



Universitatea Politehnica Timișoara

Facultatea de Construcții

Departamentul de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor

# CONSTRUCȚII MIXTE OȚEL - BETON

---

- CURS 6-b -

Planșee Compuse

Conf.dr.ing Adrian CIUTINA

**Notele de curs pot fi descărcate de pe pagina de web**  
<http://www.ct.upt.ro/users/AdrianCiutina/>

# CAPITOLUL V – PLANȘEE COMPUSE

## § 5.1 Introducere

- Tablele profilate au fost folosite ca suport pentru planșeele din beton în anii 1920. Inginerii Loucks și Gillet au descris sistemul de oțel de cofraj în patentul obținut în 1926.
- În această variantă primară, tabla profilată a oferit rezistența structurală, iar betonul a fost adăugat pentru a oferi suprafața de circulație și pentru rezistența la foc.
- Folosirea tablelor profilate a fost atractivă și pentru executanții structurilor, datorită faptului că acestea foloseau atât pe post de cofraj pierdut cât și ca o platformă de construcție, fiind în acest mod o alternativă eficientă pentru modul uzual de realizare al planșeelor.
- Au fost descoperite apoi și alte avantaje ale folosirii tablelor profilate pentru planșee, cum ar fi greutatea redusă a planșeelor și folosirea cutelor pentru pasajul diverselor cabluri folosite la instalații.
- Prima folosire a planșeelor compuse (beton armat inclusiv cu table profilate) a fost în 1950. Primul produs a fost denumit Cofar și reprezenta o tablă profilată trapezoidal și conținea armături longitudinale în cute.

## § 5.1 Introducere

---

- Friberg (1954) a analizat sistemul nou de planșeu ca pe o placă obișnuită de planșeu și a observat o corespondență bună între rezistența calculată și cea rezultată din testele experimentale.
- Deși planșeele compuse sunt asociate de cele mai multe ori cu clădirile multietajate, acestea sunt folosite și în proiectele de renovare (caz în care greutatea mică a planșeelor compuse este avantajoasă), în parcarile de mașini, depozite și magazine (pentru încărcări foarte mari), clădiri rezidențiale și instituții publice.
- În calculul planșeelor compuse este nevoie de o atenție particulară a secvențelor de construcție. Tabla profilată trebuie să fie suficient de rezistentă și rigidă pentru a prelua încărcările din betonul proaspăt.
- Odată cu întărirea betonului, tabla profilată acționează compus cu planșeul ca parte din armătură la preluarea încărcărilor permanente și utile aferente planșeului.

## § 5.2 Practica actuală

---

- Planșeele compuse sunt rapide în instalare și constituie o alternativă economică pentru planșeele convenționale turnate pe șantier, sau a planșeelor cu predale. În plus, tabla profilată formează o platformă de lucru cu instalare rapidă.
- Multe profile pot fi împachetate prin suprapunere. Suprafețe largi de planșee, până la 1500m<sup>2</sup> pot fi transportate cu un singur transport.
- Odată ce tabla profilată este fixată și marginile debitate la lungime, tabla profilată formează cofrajul dalei din beton.
- În funcție de deschiderea plăcii din beton și de înălțimea tablei profilate din beton pot fi necesare sau nu reazeme intermediare. Aceasta poate însă încetini procesul de construcție.
- Tabla profilată acționează ca armătură inferioară pentru planșeul compus. În multe cazuri, planșeul nu are nevoie de armătură inferioară suplimentară pentru momentele pozitive.

