentate la punctul 5 introducând modulii de elasticitate pentru lemn E_{mean} și beton E_{cm} și modulul de alunecare K_{ser} pentru conectori.

7.1. Caracteristicile secțiunii compuse

$$(EI)_{ef} = (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2)$$

$$(EI)_{ef} = (31000 \times 4,17 \times 10^7 + 0,129 \times 31000 \times 61800 \times 222,50^2) + (12600 \times 1,25 \times 10^6 + 1 \times 12600 \times 60000 \times 72,50^2) = 3,32 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_{ef}}{K_{ser} \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 31000 \times 61800 \times 156,25}{12096 \times 6000^2}} = 0,129$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2)}$$

$$a_2 = \frac{0,129 \times 31000 \times 61800 \times (90 + 500)}{2 \times (0,129 \times 31000 \times 61800 + 1 \times 12600 \times 60000)} = 72,50 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{90 + 500}{2} - 72,50 = 222,50 \text{ mm}$$

7.2. Calculul săgeților

- săgeata din acțiunea permanentă

$$w_{inst,g} = \frac{5 \times g_d \times L^4}{384 \times (EI)_{ef}} = \frac{5 \times 4816 \times 10^{-3} \times 6000^4}{384 \times 3,32 \times 10^{13}} = 2,45 \text{ mm}$$

- săgeata din acțiunea variabilă (utilă)

$$w_{inst,q} = \frac{5 \times q_d \times L^4}{384 \times (EI)_{ef}} = \frac{5 \times 2061 \times 10^{-3} \times 6000^4}{384 \times 3,32 \times 10^{13}} = 1,05 \text{ mm}$$

- săgeata finală, instantanee

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} \leq w_{inst,adm} = \frac{L}{300}$$

$$w_{inst} = 2,45 + 1,05 = 3,49 \leq w_{inst,adm} = \frac{6000}{300} = 20$$

8. Verificarea săgeților la SLE în stadiul final

a. Acțiuni permanente: se vor lua în considerare deformațiile în timp, pentru toate materialele, astfel:

- Modul de elasticitate transformat al grinzilor de lemn:

$$E_{mean\ fin} = \frac{E_{mean}}{1 + \psi \times k_{def}} = \frac{12600}{1 + 0,6} = 7875 \text{ N/mm}^2$$

- Modulul de alunecare al conlucrării:

$$K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{mean\ fin} = 0,08 \times 12 \times 7875 = 7560$$

- Modulul de elasticitate transformat al betonului:

$$E_{cm\ fin} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 2,25} = 9538 \text{ N/mm}^2$$

8.1. Caracteristicile secțiunii compuse

$$(EI)_{ef} = (E_{cm\ fin} \times I_1 + \gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times a_1^2) + (E_{msan\ fin} \times I_2 + \gamma_2 \times E_{msan\ fin} \times A_2 \times a_2^2) =$$

$$(EI)_{ef} = (9538 \times 4,17 \times 10^7 + 0,231 \times 9538 \times 61800 \times 229,1^2) + (7875 \times 1,25 \times 10^9 + 1 \times 7875 \times 60000 \times 65,9^2) = 1,94 \times 10^{13} Nmm^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times s_{ef}}{K_{ser} \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 9538 \times 61800 \times 156,25}{7560 \times 6000^2}} = 0,231$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 + \gamma_2 \times E_{msan\ fin} \times A_2)} =$$

$$a_2 = \frac{0,231 \times 9538 \times 61800 \times (90 + 500)}{2 \times (0,231 \times 9538 \times 61800 + 1 \times 7875 \times 60000)} = 65,90\ mm$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{60 + 500}{2} - 65,90 = 229,10\ mm$$

8.2. Calculul săgeții:

- săgeata din acțiunea permanentă

$$w_{finG} = \frac{5 \times g_d \times L^4}{384 \times (EI)_{ef}} = \frac{5 \times 4816 \times 10^{-3} \times 6000^4}{384 \times 1,94 \times 10^{13}} = 4,2\ mm$$

b. Acțiune variabilă: s Se vor lua în considerare deformațiile în timp, pentru toate materialele, astfel:

- Modul de elasticitate transformat al grinzilor de lemn:

$$E_{msan\ fin} = \frac{E_{msan}}{1 + \psi \times k_{def}} = \frac{12600}{1 + 0,6} = 7875\ N/mm^2$$

