

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA**

**IOSUD-UTCN**

**ȘCOALA DOCTORALĂ – INGINERIE CIVILĂ**

## **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Analiza comportării suprastructurilor tip dală  
având secțiunea mixtă oțel-beton**

**Doctorand,  
Ing. Orban Zsolt László**

**Conducător științific,  
Prof. Dr. Ing. Gavril Köllő**

**Comisia de evaluare a tezei de doctorat:**

**PREȘEDINTE:**

**MEMBRI:**

---

**2017**

## Analiza comportării suprastructurilor tip dală având secțiunea mixtă oțel-beton

### Cuprins

<b>Capitolul 1 – Obiectivele și structura tezei de doctorat</b>	<b>5</b>
<b>Capitolul 2 – Noțiuni introductive</b>	<b>7</b>
2.1. Scurt istoric al căii ferate și a construcțiilor de poduri de cale ferată	7
2.2. Noțiuni despre poduri de cale ferată	17
2.2.1. Clasificarea podurilor și denumirea acestora	17
2.2.2. Definiții și nomenclatura elementelor constructive	19
2.3. Poduri dalate	22
2.4. Poduri dalate cu secțiune compusă oțel - beton	24
2.2.3. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande	27
2.2.4. Dale cutate având secțiunea mixtă oțel-beton	29
2.2.5. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel	31
2.2.6. Dale cu grinzi metalice înglobate în beton	33
<b>Capitolul 3 - Calculul structurilor mixte oțel-beton</b>	<b>34</b>
3.1. Acțiuni la podurile de cale ferată	34
3.1.1. Convoaie tip conform standardelor românești (vechi)	34
3.1.2. Coeficienți dinamici conform standardelor românești	35
3.1.3. Acțiuni la podurile de cale ferată conform EN 1991-2 (Eurocod 1)	36
3.1.4. Coeficienți dinamici conform EN 1991-2	37
3.1.5. Calcul comparativ coeficienți dinamici conform STAS versus EN 1991-2	38
3.1.6. Excentricitatea încărcărilor verticale	40
3.1.7. Distribuția încărcărilor	40
3.1.8. Încărcări din trafic pentru oboseală	41
3.1.9. Frecvența proprie a structurii	41
3.1.10. Forțe orizontale	42
3.1.11. Acțiunea convoaielor feroviare deraiate asupra podului	45
3.1.12. Alte acțiuni	46
3.1.13. Grupuri de încărcări	47
3.2. Materiale uzuale în construcția podurilor mixte oțel-beton	49
3.2.1. Beton	49
3.2.1.1. Clasificare în funcție de clase de rezistență	49
3.2.1.2. Clase de expunere	50
3.2.1.3. Clase de consistență	51
3.2.1.4. Cerințe de bază pentru materiale componente	52
3.2.1.5. Cerințe de bază pentru compoziția betonului	56
3.2.1.6. Specificația betonului	58
3.2.1.7. Rezistențele betonului	61
3.2.1.8. Deformația elastică a betonului	62
3.2.1.9. Con tracția și curgerea lentă a betonului	63

3.2.1.10. Rezistențele de calcul la compresiune și întindere	64
3.2.2. Oțelul structural	65
3.2.2.1. Sistemul de notare. Oțeluri pentru construcții	65
3.2.2.2. Caracteristici și calități de oțeluri pentru construcții	66
3.2.2.3. Determinarea valorilor maxime admise pentru grosimea elementelor	68
3.2.2.4. Ductilitatea la destrămarea lamelară a tablelor	68
3.2.3. Armături	69
3.2.3.1. Cerințe specifice pentru armături utilizate în elemente și structuri din beton armat	69
3.2.3.2. Categoriile de rezistență	70
3.2.3.3. Categoriile de ductilitate	70
3.2.3.4. Caracteristici	71
3.2.4. Conectori	71
3.2.4.1. Rezistența de calcul la forfecare a unui dorn	72
3.3. Ipoteze simplificat e ale dimensionării structurilor mixte oțel-beton	74
3.4. Calculul în domeniul elastic	75
3.4.1. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande	75
3.4.2. Dale cutate cu secțiunea mixtă oțel-beton	81
3.4.3. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel	86
3.4.3.1. Structură mixtă cu țevi de oțel așezate tangențial	87
3.4.3.2. Structură mixtă cu țevi de oțel așezate distanțat	94
3.4.4. Calculul și limitarea deformațiilor	101
3.4.5. Calculul forței de lunecare	102
3.5. Calculul în starea limită ultimă (domeniu plastic)	104
3.5.1. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande	104
3.5.2. Dale cu secțiunea mixtă cutată	107
3.5.3. Dale cu secțiunea mixtă oțel-beton la care structura metalică este alcătuită din țevi	109
<b>Capitolul 4 - Program de calcul a podurilor în structură mixtă oțel-beton Newline CSD (Composite Structure Design)</b>	<b>115</b>
4.1. Introducere	115
4.2. Prezentarea programului Newline CSD	117
4.3. Concluzii referitoare la programul Newline CSD	129
<b>Capitolul 5 - Studiu de caz: Analiza statică și modală experimentală (dinamică) a unei dale mixte oțel – beton</b>	<b>130</b>
5.1. Introducere	130
5.2. Descrierea dalei mixte folosite în studiul de caz	130
5.3. Analiza statică a dalei	134
5.3.1. Măsurarea deformațiilor	134
5.3.2. Model dimensionat cu programul NEWLINE CSD	136
5.4. Analiza modală experimentală	141
5.4.1. Echipament utilizat	141
5.4.2. Metoda experimentală	141

---

5.4.3. Compararea rezultatelor metodei experimentale cu cele rezultate din modelarea cu programul NEWLINE CSD	144
5.5. Concluzii	150
<b>Capitolul 6 - Concluzii generale. Contribuții personale</b>	151
6.1. Concluzii generale	151
6.2. Contribuții personale	152
ANEXA 1	152
ANEXA 2a	153
ANEXA 2b	154
ANEXA 2c	155
ANEXA 3a	156
ANEXA 3b	157
ANEXA 4	158
ANEXA 5a	159
ANEXA 5b	159
ANEXA 6	160
ANEXA 7	161
ANEXA 8	162
ANEXA 9	163
ANEXA 10	164
Bibliografie	165

## 1. Obiectivele și structura tezei de doctorat

În literatura tehnică românească există doar câteva lucrări care tratează calculul și alcătuirea structurilor mixte oțel-beton tip dală destinate construcțiilor de cale ferată și nu numai.

În anul 1975 apare în literatura de specialitate românească prima lucrare care prezenta concepția, calculul și alcătuirea structurilor compuse oțel-beton folosite încă de pe atunci atât în România cât și în numeroase țări europene. Autorii acestei lucrări au fost profesorii C. Avram și V. Bota. [1]

Urmează ca după mai mult de 20 de ani, în 1997, să apară o nouă lucrare care conține exemple de calcul a structurilor mixte în conformitate cu normele europene în vigoare la acea dată, lucrare la elaborarea căreia și-a adus aportul un colectiv larg de cadre didactice, dintre care amintim coordonatorul științific al prezentei lucrări – Prof. Dr. Ing. Gavril Köllő, sub coordonarea profesorilor V. Păcurar și J.M. Aribert.

În anul 1999 apare și lucrarea „Calculul suprastructurilor de tip dală având secțiunea mixtă oțel-beton, utilizabile la podurile de cale ferată” elaborată de Prof. Dr. Ing. Gavril Köllő, lucrare care se adresează atât inginerilor constructori din domeniul proiectării, cercetării și execuției cât și cadrelor didactice și studenților din facultățile de construcții.

Prezenta teză de doctorat își propune să contribuie la optimizarea calculului suprastructurilor de tip dală având secțiunea mixtă oțel-beton prin prezentarea a trei tipuri de structuri mixte tip dală pentru care să fie elaborate metodele de calcul în domeniul elasto-plastic, respectând prevederile normelor europene în vigoare. În acest sens obiectivele care au stat la realizarea tezei de doctorat sunt următoarele:

- Dezvoltarea algoritmului de calcul în domeniul elasto-plastic a trei tipuri constructive de dale având secțiunea mixtă oțel-beton:
  - Dală cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbenzi
  - Dală cutată cu secțiunea mixtă oțel-beton
  - Dală cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel
- Elaborarea unui program de calcul pentru cele trei tipuri de structuri amintite anterior, care să vină în sprijinul inginerilor constructori din domeniul proiectării și nu numai, prin faptul că va aduce un spor de eficiență procesului de proiectare prin evitarea supradimensionării structurilor dar totodată evitând diminuarea siguranței.
- Realizarea unui studiu comparativ prin evaluarea comportării sub acțiunea din trafic a unei dale de pod de cale ferată cu secțiune mixtă oțel beton (analiză modală operațională) verificându-se săgețile în regim dinamic și compararea rezultatelor cu cele calculate de programul de calcul elaborat.

Teza de doctorat este structurată pe șase capitole și tratează atât aspecte teoretice generale care stau la baza calculului și alcătuirii celor trei tipuri de dale în structură mixtă oțel-beton cât și aspecte practice ce țin de calculul efectiv a unor structuri de acest tip și nu în ultimul rând un studiu de caz privind comportarea sub încărcări a unei dale de pod de cale ferată în structură mixtă oțel-beton cu structura metalică alcătuită din platbenzi sudate.

Capitolul 2 intitulat *Noțiuni introductive* face o trecere în revistă a istoriei căilor ferate și a construcțiilor de poduri de cale ferată. Se prezintă o clasificare a podurilor în funcție de

deschidere și sunt definite principalele elemente constitutive din nomenclatura podurilor de cale ferată. În continuare sunt prezentate podurile dalate și cele cu secțiune compusă oțel-beton.

Capitolul 3 intitulat *Calculul structurilor mixte oțel-beton* își propune să sintetizeze noțiunile de bază privind calculul podurilor dalate de cale ferată în secțiune compusă oțel-beton. În acest sens sunt prezentate principiile teoretice ce țin de acțiunile la podurile de cale ferată, materialele uzuale în construcție podurilor cu secțiune compusă oțel-beton, ipoteze simplificate de calcul ale acestor secțiuni precum și calculul în domeniul elastic și plastic. Se dezvoltă în acest capitol algoritmul de calcul a celor trei tipuri de dale în structură mixtă oțel-beton amintite anterior.

Capitolul 4 intitulat *Program de calcul a podurilor în structură mixtă oțel-beton Newline CSD (Composite Structure Design)* reprezintă partea principală a tezei de doctorat și prezintă programul de calcul a celor trei structuri tip dală mixtă oțel-beton. Este o aplicație concepută în Visual Basic, care are la bază toate aspectele teoretice prezentate în Capitolul 3 și vine în ajutorul inginerilor proiectanți și nu numai, la dimensionarea cât mai economică dar în același timp sigură a acestor structuri. Programul respectă normele europene (Eurocoduri) atât referitor la evaluarea și gruparea acțiunilor cât și la calculul secțiunilor compuse oțel-beton.

Capitolul 5 intitulat *Studiu de caz: Analiza statică și modală experimentală (dinamică) a unei dale mixte oțel – beton* prezintă rezultatele experimentale obținute în urma evaluării comportării unei dale de pod de cale ferată în structură mixtă oțel-beton sub acțiunea unor încărcări statice și dinamice (din trafic – analiză modală operațională) verificându-se deformațiile maxime (săgețile) în regim static și dinamic. Structura studiată a fost modelată și cu ajutorul programului Newline CSD prezentat în Capitolul 4 iar rezultatele obținute au fost comparate cu cele obținute în teren, modelul studiat oferind o bună corespondență cu rezultatele măsurate experimental.

Capitolul 6 intitulat *Concluzii generale. Contribuții personale* tratează concluziile generale privind rezultatele obținute și scoate în evidență contribuțiile personale aduse de autor precum și aplicabilitatea soluțiilor constructive de poduri dalate în structură mixtă oțel-beton la lucrările viitoare de reabilitări de cale ferată din România și nu numai.

Lista cu referințele bibliografice care au stat la baza studiului precum și publicațiile științifice se regăsesc la finalul lucrării.

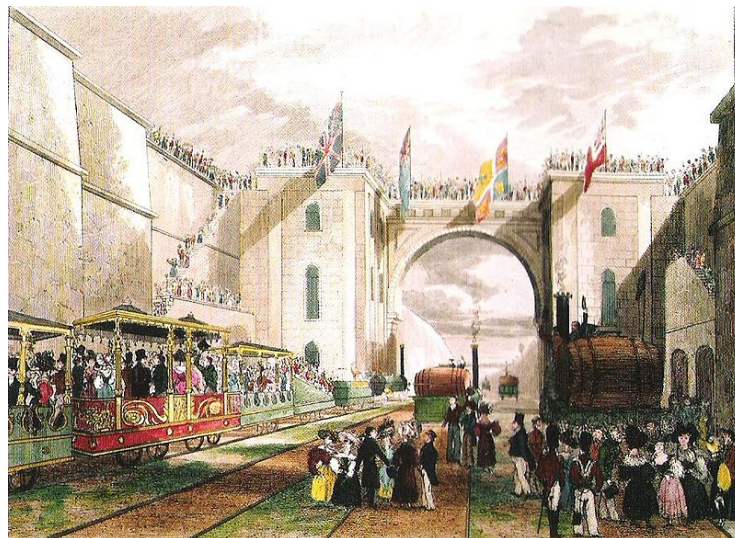
## 2. Noțiuni introductive

### 2.1. Scurt istoric al căii ferate și a construcțiilor de poduri de cale ferată

Privind în urmă la istoria de peste 180 de ani a construcțiilor de căi ferate, nimeni nu poate contesta uriașa forță motrică pe care aceasta a avut-o asupra progresului tehnic și uneori, chiar economic al societății.

Prima linie de cale ferată cu exploatare publică permanentă a fost inaugurată la 15 septembrie 1830 între Liverpool și Manchester de inginerul britanic George Stephenson (9 iunie 1781 – 12 august 1848) supranumit și „părintele căii ferate” [2]. Ecartamentul de 1435 mm al acestei căi ferate, deseori denumit și „ecartamentul Stephenson”, este ecartamentul standard pentru majoritatea căilor ferate din lume. Avantajele noului mijloc de transport au fost foarte apreciate și într-un interval de timp relativ scurt, construcția de căi ferate a început și în alte țări europene:

- Franța – linia Saint Etienne – Lyon (1833)
- Belgia – linia Bruxelles – Malines (1835)
- Bavaria – linia Nurnberg – Furth (1835)
- Austria – linia Viena – Wgram (1838)
- Rusia – linia Petersburg – Tarscoe Selo (1837)
- Ungaria – linia Pesta – Vacz (1846)

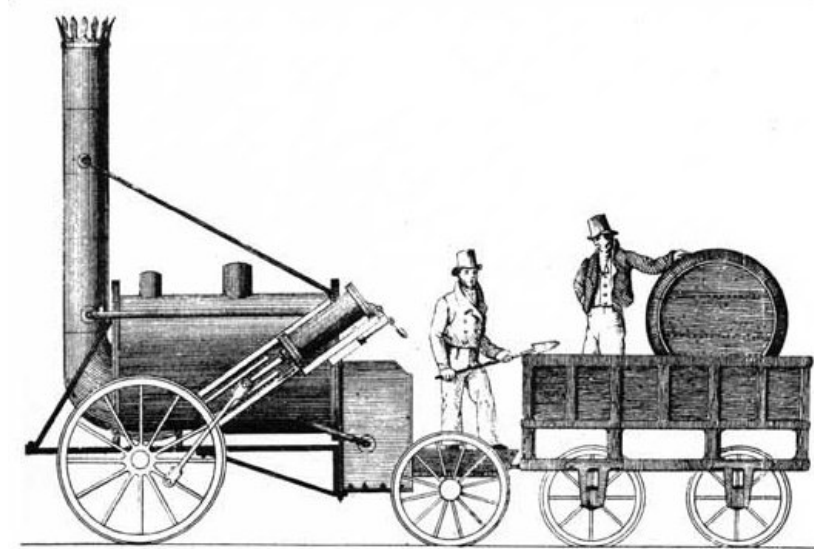


*Ceremonia de deschidere a tronsonului de cale ferată Liverpool – Manchester la 15 Septembrie 1830[27]*



*Prima cale ferată cu exploatare publică între Liverpool și Manchester - L&MR [28]*

Tot de numele Stephenson este legat și succesul răsunător pe care a avut-o locomotiva cu abur „Rocket” proiectată și construită de Robert Stephenson, fiul lui George Stephenson. Cu toate că „Rocket” nu a fost prima locomotivă cu aburi construită, ea a fost prima care a întrunit mai multe inovații pentru a produce cea mai performantă locomotivă a vremurilor sale. Este cel mai elocvent exemplu de proiect inovativ al lui Stephenson fiul, proiect ce a devenit model pentru motoarele cu aburi pentru următorii 150 de ani.



*Desen al locomotivei Rocket produs de constructorul „Robert Stephenson and Company”[28]*

În 1830, odată cu deschiderea liniei de cale ferată Liverpool – Manchester, putem nota și construcția primului pod în arc cu oblicitate, ce avea să traverseze o linie de cale ferată. Este vorba de podul din Rainhill, proiectat de inginerul britanic Jesse Hartley. Podul este în folosință chiar și în zilele noastre în apropierea stației din Rainhill și asigură traficul pe A57 Warrington Road peste calea ferată.



*Podul din Rainhill proiectat de inginerul britanic Jesse Hartley [28]*



Primele informații în țară privitor la transportul feroviar au fost furnizate de Petrache Poenaru, pedagog, inventator, inginer și matematician român, membru al Academiei Române, care spunea la 27 octombrie 1831 în raportul său oficial: „*Am făcut această călătorie cu un nou mijloc de transport, care este una din minunile industriei secolului... douăzeci de trăsură legate unele cu altele, încărcate cu 240 de persoane sunt trase deodată de o singură mașină cu aburi...*”.[31]

Apariția și dezvoltarea rețelelor de căi ferate a generat, respectiv a făcut posibilă dezvoltarea mai multor ramuri industriale printre care am putea aminti industria mecanică și cea a construcțiilor în general. O dezvoltare semnificativă a avut și construcția de lucrări de artă ca: poduri, podețe, viaducte, tuneluri, etc., deoarece odată cu dezvoltarea rețelelor de căi ferate, această ramură a construcțiilor a fost nevoită să țină pasul cu provocările tehnice din ce în ce mai îndrăznețe pentru acele vremuri, necesare asigurării continuității căii în depășirea obstacolelor naturale.

Construcția căilor ferate pe teritoriul românesc are un început destul de anevoios. Principalul obstacol în demararea lucrărilor o constituia problema financiară care depășea posibilitățile Principatelor Române, fiind necesar a recurge la concesionarea construcției căilor ferate către consorțiile financiare occidentale. Astfel a început în istoria căilor ferate de la noi așa numita „perioadă a concesiunilor”, care oferea posibilitatea de a dispune mai repede de transport pe cale ferată, plătit în timp îndelungat, dar după cum s-a dovedit ulterior, în schimbul unor eforturi financiare semnificative. În această perioadă au fost construite următoarele linii de cale ferată:

Lucrări efectuate de Consorțiul John Trevor Barkley - J. Stanthforth

- București – Giurgiu, 1 noiembrie 1869 (70 km)

Lucrări efectuate de Consorțiul austro-englez Van Offenheim

- Ițcani – Roman, 15 decembrie 1869 (104 km)
- Pașcani – Iași, 01 iunie 1870 (76 km)
- Verești – Botoșani, 01 noiembrie 1871 (44)

Lucrări începute de Concesiunea Strousberg și terminate de Societatea Acționarilor Căilor Ferate Române

- Roman - Galati – București Gara de Nord, 13 decembrie 1872
- Pitești – Vîrciorova, 05 ianuarie 1875

Lucrări efectuate de Consorțiul Crawley - Guilloux

- Ploiești – Predeal, iunie 1879 (85 km)

În ceea ce privește evoluția construcțiilor de căi ferate pe teritoriul Banatului și a Transilvaniei, aflate la acea vreme sub ocupație austro-ungară, acestea sunt legate de legea de concesionare către vestita societate STEG. Astfel prima linie de cale ferată deschisă la data de 1 noiembrie 1856, care de altfel este și cea mai veche de pe rețeaua actuală a căilor ferate române, este linia care unește portul dunărean Baziaș cu Oravița și deservea alimentarea vapoarelor dunărene cu cărbunele extras de la Anina. Ulterior au fost terminate următoarele linii:

- Szeghedin – Jimbolia – Timișoara, 15 noiembrie 1857 (114 km)
- Timișoara – Stamora Moravița – Jasenovo, 20 iulie 1858 (94 km)
- Vălcani – Periam, 1870 (43 km)
- Arad – Timișoara, 1871 (55 km)
- Timișoara – Caransebeș, 1876 (98 km)
- Caransebeș – Orșova, 1878 (89 km)

În cazul consorțiului Strousberg, desfășurarea lucrărilor este marcată de numeroase probleme (diferențe între măsurătorile guvernului și ale firmei, lucrări întârziate dar plătite, etc.). După ce Strousberg a dat faliment în 1870, pe 5 iulie 1871 este adoptată legea ce anula concesiunea căii ferate către consorțiul Strousberg. În cele din urmă, concesiunea a fost preluată în 1872 de bancherii vienezi Bleichroder și Hansemann. Lucrarea s-a încheiat în 10 ani.[33]

Construcția căii ferate este preluată de societatea Staatsbahn, din Viena, la cererea deținătorilor de obligațiuni ale consorțiului Strousberg, care preluaseră toate drepturile și obligațiile consorțiului. În 1874 și Societatea Acționarilor își termină fondurile și statul român este obligat să răscumpere o parte din rețea. După Războiul de Independență al României, au loc alte negocieri cu partea germană, în urma cărora, în 1880, statul român a răscumpărat întreaga rețea. Trecerea în exploatare românească a acestor linii determină înființarea în aprilie 1880 a administrației de stat denumită „Direcțiunea Princiară a Căilor Ferate Române”. Încă de la înființare Direcțiunea a avut în vedere elaborarea unui program de construcție a noi linii de cale ferată, pregătirea și punerea în practică a acestui program.

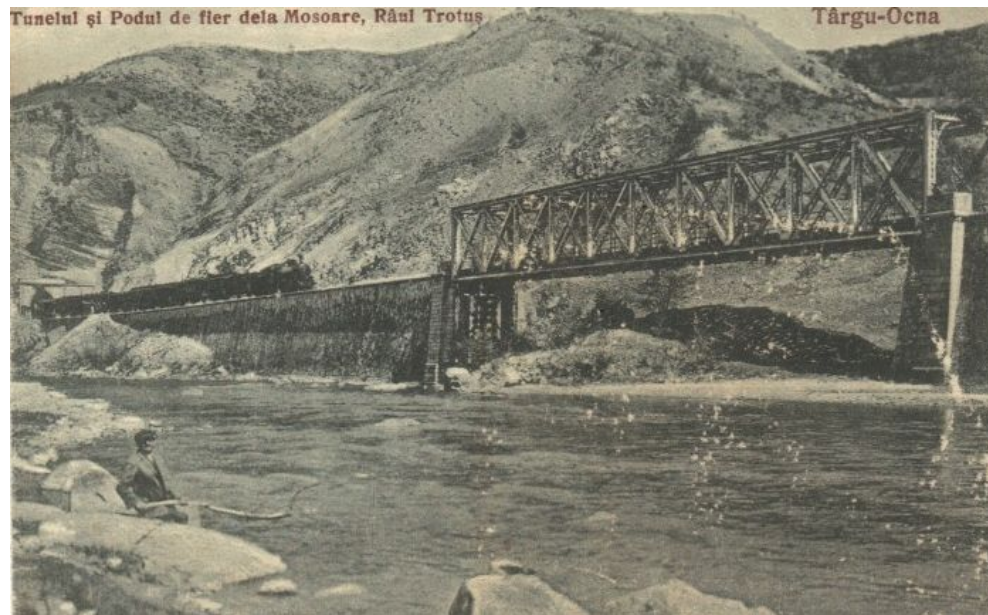
Astfel în perioada imediat următoare au fost finalizate sub îndrumarea specialiștilor români, lucrările la următoarele trasee de cale ferată:

- Buzău – Mărășești, iunie 1881 (90 km)
- Adjud – Tg. Ocna, 1884 (50 km)
- Câmpina – Doftana, 1885
- Buda – Slănic, 1885
- Bârlad – Vaslui, 1886

Linia de cale ferată Adjud – Târgu Ocna a fost proiectată de Anghel Saligny în 1881, pentru care a prevăzut în 1882 primul pod combinat șosea-cale ferată din țară peste râul Trotuș. Dimensiunile suprastructurii podului sunt: 150 m lungime, 12,50 m lățime, din care 6 m reprezintă partea căii ferate, iar 6,50 m partea carosabilă.



*Podul din Onești peste râul Trotuș proiectat de inginerul român Anghel Saligny [36]*



*Podul de la Moșoare peste râul Trotuș – Târgu Ocna*

Un alt pod de referință pentru acea vreme este cel peste râul Doftana de pe linia de cale ferată ce leagă localitățile Câmpina de Doftana.



*Podul peste râul Doftana*

În aprilie 1883 apare legea pentru exploatarea căilor ferate ale statului, ce reglementa organizarea și funcționarea acestora și schimbă actuala denumire în „Direcțiunea Generală a Căilor Ferate Române”, fiind în subordinea Ministerului Lucrărilor Publice. Lucrările de construcții de căi ferate și lucrări de artă sunt efectuate sub îndrumarea și supervizarea specialiștilor români. Urmează astfel o perioadă din istoria construcțiilor căilor ferate românești cunoscută sub numele de „construcții naționale” (1880 – 1916), perioadă în care au fost construite cca 2100 km de linii de cale ferată noi pe traseele cărora se găsesc câteva lucrări de artă de o tehnicitate remarcabilă – podul de peste Dunăre proiectate și executate între anii 1891-1895 sub îndrumarea reputatului inginer Anghel Saligny [32]. Podul de peste Dunăre are o deschidere centrală de 190 metri și alte 4 deschideri de 140 metri, alături de un viaduct cu 15 deschideri de 60 metri. Podul se regăsește la 30 de metri peste nivelul apelor mari ale Dunării pentru a permite trecerea vaselor cu cele mai mari catarge. La vremea respectivă, a devenit cel mai lung pod din Europa și al treilea ca lungime din întreaga lume.[32]



*Podul de la Fetești-Cernavodă peste Dunăre proiectat de inginerul român Anghel Saligny [37]*

Primul război mondial a provocat României pagube materiale imense. Calea ferată era paralizată în urma distrugerilor provocate de război. Erau necesare lucrări de consolidare a liniilor de cale ferată, de refacere a lucrărilor de artă afectate, refacerea sau construirea de stații noi, depouri, uzine, ateliere, etc. Tot o necesitate o reprezenta și execuția de noi trasee de legătură cu provinciile alipite și de asemenea cu străinătatea. Astfel C.F.R. a elaborat un program de investiții pe care l-a și pus în aplicare și astfel au fost date în circulație următoarele linii de cale ferată:

- Ilva Mică – Vatra Dornei – 15. decembrie 1938
- Caransebeș – Reșița – octombrie 1938 (41 km)
- Dublarea liniei Teiuș – Apahida – octombrie 1938 (90 km)
- Tulcea – Babadag – martie 1939
- Eforie Sud – Mangalia – iulie 1938

Dar, cum istoria se repetă, rețeaua de cale ferată a suferit distrugeri și în al doilea război mondial, distrugeri ce se cifrau la 1200 km de linii de cale, 1257 de poduri și podețe, 23 de tuneluri și un număr însemnat de depouri și ateliere.[2]

După anul 1949, după ce România a devenit republică comunistă, calea ferată a devenit un simbol al industrializării rapide sub conducerea lui Gheorghe Gheorghiu Dej și Nicolae Ceaușescu. În perioada 1948-1959 au fost executate lucrări de refacere, consolidare și dezvoltare ce au constat în principal în introducerea tipurilor de șină mai grele, a traverselor de beton, refacerea podurilor și podețelor, mărirea gabaritelor tunelurilor, refaceri de depouri și ateliere, reconstrucția stațiilor distruse. Dar pe lângă aceste lucrări, s-a pus accent și pe dublarea liniilor existente și electrificarea acestora. Prima linie electrificată a fost Brașov – Predeal deschisă la 9 decembrie 1965.