## § 5.2 Practica actuală

### TIPURI DE TABLĂ PROFILATĂ

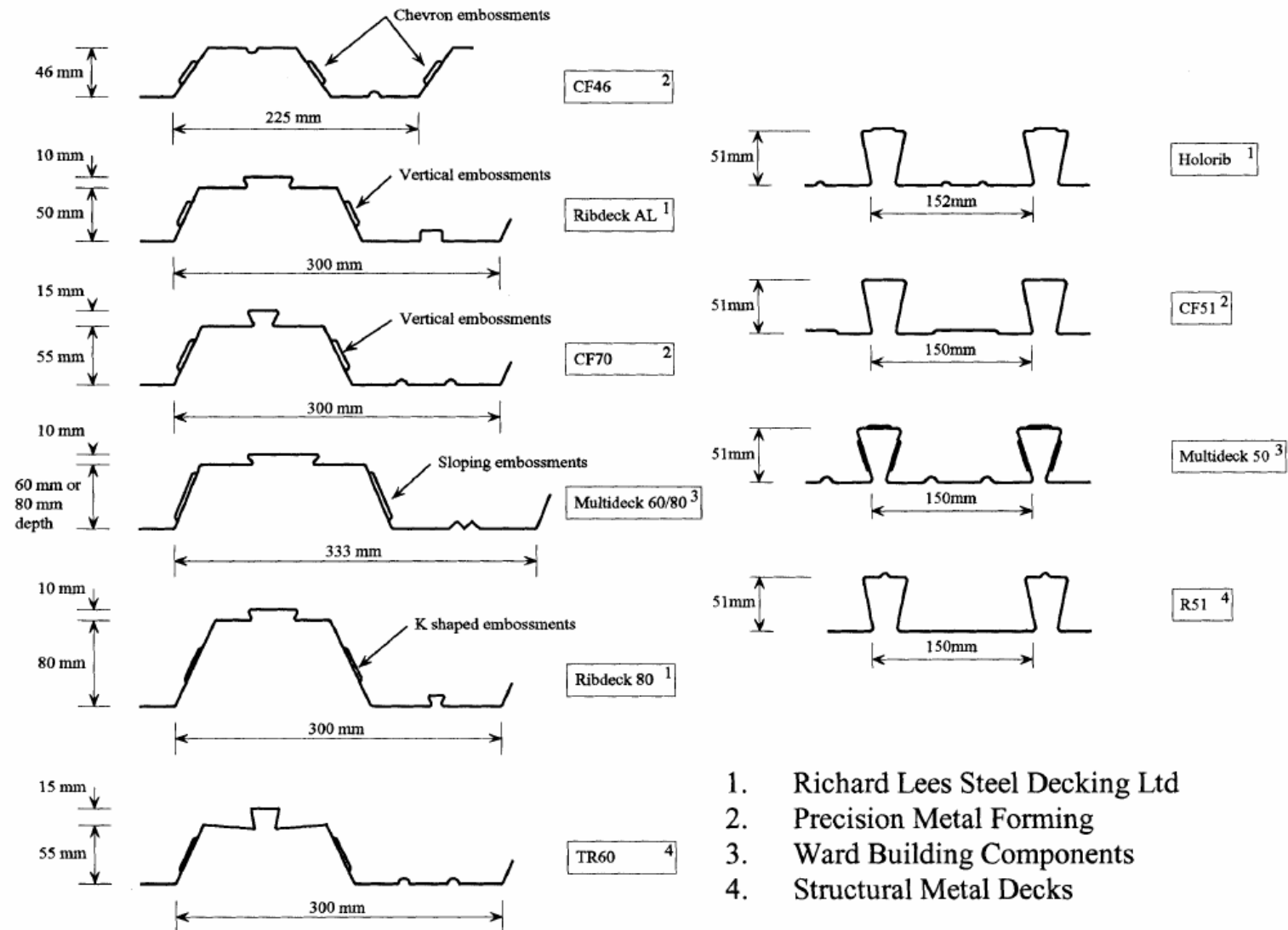
---

- Tabla profilată are înălțimea uzuală între 45 și 80 mm, având cutele distanțate la 150-300mm.
- Tablele profilate pot fi de două tipuri:
  - n Re-entrante (cunoscute și sub denumirea de coadă de porumbel) și
  - n trapezoidale.
- Profilele sunt formate la rece din table din oțel de 0,9-1,5mm grosime cu limita de curgere între 280 și 350 N/mm<sup>2</sup>.
- Pentru cele mai multe aplicații, în cazul în care riscul de coroziune este limitat, se folosește de obicei o galvanizare de 275 g/m<sup>2</sup>.
- În multe cazuri, deschiderea maximă între reazeme este determinată de rezistența tablei profilate la încărcările din faza de construcție. De aceea, deseori este avantajos să se specifice un beton ușor (densitate medie în stare proaspătă de 1850-1950 kg/m<sup>3</sup>).
- Deschiderile uzuale pentru tablele profilate curente sunt între 3 și 4 m; tablele profilate înalte pot fi dispuse pe deschideri mai mari de 6m.

## § 5.2 Practica actuală

### TIPURI DE TABLĂ PROFILATĂ

*Figura:  
Table  
profilate  
 uzuale*



## § 5.3 Comportamentul în fază de cofraj

---

- În timpul fazei de construcție, tabla profilată trebuie să reziste **greutății betonului proaspăt și a încărcărilor de montaj**. În cazul planșeelor nerezemate, aceasta reprezintă adesea condiția critică de încărcare pentru tabla profilată.
- Tabla profilată este supusă la încovoiere și forfecare, și datorită zvelteții caracteristice a secțiunii transversale **este predispusă voalării**.
- Canelurile de laminare și amprentările rigidizează tălpile și inimile profilelor, însă cu toate acestea voalarea se va produce înainte de curgerea materialului. Aceasta reduce rezistența și rigiditatea tablei.
- În general producătorii efectuează teste experimentale pentru evaluarea corectă a performanțelor tablelor profilate proprii.

### ÎNCĂRCĂRILE DE CALCUL

- La starea limită ultimă vor fi considerate încărcările din greutatea betonului proaspăt și a tablei, încărcările de execuție (operaționale și de echipament) și orice efect de “băltire” (creșterea înălțimii betonului datorită deformării tablei).