- Modulul de alunecare al conlucrării:

$$K_{ser} = 0,08 \times d \times E_{msan\ fin} = 0,08 \times 12 \times 7875 = 7560$$

- Modulul de elasticitate transformat al betonului:

$$E_{cm\ fin} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = \frac{31000}{1 + 1,35} = 13191\ N/mm^2$$

8.3. Caracteristicile secțiunii compuse

$$(EI)_{ef} = (E_{cm\ fin} \times I_1 + \gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times a_1^2) + (E_{msan\ fin} \times I_2 + \gamma_2 \times E_{msan\ fin} \times A_2 \times a_2^2)$$

$$(EI)_{ef} = (13191 \times 4,17 \times 10^7 + 0,1781 \times 13191 \times 61800 \times 225,66^2) + (7875 \times 1,25 \times 10^9 + 1 \times 7875 \times 60000 \times 69,34^2) = 2,01 \times 10^{13} Nmm^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times s_{ef}}{K_{ser} \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3,14^2 \times 13191 \times 61800 \times 156,25}{7560 \times 6000^2}} = 0,1781$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_{cm\ fin} \times A_1 + \gamma_2 \times E_{msan\ fin} \times A_2)}$$

$$a_2 = \frac{0,1781 \times 13191 \times 61800 \times (90 + 500)}{2 \times (0,1781 \times 13191 \times 61800 + 1 \times 7875 \times 60000)} = 69,34 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{90 + 500}{2} - 69,34 = 225,66 \text{ mm}$$

8.4. Calculul săgeții:

- săgeata din acțiunea de durată medie

$$w_{fin Q} = \frac{5 \times q_d \times L^4}{384 \times (EI)_{sf}} = \frac{5 \times 2061 \times 10^{-3} \times 6000^4}{384 \times 2,01 \times 10^{13}} = 1,7 \text{ mm}$$

8.5. Verificarea săgeții finale

$$w_{fin} = w_{fin G} + w_{fin Q} = \leq w_{fin,adm} = \frac{L}{200}$$

$$w_{fin} = 4,2 + 1,7 = 5,9 \leq w_{fin,adm} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ mm}$$

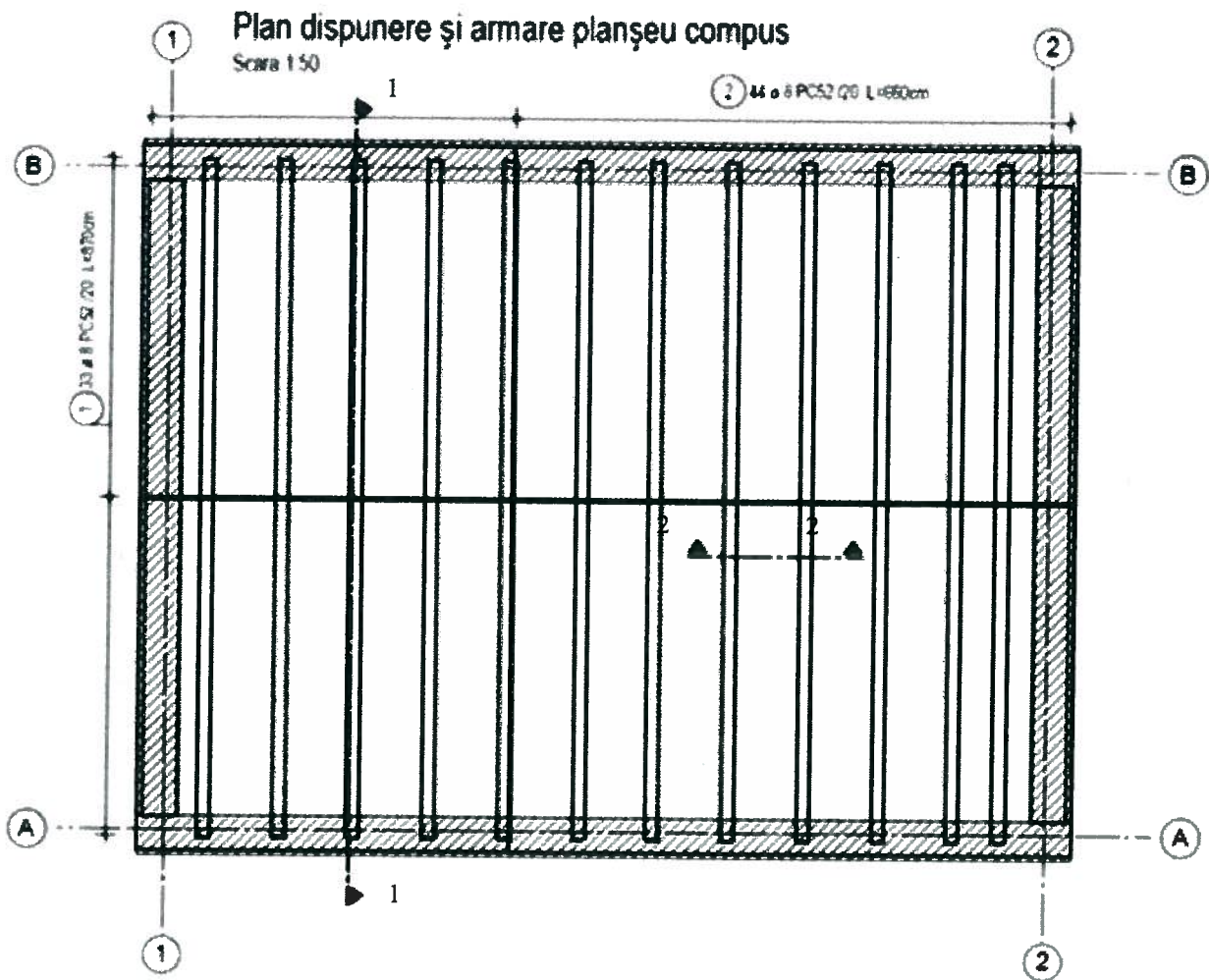
9. Alcătuirea și armarea planșeului compus lemn – beton.