Rețeaua de cale ferată a fost dezvoltată prin finalizarea mai multor linii de cale ferată dintre care trebuie amintite:

- Bumbesti – Livezeni, 22 octombrie 1948 (31 km)
- Făurei – Tecuci, 16 octombrie 1949 (90 km)
- Salva – Vișeu de Jos, 28 decembrie 1949 (61 km)
- Piatra Neamț – Bicaz, 1951

În această perioadă a fost finalizat „Podul prieteniei” peste Dunăre, care unește Giurgiu de Ruse, Podul a fost construit pentru trafic mixt: în partea inferioară are o cale ferată simplă, iar la partea superioară are o șosea cu două benzi de circulație.

Suprastructura are 37 deschideri și este simetrică față de deschiderea centrală de 86 m. Lungimea totală a podului este de 2223,52m. Toate tablierele sunt metalice nituite (cele mici, dingrinzi cu inima plina, iar cele mari, din grinzi cu zăbrele cu tălpi paralele). Tablierele podului propriu-zis sunt comune pentru calea ferată și șosea, în timp ce tablierele viaductelor de acces sunt separate pentru fiecare cale. Cele patru tabliere de 80 m, precum și cele două de 160 m, sunt grinzi continue pe câte două deschideri. [12]. Construcția a durat doi ani și trei luni și a fost dată în exploatare la data de 20 iunie 1954, când s-a și inaugurat.



*Podul Prieteniei, Giurgiu –Ruse [39]*



*Podul Prieteniei, Giurgiu –Ruse, dat în exploatare la data de 20 iunie 1954*

După căderea regimului comunist în 1989, România a rămas cu una din cele mai mari, dense și utilizate rețele de căi ferate din Europa dar, în același timp, a rămas în urmă cu modernizarea acestei infrastructuri. Acest lucru, combinat cu decăderea economică din anii

1990, cauzată de trecerea țării la economia de piață, a dus la intrarea companiei CFR într-o relativă perioadă de declin. Câteva rute mai puțin circulante, mai ales în zonele rurale, au fost desființate, iar materialul rulant, achiziționat în mare parte în anii 1970, a intrat într-o perioadă de lipsă de reparații. Imaginea CFR-ului, atât în țară cât și în străinătate, a avut mult de suferit datorită serviciilor feroviare de proastă calitate și conducerea slabă. Situația a continuat până în anul 1998 când Societatea Națională a Căilor Ferate Române a fost reorganizată în patru instituții finanțate independent pentru a mări eficiența, iar compania a fost redenumită Compania Națională de Căi Ferate. După acest eveniment, situația căilor ferate românești s-a îmbunătățit, în mare parte datorită ameliorării situației economice a țării după anul 2000, ce a permis pornirea unor proiecte de investiții mai importante. [33].

Compania Națională de Căi Ferate a inițiat un proiect major de infrastructură prin reabilitarea Coridorului IV PanEuropean care traversează România. În aprilie 2006 începe modernizarea liniei București - Constanța, pentru a îmbunătăți viteza maximă ce poate fi atinsă pe această linie (de la 140 km/h la 160 km/h). [33]

Între 2001 și 2004 s-a reabilitat tronsonul București-Ploiești Vest - Câmpina, urmat de tronsonul Câmpina – Sinaia - Predeal între 2009 și 2012. Tronsonul Câmpina – Predeal a fost reabilitat de Concernul PORR – infrastructură și Asociera Franz Kassecker – Bilfinger Berger pentru lucrările de poduri și apărări de albie (41 de structuri de poduri reabilite). Un alt lot de poduri de pe acest tronson a fost reabilitat de firma gălățeană Arcada Company S.A.

Lucrările de reabilitare poduri și podețe de pe tronsonul Câmpina – Predeal au fost împărțite pe trei loturi după cum urmează:

- Sublotul 2.1. "Reabilitare podețe de beton"
- Sublotul 2.2. "Reabilitare poduri metalice"
- Sublotul 2.3. "Construcție poduri noi"



*Pod km 116+092 – Reabilitare CF Câmpina – Predeal*



*Pod km 121+739 – Reabilitare CF Câmpina – Predeal*



*Pod km 104+635 – Reabilitare CF Câmpina – Predeal*

În anul 2013 CFR a demarat un proiect amplu de modernizare a tronsonului Sighișoara - Simeria pentru creșterea vitezei de deplasare la 160 km/h pentru trenurile de călători și 120 km/h pentru trenurile de marfă. În februarie 2013 s-a semnat un contract în valoare de 1,13 miliarde de euro pentru reabilitarea tronsonului Coșlariu - Sighișoara pe o lungime de 89,5 km. Proiectul este cofinanțat de Uniunea Europeană cu 740 milioane de euro. Consorțiul format din Swietelsky, Strabag, Alstom, Arcada, Euro Construct Trading 98 și Transferoviar Grup lucrează în prezent la reabilitarea tronsonului Vințu de Jos – Simeria. În paralel, s-au reabilitat 41 de Km din tronsonul Frontiera-Curtici-Simeria. [33]



10/05/2016 10:31 AM  
Pod peste râul Strei, km 462+841 – Simeria Veche, Reabilitare CF Simeria – Vintu de Jos



Pod peste râul Strei, km 462+841 – Simeria Veche  
Reabilitare CF Simeria – Vintu de Jos



10/11/2016 10:43  
Armare tablier fir I pod structura mixtă – grinzi înglobate în beton, km 463+121 – Simeria Veche  
Reabilitare CF Simeria – Vintu de Jos





*Pod structura mixtă – grinzi înglobate în beton, km 463+121 – Simeria Veche  
Reabilitare CF Simeria – Vintu de Jos*

Avantajele urmărite prin implementarea contractelor cofinanțate de Uniunea Europeană sunt, în principal, următoarele:

- reabilitarea și modernizarea secțiunilor de cale ferată având drept scop atingerea vitezelor de 160km/h pentru trenurile de călători și 120km/h pentru trenurile de marfă;
- creșterea capacității de circulație și reducerea timpilor de călătorie;
- creșterea confortului și siguranței călătorilor;
- realizarea unei infrastructuri feroviare moderne și inter-operabile, conform standardelor europene;
- integrarea rețelei feroviare române în rețeaua europeană de transport [40]

## 2.2. Noțiuni despre poduri de cale ferată

### 2.2.1. Clasificarea podurilor și denumirea acestora

Tema prezentei lucrări de doctorat este studiul podurilor de cale ferată în secțiune mixtă oțel-beton, mai precis a podurilor dalate în diferite tipuri de alcătuirii a secțiunii mixte: dală cu structura metalică alcătuită din platbande, din țevi de oțel sau dală cutată. Din acest motiv nu voi face o clasificare a podurilor din punct de vedere a destinației (care în cazul de față este cel de cale ferată) și nici a materialului constructiv (oțel – beton în cazul de față), clasificare care poate fi găsită sporadic în literatura de specialitate.

Definiția podului așa cum apare în standardul român STAS 5626 / martie1992 este următoarea:

- *Pod – Construcție care susține o cale de transport deasupra unui obstacol, lăsând un spațiu liber pentru asigurarea continuității obstacolului traversat.*[8]

În multe din cazuri acest obstacol nu este neapărat un râu, fluviu, etc., ci poate să fie o altă cale de comunicație și în cazul acesta, podurile se clasifică în:

- *Pasaj inferior – Pod de cale ferată care traversează o șosea.*[8]
- *Pasaj superior – Pod de șosea care traversează o cale ferată.* [8]
- *Pod de încrucișare – Pod care asigură încrucișarea la niveluri diferite a două sau mai multor căi de comunicație de același fel.* [8]

sau poate fi o vale, caz în care podurile poartă denumirea de viaduct și se clasifică în:

- *Viaduct – pod care traversează o vale adâncă, înlocuind un rambleu.* [8]

- *Viaduct de acces – viaduct care face legătura între terasamente și pod.* [8]
- *Viaduct de coastă – viaduct în lungul unei coaste de munte.* [8]

Sau în cazul unei zone amenajate care trebuie evitată:

- *Pod estacadă – pod având rolul de a ridica o cale de transport deasupra unei zone de teren amenajată.* [8]

Traversarea obstacolelor pot fi făcute pe poduri care susțin mai multe căi de transport. În acest caz podurile se clasifică în:

- Pod combinat – pod care susține o șosea și o cale ferată pe aceeași suprastructură
  - Pod combinat juxtapus – pod combinat la care căile de comunicație sunt alăturate
  - Pod combinat suprapus – pod combinat la care căile de comunicație sunt la nivele diferite

Elementele geometrice al podurilor:

- Deschiderea podului – proiecția pe orizontală a distanței dintre două puncte consecutive de rezemare teoretică a infrastructurii pe suprastructură
- Lumina unei travei a podului – distanța minimă pe orizontală măsurată între fețele a două elemente de infrastructură consecutive
- Lungimea totală a podului – distanța între fețele extreme ale culeelor podului.
- Înălțimea de construcție – diferența de nivel dintre partea cea mai ridicată a căii (NST) și partea cea mai joasă a suprastructurii, incluzând și săgeata elastică maximă produsă de încărcările din exploatare.
- Săgeata elastică – deplasarea măsurată pe verticală a unui punct al structurii podului, care se produce ca și consecință a deformării elastice a structurii sub acțiunea unui sistem de încărcare
- Contrasăgeată – deplasarea pe verticală dată inițial punctelor unui element principal de rezistență, în sens invers deformațiilor provocate de încărcările care îl acționează.

La o trecere în revistă a unei clasificări a podurilor în funcție de deschiderea acestora așa cum îl prevede Standardul Român STAS 5626 / martie 1992, pentru ca mai apoi să delimităm și tipurile de soluții constructive în funcție de aceste deschideri, podurile pot fi:

- Podețe – pod cu deschidere sau suma deschiderilor sub 5 m.
- Pod mic – pod a cărui deschidere este de 5 – 20 m.
- Pod mijlociu – Pod a cărui deschidere maximă este de 21 – 50 m.
- Pod mare – Pod a cărui deschidere maximă este de 51 – 100 m
- Pod foarte mare – Pod având cel puțin o deschidere de peste 100 m

În funcție de modul de alcătuire a suprastructurii, podurile se clasifică în:

- Pod cu grinzi – Pod la care elementele principale de rezistență ale suprastructurii sunt grinzi. Grinzile simplu rezemate se utilizează pentru deschideri mici, până la 25 m, în timp ce grinzile continue se utilizează pentru deschideri medii și mari între 20 – 100 m.
  - Pod cu grinzi din beton. Pentru podurile de cale ferată se diferențiază două tipuri de poduri cu suprastructura alcătuită din grinzi de beton:
    - Cu secțiune deschisă – între 10-30m deschidere
    - Cu secțiune casetată – până la 50m deschidere
  - Pod metalic cu grinzi cu inimă plină – deschideri de 30-50m pentru poduri de cale ferată

- Pod cu grinzi cu zăbrele – în cazul podurilor de cale ferată se utilizează pentru deschideri mijlocii, mari și foarte mari, între 40 – 300 m.
- Pod cu grinzi mixte cu conlucrare – deschideri de 30 – 40 m în cazul podurilor de cale ferată
- Pod cu contrafișe
- Pod dalat – pod al cărui element principal de rezistență al structurii este dala. Utilizat pentru deschideri mici și medii, în cazul podurilor de cale ferată pentru deschideri între 5 – 12 m.
- Podeț
  - tubular – podeț alcătuit din tuburi care străbat transversal rambleul terasamentului
  - ovoidal
  - dalat – podeț la care suprastructura este alcătuită dintr-o dală prefabricată sau monolită din beton armat care reazemă direct pe elementele de infrastructură fără aparate de reazem. O altă soluție structurală a podețelor dalate ar fi cea în secțiune mixtă oțel-beton cu structura metalică alcătuită din platbande.
  - din cadre prefabricate - podeț alcătuit din cadre prefabricate care străbat transversal rambleul terasamentului
- Pod boltit – pod al cărui element principal de rezistență este bolta
- Pod în arc – pod al cărui element principal de rezistență este arcul. Deschiderile maxime sunt de 300m pentru podurile în arc din beton, respectiv de 550-600m pentru podurile în arc din metal.
- Pod în cadru – pod al cărui element principal de rezistență este cadru
- Pod suspendat – pod ale cărui elemente principale de rezistență sunt cablurile sau lanțurile, tablierul fiind suspendat de ele prin intermediul tiranților. Deschiderile pentru aceste tipuri de poduri pot atinge valori de 1000-2000m.
- Pod hobanat – pod al cărui tablier este susținut de cabluri rectilinii oblice. Aceste tipuri de poduri pot deservi deschideri de până la 900m.

### 2.2.2. Definiții și nomenclatura elementelor constructive

Un pod se compune din două părți principale:

- Infrastructura
- Suprastructura

Infrastructura este partea componentă a podului care susține suprastructura și preia solicitările din suprastructură transmise prin intermediul sistemului de rezemare și le transmite mai departe la terenul de fundare.

Suprastructura podului este acel element care conține calea și structura ce reprezintă principalul element de rezistență (dala cu secțiune compusă oțel-beton). Suprastructura unui pod poate fi împărțită pe mai multe travee.

În figura 2.2.2.-1. am exemplificat elementele constitutive ale infrastructurii și suprastructurii unui pod cu secțiune compusă oțel-beton la care grinzile metalice sunt înglobate în dala de beton (GMIB).

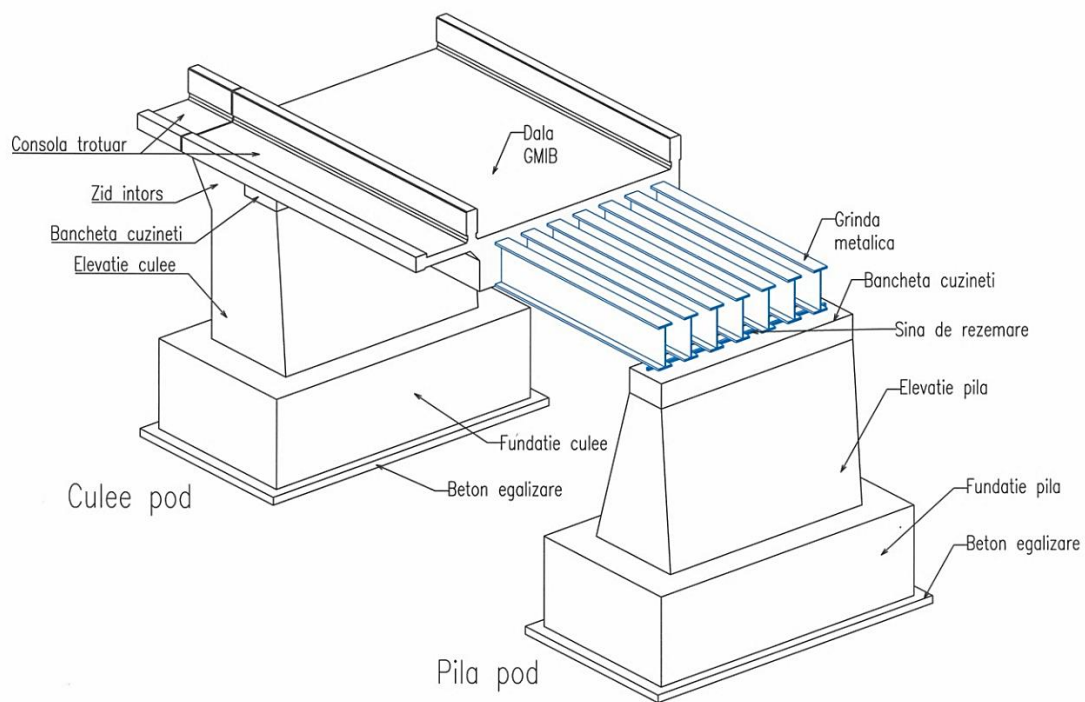


Fig.2.2.2.-1. Elemente constructive ale unui pod structură mixtă oțel-beton tip grinzi înglobate

Culeea podului este acel element al infrastructurii care susține traveea de capăt și sprijină terasamentele de la capetele podului.

Pila podului este acel element intermediar al infrastructurii podului care susține două travee învecinate.

Părțile constitutive comune ale unei culei sau pile sunt următoarele:

- Beton de egalizare – este un strat subțire (10-20 cm) de beton narmat care precede lucrările de armare și cofrare a fundației. Nu are rol structural, doar tehnologic și anume de a facilita și proteja lucrările de armare și cofrare a fundației.
- Fundație culee sau pilă– parte componentă a structurii de rezistență a podului cu rol de transmitere a încărcărilor la terenul de fundare.
- Elevație culee sau pilă – parte componentă a infrastructurii unui pod situată deasupra terenului.
- Bancheta cuzineților – parte superioară a culeelor sau pilelor care susțin aparatele de reazem
- Aparatul de reazem – element prin care se realizează transmiterea încărcărilor de la suprastructură la infrastructură, cu asigurarea mobilității în funcție de structura statică adoptată. Aparatele de reazem pot fi fixe sau mobile.

În cazul podurilor dalate de deschideri mici și mijlocii cu secțiune mixtă oțel-beton, aparatul de reazem este o șină de cale ferată înglobată pe toată lungimea ei în bancheta cuzineților pe care reazemă direct dala. Diferențierea dintre aparatul de reazem fix și mobil se face prin sudarea de talpă, în zona de rezemare fixă, a două plăcuțe metalice la o distanță între ele egală cu lățimea ciupercii șinei de rezemare, formând astfel un lăcaș în care este prinsă șina pentru a nu permite deplasarea grinzii în sens longitudinal (Fig. 2.2.2.-3.).

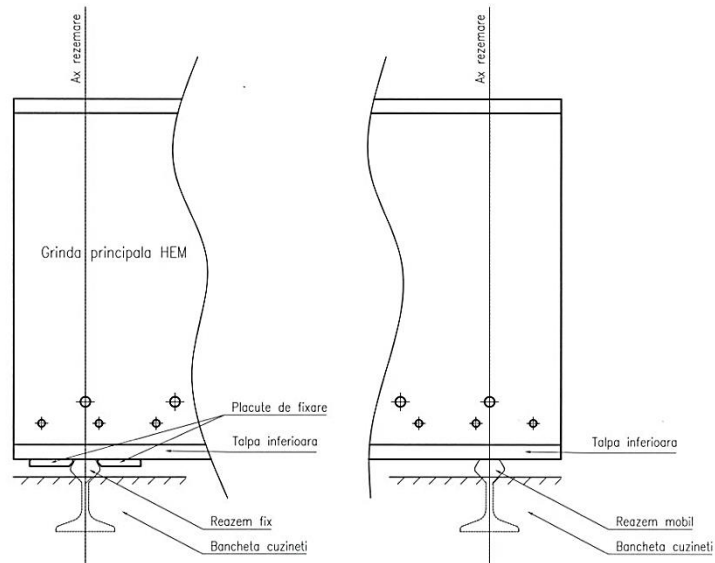


Fig.2.2.2.-2. Modalitate de alcătuire a rezemării la poduri dalate în secțiune mixtă

Părți constitutive ale infrastructurii caracteristice numai culeelor, așa cum se poate vedea în figura 2.2.2.-3. sunt următoarele:

- Zid de gardă – elementul culeii care este așezat pe bancheta cuzineților, pe întreaga lungime a acesteia spre a opri umplutura din spatele culeii să cadă pe bancheta cuzineților.
- Zid întors – element al culeii sub formă de zid construit în prelungirea culeii în lungul căii cu rol în sprijinirea terasamentelor. Zidul de gardă poate să fie susținut de fundații proprii sau să fie scos în consolă din culee.
- Aripă – zid de sprijin amplasat lateral culeii cu rol de sprijinire și racordare a terasamentelor la capetele podului. Se utilizează în cazul terasamentelor de înălțime mare.
- Sfert de con – umplutură de pământ ce realizează racordarea terasamentelor de la capătul podului cu fețele laterale ale culeelor. Se utilizează în cazul terasamentelor de înălțime mică.

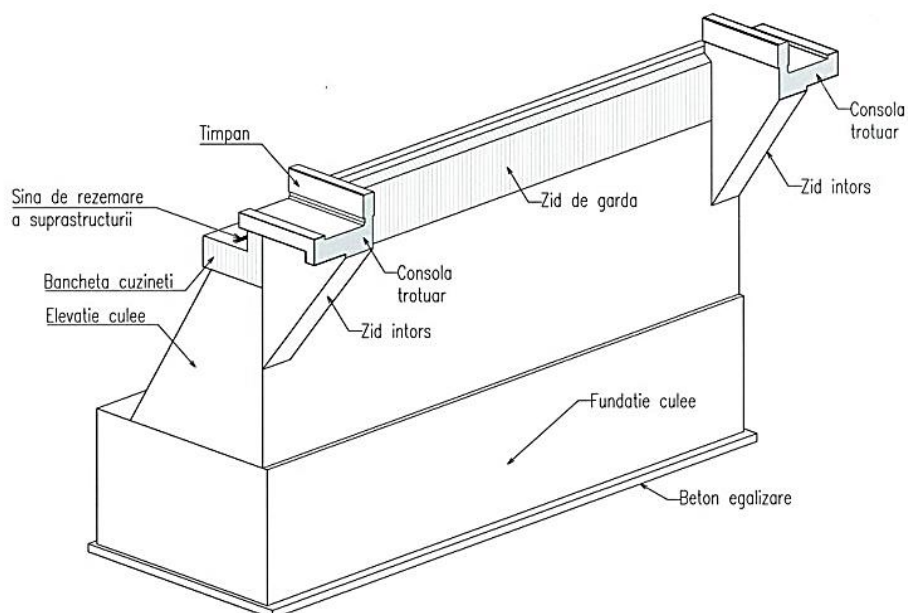


Fig.2.2.2.-3. Elemente constitutive ale unei culei de pod

### 2.3. Poduri dalate

La podurile dalate de cale ferată secțiunea transversală a fost concepută în așa fel încât să fie asigurată continuitatea prismului de piatră spartă pe pod. Dala are o formă de „cuvă”, formă dată de cele două timpane laterale care rețin prismul de piatră spartă.

De-a lungul timpului, podurile dalate au fost realizate prin diferite soluții de alcătuire structurală a suprastructurii, cum ar fi:

- Pod dalat cu șine înglobate
- Pod dalat cu grinzi metalice înglobate
- Pod dalat din oțel-beton

În fig. 2.3-1. – 2.3-6. se pot vedea câteva exemple de poduri (podețe) dalate de cale ferată executate la noi în țară, pe linia CF Cluj-Oradea.

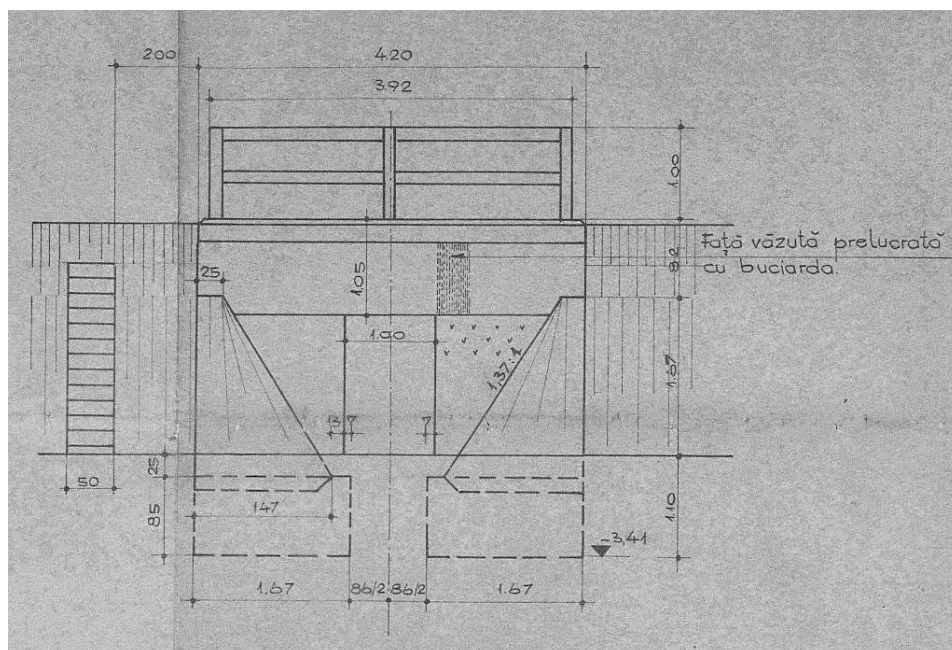


Fig.2.3-1. Linia Cluj-Oradea km 568+974 – Podet dalat – Vedere laterală – An proiect 1966 [5]

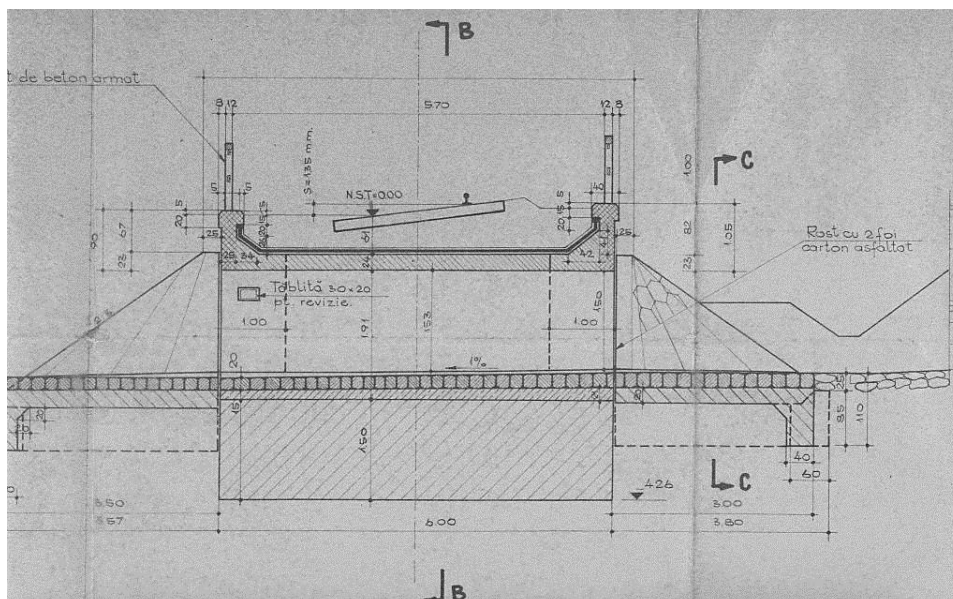


Fig.2.3-2. Linia Cluj-Oradea km 568+974 – Podet dalat – Secțiune transversală – An proiect 1966 [5]