## § 5.3 Comportamentul în fază de cofraj

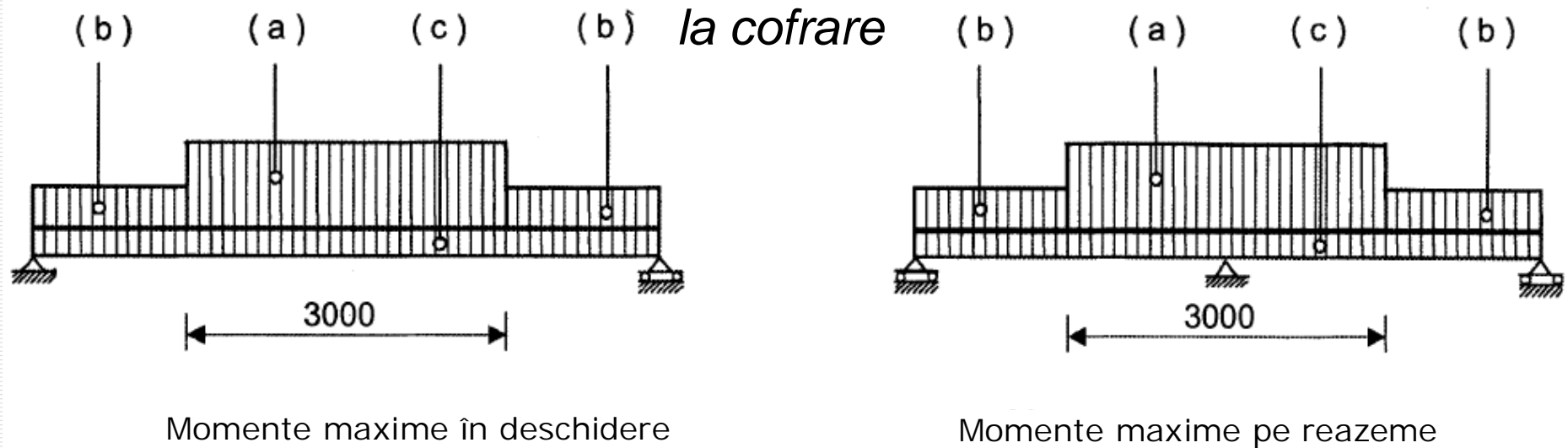
### ÎNCĂRCĂRILE DE CALCUL

- Cu toate că încărcările de montaj iau în considerare greutatea sistemelor de turnare a betonului și consideră efectele din impact și vibrațiile care pot rezulta din efectul de turnare, ele nu consideră efectul impactului excesiv (de exemplu turnarea betonului de la o înălțime mare) sau adunarea betonului în grămezi etc.
- Eurocode 4 recomandă o încărcare caracteristică uniformă de  $0,75 \text{ kN/m}^2$  pentru întreaga placă, cu creștere locală la  $1,5 \text{ kN/m}^2$  pe orice suprafață de  $3\text{m} \times 3\text{m}$  (sau deschidere dacă aceasta e mai mică de  $3\text{m}$ ).
- Aceste încărcări trebuie dispuse astfel încât să producă momentul încovoietor și/sau forța de forfecare maximă, ca în figura de mai jos.
- În plus față de încărcările specificate mai sus trebuie luată în considerare abilitatea tablei profilate de a rezista încărcărilor concentrate.
- În cazul în care săgeata centrală a tablei sub încărcarea proprie, plus cea a betonului proaspăt, calculate la SLS este mai mică de  $1/10$  din înălțimea plăcii din beton, efectul de “băltire” poate fi ignorat în calculul tablei profilate. Peste această limită trebuie considerat efectul de “băltire”.