Grinzile din lemn lamelat încleiat se vor dispune la o distanță $b=70\text{cm}$ (interax).

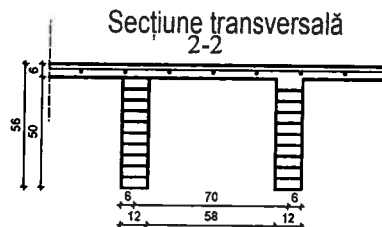
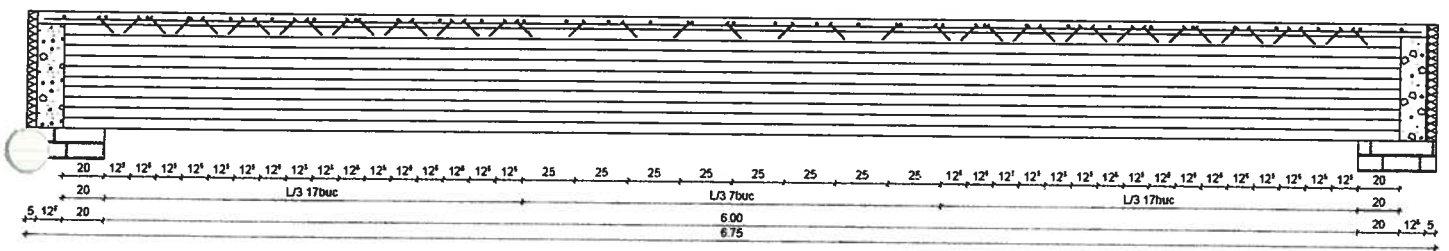
Conectorii se vor dispune pe un rând, înclinați la 45^0 , alternant în lungul secțiunii longitudinale. Adâncimea de pătrundere în lemn a extremității înfiletate a șurubului este de minim 72 mm.

Deoarece condiția de verificare a eforturilor la partea inferioară, a plăcii din beton, este îndeplinită se va adopta armarea constructivă prevăzută la pct.-ul 4.2.(4) – plasă legată cu sârmă $\Phi 8/200 \times \Phi 8/200$, dispusă la partea inferioară a plăcii de beton

Plasa de armătură se va ancora în centuri din beton armat pe o lungime de 32 cm.



Secțiune longitudinală prin grinda de lemn 1-1
 Zona dispunere elemente de legătură



Secțiune orizontală și detalii de dispunere și armare