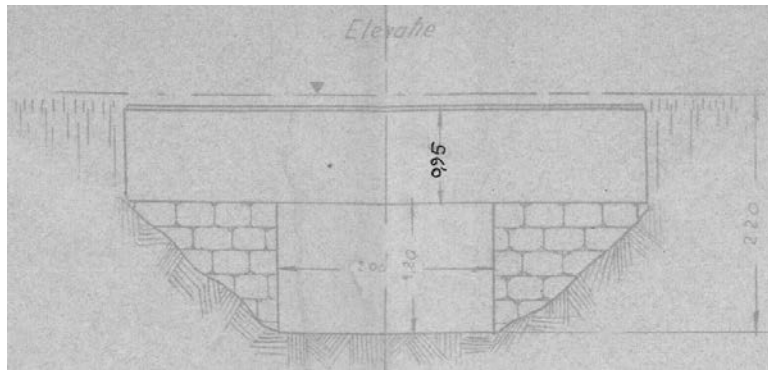


Fig.2.3.-3. Linia Cluj-Oradea km 572+951 – Podet dalat – Vedere laterală – An proiect: 1950-1955 [5]

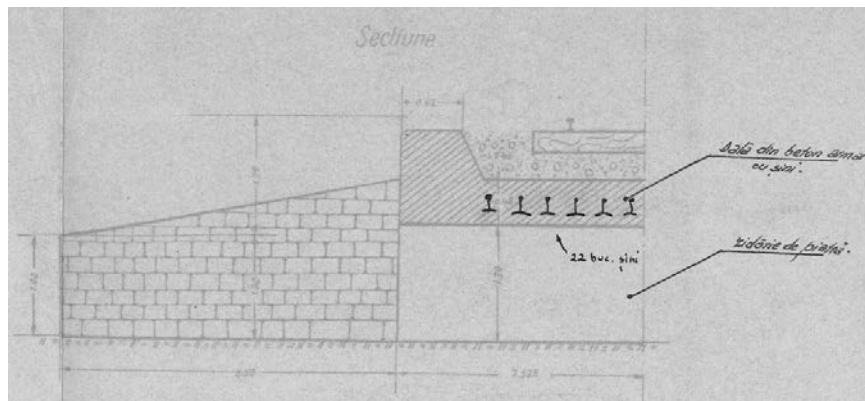


Fig.2.3.-4. Linia Cluj-Oradea km 572+951 – Podet dalat – Vedere laterală – An proiect: 1950-1955 [5]

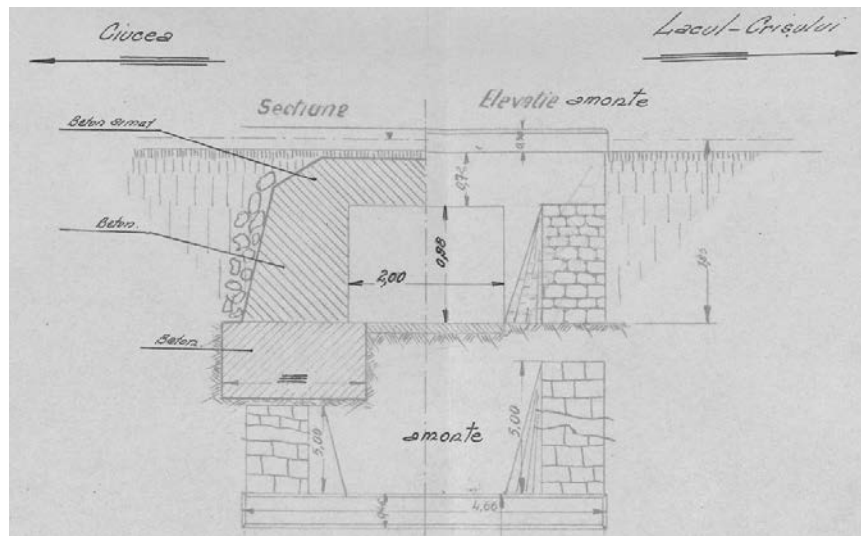


Fig.2.3.-5. Linia Cluj-Oradea km 577+931 – Podet dalat – Secțiune / Vedere longitudinală  
An proiect: 1956 [5]

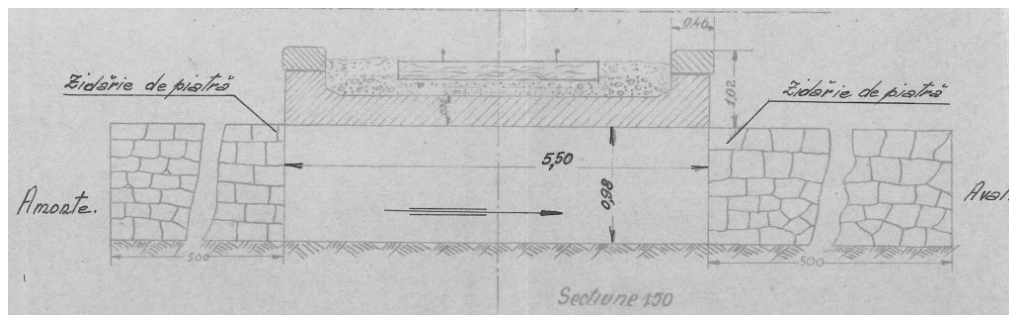


Fig.2.3.-6. Linia Cluj-Oradea km 577+931 – Podet dalat – Secțiune transversală  
An proiect: 1956 [5]

Grosimea dalei se stabilea printr-o dimensionare ce ținea cont atât de încărcările permanente cât și de cele utile din trafic.

Lățimea dalei trebuia să asigure gabaritul de liberă trecere pe pod. Podurile dalate vechi aveau asigurată o distanță între cele două timpane laterale ale dalei pe un fir de circulație de doar 3,2-3,5m, ceea ce nu permitea ulterior realizarea lucrărilor mecanizate de întreținere a căii ferate (fig. 2.3-7.).

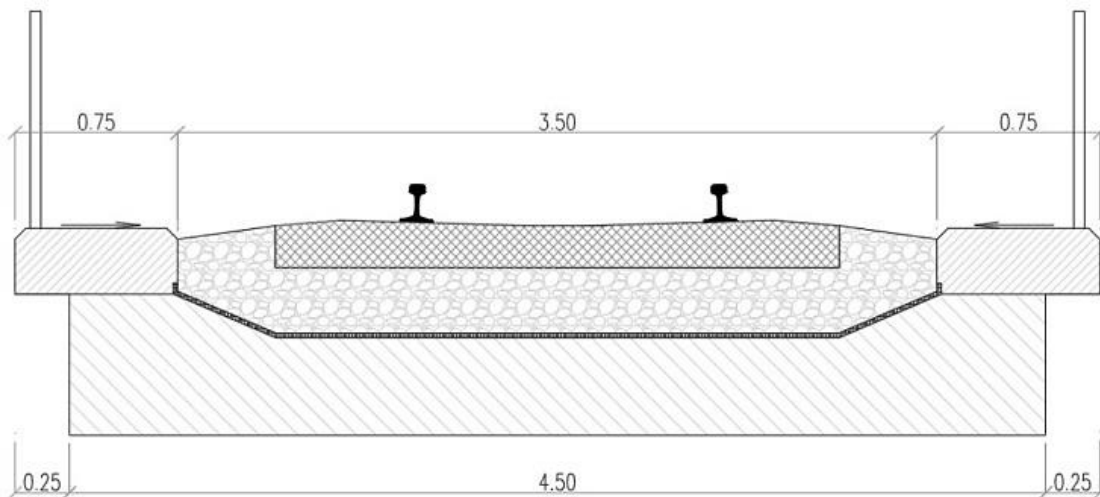


Fig.2.3.-7. Secțiune transversală pod dalat de cale ferată – tip vechi

Astfel, în noile prescripții s-a urmărit realizarea lățimii prismului de piatră spartă la 4,5m și o grosime a balastului sub talpa traversei între 30-50cm. (fig. 2.3-8.).

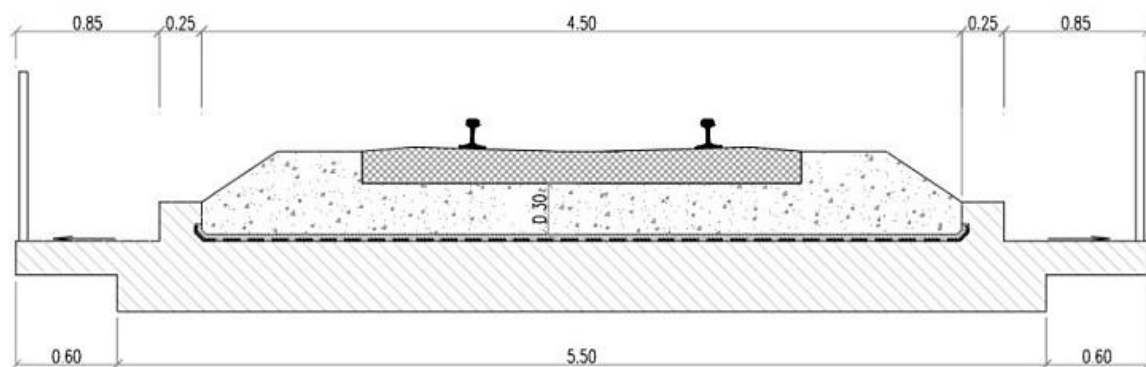


Fig.2.3.-8. Secțiune transversală pod dalat de cale ferată – tip nou

#### 2.4. Poduri dalate cu secțiune compusă oțel - beton

Tendențele actuale de dezvoltare a transportului pe calea ferată impun realizarea unor cerințe tehnice din punctul de vedere al infrastructurii și suprastructurii căii care să asigure printre altele o sporire a vitezei de circulație a trenurilor. Pornind de la această premisă, o cerință primordială în reabilitarea sau construcția podurilor mici și mijlocii este asigurarea continuității prisme de piatră spartă.

Această cerință, de continuitate a patului de balast pe pod, este posibilă prin schimbarea soluției tradiționale de realizare a căii „de tip deschis” la care suprastructura căii ferate (traverse și șine) reazemă direct pe elementele de rezistență a suprastructurii podului: lonjeroni, grinzi



principale, cu cea de „tip închis” la care suprastructura căii ferate reazemă prin intermediul unui strat de piatră spartă susținut de o cuvă.

Exemplu concludent în acest sens sunt două dintre podurile reconstruite de pe linia de cale ferată Simeria – Vintu de Jos din cadrul proiectului de „Reabilitare a liniei de cale ferată Braşov – Simeria, parte componentă a Coridorului IV Pan European, pentru circulația trenurilor cu viteză maximă de 160 km/h”. În imaginile de mai jos se poate observa tablierul metalic nituit de la km 463+121 (Simeria Veche), grindă cu inimă plină cu calea sus, de pe Firul I CF a tronsonului înainte amintit. Tablierul de pe firul II CF a fost tot un tablier metalic nituit, cu inimă plină, dar cu calea jos.



*Tablier metalic nituit, grindă cu inimă plină, cale sus  
Km 463+121 Simeria Veche, Reabilitare CF Simeria – Vințu de Jos*

Pentru reabilitarea liniei, în vederea aducerii acesteia la parametrii tehnici conform prevederilor din acordurile europene pentru circulația trenurilor cu viteză maximă de 160 km/h, la acest pod, soluția tehnică a fost aceea de a se realiza un pod nou care să confere continuitatea prismului de piatră spartă pe pod și care să corespundă din toate punctele de vedere la cerințele impuse.

În proiectul faza P.Th. + D.E. s-a prevăzut realizarea unui pod nou, cu suprastructura compusă oțel-beton, alcătuită din două tabliere independente, grinzi metalice de lungime L=20,00m înglobate în beton după cum se poate vedea în imaginile următoare:



*Pod în structură mixtă oțel-beton cu grinzi înglobate în beton  
Km 463+121(Simeria Veche) – Reabilitare CF Simeria – Vintu de Jos*

Atât pe traseele de cale ferată cât și pe cele rutiere, în special în zonele de deal și munte, unde necesitatea evacuării apelor apare mai des, se utilizează în mod pregnant așa numitele poduri în structură mixtă oțel-beton, tip cuvă. Aceste structuri pot fi utilizate și pentru ecoducte, având rolul de a diminua efectele nedorite pe care traficul l-ar avea asupra mediului pe care-l traversează, împiedicând fragmentarea habitatului.

Așa cum am arătat anterior, marele avantaj al acestor poduri este faptul că se asigură continuitatea patului de balast pe pod, astfel nefiind necesare modificări în ceea ce privește suprastructura căii ferate.

Principalele avantaje ale acestor tipuri de structuri mixte față de cele convenționale sunt următoarele:

- posibilitatea modificării traseului căii în plan și a niveletei profilului longitudinal
- deraierile pe podurile în structură mixtă au urmări mai puțin grave decât pe cele convenționale,
- înălțimea suprastructurii este mai mică la podurile în structură mixtă, în același timp structura este mai rigidă și mai favorabilă din punctul de vedere al acțiunilor dinamice prin atenuarea fenomenului de oboseală,
- construcția lor este mult mai rapidă decât a podurilor convenționale din beton armat, fiind necesară o cantitate mult mai mică de cofraje,
- înlocuirea traverselor de lemn cu traverse din beton precomprimat,
- asigurarea întreținerii căii pe poduri cu ajutorul utilajelor de mare productivitate, funcționând în mod continuu,
- elasticitatea căii este aceeași ca și în linia curentă datorată prismului de balast.

Dezavantajul acestor tipuri de poduri față de cele metalice este greutatea proprie mai mare, respectiv necesitatea unei fundații mai puternice.

#### 2.4.1. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande

Secțiunea transversală a unei dale cu secțiunea mixtă oțel-beton la care structura metalică este alcătuită din platbande, se poate vedea în figurile alăturate fig. 2.4.1.-1, respectiv fig. 2.4.1.-2 – vedere în spațiu:

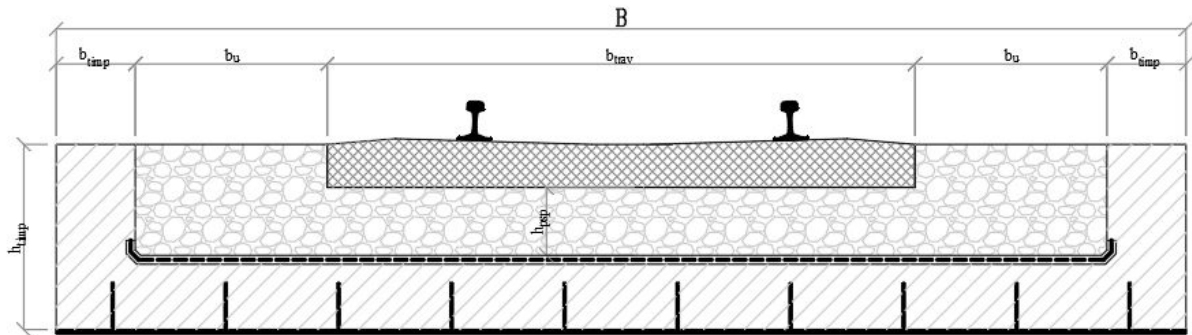


Fig. 2.4.1.-1 – Secțiune transversală dală cu secțiune mixtă oțel-beton – structura metalică din platbande

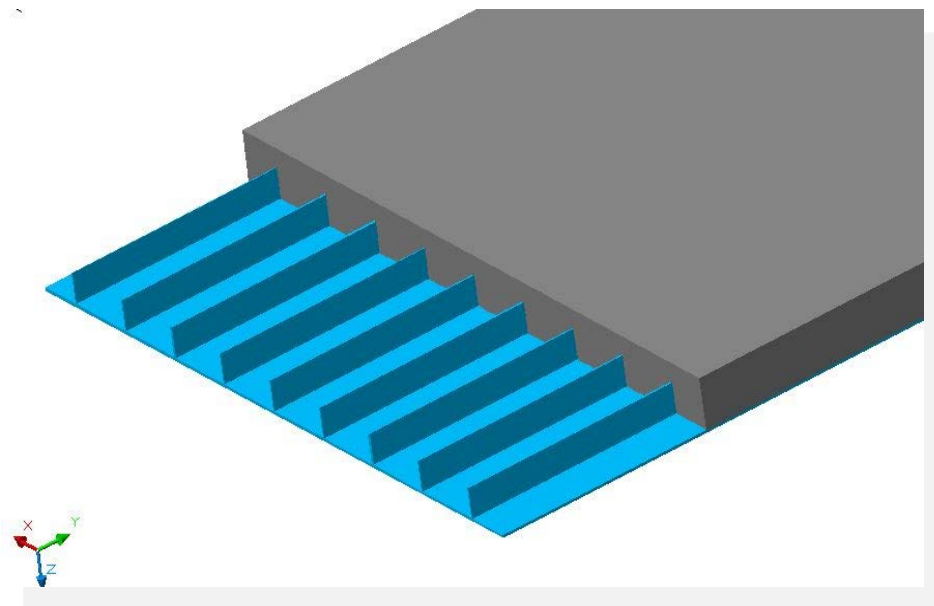


Fig. 2.4.1.-2 – Vedere în spațiu dală cu secțiune mixtă oțel-beton – structura metalică din platbande

Structura dalei este alcătuită dintr-o platbandă orizontală continuă de 8-12 mm, pe care sunt sudate la distanțe egale de 400-600 mm platbande de rigidizare de 12mm grosime a căror lungime coincide cu lungimea platbandei orizontale.

Pe de o parte și de alta a acestor rigidizări verticale sunt sudați conectori, care asigură conlucrarea dintre structura de oțel și beton. (fig. 2.4.1.-3.)

La anumite distanțe, acești conectori prezintă o secțiune transversală mai mare și unesc rigidizările între ele.

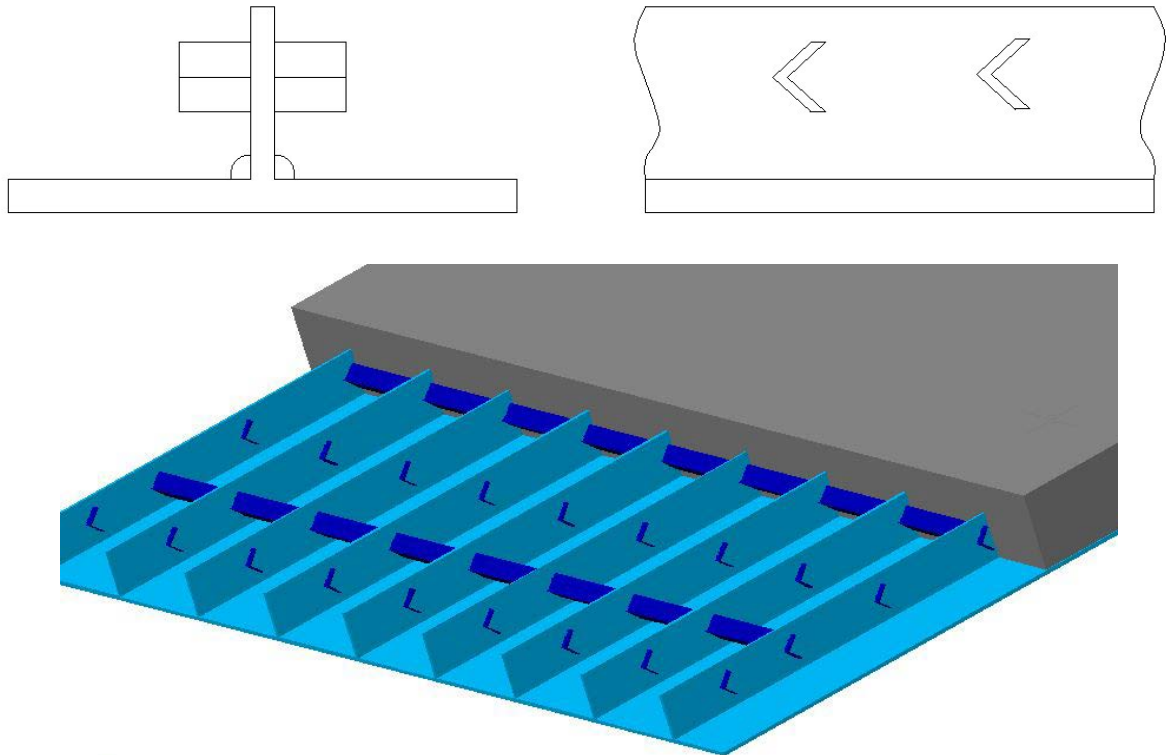


Fig. 2.4.1.-3 – Asigurarea conlucrării între structura de oțel și cea de beton prin conectori

Conlucrarea dintre oțel și beton se poate asigura și prin trecerea armăturii transversale a dalei prin rigidizările longitudinale, după cum se poate vedea în figura 2.4.1.-4.

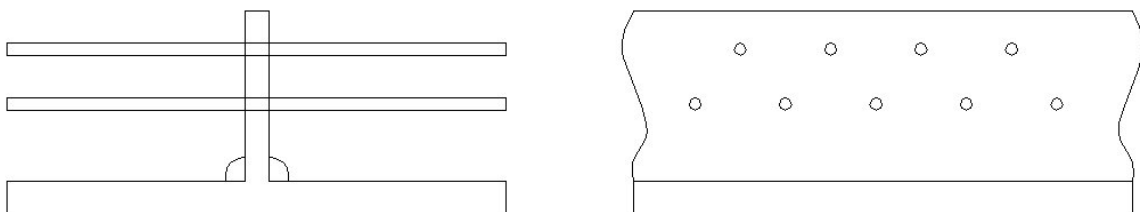


Fig. 2.4.1.-4 – Asigurarea conlucrării între structura de oțel și cea de beton prin armătură

Cele două soluții de asigurare a conlucrării dintre oțel și beton prezentate anterior, se pot folosi și concomitent.

Pentru asigurarea unei conlucrări mai bune, în zona de rezemare a dalei, în rigidizările longitudinale, sunt prevăzute goluri la partea inferioară prin care se face trecerea armaturii transversale a dalei (fig. 2.4.1.-5).

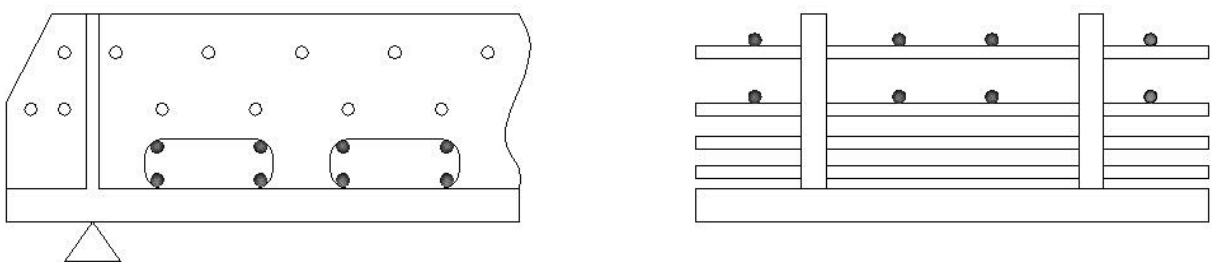


Fig. 2.4.1.-4 – Asigurarea conlucrării între structura de oțel și cea de beton prin goluri în zona de rezemare

### 2.4.2. Dale cutate având secțiunea mixtă oțel-beton

Dalele în structură mixtă oțel-beton de acest tip sunt alcătuite din platbenzi orizontale și verticale sudate între ele. Platbenzile orizontale inferioare și cele verticale sunt mai groase (aprox. 12 mm) în timp ce platbenzile orizontale superioare sunt mai subțiri (aprox. 6-8 mm). Secțiunea transversală a unui pod dalat cutat cu secțiune mixtă oțel beton se poate observa în figura 2.4.2.-1, respectiv în figura 2.4.2.-2 (vedere în spațiu):

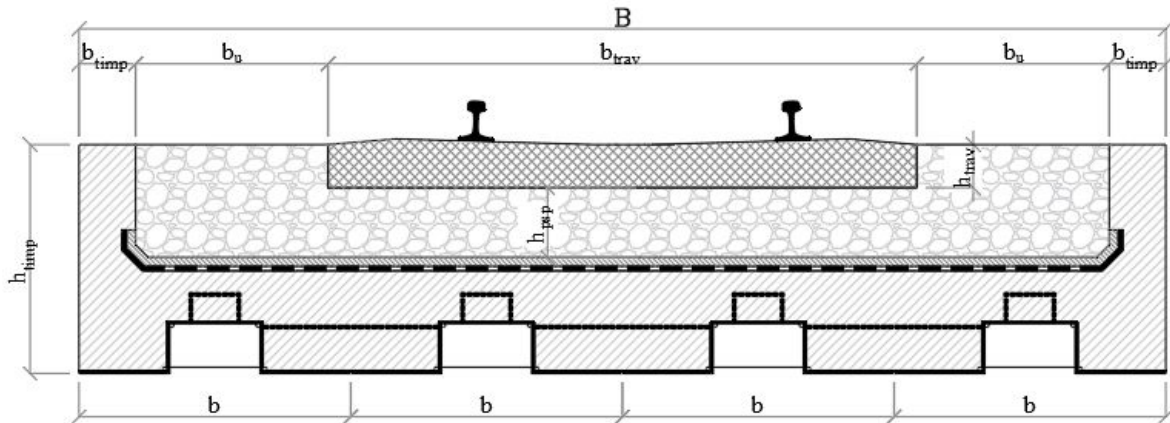


Fig. 2.4.2.-1 – Secțiune transversală dală cutată cu secțiune mixtă oțel-beton

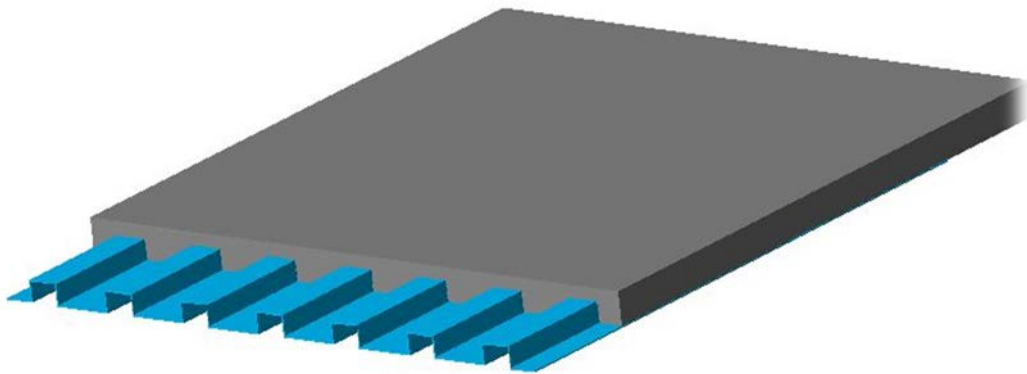


Fig. 2.4.2.-2 – Vedere în spațiu dală cutată cu secțiune mixtă oțel-beton

Rolul primordial al platbenzilor orizontale superioare este de a permite sudarea conectorilor pe aceștia (fig. 2.4.2.-3).

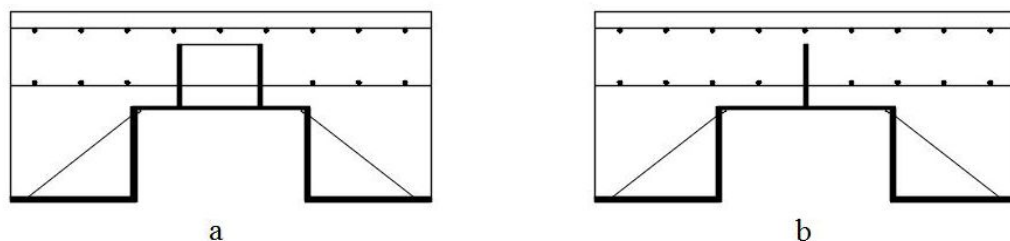


Fig. 2.4.2.-3 – Asigurarea conlucrării între structura de oțel și cea de beton prin conectori [17]

Fig. 2.4.1.-3-a – Conectori rigizi (profil U prin care trece armătura transversală inferioară)

Fig. 2.4.1.-3-b – Conector continuu (platbandă continuă prin care trece armătura transversală inferioară)

Conlucrarea la acest tip de pod este asigurată cu conectori rigizi a căror așezare de-a lungul structurii este exemplificată în figura 2.4.2.-4. Distanțele  $d_1$ - $d_5$  dintre rândurile de conectori sunt variabile și cresc spre zona centrală a dalei.