## § 5.3 Comportamentul în fază de cofraj

### ÎNCĂRCĂRILE DE CALCUL

*Figura: Dispunerea critică a încărcării pentru tablele profilate folosite*



**(a) Încărcările concentrate de montaj  $1,5 \text{ kN/m}^2$**

**(b) Încărcările distribuite de montaj  $0,75 \text{ kN/m}^2$**

**c) Greutate proprie**

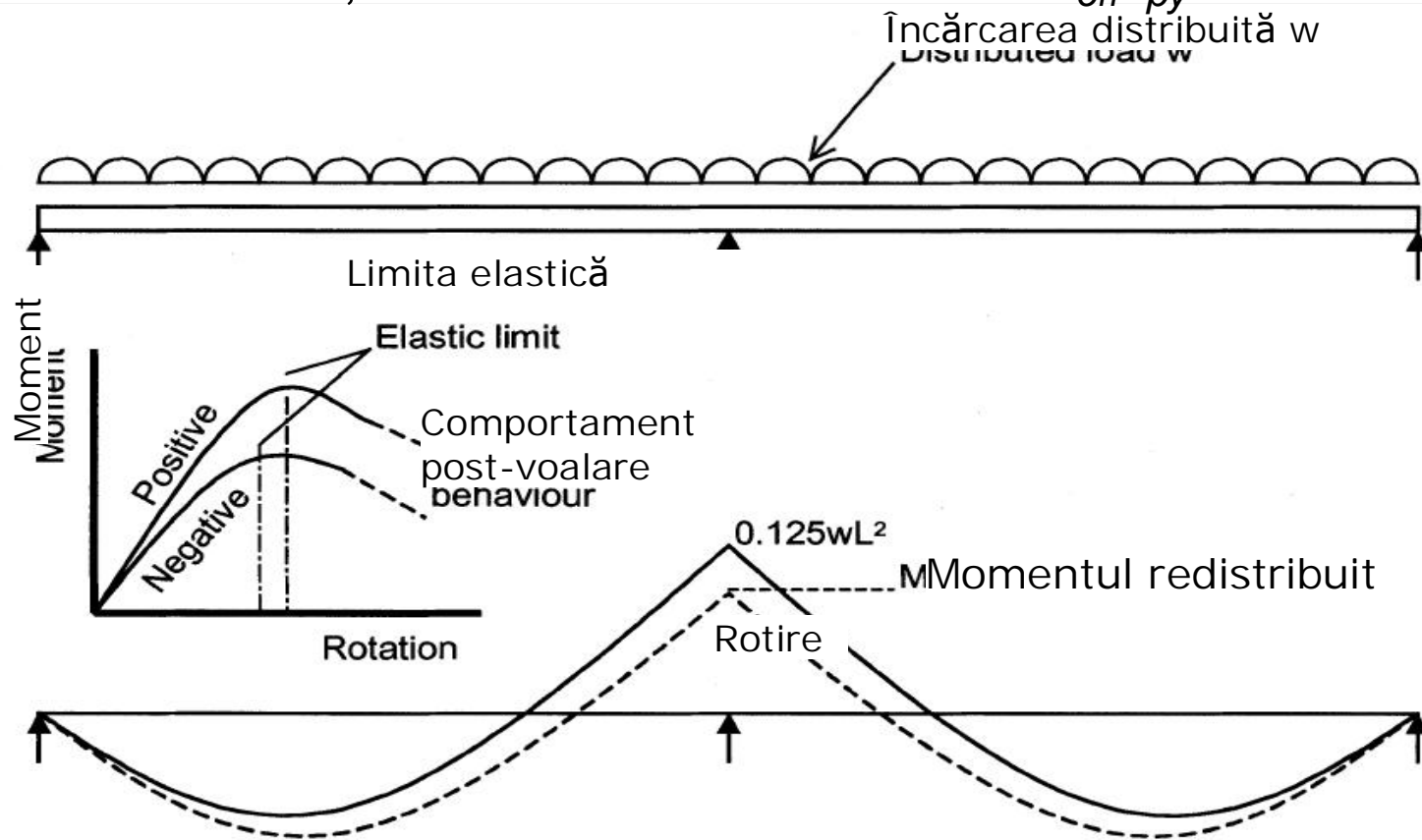
### ANALIZA STATICĂ

○ Tablele profilate continue pot fi calculate prin analize elastice. Rigiditatea la încovoiere este determinată fără considerarea rigidității reduse a elementelor secțiunii transversale comprimate (care nu lucrează eficient la încovoiere).

## § 5.3 Comportamentul în fază de cofraj

### ANALIZA STATICĂ

- Figura de mai jos arată o placă continuă peste două reazeme. Momentul maxim negativ ( $WL^2/8$ ) trebuie să fie inferior rezistenței la încovoiere a secțiunii transversale eficace,  $W_{eff} f_{py}$ .



## § 5.3 Comportamentul în fază de cofraj

### ANALIZA STATICĂ

---

- Datorită faptului că modulul plastic de rezistență eficace sub momente pozitive este mai mare decât cel sub momente negative (talpa superioară e relativ îngustă), rezistența tablei continue este inferioară cazului tablei simplu-rezimate, în care momentul încovoietor este  $WL^2/8$ .
- Testele experimentale au demonstrat faptul că există o redistribuție a momentelor în domeniul elastic, de la regiunile solicate de reazem spre deschideri, datorită variației rigidității cu momentul încovoietor.
- Așa cum o arată figura de mai sus, tabla profilată prezintă o limită moment-rotire postvoalare și odată cu atingerea rezistenței în deschidere va rezulta un moment încovoietor rezidual.
- Cei mai mulți producători de table profilate oferă tabele încărcare – deschidere, cu valori găsite pe bază experimentală.

### CONSIDERAȚII LA STAREA LIMITĂ DE SERVICIU

- Sub condiții de serviciu este necesară verificarea valorilor deformațiilor reziduale după operația de turnare a betonului (valorile nu trebuie să fie excesive).

## § 5.3 Comportamentul în fază de cofraj

### CONSIDERAȚII LA STAREA LIMITĂ DE SERVICIU

- Eurocode 4 recomandă ca deformarea tablei profilate sub greutatea proprie plus încărcarea din betonul proaspăt (fără încărcările de montaj) trebuie să fie mai mică de  $L/180$ , unde  $L$  este deschiderea eficace între reazeme (permanente sau temporare).
- Tabla profilată este instalată de obicei peste cel puțin două deschideri. Aceasta reduce săgeata centrală față de cazul unei singure deschideri.
- Pentru tabla dispusă continuu este recomandabil să se verifice ca sub încărcările caracteristice, combinația momentului încovoietor și a reacțiunii să nu conducă la deformații plastice. Aceasta se efectuează prin:

$$\begin{aligned} M_{S,ser} &\leq 0.9 M_{Rd} \\ R_{S,ser} &\leq 0.9 R_{Rd} \end{aligned} \quad \text{și} \quad \left( \frac{M_{S,ser}}{0.9 M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{R_{S,ser}}{0.9 R_{Rd}} \right)^2 \leq 1.25$$

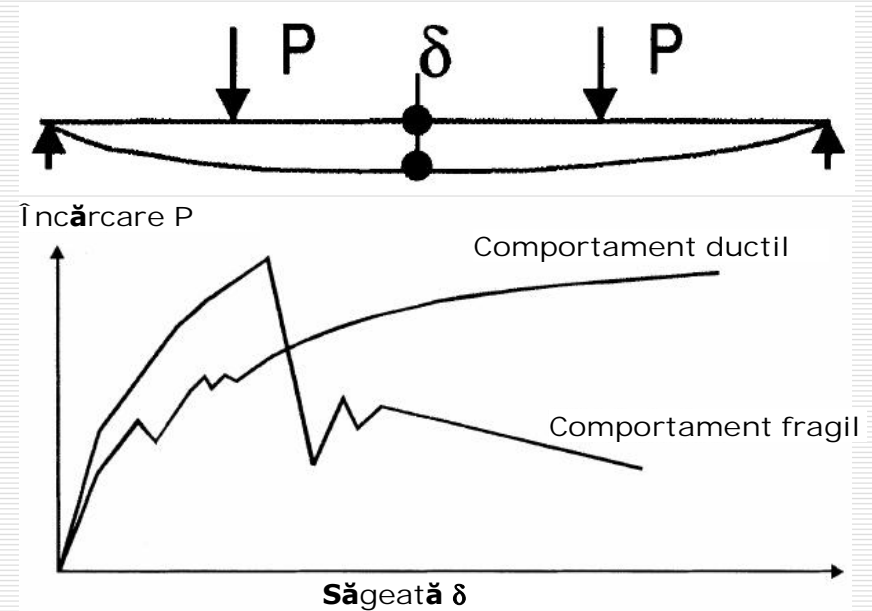
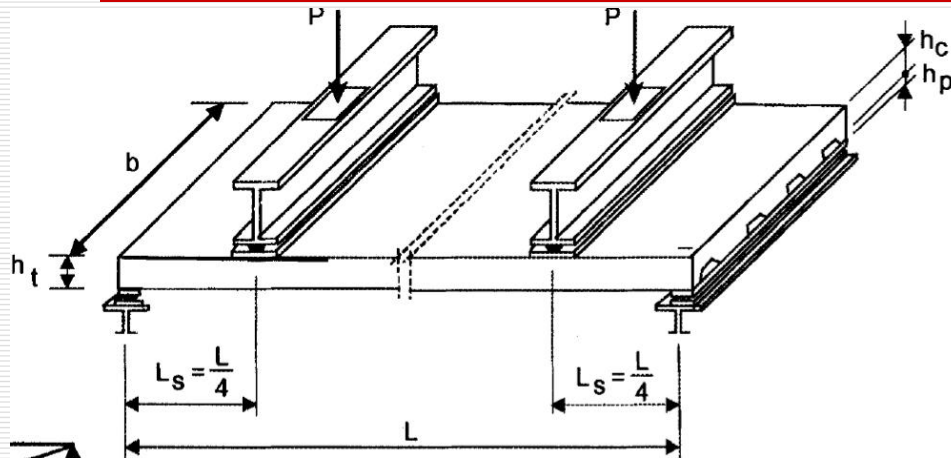
unde -  $M_{Rd}$  și  $R_{Rd}$  sunt rezistențele la încovoiere și pe reazem pentru condițiile de serviciu.

-  $M_{S,ser}$  și  $R_{S,ser}$  sunt momentul încovoietor și reacțiunea datorate încărcărilor din faza de cofrare fără factori parțiali de siguranță (ex  $\gamma_G = \gamma_Q = 1.0$ )

## § 5.3 Comportamentul în faza compusă

- Odată cu întărirea betonului, tabla profilată și betonul din planșeu formează o singură unitate structurală – planșeul compus.
- Comportamentul unui planșeu compus la încărcări este similar cu cel al unui planșeu convențional din beton armat cu o clauză suplimentară: legătura care există între beton și tabla profilată poate să nu fie complet eficace și pot apărea alunecări longitudinale înainte de curgerea oțelului. Prin urmare, un planșeu compus poate avea două moduri de cedare:
  - n cedare la încovoiere;
  - n cedare prin pierderea adeziunii.
- Modul de cedare rezultă prin intermediul unei verificări experimentale simple: un planșeu compus este sprijinit pe două reazeme externe și este încărcat simetric prin intermediul a două forțe  $P$ , aplicate la  $\frac{1}{4}$  și  $\frac{3}{4}$  din deschidere. O curbă caracteristică de comportament  $P-\delta$ ; este ilustrată în figura de mai jos.
- Comportamentul planșeului depinde de eficacitatea conexiunii dintre oțel și beton, aceasta fiind funcție de profilul tablei, caneluri și amprentări.