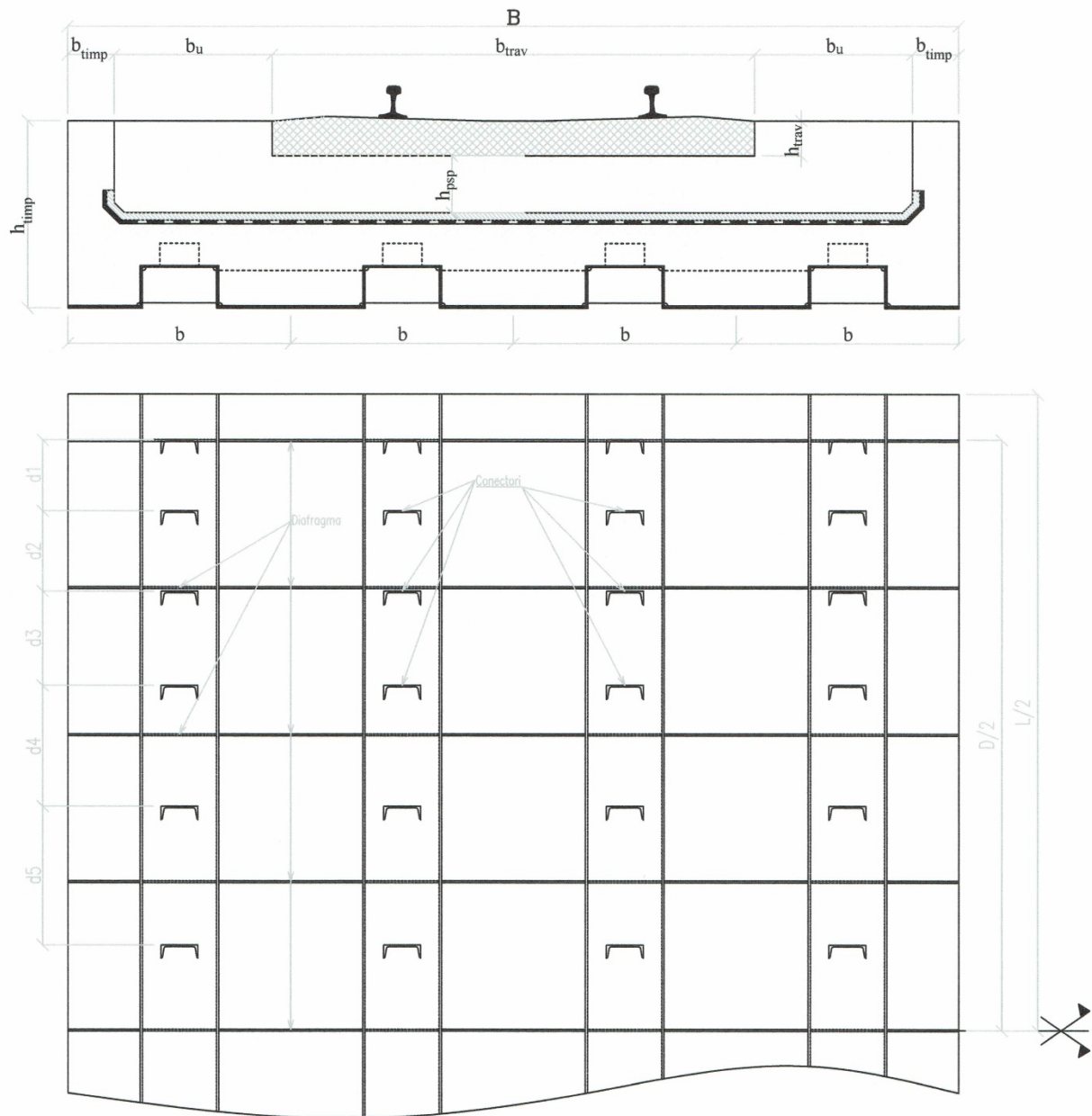


Fig. 2.4.2.-4 – Așezarea conectorilor de-a lungul [17]

### 2.4.3. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel

În anii 1970-1985 Prof. Otto Jungbluth din Germania a introdus în practică dalele cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel.

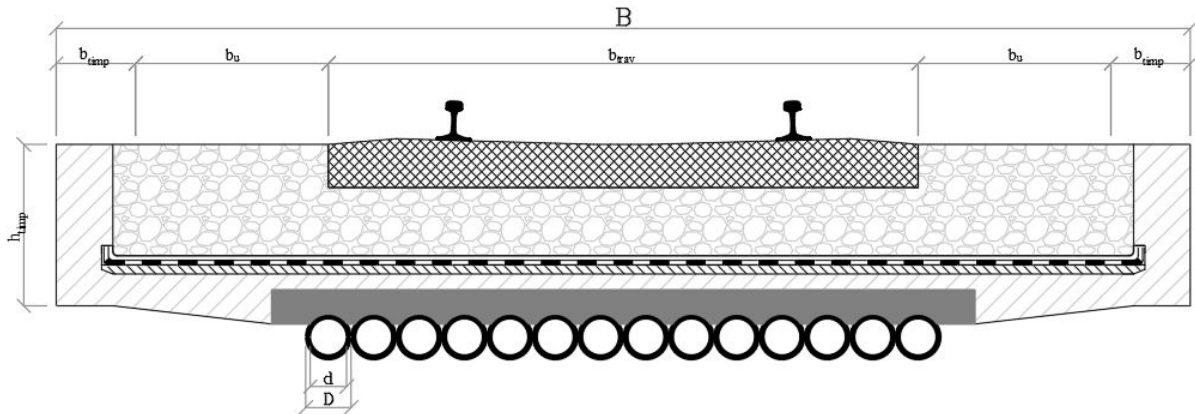


Fig. 2.4.3.-1 – Secțiune transversală dală cu secțiune mixtă oțel-beton – structura metalică din țevi alăturate

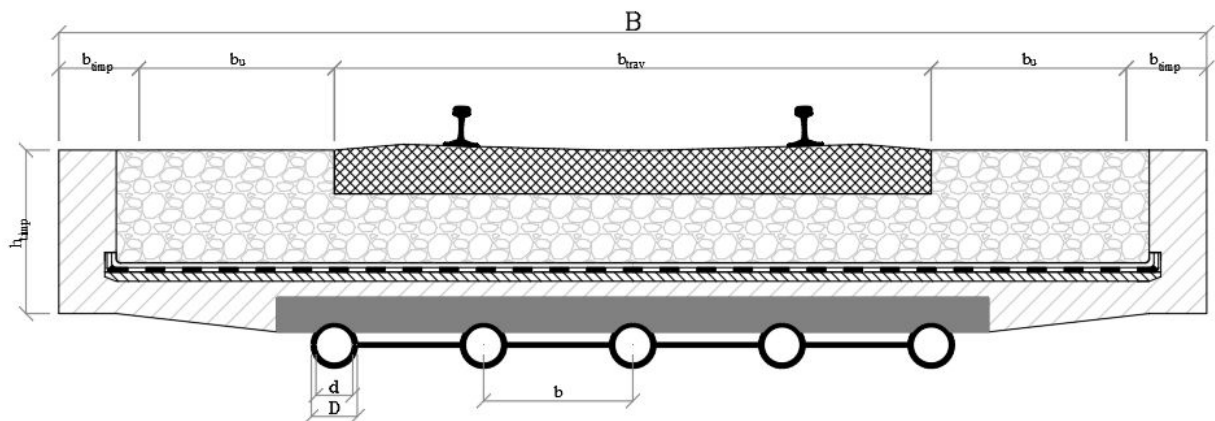


Fig. 2.4.3.-2 – Secțiune transversală dală cu secțiune mixtă oțel-beton – structura metalică din țevi distanțate

Inginerii germani au legat țevile metalice între ele cu rame metalice transversale iar conlucrarea dintre beton și oțel a fost realizată cu conectori tip Nelson.

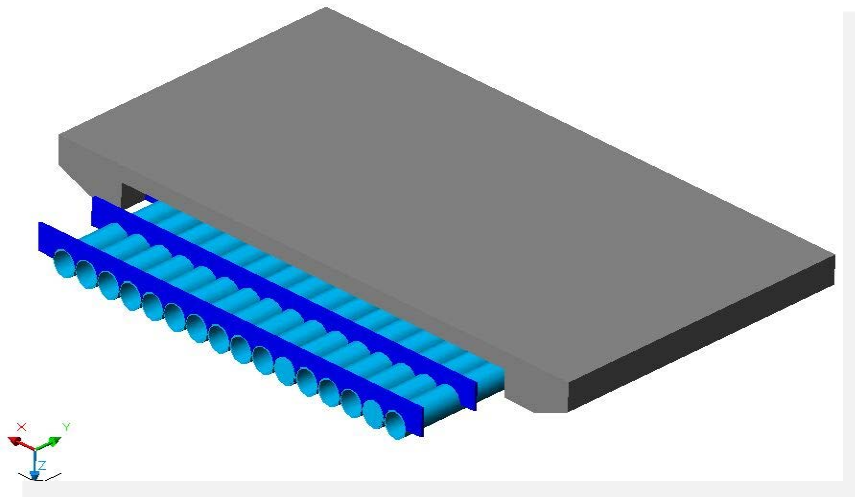


Fig. 2.4.3.-2 – Vedere în spațiu dală cu secțiune mixtă oțel-beton – structura metalică din țevi de oțel

În figura nr.2.4.3.-3 se prezintă două soluții pentru dala din beton armat și anume monolit sau prefabricat.

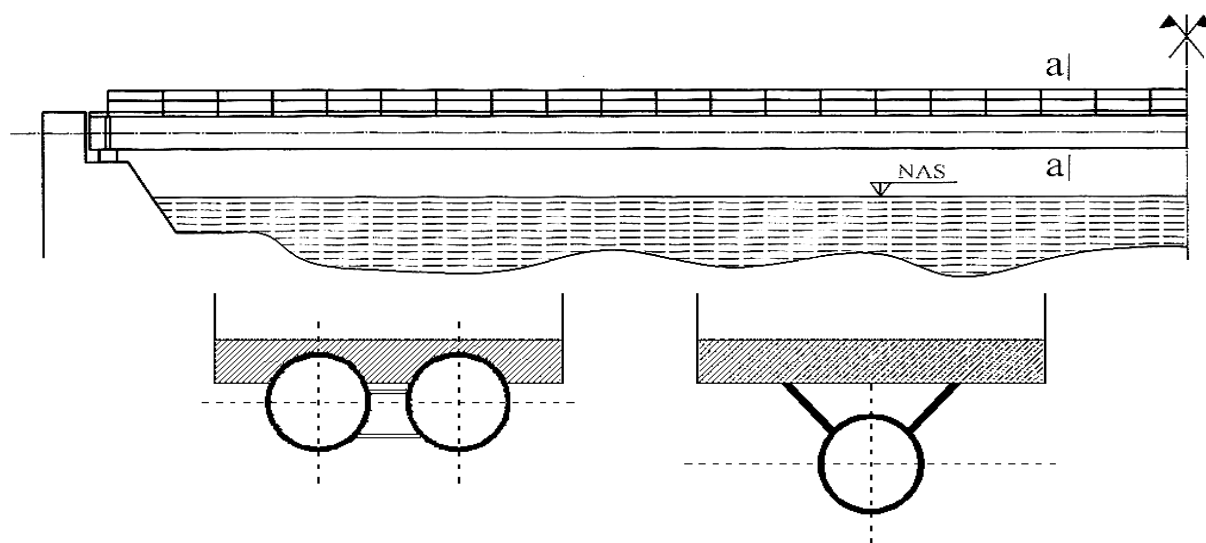


Fig. 2.4.3.-3 – Soluții de alcăuire a dalelor – monolit sau prefabricat [23]



#### 2.4.4. Dale cu grinzi metalice înglobate în beton

Soluția grinzilor înglobate în beton a apărut pentru prima dată la podurile pentru cale ferată acum aproximativ 90 de ani. Această soluție s-a dovedit eficientă în special pentru podurile mici și mijlocii și a fost folosită cu precădere pe rețeaua de căi ferate germane. Tablierele cu grinzi metalice înglobate în beton pot fi realizate și în soluția prefabricată.

Secțiunea transversală a unui pod dalat cu grinzi înglobate în beton se poate observa în figura 2.4.4.-1, respectiv în figura 2.4.4.-2 (vedere în spațiu):

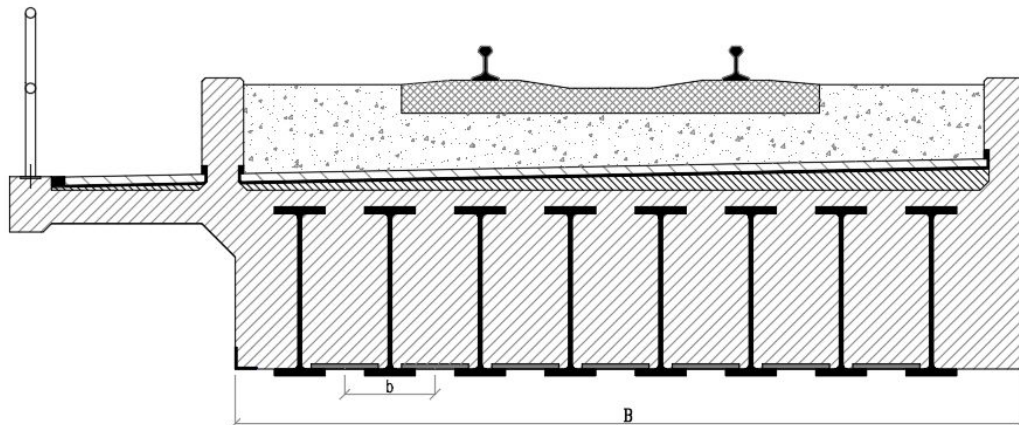


Fig. 2.4.4.-1 – Secțiune transversală pod cu grinzi înglobate în beton

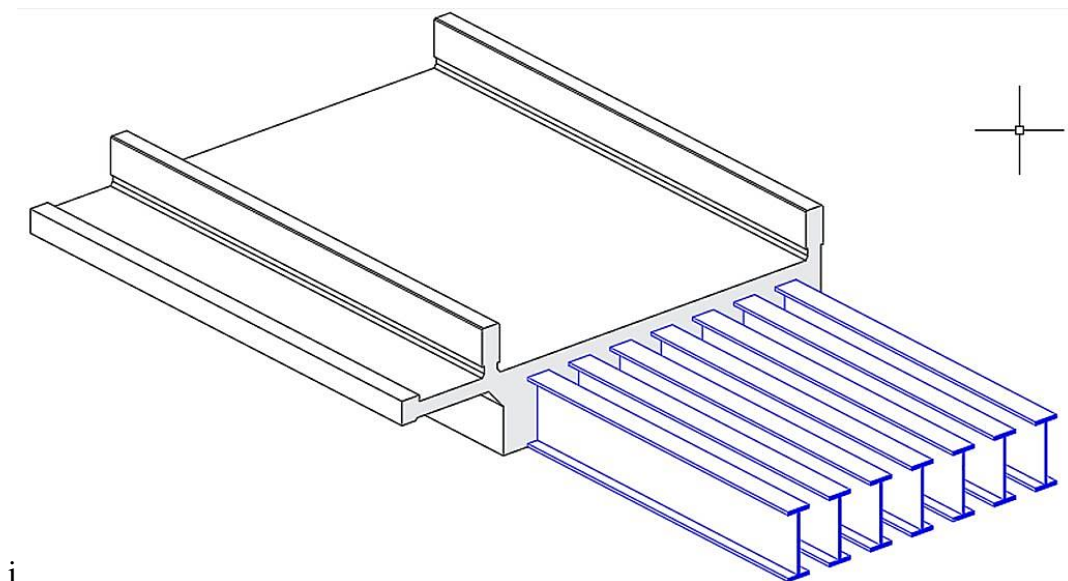


Fig. 2.4.4.-1 – Vedere în spațiu pod cu grinzi înglobate în beton

Conlucrarea oțel-beton se realizează prin frecarea care ia naștere între oțel și beton.

Tablierele se realizează folosind grinzi metalice laminate cu tălpi late sau grinzi metalice sudate echivalente. Aceste grinzi metalice se fixează în pozițiile prevăzute în proiect prin intermediul unor distanțieri metalici. Distanțierile sunt de tipul unor tiranți metalici filetați la capete și prevăzuți cu piulițe de o parte și de alta a inimii profilului metalic.[7]

### 3. Calculul structurilor mixte oțel-beton

#### 3.1. Acțiuni la podurile de cale ferată

În acest capitol se prezintă acțiunile din trafic pentru podurile de cale ferată atât în conformitate cu STAS 3220-89 “Poduri de cale ferată. Convoaie tip” cât și cu EN 1991-2 „Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges” – Section 6, respectiv SR EN 1991-2. Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri.

În timp ce normele românești au folosit termenul de *Convoaie tip* sau *Convoi convențional* (convoi folosit în proiectare), în EC1 acțiunile din trafic sunt definite ca și *Modele de încărcări*.

În EC1 se face precizarea că modelele de încărcări definite nu descriu încărcări reale, fiind selectate astfel încât efectele lor, împreună cu coeficienții dinamici luați în considerare separat, să reprezinte efectele traficului din exploatare asupra structurilor.

##### 3.1.1. Convoaie tip conform standardelor românești (vechi)

Standardul STAS 3220-89. “Poduri de cale ferată. Convoaie tip” stabilește convoaiele tip care trebuie luate în considerare la calculul podurilor de cale ferată, aplicabile și pentru podurile combinate, în ceea ce privește partea de cale ferată. Se vor prezenta în cele ce urmează cele două convoaie tip pentru liniile de cale ferată cu ecartament normal.

**Convoiul P10** - este compus dintr-o locomotivă cu 5 osii a 250 kN/osie (echivalent cu o încărcare repartizată uniform de 139 kN/m) și din vagoane reprezentate printr-o încărcare uniform repartizată de 100 kN/m (fig 3.1.1.-1).

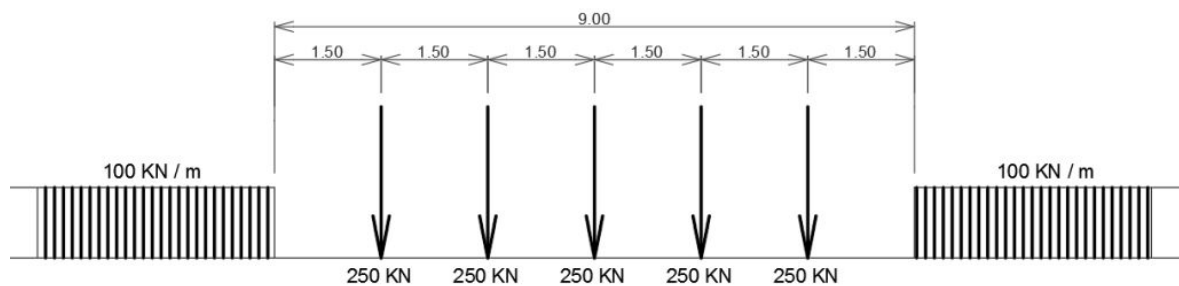


Fig. 3.1.1.-1 – Convoi P10 – conform STAS 3220-89 [10]

Pentru deschideri până la 3.5 m, se consideră în alternativă cu convoiul P10 (ca o a doua ipoteză de încărcare), o încărcare unică  $P=300$  kN (fig. 3.1.1.-2).

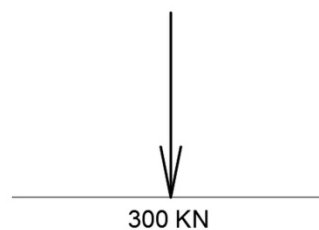


Fig. 3.1.1.-2 – Alternativă Convoi P10 – conform STAS 3220-89 [10]

Această încărcare servește numai pentru calculul efectului din încărcările verticale principale. Convoiul P10 și încărcarea izolată de 300 kN servesc la calculul podurilor masive, a

suprastructurii de zidărie, de beton sau de beton armat a podurilor metalice, a aparatelor de reazem și la calculul elementelor neconsolidabile ale suprastructurii metalice.

**Convoiu T 8.5** - este compus dintr-o locomotivă cu 6 osii a 220 kN/osie (echivalent cu o încărcare repartizată uniform 125.7 kN/m) și din vagoane reprezentate printr-o încărcare uniform repartizată de 85 kN/m (fig. 3.1.1.-3).

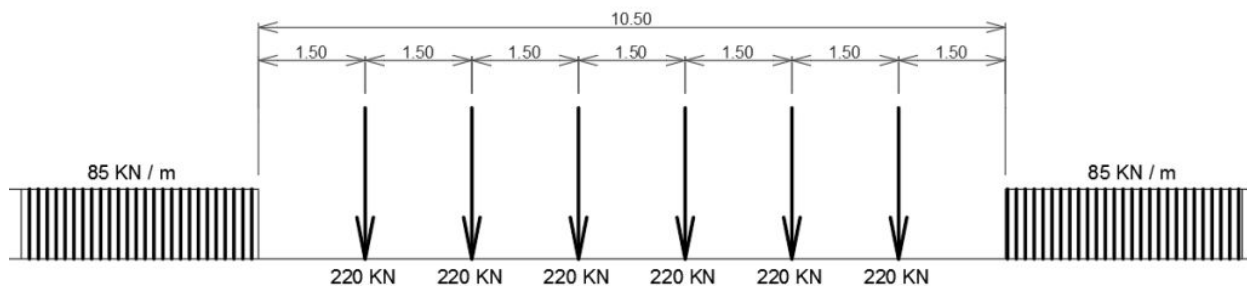


Fig. 3.1.1.-3 – Convoi P8,5 – conform STAS 3220-89 [10]

Pentru deschideri până la 8 m se consideră în alternativă cu convoiul T 8.5 un grup de 4 încărcări a 250 kN/osie, având distanța de 1.60 m între ele.

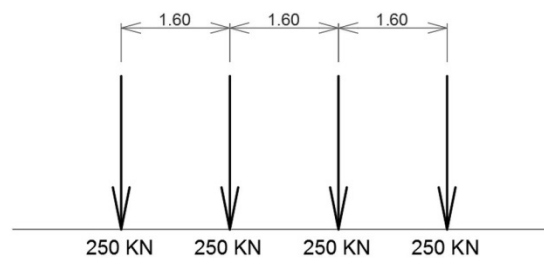


Fig. 3.1.1.-4 – Alternativă Convoi P8,5 – conform STAS 3220-89 [10]

Convoiu T 8.5 și grupul de 4 încărcări servesc la calculul părților consolidabile ale suprastructurilor podurilor metalice și la calculul consolidării podurilor existente. Locomotivele pot să se găsească fie intercalate în convoiul de vagoane, limitat sau nelimitat ca lungime, fie la una din extremitățile convoiului de vagoane. Pe porțiunile favorabile ale liniilor de influență cuprinse între porțiunile defavorabile, se consideră o încărcare de 10 kN/m, dacă aceste porțiuni sunt mai lungi de 10 m; în caz contrar, porțiunile favorabile nu se consideră încărcate. [12]

### 3.1.2. Coeficienți dinamici conform standardelor românești

Eforturile din convoaiele de calcul, considerate static pe pod, se multiplică cu coeficientul dinamic și se determină conform STAS 1489-78 cu aceleași relații de calcul atât pentru podurile metalice cât și pentru cele de beton armat și beton precomprimit, funcție de tipul de cale pe pod (șine cu rosturi sudate sau nesudate) după cum urmează:

$$\psi = 1,05 + \frac{25}{40 + L} \geq 1,20 \quad \text{- rosturi șină nesudate;}$$

$$\psi = 1,10 + \frac{17}{35 + L} \geq 1,20 \quad \text{- rosturi șină sudate.}$$

unde: L – deschiderea de calcul

În cazul în care este asigurată continuitatea prismului de piatră spartă pe pod, cu o grosime  $h_p$  a prismului de piatră spartă sau a prismului împreună cu stratul de umplură, coeficientul dinamic  $\psi$  definit anterior se reduce la valoarea  $\psi_{hp}$  conform relației:

$$\psi_{hp} = \psi - (\psi - 1) \frac{h_b}{1.5} \geq 1,0$$

Relațiile de mai sus corespund unei viteze de circulație  $v \geq 50$  km/h.

Pentru o viteză  $v'$  cuprinsă între 10 și 50 km/h, coeficientul dinamic se stabilește cu relația:

$$\psi' = 1.10 + (\psi - 1.10) \frac{v' - 10}{40}$$

### 3.1.3. Acțiuni la podurile de cale ferată conform EN 1991-2 (Eurocod 1)

Se definesc cinci modele de încărcare pentru trafic feroviar:

**Model de încărcare LM 71** – reprezintă efectul static al traficului feroviar normal. Distribuția și valorile caracteristice ale încărcărilor verticale sunt date în figura 3.1.3.-1:

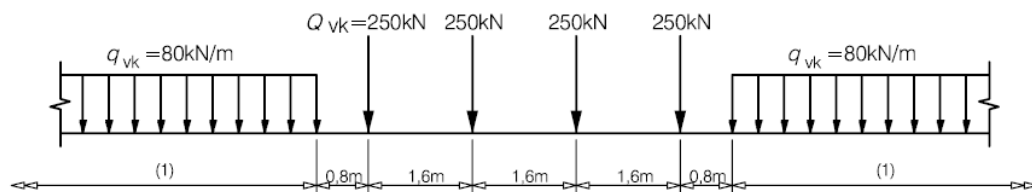


Fig. 3.1.3.-1 – Model de încărcare LM 71 – conform EN 1991-2 [11]

### Modelele de încărcare SW/0 și SW/2

Modelul de încărcare SW/0 reprezintă efectul static al încărcărilor verticale determinate de traficul feroviar normal la podurile cu grinzi continui.

Modelul de încărcare SW/2 reprezintă efectul static al încărcării verticale determinată de traficul feroviar greu.

Distribuția încărcărilor verticale sunt date în figura 3.1.3 - 2 iar valorile caracteristice pentru fiecare model de încărcare se pot observa în Tabelul 1:

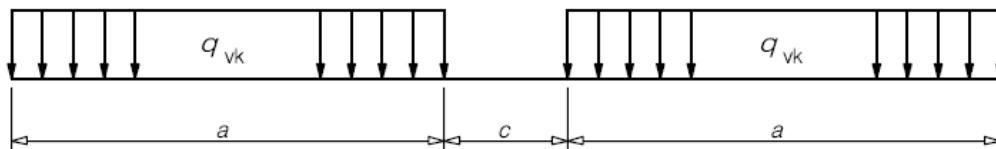


Fig. 3.1.3.-2 – Modele de încărcare SW/0 și SW/2 – conform EN 1991-2 [11]

Tabelul 3.1.3.-1 [11]

Model de încărcare	$q_{vk}$ [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

### Model de încărcare „tren neîncărcat”

Modelul de încărcare denumit „tren neîncărcat” se folosește ca și model particular pentru anumite verificări. Acțiunea este verticală și uniform distribuită, cu o valoare nominală de 10,0 kN/m.

### Model de încărcare HSLM

Modelul de încărcare se folosește pentru reprezentarea încărcărilor determinate de trenurile de călători cu viteze depășind 200 km/h.

#### 3.1.4. Coeficienți dinamici conform EN 1991-2

Coeficientul dinamic ia în considerare efectele amplificării dinamice a eforturilor și vibrațiilor în structură, dar nu ia în considerare efectele rezonanței și vibrațiile excesive ale tablierului.

Eforturile și deformațiile determinate din acțiunea statică a convoaielor de calcul, vor fi afectate de un coeficient dinamic ( $\phi_2$  sau  $\phi_3$ ), valoarea acestuia depinzând de următorii parametri:

- frecvența proprie de vibrație a întregii suprastructuri și elementelor structurale relevante ale suprastructurii, și formele proprii de vibrație asociate, în lungul căii;
- numărul osiilor, încărcarea pe osie, distanța între osii;
- amortizarea structurală;
- deschiderea structurii (globală), deschiderea elementului (locală);
- viteza de circulație pe pod;
- imperfecțiunile vehiculelor (defecte la roți, la suspensie) și imperfecțiunile verticale ale căii;
- caracteristicile dinamice ale căii (balast, traverse etc).

Valorile coeficienților dinamici  $\phi_2$  și  $\phi_3$  sunt valabile în următoarele condiții:

- viteza de circulație maximă  $v \leq 200$  km/h;
- frecvența proprie de oscilație a structurii se menține în limitele:
  - valoarea limită superioară:

$$n_0 = 94,76 \cdot L^{-0,748}$$

- valoarea limită inferioară:
  - $n_0 = 80 / L$  - pentru  $4 \text{ m} < L \leq 20 \text{ m}$
  - $n_0 = 23.58 \cdot L^{-0,592}$  - pentru  $20 \text{ m} < L \leq 100 \text{ m}$

**Coeficientul dinamic  $\phi_2$  sau  $\phi_3$**  se calculează cu relațiile:

- pentru structuri cu calea bine întreținută:

$$\phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,82$$

$$1,00 \leq \phi_2 \leq 1,67$$

- pentru structuri cu calea întreținută standard (normal):

$$\phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73$$

$$1,00 \leq \phi_3 \leq 2,00$$

Unde  $L_\phi$  - este lungimea „determinantă” (tabel 2)

Alegerea uneia din valorile mai sus definite ( $\phi_2$  sau  $\phi_3$ ) cade în sarcina administrației căilor ferate.

Coeficienții dinamici  $\phi_2$  și  $\phi_3$  sunt stabiliți pentru grinzi simplu rezemate. Lungimea determinante  $L_\phi$  oferă posibilitatea folosirii acestor coeficienți pentru alte elemente structurale cu schemă statică diferită. Lungimile determinante uzuale sunt date în Tabelul 6.2 din norma EN 1991-2 Secțiunea 6.

Pentru *trenurile reale* aflate în exploatare, forțele și momentele calculate din încărcările statice se vor multiplica cu un factor dinamic „ $1 + \varphi$ ” ce ține cont de *viteza maximă admisă a vehiculului* și anume:

- pentru structuri cu calea bine întreținută:

$$1 + \varphi = 1 + \varphi' + \varphi''$$

- pentru structuri cu calea întreținută standard (normal):

$$1 + \varphi = 1 + \varphi' + 0.5\varphi''$$

$\varphi'$  - reprezintă efectul podului:

$$\varphi' = \frac{K}{1 - K + K^4} \text{ pentru } K < 0,76; \quad \text{respectiv } \varphi' = 1.325 \text{ pentru } K \geq 0,76$$

unde: 
$$K = \frac{v}{2n_0 \cdot L_\phi}$$

$\varphi''$  - reprezintă efectul căii:

$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \left[ 56e^{-\left(\frac{L_\phi}{10}\right)^2} + 50 \left( \frac{n_0 \cdot L_\phi}{80} - 1 \right) e^{-\left(\frac{L_\phi}{20}\right)^2} \right]$$

$$\varphi'' \geq 0$$

unde:

$v$  - viteza de circulație maximă permisă a vehiculului [m/s];

$n_0$  - frecvența proprie a podului neîncărcat [Hz];

$L_\phi$  - lungimea determinantă [m];

$\alpha$  - coeficientul vitezei:

$$\alpha = \begin{cases} v/22 & \text{dacă } v \leq 22 \text{ m/s} \\ 1 & \text{dacă } v > 22 \text{ m/s} \end{cases}$$

Factor dinamic „ $1 + \varphi$ ” poate fi luat în considerare și la calculul la oboseală a structurii.

### 3.1.5. Calcul comparativ coeficienți dinamici conform STAS versus EN 1991-2

În cele ce urmează este prezentat un calcul comparativ al coeficienților dinamici calculați atât conform STAS 1489-78 cât și conform EN 1991-2 (EC). Chiar dacă normativul „Cod pentru proiectarea podurilor de cale ferată. Acțiuni.” – CR 1-2.1-2005 valabil de la data de 01.01.2007

preia în totalitate prevederile EN 1991-2 în ceea ce privește modelele de încărcare și calculul coeficientului dinamic, calculul de mai jos este interesant în a observa cum variază cei doi coeficienți dinamici în funcție de deschiderea podului. S-au luat în considerare următoarele două ipoteze:

1. Tipul de cale: cale fără joante  
Modul de întreținere: cale bine întreținută  
Viteza de circulație: 160 km/h  
Grosimea prismului de piatră spartă: 40cm
2. Tipul de cale: cale fără joante  
Modul de întreținere: cale întreținută standard  
Viteza de circulație: 120 km/h  
Grosimea prismului de piatră spartă: 40cm

Variația coeficienților dinamici pentru cele două ipoteze de calcul poate fi observată în figurile 3.1.5.-1 – ipoteza 1, respectiv 3.1.5.-2 – ipoteza 2.

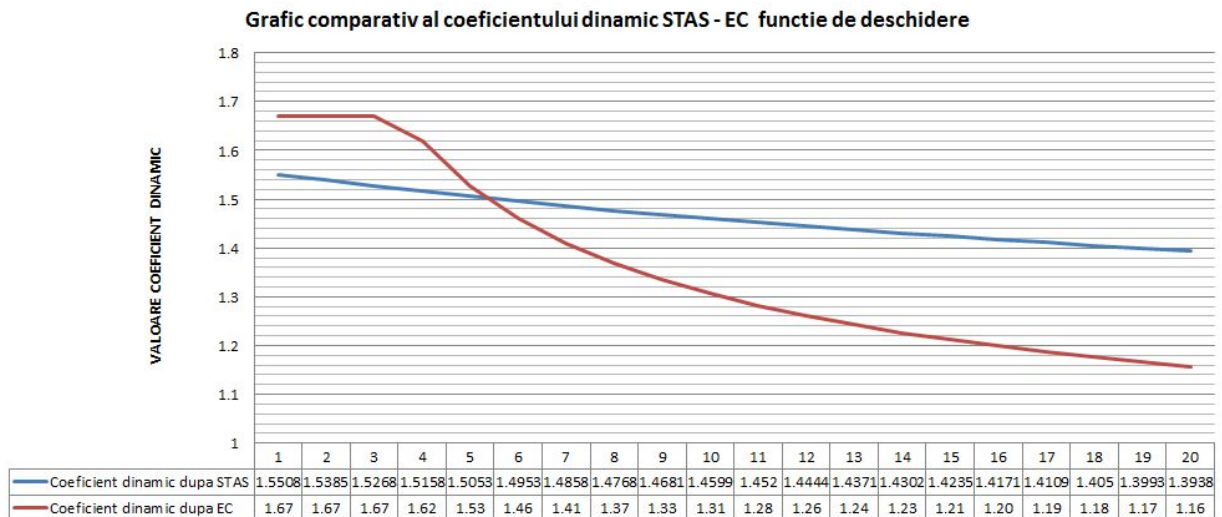


Fig. 3.1.5.-1 – Calcul comparativ a coeficienților dinamici în ipoteza 1

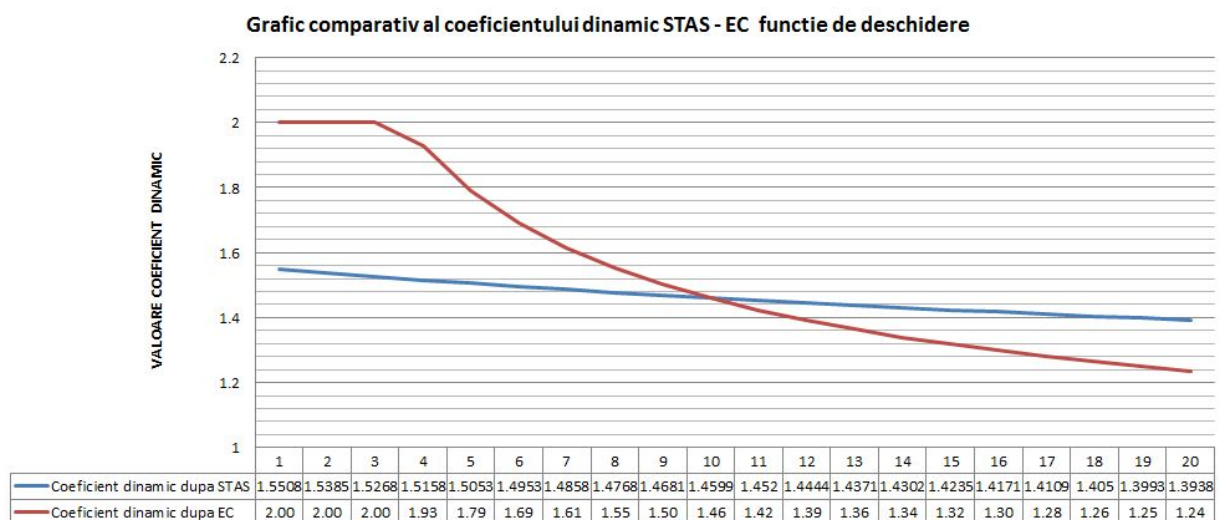


Fig. 3.1.5.-2 – Calcul comparativ a coeficienților dinamici în ipoteza 2

### 3.1.6. Excentricitatea încărcărilor verticale

Efectul excentricității încărcărilor verticale se ia în calcul prin considerarea raportului încărcărilor pe roți pe toate axele de cel mult 1,25 : 1,00 pe fiecare linie. Astfel rezultă o excentricitate a încărcării verticale conform figurii 3.1.6.-1.

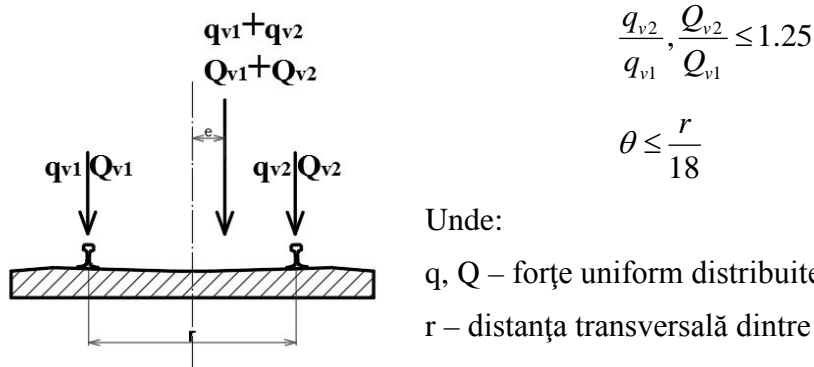


Fig. 3.1.6.-1 – Excentricitatea încărcărilor verticale [11]

### 3.1.7. Distribuția încărcărilor

#### Distribuția longitudinală a unei forțe concentrate prin șină

O forță concentrată a convoiului sau o încărcare a roții vehiculului poate fi distribuită pe trei puncte de rezemare a șinei, așa cum se arată și în figura 3.1.7.-1.

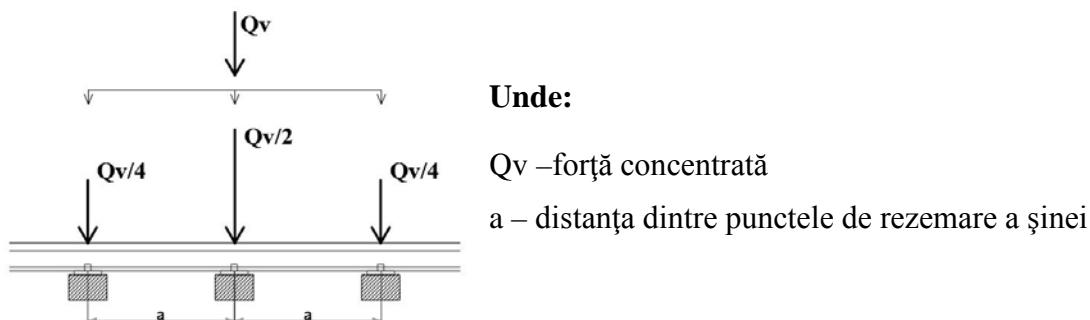


Fig. 3.1.7.-1 – Distribuția longitudinală a unei forțe prin șină [11]

#### Distribuția longitudinală a încărcării prin traverse și balast

O forță concentrată sau o osie unică a convoiului poate fi distribuită uniform în sens longitudinal căii. Pentru proiectarea elementelor de susținere a căii cum ar fi lonjeroni, antretoaze, placa de dală, trebuie luată în considerare distribuția încărcărilor sub traverse în sens longitudinal căii, așa cum este prezentat în figura 3.1.7.-2, unde planul de referință este fața superioară a elementului de rezistență.

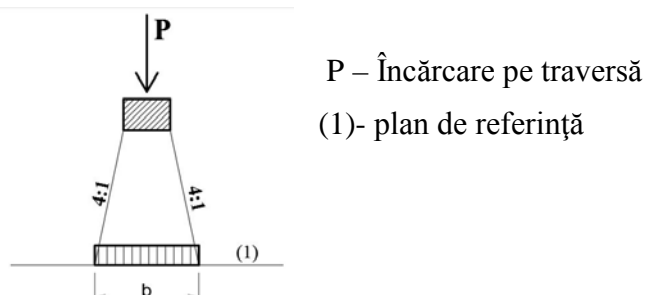


Fig. 3.1.7.-2 – Distribuția longitudinală a unei forțe prin traverse și balast [11]



### Distribuția transversală a încărcării prin traverse și balast

La podurile de cale ferată unde este asigurată continuitatea prismului de piatră spartă pe pod, cale fără supraînălțare, încărcările se distribuie transversal pe planul de referință după cum se poate observa în figura 3.1.7.-3.

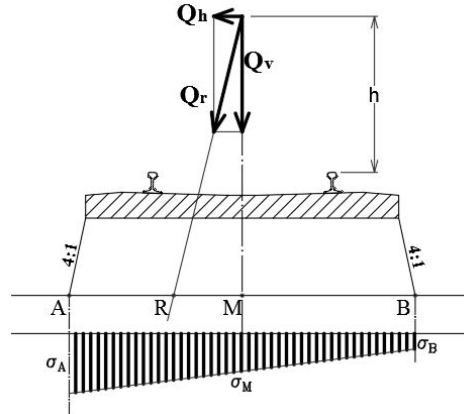


Fig. 3.1.7.-3 – Distribuția transversală a unei forțe prin traverse și balast [11]

### 3.1.8. Încărcări din trafic pentru oboseală

Coeficienții dinamici  $\phi_2$  și  $\phi_3$  care sunt aplicate pentru modelele de încărcare LM 71 respectiv SW/0 și SW/2, reprezintă cazurile de încărcare extreme ce trebuie luate în considerare la calculul elementelor de rezistență. Pentru a lua în calcul efectul mediu asumat la 100 de ani de serviciu al unei structuri, coeficienții dinamici pentru *trenurile reale* se pot reduce la:

$$1 + \frac{1}{2} \left( \phi' + \frac{1}{2} \phi'' \right)$$

$$\phi' = \frac{K}{1 - K + K^4}$$

unde:

$$K = \frac{v}{160} \quad \text{pentru} \quad L \leq 20\text{m}$$

$$K = \frac{v}{47,16 \cdot L^{0.408}} \quad \text{pentru} \quad L > 20\text{m}$$

$$\phi'' = 0.56e^{-\left(\frac{L_\phi}{10}\right)^2}$$

unde:

$v$  - viteza de circulație maximă permisă a vehiculului [m/s];

$L_\phi$  - lungimea determinantă [m];

### 3.1.9. Frecvența proprie a structurii

La un pod, frecvențele naturale ale unui element se raportează la forma deformată sub acțiunea încărcărilor permanente. Pentru o structură simplu rezemată solicitată la încovoiere, frecvența naturală poate fi obținută cu formula:

$$n_0 = 17,75 / \sqrt{\delta_0} \quad [\text{Hz}]$$

unde  $\delta_0$  - săgeata la mijlocul deschiderii datorată încărcărilor permanente, în [mm].

Pentru poduri din beton,  $\delta_0$  se calculează folosind modulul de elasticitate pentru încărcări de scurtă durată, în acord cu perioada de trecere a unui tren pe pod.

În figura 3.1.9.-1 se prezintă limitele inferioară respectiv superioară a frecvențelor proprii de vibrație  $n_0$ (Hz), funcție de mărimea deschiderii  $L$ (m). În cazul în care frecvența naturală a podului se încadrează în limitele prezentate în figură, nu este necesar a se efectua analiza dinamică.

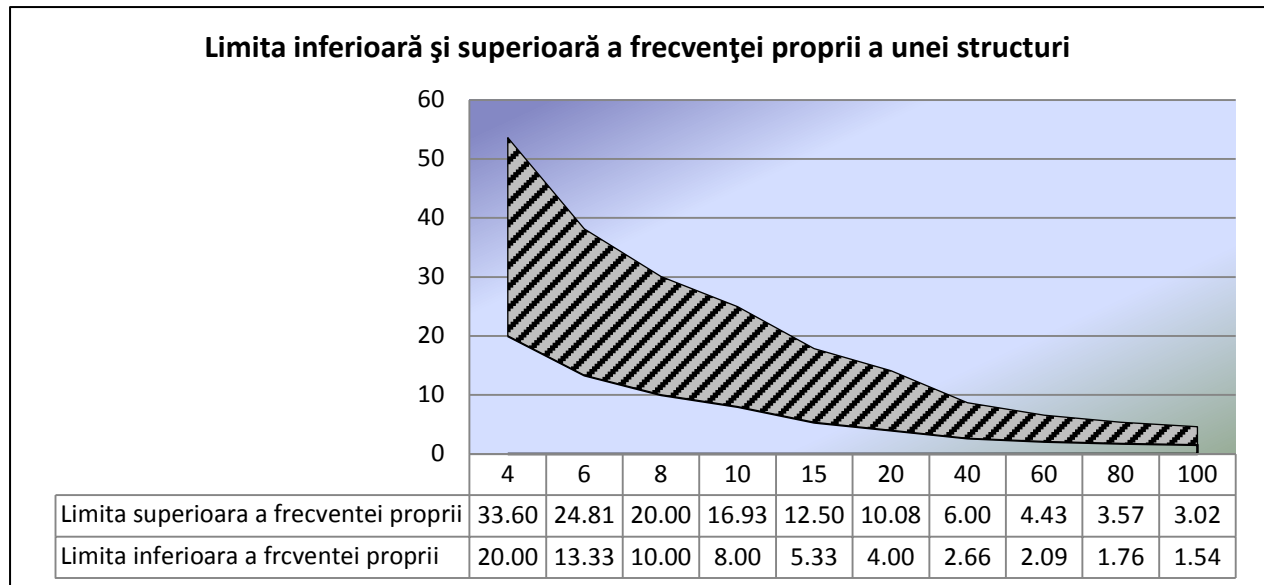


Fig. 3.1.9.-1 – Limitele frecvențelor proprii ale unei structuri de pod

### 3.1.10. Forțe horizontale

#### Forța centrifugă

La podurile de cale ferată la care calea pe pod este în curbă pe lungimea întreagă sau parțială a podului, trebuie luată în considerare forța centrifugă și supraînălțarea căii. Forța centrifugă acționează spre exteriorul căii în direcție orizontală la o înălțime de 1,80m față de calea de rulare, așa cum se poate observa în figura 3.1.10.-1.

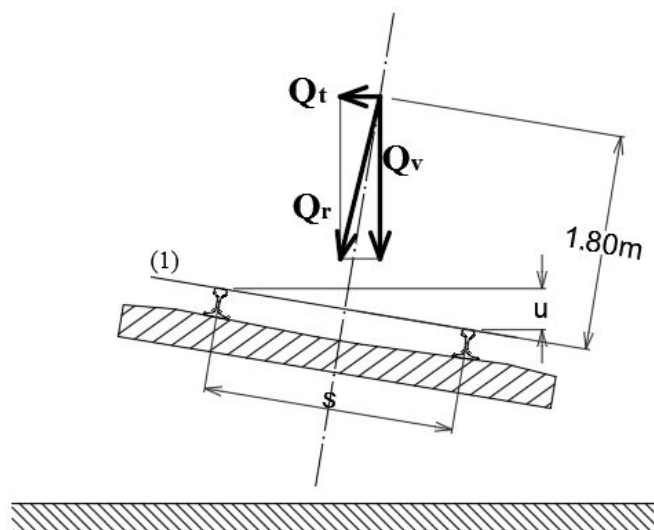


Fig. 3.1.10.-1 – Forța centrifugă [11]

Unde:  $s$  – ecartament  
 $u$  – supraînălțare

Valoarea caracteristică a forței centrifuge (conform EN 1991-2) se determină prin următoarele formule:

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r} (f \times Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \times Q_{vk})$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r} (f \times q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \times q_{vk})$$

Unde:  $Q_{tk}, q_{tk}$  – valorile caracteristice ale forței centrifuge (kN, kN/m);  
 $Q_{vk}, q_{vk}$  – valorile caracteristice ale încărcărilor verticale nemultiplicate cu coeficientul dinamic (kN, kN/m);  
 $f$  – factor de reducere;  
 $v$  – viteza maximă (m/s);  
 $V$  – viteza maximă (km/h);  
 $g$  – accelerația gravitațională (9,81 m/s<sup>2</sup>);  
 $r$  – raza curbei (m).

Forța centrifugă trebuie să se combine întotdeauna cu încărcările verticale din trafic. Forța centrifugă nu se multiplică cu valoarea coeficientului dinamic.

Pentru modelul de încărcare LM1 (și unde este necesar SW/0) și o viteză de circulație mai mare de 120 km/h, se vor analiza următoarele două cazuri:

- Acțiunea verticală a modelului de de încărcare LM1 (și unde este necesar SW/0) multiplicat cu factorul dinamic și forța centrifugă pentru viteza de 120 km/h cu factorul de reducere 1.
- Acțiunea verticală redusă a modelului de de încărcare LM1 ( $f \cdot LM1$  și unde este necesar  $f \cdot SW/0$ ) multiplicat cu factorul dinamic și forța centrifugă pentru viteza maximă specificată, cu factorul de reducere  $f$ .

Factorul de reducere se calculează cu următoarea relație:

$$f = \left[ 1 - \frac{V - 120}{1000} \left( \frac{814}{V} + 1.75 \right) \left( 1 - \sqrt{\frac{2.88}{L_f}} \right) \right]$$

Unde:  $L_f$  – Lungimea liniei de influență a părții încărcate a căii în curbă, varianta cea mai defavorabilă pentru proiectare (m);  
 $V$  – viteza maximă (km/h);

Pentru modelele de încărcare SW/2 și „tren neîncărcat” valoarea factorului de reducere trebuie luată egală cu 1,00.

În tabelul 3.1.10.-1. și în figura 3.1.10.-2. se pot observa valorile calculate ale factorului de reducere pentru diferite lungimi de influență respectiv viteze de circulație mai mari de 120 km/h.

Tabel 3.1.10.-1.

Lf (m)	Viteza maxima de circulatie (km/h)								
	120	130	140	150	160	170	180	190	200
2.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
4.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93
5.00	1.00	0.98	0.96	0.95	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89
6.00	1.00	0.98	0.95	0.93	0.92	0.90	0.88	0.87	0.86
7.00	1.00	0.97	0.95	0.92	0.90	0.88	0.87	0.85	0.83
8.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81
9.00	1.00	0.97	0.93	0.91	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80
10.00	1.00	0.96	0.93	0.90	0.87	0.85	0.83	0.80	0.78
15.00	1.00	0.95	0.92	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74
20.00	1.00	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
30.00	1.00	0.94	0.90	0.85	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68

Variatia factorului de reducere  $f$  pentru modelele de incarcare LM 71 si SW/0

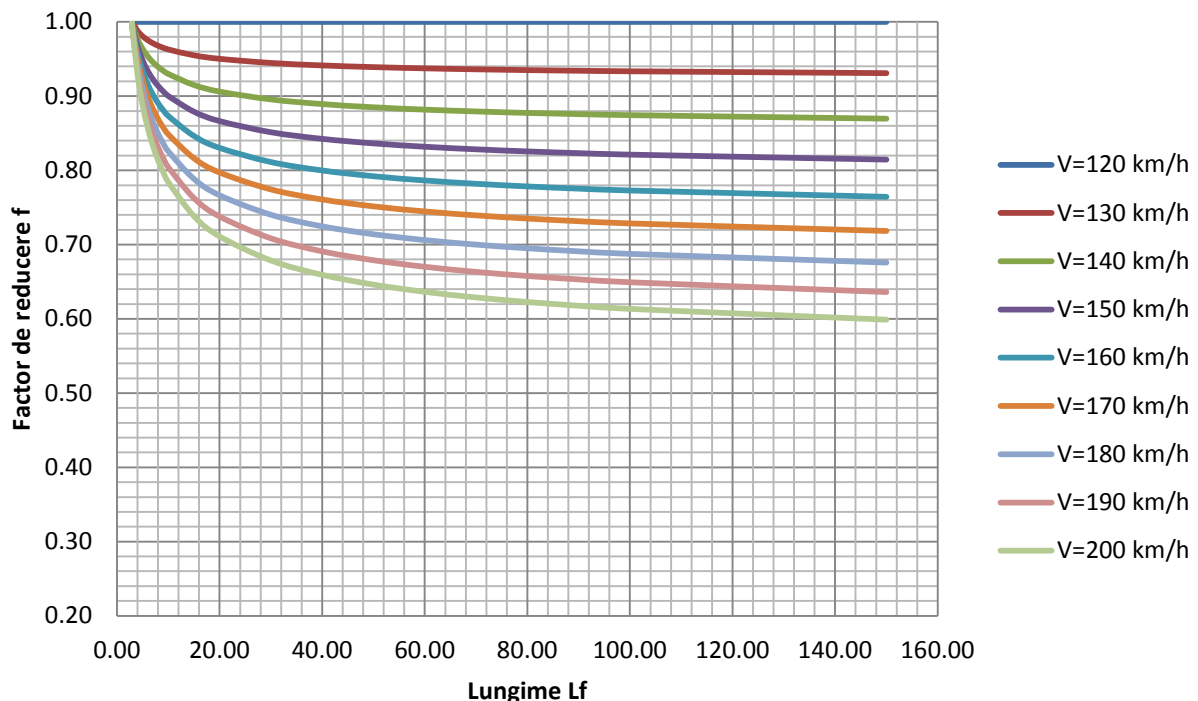


Fig. 3.1.10.-1 – Variația factorului de reducere funcție de viteză și lungime de influență

### Forța de șerpuire

Forța de șerpuire  $Q_{sk}$  se va considera ca o forță concentrată acționând orizontal, la nivelul superior al șinei, perpendicular pe axa căii. Se aplică atât pe liniile în aliniament cât și pe cele în curbă. Forța de șerpuire trebuie combinată întotdeauna cu încărcările verticale din trafic.

Valoarea caracteristică a forței de șerpuire se consideră:  $Q_{sk} = 100$  kN. Nu se multiplică cu coeficientul dinamic  $\phi$  sau cu factorul de reducere  $f$ . În schimb, se multiplică cu coeficientul  $\alpha$ , dacă acesta este supraunitar.

### Acțiuni datorate tracțiunii și frânării

Forțele de tracțiune și de frânare acționează la nivelul superior al șinei în sens longitudinal căii. Aceste forțe se consideră uniform distribuite pe lungimea de  $L_{a,b}$  a liniei de influență corespunzătoare efectelor tracțiunii și frânării asupra elementului structural considerat.