## § 5.3 Comportamentul în faza compusă



*Figura: Test experimental pentru planșee compuse cu răspunsul caracteristic forță-deplasare*

- Comportamentul inițial al planșeului sub încărcare este elastic, betonul fiind nefisurat, iar conexiunea dintre beton și oțel fiind completă.
- Pentru încărcări mai mari, betonul situat sub axa neutră fisurează, reducând rigiditatea plăcii și măbind deformațiile. În acest stadiu, adeziunea dintre beton și tabla profilată este capabilă încă să transmită eforturile de forfecare datorat fisurilor.

## § 5.3 Comportamentul în faza compusă

- Pentru încărcări mai mari, datorită depășirii eforturilor longitudinale de forfecare dintre tablă și beton, pot apărea alunecări relative între cele două materiale. Pot apărea două moduri de cedare:
  - n **Modul de cedare fragil** în care alunecarea relativă cauzează o diminuare a capacității portante, datorită ruperii adeziunii. Măsura în care se reduce încărcarea depinde de eficacitatea amprentărilor mecanice. Această reducere a încărcării nu este datorată fisurării betonului ci datorită alunecării relative înregistrate la nivelul oțel-beton. Pentru deformații ulterioare, rezistența la încărcare crește însă ușor, datorită faptului că mijloacele mecanice prin care este asigurată forfecarea longitudinală nu asigură o rezistență similară cu cea a adeziunii de suprafață.
  - n **Modul de cedare ductil**, caz în care conexiunea mecanică este capabilă să transfere forța de forfecare până la cedare. Aceasta se poate întâmpla prin încovoiere sau prin forfecare longitudinală.
- Apariția unui mod de cedare fragil sau ductil depinde de caracteristicile conexiunii oțel-beton. Aceste caracteristici se determină în mod uzual prin intermediul testelor experimentale.

## § 5.3 Comportamentul în faza compusă

### CALCULUL LA EFORTURILE INTERNE

- Planșeele compuse pot fi analizate prin intermediul metodelor de analiză elastice, rigid-plastice sau elastic-plastice.
- **Analiza elastică** poate fi utilizată atât pentru stările limită ultimă cât și cele de serviciu și reprezintă metoda de analiză cea mai simplă.
- Efectele de alunecare longitudinală, voalare sau cel de curgere sunt ignorate.
- Proprietățile secțiunii transversale pot fi considerate constante și uniforme sub momentele pozitive / negative.
- **Metodele de analiză plastică** pot fi utilizate numai la starea limită ultimă. În acest caz e posibilă considerarea unui planșeu ca o serie de deschideri simplu rezemate, cu cedare produsă fie prin alunecarea relativă între oțel și beton, fie prin formarea articulațiilor plastice la mijlocul deschiderilor.
- Dacă se consideră formarea unui mecanism de cedare plastică, care implică momentele plastice pe reazeme, secțiunea transversală trebuie să posede o capacitate de rotire suficientă.