Valorile caracteristice ale forțelor de tracțiune și frânare sunt:

#### Forța de tracțiune:

- Pentru modelele de încărcare LM71, SW/0, SW/2 și HSLM

$$Q_{lak} = 33 \text{ (kN/m)} L_{a,b} \text{ (m)} \leq 1000 \text{ (kN)}$$

#### Forța de frânare:

- Pentru modelele de încărcare LM71, SW/0 și HSLM

$$Q_{lbk} = 20 \text{ (kN/m)} L_{a,b} \text{ (m)} \leq 6000 \text{ (kN)}$$

- Pentru modelul de încărcare SW/2

$$Q_{lbk} = 35 \text{ (kN/m)} L_{a,b} \text{ (m)}$$

Valorile caracteristice ale forței de tracțiune și frânare nu se multiplică cu coeficientul dinamic  $\phi$  sau cu factorul de reducere  $f$ . În schimb, pentru modelele de încărcare LM71 și SW/0, valorile obținute se multiplică cu coeficientul  $\alpha$ .

### 3.1.11. Acțiunea convoaielor feroviare deraiate asupra podului

Structurile de poduri pentru calea ferată trebuie proiectate în așa fel încât, în caz de deraiere, avariile rezultate în structura podului să fie limitate la minimum. Deraierea materialului rulant pe un pod de cale ferată se consideră ca situație accidentală de proiectare. Se diferențiază două astfel de situații:

- **Situația I** de proiectare : materialul rulant deraiat rămâne în zona căii pe tablierul podului cu vehicule reținute de șina adiacentă sau de un perete lateral. În acest caz, părțile structurii luate în calcul trebuie proiectate pentru următoare încărcare [7]:

$\alpha \times 1,4 \times LM71$  (atât pentru încărcarea punctuală cât și pentru cea uniform distribuită) paralelă cu axa căii, în poziția cea mai defavorabilă în limita unei lățimi de 1,5 ori ecartamentul de o parte și de alta a axei căii, după cum se poate observa în figura 3.1.11.-1.

Pentru calea pe balast forța concentrată poate fi considerată că se distribuie pe o suprafață pătrată cu latura de 0,45m aplicată pe fața superioară a platelajului.

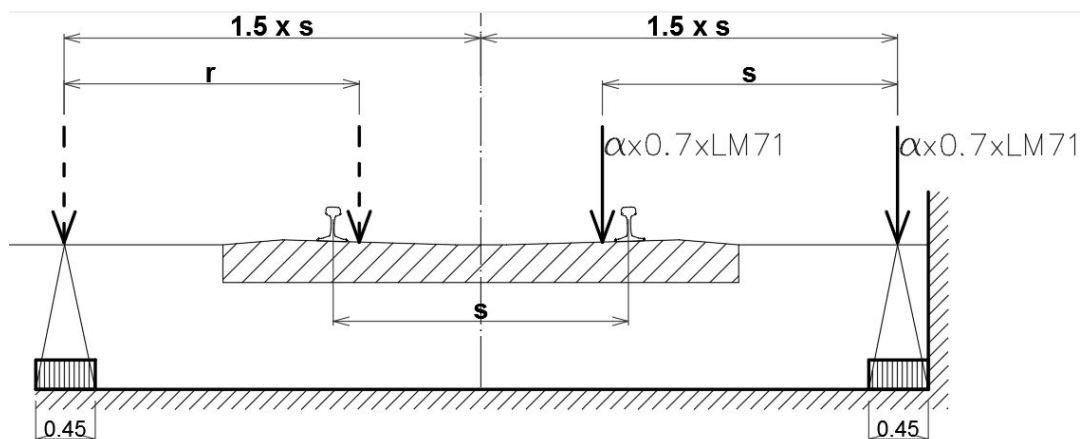


Fig. 3.1.11.-1 – Situația I de proiectare

- **Situația II** de proiectare: materialul rulant deraiat se balansează pe marginea podului, încărcându-se marginea suprastructurii (excluzând elementele nestructurale cum ar fi trotuarele). În acest caz, pentru asigurarea stabilității structurii trebuie luat în considerare următoarea încărcare [7]:

$q_{A2d} = \alpha \times 1,4 \times LM71$  (încărcare uniform distribuită) paralelă cu axa căii pe o lungime de 20 m, acționând pe marginea structurii, după cum se poate observa în figura 3.1.11.-2.

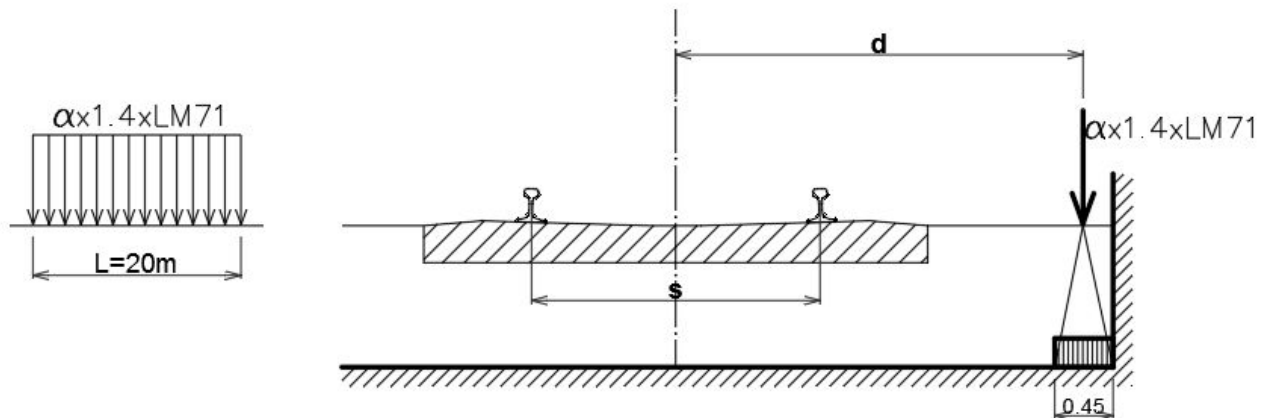


Fig. 3.1.11.-2 – Situația II de proiectare

### 3.1.12. Alte acțiuni

În proiectarea structurilor trebuie să se țină seama de următoarele acțiuni:

- Efecte datorate tablierelor înclinate sau a suprafețelor înclinate de rezemare
- Forțe longitudinale datorate detensionării sau pretensionării șinelor de cale ferată
- Forțe longitudinale datorate ruperii accidentale ale șinelor
- Acțiuni datorate liniei de contact sau a altor echipamente suspendate de structură
- Acțiuni de la alte echipamente legate de alte infrastructuri și echipamente ale liniei de cale ferată. [6]

### 3.1.13. Grupuri de încărcări

Simultaneitatea modelelor de încărcare definite anterior pot fi luate în considerare prin grupuri de încărcări așa cum sunt definite în tabelul 3.1.13-1. Fiecare din aceste grupuri de încărcări, care se exclud reciproc, se consideră că definesc o singură acțiune variabilă caracteristică ce se combină cu încărcările permanente. Fiecare grup de încărcări se consideră că formează o singură acțiune variabilă.

Număr de linii pe	Grupuri de încărcări			Forțe verticale				Forțe orizontale			Comentarii
	Referințe EN 1991-2			6.3.2 / 6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2		
	Nr. liniilor încărcate	Grupa de încărcare <sup>(8)</sup>	Linia încărcată	LM71 <sup>(1)</sup> SW/0 <sup>(2)(3)</sup> HSIM <sup>(6)(7)</sup>	SW/2 <sup>(1),(3)</sup>	Tren neîncărcat	Frânarea, Tracțiunea <sup>(1)</sup>	Forța centrifugă <sup>(1)</sup>	Forța de șerpuire <sup>(1)</sup>		
1	1	gr 11	T <sub>1</sub>	1			1 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup>	Max. Vert. 1 cu Max. Longit.	
1	1	gr 12	T <sub>1</sub>	1			0.5 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	Max. Vert. 2 cu Max. Transv.	
1	1	gr 13	T <sub>1</sub>	1 <sup>(4)</sup>			1	0.5 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup>	Max. Longit.	
1	1	gr 14	T <sub>1</sub>	1 <sup>(4)</sup>		1	0.5 <sup>(5)</sup>	1	1	Max. Lateral	
1	1	gr 15	T <sub>1</sub>				1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	Stab. Lateral cu tren neîncărcat	
1	1	gr 16	T <sub>1</sub>		1		1 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup>	SW/2 cu Max. Longit.	
1	1	gr 17	T <sub>1</sub>		1		0.5 <sup>(5)</sup>	1	1	SW/2 cu Max. Transv.	
2	2	gr 21	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 1			1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	Max. Vert. 1 cu Max. Longit.	
2	2	gr 22	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 1			0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	Max. Vert. 2 cu Max. Transv.	
2	2	gr 23	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 <sup>(4)</sup> 1 <sup>(4)</sup>			1 1	0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	Max. Longit.	
2	2	gr 24	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 <sup>(4)</sup> 1 <sup>(4)</sup>			0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	1 1	1 1	Max. Lateral	
2	2	gr 26	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 1	1		1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	SW/2 cu Max. Longit.	
2	2	gr 27	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 1	1		0.5 <sup>(5)</sup> 0.5 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	SW/2 cu Max. Transv.	
≥3	≥3	gr 31	T <sub>1</sub>	0.75			0.75 <sup>(5)</sup>	0.75 <sup>(5)</sup>	0.75 <sup>(5)</sup>	Cazuri de încărcare adiționale	

Actiune dominantă componentă, după caz

A se lua în considerare la proiectarea unei structuri care susține o linie CF

A se lua în considerare la proiectarea unei structuri care susține două linii CF

A se lua în considerare la proiectarea unei structuri care susține trei sau mai multe linii CF

TAB. 3.1.13.-1 – Grupuri de încărcări conform EN 1991-2 (Eurocod 1)[11]

În tabelul 3.1.13.-1 subnotațiile au următoarele semnificații:

- (1) – toți factorii relevanți ( $\alpha, \phi, f$ ) se vor lua în considerare;
- (2) – convoiul SW/0 se va aplica numai la poduri continue;
- (3) – convoiul SW/2 se va aplica numai la podurile pe a căror linii se stipulează că vor circula trenuri grele;
- (4) – factorul poate fi redus la 0,5 dacă are efect favorabil;
- (5) – în cazuri favorabile aceste valori se vor considera egale cu zero;
- (6) – Convoaiele HSLM și trenurile reale în conformitate cu EN 1991-2;
- (7) – dacă se cere analiza dinamică;
- (8) – vezi de asemenea tabelul A2.3 din EN 1990.

Coeficienții parțiali de siguranță pentru acțiuni pe poduri sunt dați în tabelele A2.4(A) – A2.4 (C) din Anexa A2 a EN 1990, în funcție de stările limită și de situația de proiectare [11].



## 3.2. Materiale uzuale în construcția podurilor mixte oțel-beton

### 3.2.1. Beton

Betonul este un material format prin amestecarea cimentului, a agregatelor și a apei cu sau fără aditivi și adaosuri și ale cărui proprietăți se dezvoltă prin hidratarea cimentului.

În funcție de masa volumică a betonului acesta se poate clasifica în:

- Beton cu masă volumică normală – beton a cărui masă volumică după uscare în etuvă este mai mare de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , dar inferioară sau egală cu  $2600 \text{ kg/m}^3$ ;
- Beton ușor – beton a cărui masă volumică după uscare în etuvă este mai mare sau egală cu  $800 \text{ kg/m}^3$ , dar inferioară sau egală cu  $2000 \text{ kg/m}^3$ , fiind produs integral sau parțial cu agregate ușoare;
- Beton greu – beton a cărui masă volumică după uscare în etuvă este mai mare de  $2600 \text{ kg/m}^3$ ;

În funcție de clasa de rezistență, betoanele se clasifică în:

- Beton de rezistență normală – beton ce aparține unei clase de rezistență inferioare sau cel mult egale cu C50/60;
- Beton de înaltă rezistență – beton ce aparține unei clase de rezistență la compresiune superioară clasei:
  - C50/60 – în cazul betonului de masă volumică normală sau betonul greu
  - LC50/55 – în cazul betonului ușor

Alegerea tipului de beton se face în funcție de natura construcției, a destinației sale, a acțiunilor pe care trebuie să le suporte, a agresiunii mediului pe care trebuie să o suporte, precum și în funcție de cerințele de ordin economic și funcțional.

Având în vedere faptul că pentru suprastructurile de poduri în secțiune compusă oțel-beton se folosesc betoanele cu masă volumică normală respectiv betonul greu, în cele ce urmează, clasificarea betoanelor în funcție de clasele de rezistență, clasele de expunere, rezistențele betonului, etc. vor viza doar aceste tipuri de betoane.

#### 3.2.1.1. Clasificare în funcție de clase de rezistență

Rezistența la compresiune a betonului se exprimă ca și rezistență la compresiune la vârsta de 28 de zile a betonului întărit, obținută prin încercări pe epruvete cilindrice ( $f_{ck,cil}$ ) sau pe epruvete cubice ( $f_{ck,cub}$ ). Rezistența caracteristică de compresiune reprezintă valoarea rezistenței sub care se pot situa 5% din populația tuturor rezultatelor determinărilor de rezistență posibile ale volumului de beton considerat.

Clasa de rezistență este definită de rezistențele caracteristice minime pe cilindrii și pe cuburi ale unui beton. În notarea clasei de rezistență a unui beton, se folosește litera C (concrete – engleză) urmat de două valori, primul reprezintă rezistența caracteristică minimă pe cilindru (în  $\text{N/mm}^2$ ), iar al doilea reprezintă rezistența caracteristică minimă pe cub (în  $\text{N/mm}^2$ ) corespunzătoare. Clasele de rezistență pentru betoanele de masă volumică normală și betoane grele se pot observa în tabelul 3.2.1.1.-1.

Pentru suprastructura podurilor în secțiune mixtă oțel-beton se recomandă folosirea unei clase de beton superioare celei de C25/30, dar nu mai mare de C60/75. În majoritatea cazurilor,

pe reabilitările de cale ferată din țara noastră, la tipul de structuri mixte GMIB (grinzi metalice înglobate în beton) se folosește cu precădere clasa C30/37.

Tabel 3.2.1.1.-1

TIP	Clase de rezistență la compresiune	Rezistența caracteristică minimă pe cilindri $f_{ck,cil}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Rezistența caracteristică minimă pe cuburi $f_{ck,cub}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Beton de rezistență normală	C8/10	8	10
	C12/15	12	15
	C16/20	16	20
	C20/25	20	25
	C25/30	25	30
	C30/37	30	37
	C35/45	35	45
	C40/50	40	50
	C45/55	45	55
Beton de înaltă rezistență	C50/60	50	60
	C55/67	55	67
	C60/75	60	75
	C70/85	70	85
	C80/95	80	95
	C90/105	90	105
	C100/115	100	115

### 3.2.1.2. Clase de expunere

Acțiunile datorate mediului înconjurător asupra elementelor de beton, beton armat și precomprimat sunt clasificate în clase de expunere. Notația utilizată pentru identificarea acestor clase este formată din două litere și o cifră. Prima literă este X (de la eXposure în limba engleză) urmată de o alta care se referă la mecanismul de degradare așa cum este definit în standardul *SR EN 206*, respectiv *NE 012 – 2007 – Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat*. A doua literă este urmată de o cifră care se referă la nivelul de umiditate:

- **0** – nici un risc de coroziune sau atac
- **C** – de la **C**arbonation – coroziune datorată carbonatării (clase XC1 ÷ XC4)
- **D** – de la **D**eicing Salt (sare pentru dezgheț) – coroziune datorată clorurilor având altă origine decât cea marină (clase XD1 ÷ XD3)
- **S** – de la **S** seawater (apă de mare) – coroziune datorată clorurilor din apa marină (clase XS1 ÷ XS3)
- **F** – de la **F**rost (îngheț) – atac din îngheț – dezgheț cu sau fără agenți de dezghețare (clase XF1 ÷ XF4)
- **A** – de la **A**ggressive environment (mediu agresiv chimic) – atac chimic (clase XA1 ÷ XA3)
- **M** – de la **M**echanical abrasion (atac mecanic prin abraziune) – solicitarea mecanică a betonului prin uzură (clase XM1 ÷ XM3). [14]

Pentru caracterizarea expunerii betonului, este necesară în general combinarea mai multor clase de expunere deoarece betonul poate fi supus la mai multe tipuri de acțiuni ale mediului înconjurător în mod simultan.

În absența standardelor europene pentru încercări directe de performanță a betonului, metodele de adoptare în practică a acestor clase de expunere sunt date de codul de practică NE 012-2007 ca proprietăți stabilite pentru beton și de valori limită de compoziție. Cerințele se specifică în funcție de:

- Tipuri și clase de materiale componente
- Raport maxim apă / ciment
- Conținut minim de ciment
- Clase minime de rezistență la compresiune a betonului
- Conținut minim de aer din beton (unde este cazul) [14]

Particularizând aceste cerințe pentru dalele în structură mixtă oțel-beton, în tabelul 3.2.1.1.-2 sunt prezentate cele mai uzuale clase de expunere, respectiv cerințele pentru betoane, la care aceste structuri sunt expuse:

Tabel 3.2.1.1.-2 [14]

Clase de expunere			Raport maxim A/C	Clasa minimă de rezistență	Dozaj minim de ciment (kg/mc)	Conținut minim de aer antrenat	Alte condiții
<b>Coroziune indusă prin carbonatare</b>	<b>XC1</b>	Uscat sau permanent umed	0,65	C16/20	260	-	-
	<b>XC2</b>	Umed, rareori uscat	0,60	C16/20	260	-	-
	<b>XC3</b>	Umiditate moderată	0,60	C20/25	280	-	-
	<b>XC4</b>	Alternanță umiditate - uscare	0,50	C25/30	300	-	-
<b>Atac îngheț - dezgheț</b>	<b>XF1</b>	Saturație moderată cu apă fără agenți de dezghețare	0,50	C25/30	300	-	Agregate rezistente la îngheț-dezgheț conform SR EN 12620
	<b>XF2</b>	Saturație moderată cu apă cu agenți de dezghețare	0,55 <sup>a</sup>	C25/30	300	a	
			0,50	C35/45	320	-	
	<b>XF3</b>	Saturație puternică cu apă, fără agenți de dezghețare	0,55 <sup>a</sup>	C25/30	300	a	
0,50			C35/45	320	-		
<b>XF4</b>	Saturație puternică cu apă, cu agenți de dezghețare sau apă de mare	0,50 <sup>a</sup>	C30/37	340	a	d	
<b>Atac chimic</b>	<b>XA1</b>	Mediu înconjurător cu agresivitate chimică slabă	0,55	C25/30	300	-	
	<b>XA2</b>	Mediu înconjurător cu agresivitate chimică moderată	0,50	C35/45	320	-	
	<b>XA3</b>	Mediu înconjurător cu agresivitate chimică intensă	0,45	C35/45	360	-	
<p>a- Conținutul de aer antrenat se stabilește în funcție de dimensiunea maximă a granulei în conformitate cu 5.4.3 – NE 012-2007. Dacă betonul nu conține aer antrenat cu intenție, atunci performanța betonului trebuie să fie măsurată conform unei metode de încercare adecvate, în comparație cu un beton pentru care a fost stabilită rezistența la îngheț-dezgheț pentru clasa de expunere corespunzătoare.</p> <p>b- În cazul expunerii în zonele marine, se vor utiliza cimenturi rezistente la acțiunea apei de mare.</p>							

### 3.2.1.3. Clase de consistență

Consistența betonului se determină prin încercări de laborator printr-una din următoarele metode:

- Încercarea de tasare – conform *SR EN 12350-2*
- Încercarea VEBE – conform *SR EN 12350-3*
- Determinarea gradului de compactare – conform *SR EN 12350-4*
- Încercarea cu masa de răspândire – conform *SR EN 12350-5*

Dintre aceste metode, cea mai uzuală atât la încercările preliminare în laborator, cât și la verificarea consistenței betonului proaspăt la stația de betoane și pe șantier este încercarea la tasare.



*Măsurarea tasării betonului proaspăt la stația de betoane și pe șantier la locul punerii în operă  
Proiect de reabilitare CF Simeria-Vintu de Jos*

Clasele de tasare se pot observa în tabelul nr. 3.2.1.1.-3.

*Tabel 3.2.1.1.-2 [14]*

Clasa de tasare	Tasarea, in mm
<b>S1</b>	De la 10 până la 40
<b>S2</b>	De la 50 până la 90
<b>S3</b>	De la 100 până la 150
<b>S4</b>	De la 160 până la 210
<b>S5<sup>1)</sup></b>	≥ 220
<b>1) – dincolo de această valoare încercarea se poate dovedi neadecvată și trebuie luată în considerare o altă metodă de încercare.</b>	

#### **3.2.1.4. Cerințe de bază pentru materiale componente**

Compoziția betonului și materialele componente trebuie să fie alese astfel încât să satisfacă cerințele specificate pentru betonul proaspăt și întărit, ținând seama de procedeele de producție, de condițiile de transport și de punere în operă.

##### **Cimentul**

Cimentul este un liant hidraulic, un material anorganic fin măcinat, care amestecat cu apă formează o pastă care face priză și se întărește datorită reacțiilor și proceselor de hidratare și care după întărire își menține rezistența și stabilitatea chiar și sub apă. Conform EN 197-1, cimentul poartă denumirea prescurtată de CEM și poate fi grupat în cinci tipuri principale de ciment după cum urmează:

- CEM I – Ciment Portland
- CEM II – Ciment Portland compozit
- CEM III – Ciment de furnal

- CEM IV – Ciment puzzolanic
- CEM V – Ciment compozit

Rezistența standard a unui ciment este rezistența la compresiune la 28 de zile (RC28) exprimată în MPa, determinată în conformitate cu EN 196-1, fiind astfel definite trei clase de rezistență standard:

- Clasa de rezistență 32,5 – corespunde unei RC28 minime de 32,5MPa
- Clasa de rezistență 42,5 – corespunde unei RC28 minime de 42,5MPa
- Clasa de rezistență 52,5 – corespunde unei RC28 minime de 52,5MPa

Rezistența inițială a unui ciment este rezistența la compresiune determinată în conformitate cu EN 196-1 fie la vârsta de 2 zile (RC2), fie la 7 zile (RC7). Pentru fiecare clasă de rezistență standard sunt definite două clase de rezistență inițială, după cum urmează:

- N – rezistență inițială uzuală
- R – rezistență inițială mare

Astfel în notarea standard a unui ciment trebuie identificat tipul cimentului, clasa de rezistență standard, respectiv clasa de rezistență inițială, de exemplu CEM I 42,5 R.

La alegerea tipului de ciment pentru beton trebuie luate în considerare următorii factori:

- tehnologia de executare a lucrării
- utilizarea finală a betonului
- condițiile de tratare
- dimensiunea structurii
- agresiunile mediului înconjurător la care este supusă structura
- reactivitatea potențială a agregatelor față de alcaliile din materiale componente. [14]

Dozajele de ciment folosite pentru producerea diferitelor clase de betoane sunt stabilite prin încercări preliminare la elaborarea rețetelor de beton iar dozajele minime sunt dictate de clasa de rezistență a betonului, respectiv clasele de expunere pe care aceste betoane trebuie să le satisfacă.

### **Agregatele și condițiile de utilizare**

Prin agregate pentru betoane se înțelege mineralul granular care este apt spre a fi utilizat în producerea betonului. Acest agregat poate să fie natural, artificial sau reciclat plecând de la materiale utilizate anterior în construcții.

Agregatele sunt definite în termeni de clase granulare d/D (dimensiunea nominală minimă în mm / dimensiunea nominală maximă în mm), cu excepția agregatelor adăugate (filer). Clasele granulare precum și aptitudinile generale de utilizare a agregatelor de masă volumică normală și agregate grele sunt descrise în SR EN 12620 – Agregate pentru beton.

La prepararea betonului, compoziția granulometrică a agregatelor utilizate este descrisă prin procentul de masă al agregatului trecut prin sitele cu ochiuri pătrate cu dimensiuni de 0.125mm, 0.25mm, 0.5mm, 1mm, 2mm, 4mm, 8mm, 16mm, 22mm, 32mm și 63mm. Codul de Practică NE 012: 2007 recomandă o serie de curbe granulometrice pentru diferite dimensiuni nominale maxime ale agregatelor: 0/8, 0/16, 0/22, 0/32 și 0/64 mm. Aceste curbe granulometrice conțin fiecare câte cinci zone de granulozitate și anume: defavorabilă, utilizabilă, favorabilă, favorabilă pentru compoziție granulometrică discontinuă și defavorabilă. Este recomandat ca în practică să se aleagă procentul de sort din compoziția amestecului de agregate astfel încât acesta să se încadreze în zona favorabilă sau utilizabilă.

Întrucât la prepararea betonului pentru dalele cu secțiune compusă oțel-beton se recomandă utilizarea betonului cu dimensiunea nominală maximă a agregatului de 32mm și totodată luând în considerare faptul că la noi în țară sorturile 16-22 respectiv 22-32 nu se regăsesc la toate stațiile de betoane, în figurile 3.2.1.4.-1 respectiv 3.2.1.4.-2 se prezintă zonele granulometrice pentru amestecurile de agregate 0/16mm respectiv 0/32mm ca fiind cele mai utilizate în producerea betonului:

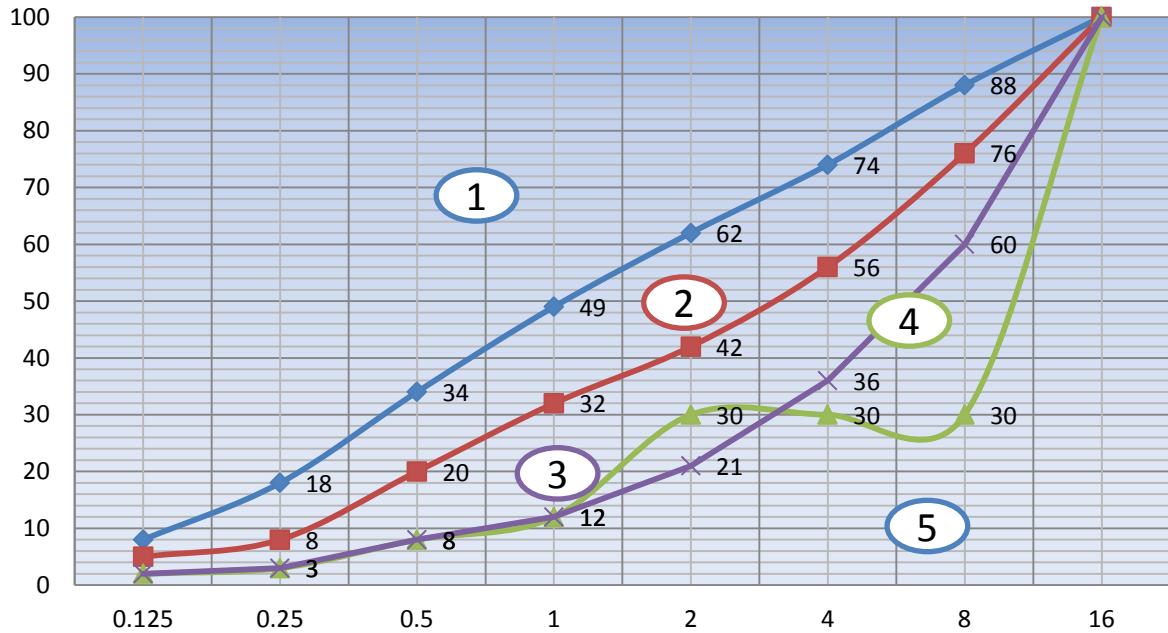


Fig. 3.2.1.4.-1 – Zone de granuloitate pentru dimensiunea maximă a agregatelor de 16mm [14]

- 1 – Zonă defavorabilă
- 2 – Zonă utilizabilă
- 3 – Zonă favorabilă
- 4 – Zonă favorabilă pentru compoziție granulometrică discontinuă
- 5 – Zonă defavorabilă

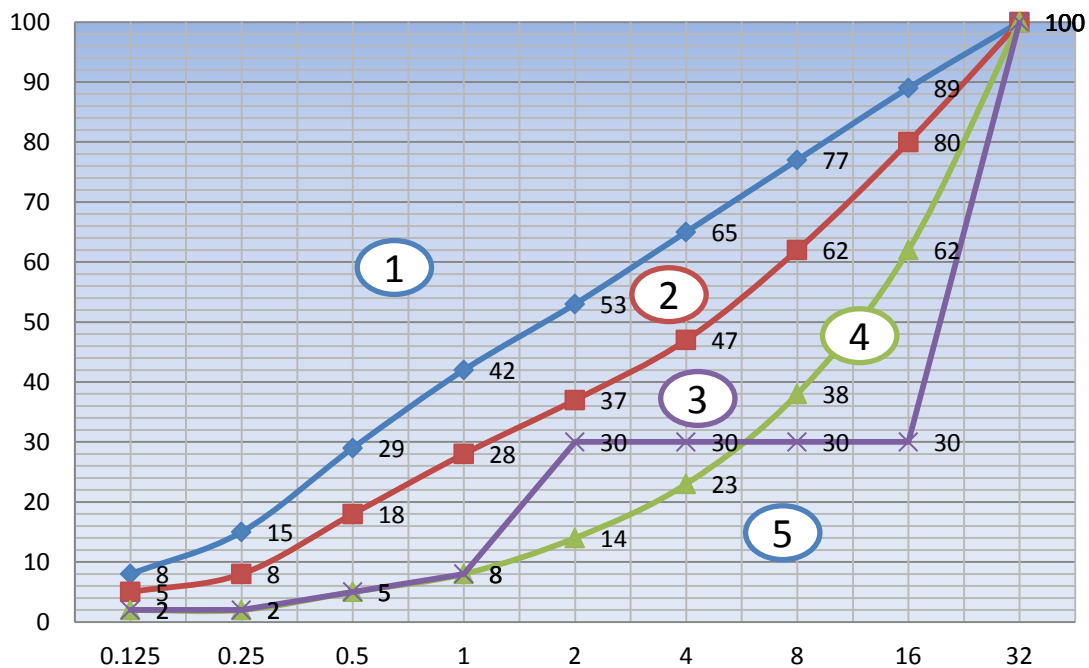


Fig. 3.2.1.4.-2 – Zone de granuloitate pentru dimensiunea maximă a agregatelor de 32mm [14]

- ✚ 1 – Zonă defavorabilă
- ✚ 2 – Zonă utilizabilă
- ✚ 3 – Zonă favorabilă
- ✚ 4 – Zonă favorabilă pentru compoziție granulometrică discontinuă
- ✚ 5 – Zonă defavorabilă

Tipul, dimensiunile și categoriile de agregate privind caracteristicile fizice, mecanice, etc. Trebuie să fie selecționate ținând seama de:

- tehnologia de executare a lucrării
- utilizarea finală a betonului
- cerințele de mediu înconjurător la care va fi supus betonul

Dimensiunea maximă nominală superioară a agregatului ( $D_{max}$ ) trebuie ales în concordanță cu grosimea acoperirii cu beton a armăturilor, distanța dintre armături și dimensiunea minimă a secțiunii elementelor.

### Apa de amestec

Calitatea apei folosite la prepararea betonului poate influența timpul de priză, dezvoltarea rezistenței betonului și protejarea armăturii contra coroziunii. La evaluarea aptitudinii de utilizare a apei de calitate necunoscută pentru producerea betonului, trebuie luat în considerare atât compoziția apei cât și utilizarea betonului care urmează a fi produs. Condițiile pentru ca o apă să fie corespunzătoare producerii betonului precum și metodele de evaluare a aptitudinii sunt cuprinse în standardul *SR EN 1008 - Apa de preparare pentru beton. Specificații pentru prelevare, încercare și evaluare a aptitudinii de utilizare a apei, inclusiv a apelor recuperate din procese ale industriei de beton, ca apă de preparare pentru beton.*

### Aditivii și utilizarea acestora

Aditivii sunt materiale adăugate în timpul procesului de producere a betonului într-o cantitate care să nu depășească 5% din masa cimentului conținut în beton cu scopul de a modifica caracteristicile amestecului în stare proaspătă și / sau întărită. Condițiile de performanță pe care trebuie să le satisfacă aditivii utilizați pentru producerea betonului de consistență normală sunt cuprinse în standardul *SR EN 934-2+A1:2012 - Aditivi pentru beton, mortar și pastă. Partea 2: Aditivi pentru beton. Definiții, condiții, conformitate, marcare și etichetare.*

Codul de practică NE 012-2007 pentru producerea betonului prevede că betonul trebuie să fie preparat cu aditivi. Condițiile de utilizare a aditivilor depind de factori ce țin de tehnologia de executare a lucrării, utilizarea finală a betonului, agresiunea mediului înconjurător la care este expusă structura, etc. și sunt prezentate în tabelul 3.2.1.4.-1:

Tabel 3.2.1.4.-1 [14]

Nr. Crt.	Tip beton, tehnologie și condiții de turnare	Aditiv recomandat	Observații
1	Betoane de rezistență având clasa cuprinsă între C8/10 și C30/37 inclusiv	Plastifiant	După caz: superplastifiant
2	Betoane supuse la îngheț - dezgheț	Antrenor de aer	
3	Betoane cu permeabilitate redusă	Reducător de apă / plastifiant	După caz: - intens reducător de apă / superplastifiant - impermeabilizator
4	Betoane expuse în condiții de agresivitate intensă și foarte intensă	Reducător de apă / plastifiant	După caz: - intens reducător de apă / superplastifiant - inhibitor de coroziune
5	Betoane executate monolit având clasa $\geq$ C35/45	Superplastifiant / intens reducător de apă	

6	Betoane fluide	Superplastifiant
7	Betoane masive	(Plastifiant)
	Betoane turnate prin tehnologii speciale (autocompactante)	Superplastifiant + întârzietor de priză
8	Betoane turnate pe timp călduros	Întârzietor de priză + superplastifiant (plastifiant)
9	Betoane turnate pe timp friguros	Anti-îngheț + accelerator de priză
10	Betoane cu rezistențe mari la termene scurte	Acceleratori de întărire fără cloruri

Particularizând la cazul podurilor de cale ferată cu secțiune compusă oțel-beton și ținând cont de faptul că rezistența minimă betonului din dală trebuie să corespundă clasei C30/37, respectiv că betonul este expus la atac din îngheț – dezgheț, tipurile de aditiv recomandate a se folosi la aceste structuri sunt în general aditivii superplastifianți, antrenori de aer și după caz întârzietor sau accelerator de priză.

### 3.2.1.5. Cerințe de bază pentru compoziția betonului

#### Conținut de cloruri

Pentru calculul conținutului de cloruri al unui beton, se determină suma contribuțiilor de cloruri ale materialelor componente bazat pe conținutul maxim în cloruri al acestora dacă este stabilit prin standardul de component sau cel declarat de către producător pentru fiecare din materialele componente.

Conținutul de cloruri al unui beton, exprimat ca procent de masă al ionilor de clor față de masa cimentului, nu trebuie să depășească pentru clasa selecționată valorile din tabelul 3.2.1.5.-1.

În cazul podurilor dalate cu secțiune compusă oțel-beton, conținutul de cloruri al betonului dalei trebuie să se încadreze în clasa de cloruri Cl 0,20.

Tabel 3.2.1.5.-1 [14]

Utilizarea betonului	Clasa de cloruri conținute	Conținut maxim de Cl raportat la masa cimentului
<b>Beton care nu conține armături de oțel sau alte piese metalice înglobate (cu excepția pieselor de ridicare rezistente la coroziune)</b>	Cl 1,0	1,0%
<b>Beton conținând armături de oțel sau piese metalice înglobate</b>	Cl 0,20	0,20%
	Cl 0,40	0,40%
<b>Beton conținând armături de precomprimare de oțel</b>	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%

#### Raportul apă ciment

În asigurarea calității amestecurilor de beton, un rol foarte important îl joacă analiza periodică a rezultatelor obținute pe probele de beton în procesul de producție al unei stații de preparare a betonului. Orice rețetă de beton pusă în aplicare de o stație de betoane, are la bază încercări preliminare efectuate atât în laborator și pe stație.

Unul din factorii principali de care trebuie ținut cont în elaborarea unei rețete de beton este raportul apă-ciment. Raportul apă/ciment reprezintă raportul dintre cantitatea totală de apă și conținutul de ciment din betonul proaspăt. Valorile limită ale raportului apă/ciment sunt dictate



de clasele de exunere a betonului în ipoteza unei durate de viață și întreținere a structurii prevăzute pentru 50 de ani și variază în practică în funcție de tipul cimentului și a agregatelor.

La încercările preliminare, în procesul elaborării unei rețete de beton, se poate lua în considerare relația dintre raportul apă-ciment și rezistența la compresiune a betonului întărit la vârsta de 28 de zile, dată de următoarele relații:

$$f_{c1} = 470 \times e^{-(3.2 \times x^{0.6})}$$

$$f_{c2} = 405 \times e^{-(3.3 \times x^{0.63})}$$

$$f_{c3} = 375 \times e^{-(3.52 \times x^{0.65})}$$

$$f_{c4} = 355 \times e^{-(3.93 \times x^{0.68})}$$

Graficul acestor relații, care definesc relația dintre raportul apă/ciment și rezistența la compresiune la 28 de zile a betonului pentru diferite clase de rezistență a cimentului, se poate observa în figura 3.2.1.5.-1. Acest grafic are caracter orientativ și se utilizează în cadrul încercărilor preliminare pentru definitivarea unei rețete de beton.

Caracterul orientativ al graficului este evidențiat și de faptul că fiecărui tip de ciment îi corespunde o suprafață iar aceste suprafețe, pentru diferite tipuri de ciment, pot să se suprapună. Concret, asta înseamnă că există posibilitatea de a se obține aceeași rezistență a betonului folosind ciment tip CEM 32,5 față de una obținută cu ciment CEM 42,5, păstrând aceleași doze de amestec. Însă acest aspect se poate clarifica doar după analiza rezultatelor la compresiune a betonului pe parcursul încercărilor preliminare.

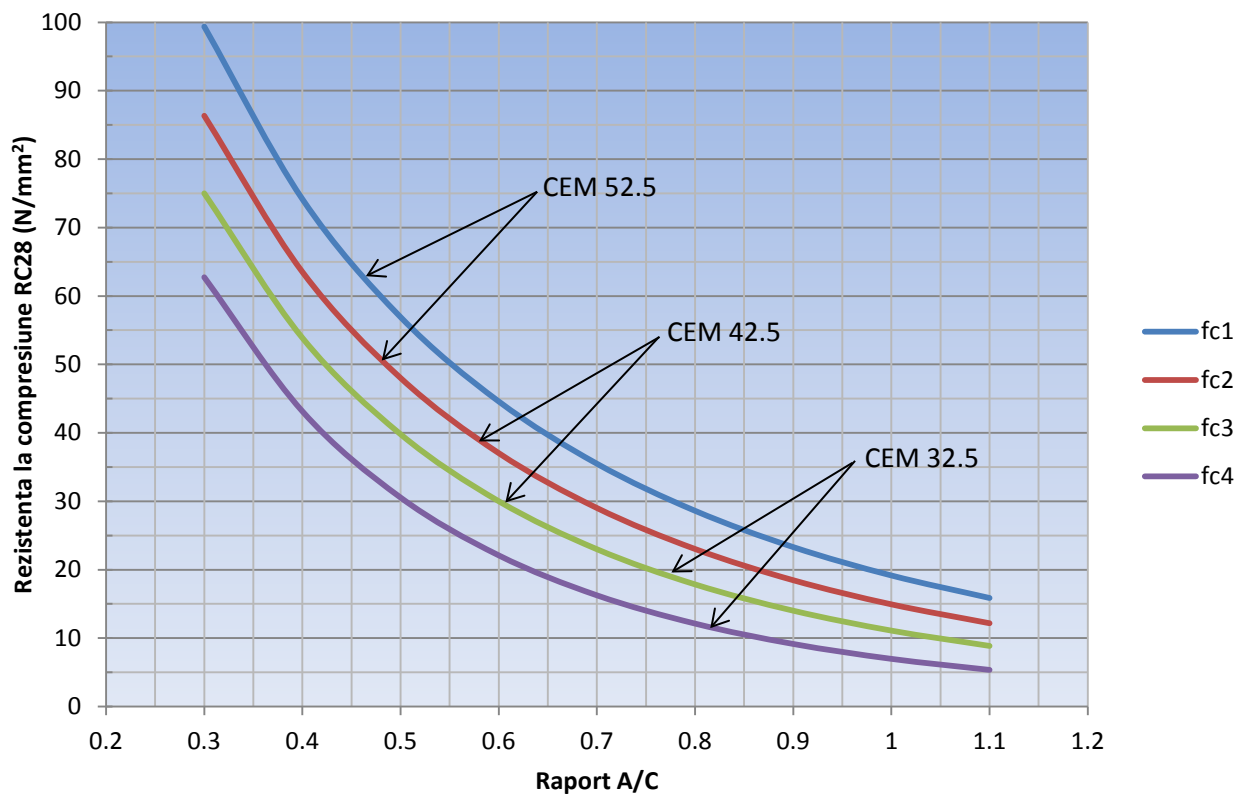


Fig. 3.2.1.5.-1 – Grafic orientativ privind relația A/C – RC28

### Temperatura betonului

Temperatura betonului în timpul livrării nu trebuie să fie mai mică de 5°C. De asemenea temperatura betonului proaspăt nu trebuie să depășească valoarea de 30°C dacă nu au fost luate măsuri speciale care să prevină consecințele negative asupra calității betonului întărit.

La asigurarea temperaturii betonului în timpul livrării, trebuie să se țină cont de temperatura mediului ambiant, așa cum se arată în tabelul 3.2.1.5.-2.

Tabel 3.2.1.5.-2[14]


Temperatura aer $t_a$ (°C)	Temperatura beton $t_b$ (°C)	Observații
$-3 \leq t_a \leq 5$	$t_b \geq 5$	-
	$t_b \geq 10$	În cazul în care se folosește ciment cu căldură de hidratare redusă sau betoane la care dozajul de ciment este mai mic de 240 kg/mc.
$t_a \leq -3$	$t_b \geq 10$	Se iau măsuri corespunzătoare de turnare pe timp friguros a betonului. Se recomandă utilizarea cimenturilor cu degajare mare de căldură, aditivi acceleratori de priză și anti-îngheț. Se iau măsuri de protecție a betonului împotriva înghețului, după turnare.
$t_a \leq -10$	-	Nu se recomandă punerea în operă a betonului

#### 3.2.1.6. Specificația betonului

Prin specificație se înțelege sinteza cerințelor tehnice documentate transmise producătorului de beton în termeni de performanță sau produs. Elaboratorul specificației trebuie să ia în considerare toate cerințele asupra proprietăților betonului:

- utilizarea betonului
- condițiile de tratare
- dimensiunile structurii
- agresiunea mediului înconjurător
- cerințe privind agregatele aparente
- toate cerințele referitoare la grosimea de acoperire cu beton a armăturilor sau la grosimea minimă a secțiunilor
- toate restricțiile de utilizare a materialelor componente cu aptitudine de utilizare stabilită

Astfel putem deosebi următoarele specificații ale betonului:

 **Beton cu proprietăți specificate** – beton pentru care proprietățile cerute și caracteristicile suplimentare sunt specificate producătorului, care este responsabil de furnizarea unui beton care satisface aceste cerințe. Această specificație trebuie să conțină:

- cerințele în conformitate cu NE 012-2007
- clasa de rezistență la compresiune
- clasele de expunere
- dimensiunea maximă a agregatelor
- clasa de cloruri.
- clasa de consistență

✚ **Beton cu compoziție specificată** – beton pentru care compoziția betonului și materialele componente de utilizat sunt specificate producătorului care este responsabil de furnizarea unui beton respectând compoziția specificată. Specificația trebuie să cuprindă:

- cerințe de conformitate cu NE 012-2007
- tipul de ciment, clasa de rezistență și dozajul
- raportul apă/ciment sau consistența
- tip, categorie și conținut maxim în cloruri ale agregatelor, masa volumică minimă sau maximă după caz, dimensiunea nominală maximă și limitele granulometrice
- tip și dozaj de aditiv sau adaosuri dacă este cazul, indicații privind originea acestora

✚ **Betoane de compoziție prescrisă printr-un standard** – beton de compoziție specificată, având compoziția definită într-un standard aplicabil la locul unde betonul este utilizat. Specificația trebuie să cuprindă:

- standardul valabil pe locul de utilizare a betonului care dă cerințele corespunzătoare
- notarea betonului după acest standard

În tabelul 3.2.1.5.-3 este exemplificat un model de calcul rețetă pentru betonul unei dale de pod în structură mixtă oțel-beton iar în figura 3.2.1.5.-1 se poate vedea încadrarea amestecului de agregate în limitele granulometrice pentru zona favorabilă.

Betonul are proprietățile specificate și anume:

- clasa de rezistență la compresiune: C30/37
- clasele de expunere: XC4, XF1
- clasa de consistență: S4
- dimensiunea maximă a agregatelor: 0-16mm
- clasa de cloruri: Cl 0,2

Tabel 3.2.1.5.-3

RETETA NR.	model			DATA	12.02.2017
Stația de betoane	-				
Clasa beton	Lucrabilitate	Dim max agregat	A/C	Clasa de expunere	Aer antrenat teoretic
C30/37	S4	16	0.45	XC4, XF1	2%
	Tip	Dozaj	Densitate		
Ciment	II/ALL 42,5R	375	3		
Aditiv	Superplastif 2320	0.90%	1.04		
	Antrenor aer LPS A 94	0.00%	1.13		

Tabel 3.2.1.5.-4

Treceri prin sita (ciur)											Densit .
Granulozitate		0.125	0.250	0.5	1	2	4	8	16	31	
Sort 1	0-4mm	6.70	16.40	38.00	62.50	85.50	99.00	100.00	100.00	100.00	2.67
Sort 2	4-8mm	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	18.30	99.00	100.00	100.00	2.68
Sort 3	8-16mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	6.20	98.80	100.00	2.68
Sort 4	16-31mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
42%	100%	2.81	6.89	15.96	26.25	35.91	41.58	42.00	42.00	42.00	1.1214
18%		0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	3.29	17.82	18.00	18.00	0.4824
40%		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	2.48	39.52	40.00	1.072
0%		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Total amestec		<b>2.81</b>	<b>6.89</b>	<b>15.96</b>	<b>26.25</b>	<b>36.16</b>	<b>45.11</b>	<b>62.30</b>	<b>99.52</b>	<b>100.00</b>	<b>2.6758</b>
Limite	min.	1	3	8	12	21	36	60	99	100	
	max.	4	8	20	32	42	56	76	100	100	
Corespunde		DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	

Tabel 3.2.1.5.-5

Cantitati la mc		Repartitie agregate pe sorturi					
		Agregate uscate			Agregate umede		
Material	Dozaj (kg/mc)	Sorturi	Dozaj (%)	Dozaj agr (kg/mc)	Umiditate (%)	Apa (kg)	Agregate umede
Apa + aditiv	169	0-4mm	42%	771	0.00%	0.00	771
Superplastif 2320	3.38	4-8mm	18%	331	0.00%	0.00	331
Apa adaugata	165	8-16mm	40%	735	0.00%	0.00	735
Ciment	375	16-31mm	0%	0	0.00%	0.00	0
Agregat total	1837		TOTAL	1837	TOTAL	0.00	1837
$\rho_a$ teoretic	2380.4						

Curba granulometrica amestec agregate ptr reteta C30/37, XC4-XF1, D16, CI 0.2

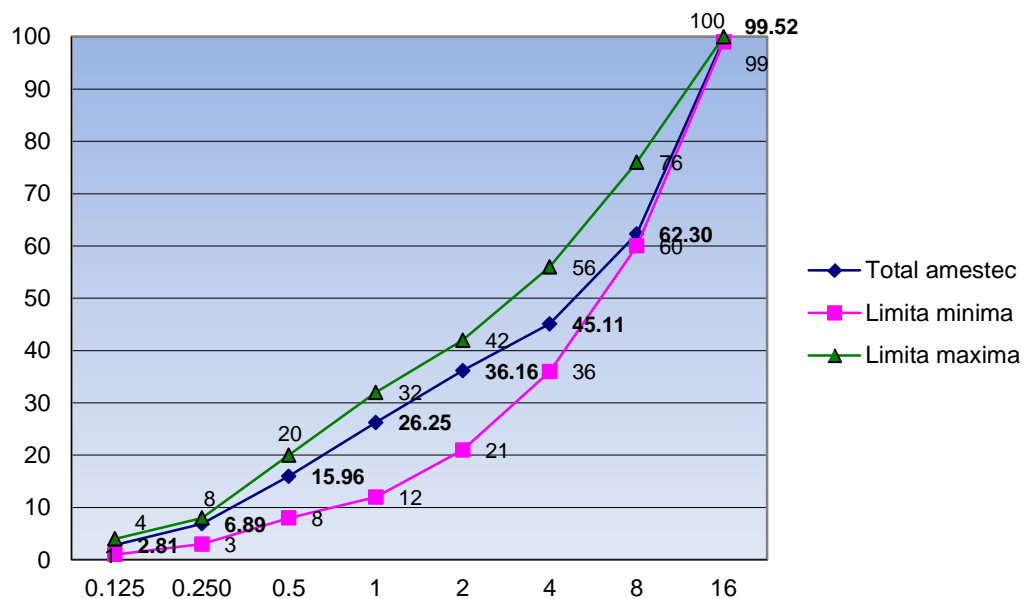


Fig. 3.2.1.5.-1 – Încadrarea în limitele granulometrice – zonă favorabilă

### 3.2.1.7. Rezistențele betonului

Caracteristicile de rezistență ale betoanelor de densitate normală, folosite în proiectare, sunt următoarele [6]:

$f_{ck}$  – rezistența caracteristică a betonului la compresiune pe cilindrii determinată la 28 de zile

$f_{ck, cube}$  – rezistența caracteristică a betonului la compresiune pe cuburi determinată la 28 de zile

$f_{cm}$  – rezistența medie a betonului la compresiune, determinată la 28 de zile

$$f_{cm} = f_{ck} + 8(MPa)$$

$f_{ctm}$  – rezistența medie a betonului la întindere axială (tracțiune), determinată la 28 de zile

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{pentru } \leq C50/60$$

$$f_{ctm} = 2.12 \cdot \ln(1 + 0.1 \cdot f_{cm}) \quad \text{pentru } > C50/60$$

$f_{ctk0,05}$  – rezistența caracteristică la întindere axială (tracțiune) cu risc de 5%

$$f_{ctk0,05} = 0.7 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctk0,95}$  – rezistența caracteristică la întindere axială (tracțiune) cu risc de 95%

$$f_{ctk0,95} = 1.3 \cdot f_{ctm}$$

Rezistențele medii ale betonului la compresiune ( $f_{cm}$ ) și la întindere ( $f_{ctm}$ ) la o anumită vârstă ( $t$ ) și temperatura betonului de 20°C, pot fi estimate cu relațiile:

$$f_{cm(t)} = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

$$f_{ctm(t)} = (\beta_{cc}(t))^\alpha \cdot f_{ctm}$$

Unde:

$\beta_{cc}(t)$  – coeficient care depinde de vârsta betonului,  $t$  (zile)

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}$$

$s$  - coeficient care depinde de tipul cimentului:

= 0,20 pentru cimenturi cu rezistență superioară și întărire rapidă

= 0,25 pentru cimenturi cu întărire normală și rapidă

= 0,38 pentru cimenturi cu întărire lentă

$t$  – vârsta betonului în zile;

$\alpha = 1$  pentru  $t < 28$  zile

$\alpha = 2/3$  pentru  $t \geq 28$  zile

Valorile rezistențelor enumerate mai sus pentru diferite clase de rezistență a betonului sunt date în tabelul 3.2.1.7.-1.

Tabel 3.2.1.7.-1

TIP	Clase de rezistență beton	Caracteristici de rezistență						
		$f_{ck,cil}$	$f_{ck,cub}$	$f_{cm}$	$f_{ctm}$	$f_{ctk,0.05}$	$f_{ctk,0.95}$	$E_{cm}$
		(N/mm <sup>2</sup> )						Gpa
Beton de rezistență normală	C25/30	25	30	33	2.6	1.8	3.3	31.5
	C30/37	30	37	38	2.9	2.0	3.8	32.8
	C35/45	35	45	43	3.2	2.2	4.2	34.1
	C40/50	40	50	48	3.5	2.5	4.6	35.2
	C45/55	45	55	53	3.8	2.7	4.9	36.3
	C50/60	50	60	58	4.1	2.9	5.3	37.3
Beton de înaltă rezistență	C55/67	55	67	63	4.2	3.0	5.5	38.2
	C60/75	60	75	68	4.4	3.0	5.7	39.1
	C70/85	70	85	78	4.6	3.2	6.0	40.7
	C80/95	80	95	88	4.8	3.4	6.3	42.2
	C90/105	90	105	98	5.0	3.5	6.6	43.6
	C100/115	100	115	108	5.2	3.7	6.8	44.9

### 3.2.1.8. Deformația elastică a betonului

Deformația elastică a betonului depinde de compoziția sa. Tocmai din acest considerent, betonul nu este un material elastic ideal și nicidecum unul linear elastic.

Termenul de modul de elasticitate definește legătura dintre efort și deformație. În accepțiunea teoriei elasticității, modulul de elasticitate reprezintă raportul dintre variația efortului unitar și variația corespunzătoare a deformației specifice în jurul unui punct oarecare al curbei caracteristice.

Rezistențele medii la compresiune a betonului cresc în timp, așadar crește și eficiența betonului la încărcări de scurtă durată. Estimarea creșterii modulului de elasticitate a betonului în timp este definită de EN 1992-1-1 de următoarea relație:

$$E_{cm(t)} = \left[ \frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right]^{0.3} \cdot E_{cm}$$

Unde: -  $E_{cm}(t)$  și  $f_{cm}(t)$  sunt valorile pentru o vârstă de  $t$  zile  
-  $E_{cm}$  și  $f_{cm}$  sunt valorile determinate la 28 de zile.

Spre exemplificare, în tabelul 3.2.1.8.-1 și în figura 3.2.1.8.-1 se prezintă creșterea în timp a rezistenței medii și a modulului de elasticitate a unui beton C30/37 la care s-a folosit un ciment cu rezistență superioară și întărire rapidă.