## § 5.3 Comportamentul în faza compusă

### REZISTENȚA LA ÎNCOVOIERE

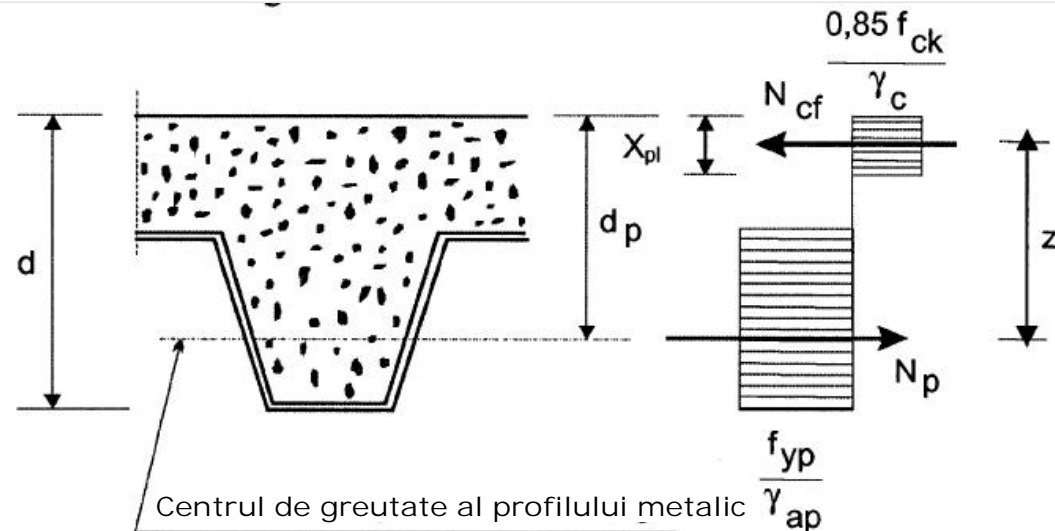
---

- Rezistența la moment încovoietor pozitiv este determinată fie de curgerea tablei profilate la întindere, fie de strivirea betonului în compresiune. În cazul în care au fost plasate bare de armare în cutele tablei profilate, acestea vor fi considerate în calculul rezistenței planșeului compus.
- La starea limită ultimă, Eurocode 4 consideră un comportament idealizat prin blocuri de eforturi rigid-plastice ca bază pentru determinarea rezistenței.
- Plasele de armare, sau armătura inferioară pentru momentele negative sunt în general comprimate și nu sunt considerate în calculul rezistenței.
- În cele mai multe dintre cazuri, axa neutră plastică este situată deasupra tablei profilate, după cum este ilustrat în figura de mai jos.

## § 5.3 Comportamentul în faza compusă

### REZISTENȚA LA ÎNCOVOIERE

*Figura: Distribuția eforturilor pentru momente pozitive. Axa neutră plastică este situată deasupra profilului metalic.*



○ Rezistența betonului la întindere este neglijată. Rezultanta forței de întindere din profilul metalic este dată de:  $N_p = A_{pe} f_{ypd}$

Unde:  $f_{ypd} = f_{yp} / \gamma_{ap}$  este rezistența de calcul la curgere a profilului metalic

$A_{pe}$  este aria eficace a profilului de tablă

○ Prin egalarea acestei forțe cu rezultanta forțelor de compresiune din beton, pe lățimea  $b$  a secțiunii transversale și înălțimea  $x_{pl}$  rezultă:

$$N_{cf} = b x_{pl} \frac{0,85 f_{ck}}{\gamma_c} = A_{pe} f_{yp,d} \quad \text{de unde rezultă:} \quad x_{pl} = \frac{A_{pe} f_{yp,d}}{0,85 b f_{ck} \gamma_c}$$

## § 5.3 Comportamentul în faza compusă

### REZISTENȚA LA ÎNCOVOIERE

---

- Rezistența la încovoiere este:

$$M_{ps.Rd} = A_{pe} \frac{f_{yp}}{\gamma_{ap}} \left( d_p - \frac{x_{pl}}{2} \right)$$

- Dacă axa neutră plastică este situată în profilul metalic al tablei, (situație care nu este curentă), calculul este efectuat considerând o parte comprimată a profilului metalic.
- Pentru o simplificare suplimentară, este posibilă neglijarea atât a betonului din cute, cât și a betonului întins.

## § 5.4 Planșee cu înălțime redusă

---

- În anii 1980 s-a observat o utilizare masivă a sistemelor structurale metalice în cadre pentru clădirile multietajate de birouri. Aceasta s-a datorat și dezvoltării sistemelor de planșee care conțineau grinzile structurale în grosimea planșeului din beton.
- Aceste sisteme de planșee oferă numeroase avantaje față de sistemele compuse obișnuite:
  - n Reducerea înălțimii planșeului structural reduce înălțimea totală a structurii, permițând construcția unor etaje suplimentare pentru o înălțime dată.
  - n De multe ori, acest sistem poate reduce costul global al planșeului.
  - n Sistemul de planșee cu înălțime redusă permite montajul și înlocuirea ulterioară a instalațiilor mult mai ușor.
  - n Rezistența la foc a planșeelor cu înălțime redusă este în mod semnificativ mărită, prin faptul că numai talpa inferioară a secțiunii din oțel este expusă și, în funcție de cerința (perioada) de rezistență la foc, altă protejare la foc poate să nu fie necesară.

## § 5.4 Planșee cu înălțime redusă

---

- Inițial au fost folosite grinzi cu secțiune transversală de tip  $\Omega$ . Ulterior au fost folosite grinzi metalice reconstituite, asimetrice, prin folosirea la partea superioară a unei jumătăți de profil I și o placă metalică sudată la partea inferioară (ARBED integrated floor beam) sau a unui profil H cu o placă metalică inferioară suplimentară (British Steel Slidor beam).
- În fiecare caz placa de planșeu a fost de tip prefabricat (hollow-core) sau turnată pe șantier pe predale.
- Datorită faptului că predalele erau grele și dificil de fabricat, compania Precision Metal Forming Ltd. a dezvoltat o alternativă metalică, capabilă să preia încărcări (nerezemate) pe 6m.
- În anul 1995, British Steel a dezvoltat o grindă laminată asimetrică, dedicată folosirii împreună cu o tablă profilată înaltă, realizând sistemul denumit Slimdeck (vezi figura de mai jos).

## § 5.4 Planșee cu înălțime redusă

*Fotografia: Instalarea tablei cu cute adânci (a se observa elementele de închidere fixate pe tălpile grinzilor)*

### TABLE PROFILATE PENTRU PLANȘEE CU ÎNĂLȚIME REDUSĂ

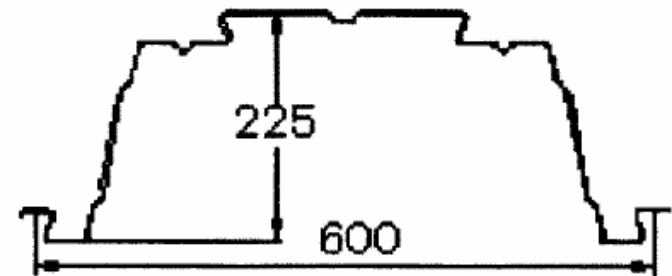
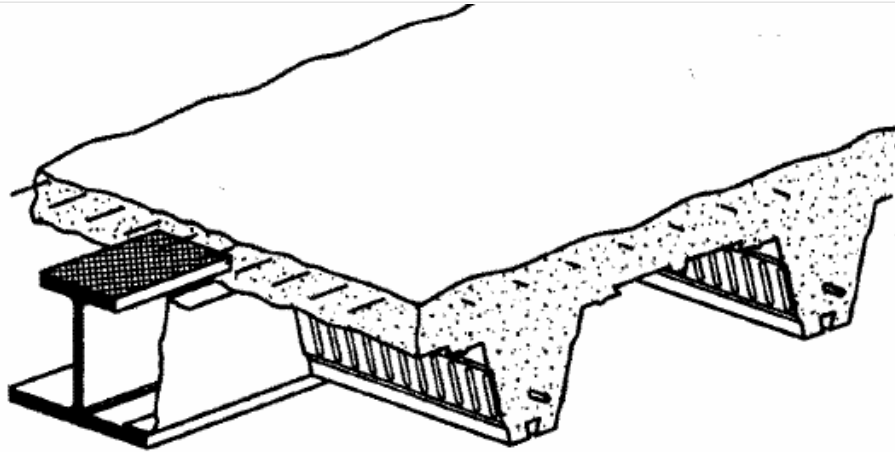
- Tablele profilate pentru planșeele cu înălțime redusă au înălțimi de 200-225 mm și grosimi de 1,0-1,25mm.
- De obicei sunt formate la rece din fâșii galvanizate și au lățimi finale de 600mm.
- Fiecare fâșie are un singur profil și se îmbină cu celelalte fâșii, formând o platformă completă.



## § 5.4 Planșee cu înălțime redusă

### TABLE PROFILATE PENTRU PLANȘEE CU ÎNĂLȚIME REDUSĂ

(exemplu SD225)



*Figura: Secțiune transversală prin tabla profilată cu cute înalte*

- Capetele inferioare sunt fixate pe talpa inferioară a grinzii metalice. Prin aceasta se stabilizează tabla profilată și se previne scurgerea betonului la turnare.
- În cazul în care se folosește beton ușor, greutatea planșeului cu înălțime redusă poate ajunge la jumătate din greutatea unui planșeu obișnuit cu aceeași înălțime.
- În cazul în care sunt folosite reazeme pentru faza de turnare, este posibilă realizarea planșeelor cu deschideri de până la 9m.

## § 5.4 Planșee cu înălțime redusă

### TABLE PROFILATE PENTRU PLANȘEE CU ÎNĂLȚIME REDUSĂ

- Dalele compuse cu înălțime mare diferă de planșeele convenționale cu înălțime obișnuită prin două elemente fundamentale:
  - n În cazul planșeelor compuse convenționale, armarea inferioară din cută nu este întotdeauna necesară, cu excepția cerințelor explicite anti-incendiu, a încărcărilor foarte mari sau a deschiderilor mari din planșeu. În cazul planșeelor compuse înalte, prezența barelor de armare inferioare este necesară atât pentru rezistența la foc cât și pentru atingerea unei rezistențe adecvate la încovoiere.
  - n Înălțimea totală a planșeelor cu înălțime redusă poate să nu fie dictată întotdeauna de rezistența la foc ci de necesitatea asigurării unei grosimi suficiente a betonului deasupra tălpii superioare a grinzii de planșeu.
- Prin urmare, rezistența la încovoiere a planșeului compus cu înălțime redusă este mărită semnificativ prin considerarea barelor de armare la partea inferioară a cutelor.

## § 5.4 Planșee cu înălțime redusă

### TABLE PROFILATE PENTRU PLANȘEE CU ÎNĂLȚIME REDUSĂ

- Rezistența la încovoiere se determină prin însumarea capacității calculate pentru o placă din beton echivalentă la rezistența la încovoiere a plăcii, limitată de rezistența adeziunii la forfecare longitudinală.
- Eficiența planșeelor compuse se bazează pe date experimentale, astfel încât pentru calculul practic al tablelor profilate cu înălțime mare, producătorii oferă tabele de calcul încărcare – deschidere și/sau programe simple de calcul a tablelor profilate.
- Acțiunea compusă este de obicei adecvată pentru încărcările proprii și cele utile. Acțiunea critică rezultă în general din faza de construcție, în care profilul metalic din tablă rezistă singur încărcării.
- În general, producătorii oferă detalii practice de folosire pentru utilizarea tablelor profilate utilizate la planșeele compuse cu înălțime redusă pentru prinderea acestora, detalii pentru realizarea golurilor în planșee etc..