Secțiunea transversală de calcul a unei secțiuni mixte oțel-beton se obține ca o secțiune omogenă de oțel, prin transformarea secțiunii comprimate de beton într-o secțiune echivalentă de oțel. Această transformare se obține prin utilizarea unui coeficient de echivalență  $n$ .

$$n = \frac{E_a}{E_{cm}}$$

Unde:  $E_a$  – modulul de elasticitate al oțelului  
 $E_{cm}$  – modulul de elasticitate al betonului

Tabel 3.2.1.8.-1

t (zile)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_{cm}(t)$ (Gpa)
28	1.000	38.0	32.8
56	1.060	40.3	33.4
90	1.092	41.5	33.7
120	1.109	42.1	33.9
150	1.120	42.6	34.0
180	1.129	42.9	34.1
210	1.135	43.1	34.1
240	1.141	43.3	34.2
270	1.145	43.5	34.2
300	1.149	43.7	34.2
330	1.152	43.8	34.3
365	1.156	43.9	34.3
550	1.168	44.4	34.4
730	1.174	44.6	34.5
915	1.179	44.8	34.5
1095	1.183	45.0	34.5

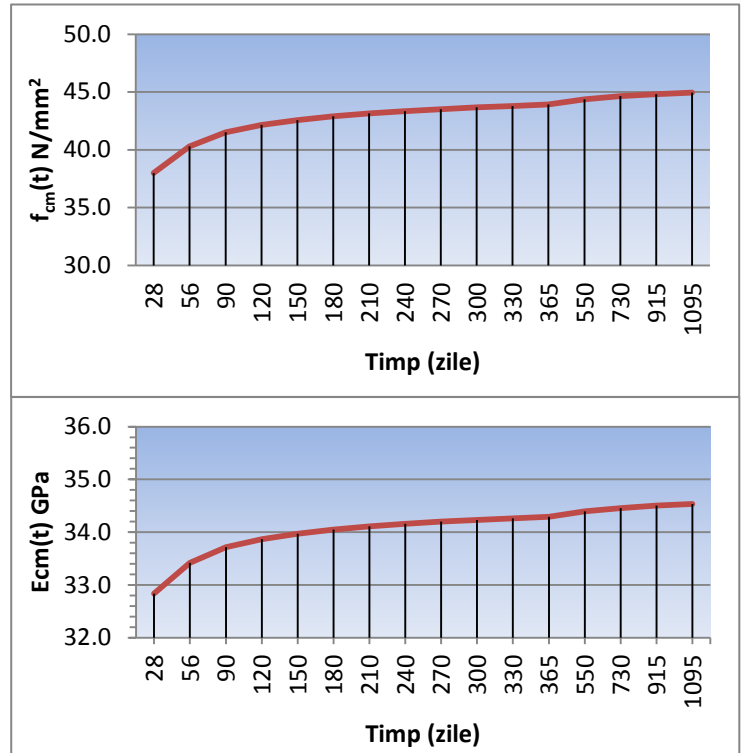


Fig. 3.2.1.8.-1 – Variația rezistenței medii și a modului de elasticitate a unui beton C30/37

Valoarea nominală a coeficientului lui Poisson poate fi considerată 0,2 pentru beton nefisurat și 0 pentru beton fisurat.

Valoarea coeficientului de expansiune termică liniară poate fi luată  $10 \times 10^{-6} K^{-1}$

### 3.2.1.9. Constrația și curgerea lentă a betonului

Constrația și curgerea lentă a betonului sunt influențate de umiditatea mediului ambiant, de dimensiunea elementului de beton și de compoziția betonului. Curgerea lentă este influențată și de maturitatea betonului la aplicarea încărcării precum și de durata și mărimea încărcării.[6]

Deformația din curgerea lentă a betonului la timpul  $t = \infty$ , pentru un efort constant în timp  $\sigma_c$  aplicat la vârsta betonului  $t_0$ , se calculează cu relația [6]:

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{E_c}$$

Curgerea lentă are o variație liniară până când efortul la compresiune în beton depășește  $0,45 f_{cm}(t_0)$ . Când se depășește această valoare, coeficientul de curgere lentă se calculează cu relația:

$$\varphi_k(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot \exp[1.5(k_\sigma - 0.45)]$$

unde:

$\varphi(\infty, t_0)$  - coeficient al curgerii lente (se determină grafic așa cum este descris în EN 1992-1-1)

$\varphi_k(\infty, t_0)$  - coeficient final al curgerii lente

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_c}{f_{cm}(t_0)}$$

$t_0$  – vârsta betonului în momentul încărcării, în zile.

Contracția betonului este influențată de mai mulți factori: compoziția betonului, calitatea cimentului, raportul apă/ciment, natura și granulozitatea agregatelor, modul de compactare, umiditatea mediului ambiant. [6]

Valoarea contracției totale a betonului se obține din însumarea celor două componente ale acesteia: contracția inițială a betonului și contracția în timp. [6] Contracția inițială se dezvoltă în primele zile după turnare. Contracția în timp se dezvoltă lent fiind dată de migrarea apei din betonul întărit.

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

unde:

$\varepsilon_{cs}$  - deformația finală de contracție;

$\varepsilon_{cd}$  - deformația datorată contracției în timp;

$\varepsilon_{ca}$  - deformația datorată contracției elastice inițiale.

### 3.2.1.10. Rezistențele de calcul la compresiune și întindere

Valoarea de calcul pentru rezistența la compresiune este definită ca [6]:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

unde:

$\alpha_{cc}$  - coeficient ce ține seama de efectele de lungă durată asupra rezistenței la compresiune și de efectele nefavorabile rezultate din modul de aplicare a încărcării. Valoarea recomandată de EN 1992-1-1 este 1;

$\gamma_c$  - factorul parțial de siguranță pentru beton cu următoarele valori în cazul betonului:

1,5 – pentru solicitări permanente și tranzitorii

1,2 – pentru solicitări accidentale

Valoarea de calcul pentru rezistența la întindere este definită ca:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05} / \gamma_c$$

unde:

$\alpha_{ct}$  - coeficient ce ține seama de efectele de lungă durată asupra rezistenței la întindere și de efectele nefavorabile rezultate din modul de aplicare a încărcării. Valoarea recomandată de EN 1992-1-1 este 1;



### 3.2.2. Oțelul structural

Oțelul structural este un material de înaltă calitate, care este disponibil la nivel mondial în clase standardizate, sub forma unor produse de diferite forme și mărimi.

#### 3.2.2.1. Sistemul de notare. Oțeluri pentru construcții

La alegerea oțelurilor pentru construcții se va ține cont de seria de standarde EN 10025-1..6 care reglementează condițiile tehnice de livrare pentru diferitele tipuri de oțeluri după cum urmează:

- ✚ SR EN 10025-1:2005 – Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții. Partea 1: Condiții tehnice generale de livrare
- ✚ SR EN 10025-2:2004 – Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 2: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții nealiat
- ✚ SR EN 10025-3:2004 - Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 3: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină în stare normalizată/laminare normalizată
- ✚ SR EN 10025-4:2004 - Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 4: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină obținute prin laminare termomecanică
- ✚ SR EN 10025-5:2005 - Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții. Partea 5: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziunea atmosferică
- ✚ SR EN 10025-6+A1:2009 - Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții. Partea 6: Condiții tehnice de livrare pentru produse plate din oțel cu limită de curgere ridicată în stare caldă și revenită

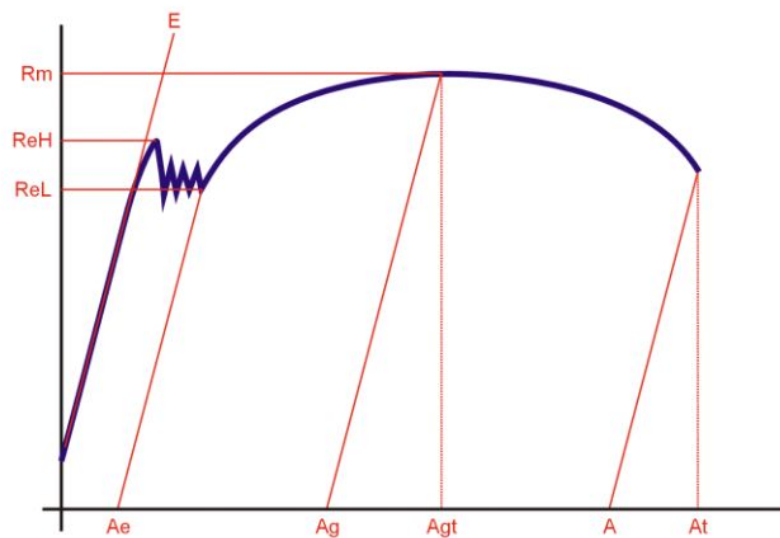
Sistemul de notare a oțelului structural (S) folosit în construcții include următoarele simboluri [6]:

- Numărul standardului prin care este definit
- Simbolul S – oțel structural
- Valoarea minimă specificată a limitei de curgere ( $f_z=R_{ch}$ ) în Mpa pentru grosimea de 16mm
- Simbol ce precizează energia de rupere la încovoiere prin șoc (J, K, L)
  - J – 27 Joule
  - K – 40 Joule
  - L – 50 Joule
- Simbol alfanumeric care indică temperatura la care se garantează energia de rupere
  - R – pentru temperatura de 20°C
  - 0 – pentru temperatura de ±0°C
  - 2 – pentru temperatura de -20°C
- Simbol care precizează starea de livrare:
  - AR – livrat în condiții de laminare

- M – laminare termomecanică
  - N – normalizat prin tratament termic sau normalizat prin laminare
  - Q – îmbunătățit
- Sisteme de simboluri speciale:
- C- pentru oțeluri prelucrate la rece
  - L – pentru oțeluri cu tenacitate ridicată la temperaturi joase
  - W – pentru oțeluri rezistente la mediul coroziv
  - Z – pentru oțeluri cu proprietăți îmbunătățite la destrămarea lamelară (normale pe suprafață)

### 3.2.2.2. Caracteristici și calități de oțeluri pentru construcții

Curba caracteristică a oțelului:



Unde:

- E - modulul de elasticitate
- $A_e$  - alungirea la curgere
- $A_g$  - alungirea plastică la forța maximă
- $A_{gt}$  - alungirea totală la forța maximă
- A - alungirea la rupere
- $A_t$  - alungirea totală la rupere
- $R_{el}$  - limita de curgere inferioară
- $R_{eH}$  - limita de curgere superioară
- $R_m$  - rezistența la tracțiune

Dacă nu există palier de curgere, se determină limita de curgere convențională la 0.2% ( $R_{p0.2}$ )

Valorile nominale ale limitei de curgere  $f_y$  și ale rezistenței ultime de rupere  $f_u$  pentru elemente structurale din oțel laminat la cald, conform SR EN 1993-1-1:2006 - *Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri*, fie folosind valorile  $f_y=R_{ch}$  și  $f_u=R_m$  din standardele de produs, fie valorile din tabelul 3.2.2.2.-1.

Tabel 3.2.2.2.-1

Standard și marcă de oțel	Grosimile nominale ale elementului t(mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	F <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
SR EN 10025-2 – Oțeluri de construcții nealiat				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	450	550	410	550
SR EN 10025-3 – Oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină în stare normalizată				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
SR EN 10025-4 – Oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină obținute prin laminare termomecanică				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
SR EN 10025-5 – Oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziunea atmosferică				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
SR EN 10025-6 – Produse plate din oțel cu limită de curgere ridicată în stare caldă și revenită				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
SR EN 10210-1 – Produse cave finisate la cald pentru construcții, din oțeluri de construcție nealiat și cu granulație fină.				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

Caracteristici comune [6]:

- Modulul de elasticitate (modulul lui Young):  $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$ ;
- Modulul de elasticitate transversală:
  - $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \cong 81\,000\text{ N/mm}^2$
- Coeficientul lui Poisson:  $\nu = 0,3$
- Densitatea oțelului:  $\rho = 7850\text{ kg/m}^3$ ;
- Coeficientul de dilatare termică:  $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  (pentru  $T \leq 100^\circ\text{C}$ )

Ductilitatea oțelului este capacitatea lui de a se deforma plastic fără să se rupă. Ductilitatea la nivel de material se exprimă prin următoarele cerințe minime:

- Raportul între valoarea ultimă minimă a rezistenței de rupere  $f_u$  și valoarea minimă a limitei de curgere  $f_y$  este  $f_u / f_y \geq 1,10$ ;
- Alungirea la rupere pe o epruvetă calibrată de lungime  $5.65\sqrt{A_0}$  este  $\geq 15\%$ ;
- Alungirea specifică ultimă la rupere  $\varepsilon_u$  este de cel puțin 15 ori mai mare decât alungirea specifică corespunzătoare limitei de curgere  $\varepsilon_y$ .

### 3.2.2.3. Determinarea valorilor maxime admise pentru grosimea elementelor

În standardul *SR EN 1993-1-10:2006 Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-10: Alegerea claselor de calitate a oțelului*, valorile maxime admise ale grosimii pieselor sunt date în funcție de trei nivele de solicitare[6]:

- I.  $\sigma_{Ed} = 0.75 \cdot f_y(t)$  (N/mm<sup>2</sup>);
- II.  $\sigma_{Ed} = 0.50 \cdot f_y(t)$  (N/mm<sup>2</sup>);
- III.  $\sigma_{Ed} = 0.25 \cdot f_y(t)$  (N/mm<sup>2</sup>);

Unde  $\sigma_{Ed}$  este tensiunea de proiectare dată:

$$\sigma_{Ed} = \sigma_p + \sigma_s$$

În care:  $\sigma_p$  – tensiunea de întindere primară, datorată acțiunilor permanente  $G_k$  și acțiunilor variabile frecvente  $\psi_1 Q_1$

$\sigma_s$  – valoarea tensiunilor de întindere secundare autoechilibrate (tensiuni reziduale etc.). În cazul podurilor se consideră egală cu 100 N/mm<sup>2</sup> pentru toate mărcile de oțel.

$$f_y(t) = f_{y,nom} - 0.25 \frac{t}{t_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

În care:  $t$  – grosimea elementului, în mm;

$t_0$  – 1 mm.

Verificarea grosimii elementelor se face cu ajutorul tabelului de valori maxime admise ale grosimii elementelor date de *SR EN 1993-1-10:2006*, interpolând între coloanele  $\sigma_{Ed} = 0.75 \cdot f_y(t)$ ,  $\sigma_{Ed} = 0.50 \cdot f_y(t)$  și  $\sigma_{Ed} = 0.25 \cdot f_y(t)$  în funcție de temperatura minimă de referință  $T_{ed}$  (°C).

### 3.2.2.4. Ductilitatea la destrămarea lamelară a tablelor

Destrămarea lamelară este un defect al materialului produs de sudură și care în mod general poate fi evidențiată prin controlul ultrasonic. Riscurile majore de destrămare lamelară apar la sudurile de colț în cruce sau în T și la sudurile cu penetrare completă.

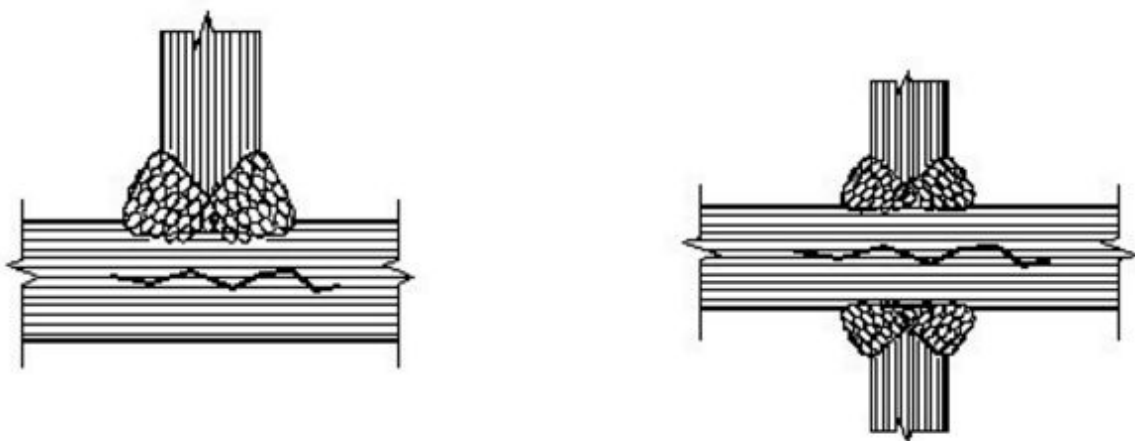


Fig. 3.2.2.4.-1. Destrămare lamelară

Relația de verificare privind fenomenul de destrămare lamelară, este de forma [6]:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd}$$

Unde:

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e$$

În care:  $Z_{Ed}$  – valoarea  $Z$  necesară care rezultă din cea mai mare deformație provocată de contracția metalului bridat sub cordonul de sudură.

$Z_{Rd}$  – valoarea  $Z$  pentru tipul de oțel dată de standardul *SR EN 10164:2005 - Oțeluri de construcții cu caracteristici de deformare îmbunătățite pe direcție perpendiculară pe suprafața produsului.*

$Z_a$  – valoarea  $Z$  în funcție de grosimea efectivă a cordoanelor de colț

$Z_b$  – valoarea  $Z$  în funcție de forma și poziția cordonului de sudură

$Z_c$  – valoarea  $Z$  în funcție de bridajul local al contracției datorită grosimii tablei (valoarea poate fi redusă cu 50% în cazul încărcărilor statice sau numai de compresiune, în direcție perpendiculară pe grosimea materialului solicitat)

$Z_d$  – valoarea  $Z$  în funcție de bridajul local al contracției datorită efectului conlucrării între elementele structurii îmbinate prin sudură

$Z_e$  – valoarea  $Z$  în funcție de preîncălzire

În funcție de valoarea lui  $Z_{Ed}$ , se alege un oțel conform *SR EN 10164:2005*, care să prezinte această caracteristică așa cum se arată în tabelul 3.2.2.4.-1. Dacă valoarea lui  $Z_{Ed}$  este mai mică de 10, nu este necesar a se folosi un oțel cu caracteristici îmbunătățite pentru evitarea destrămării lamelare.

Tabel 3.2.2.4.-1

Valoare $Z_{Ed}$	Clasa de calitate Cf. <i>SR EN 10164</i>
$Z_{Ed} \leq 10$	-
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	<b>Z15</b>
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	<b>Z25</b>
$30 < Z_{Ed}$	<b>Z35</b>

### 3.2.3. Armături

#### 3.2.3.1. Cerințe specifice pentru armături utilizate în elemente și structuri din beton armat

Principalele cerințe obligatorii pentru armăturile utilizate în elemente și structuri din beton armat, așa cum sunt definite în standardul *SR EN 10080:2005 – „Oțeluri pentru armarea betonului. Oțeluri sudabile pentru beton armat. Generalități.”* și *Reglementarea Tehnică ST 009-2011 – „Specificație tehnică privind produse din oțel utilizate ca armături: cerințe și criterii de performanță”*, se referă la:

- Caracteristici mecanice
  - o Caracteristici de tracțiune
    - Limita de curgere  $R_e$  ( $R_{p0,2}$ );
    - Rezistența la tracțiune  $R_m$ ;
    - Raportul  $R_m/R_e$  ( $R_{p0,2}$ );
    - Alungirea totală la forța maximă  $A_{gt}$ ;
    - Alungire la rupere  $A_n$ .

- Forța de forfecare a îmbinărilor sudate sau mecanice ( $F_s$ ;  $F_w$ ;  $F_d$ );
  - Comportarea la oboseală;
  - Aptitudinea de îndoire.
- Aderență și geometria suprafeței;
  - Sudabilitatea și compoziția chimică (pe oțel lichid);
  - Dimensiuni, masă și toleranțe

### 3.2.3.2. Categoriile de rezistență

Limita de curgere și rezistența de rupere se definesc ca valori caracteristice a raportului dintre forța de curgere respectiv forța maximă și aria nominală a secțiunii transversale.

În funcție de valoarea caracteristică a limitei de curgere se definesc categoriile de rezistență pentru produsele din oțel pentru armături, așa cum se poate vedea în tabelul 3.2.3.2.-1.

Tabel 3.2.3.2.-1

Categoria de rezistență	Limita de curgere $R_e (R_{p0,2})$ N/mm <sup>2</sup>
1	240
2	340
3	400
4	450
5	500
6	600

### 3.2.3.3. Categoriile de ductilitate

Categoriile de ductilitate se definesc în funcție de alungirea la forță maximă  $A_{gt}$ , alungirea la rupere  $A_n$ , precum și de raportul  $R_m/R_e (R_{p0,2})$  și sunt în conformitate cu tabelul nr. 3.2.3.3.-1. Având în vedere că nu există în prezent o specificație tehnică armonizată, se admit următoarele valori:

Tabel 3.2.3.3.-1

Categoria de ductilitate	Alungirea la forță maximă $A_{gt}$ (%)	Alungire la rupere $A_n$ (%)	Raportul $R_m/R_e (R_{p0,2})$
As <sup>*)</sup>	Min. 1,5 <sup>*)</sup>	Min. 6,0	Min. 1,03 <sup>*)</sup>
A	Min. 2,5 <sup>***)</sup>	Min. 6	Min. 1,05 <sup>***)</sup>
B	Min. 5,0	Min. 10	Min. 1,08
C	Min. 7,5	Min. 16	Min. 1,15 Max. 1,35
Cs <sup>***)</sup>	Min. 10	Min. 20	Min. 1,25
	Min. 7,5	Min. 16	Min. 1,25
*) până la adoptarea unei specificații tehnice armonizate, se admite și categoria As, precum și următoarele valori: - pentru sârme cu diametrul nominal de 4,0...5,5 mm inclusiv, $A_{gt} \geq 1,0\%$ și $R_m/R_e (R_{p0,2}) \geq 1,02$			
**) până la adoptarea unei specificații tehnice armonizate, se admit următoarele valori: - Pentru sârme cu diametrul nominal de 4,0...5,5 mm inclusiv, $A_{gt} \geq 2,0\%$ și $R_m/R_e (R_{p0,2}) \geq 1,03$			
***) până la adoptarea unei specificații tehnice armonizate, se admite și categoria Cs:			

### 3.2.3.4. Caracteristici

Produsele de oțel, autohton sau import, utilizate ca armături în țară sunt prezentate în tabelul 3.2.3.4.-1. Valorile alungirii, a limitei de curgere și a rezistenței la rupere sunt cele minim admise.

Tabel 3.2.3.4.-1

Marca de oțel	Denumire comercială	Standard	Tip	Diametrul nominal (mm)	Limita de curgere $R_e$ ( $R_{p0,2}$ ) [N/mm <sup>2</sup> ] MIN.	Rezistența la tracțiune $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] MIN.	Alungirea $A_n$ [%] MIN.
S 255	OB37	STAS 438/1-89	neted	6...12	255	360	25
S 235				14...40	235		
S 355	PC 52	STAS 438/1-89	striat	6...14	355	510	20
S 345				16...28	345		
S 335				32...40	335		
				> 40	Proprietățile mecanice se stabilesc prin înțelegere între părți		
S 420	PC 60	STAS 438/1-89	striat	6...12	420	590	16
S 405				14...28	405		
S 395				32...40	395		
S 420	BST 420 S	DIN 488-84	striat	6...28	420	500	10
S 500	BST 500 S		striat	8...28	500	550	10
S 400	B 400 S	UNE 36-068-94	striat	12...28	400	440	14
S 500	B 500 S		striat	12...28	500	550	12

Caracteristici comune:

- Modulul de elasticitate (modulul lui Young):  $E = 200\,000\text{ N/mm}^2$ ;
- Densitatea oțelului:  $\rho = 7850\text{ kg/m}^3$ ;

În orice proiect se va preciza tipul și clasa armăturilor care trebuie să fie utilizate, precum și diametrul și forma armăturilor, notate distinct și unitar pe tot cuprinsul proiectului. Este de preferat utilizarea unui singur tip de oțel la o lucrare, pentru a se elimina posibilitatea greșelilor datorită încurcării mărcilor.

În cazul proiectării podurilor în structură mixtă oțel-beton este recomandată folosirea tipurilor de armătură cu ductilitate sporită.

### 3.2.4. Conectori

Ipoteza de calcul (proiectare) a structurilor mixte oțel-beton se bazează pe prezumția că există o legătură între oțel și beton. În realitate, aderența betonului la structura metalică este pe de o parte mică pe de altă parte puțin durabilă pentru a realiza această legătură. Astfel această legătură trebuie realizată prin conectori.

La structurile mixte oțel-beton conectorii se dispun în lungul interfeței de contact dintre oțel și beton cu rolul de a prelua eforturile de lunecare ce apar între dala de beton și structura metalică. Pe lângă preluarea lunecării, conectorii trebuie să asigure dala de beton împotriva desprinderii de grinda metalică.

Conectorii se clasifică în:

- Conectori ductili – conectori care prezintă o capacitate de deformare suficient de mare pentru a justifica ipotezele de comportare plastică a conexiunii
- Conectori rigizi – opuși celor ductili, conectori care nu permit repartitia eforturilor de alunecare, adică la intrarea în lucru nu permit dezvoltarea unei alunecări pe suprafața de contact dintre structura metalică și dala de beton, conectori alcătuiți în general din oțel lat sau cornier
- Conectori semirigizi – mai rar folosiți, alcătuiți în general din corniere.

Dornul este unul dintre cele mai simple elemente de legătură, care permite fixarea prin sudură automată. În ultimele decenii s-a dovedit a fi cel mai utilizat element de legătură datorită bunei comportări în exploatare și a simplității montării, ceea ce conferă o mare productivitate.

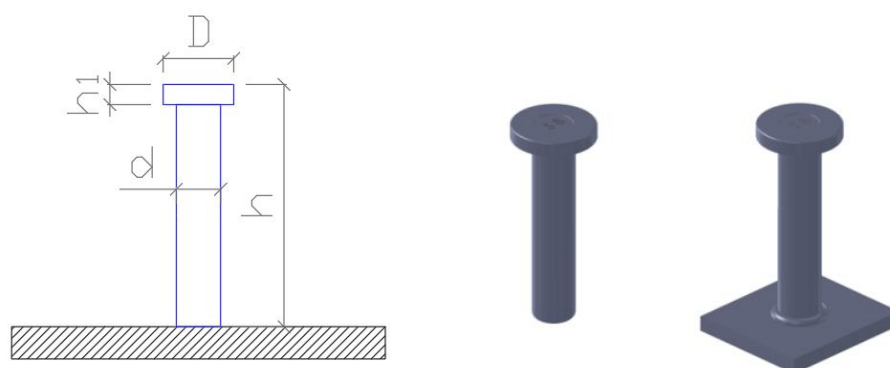


Fig. 3.2.4.-1. Conectori Nelson – Pod km 462+841 Reabilitare CF Simeria-Vintu de Jos

$$h \geq 4 \times d$$

$$D \geq 1.7 \times d$$

$$h_1 \geq 10 \text{ mm}$$

Unde: D – diametrul capului de dorn  
 d – diametrul dornului  
 h – înălțimea dornului



$h_1$  – înălțimea capului

Cedarea se poate produce prin beton sau prin conectori. În conectori se poate produce cedarea la forfecare cu smulgere iar în beton ruperea se poate produce la strivire, despicare sau smulgere-străpungere.

### 3.2.4.1. Rezistența de calcul la forfecare a unui dorn

Rezistența de calcul la forfecare a unui conector tip dorn (gujan) cu cap conform *Eurocode 4 SR EN 1994-2:2006 Proiectarea structurilor compozite de oțel și beton. Partea 2: Reguli generale și reguli pentru poduri.* este dată de următoarea relație:

$$P_{RD} = \min(P_{RD}^1, P_{RD}^2)$$

$$P_{RD}^1 = 0.8 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{f_u}{\gamma_v}$$

$$P_{RD}^2 = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\gamma_v} \cdot E_{cm}}$$

Unde:

$d$  – diametrul dornului;

$f_u$  – rezistența ultimă la rupere a materialului din care este fabricat dornul;

$f_{ck}$  – rezistența caracteristică la compresiune a betonului;

$E_{cm}$  – modulul de elasticitate secant al betonului;

$\gamma_v$  - coeficient de siguranță parțial egal cu 1,25 pentru stări limite ultime altele decât oboseala

$$\alpha = 1 \quad \text{dacă } \frac{h}{d} > 4$$

$$\alpha = 0.2 \left( \frac{h}{d} + 1 \right) \quad \text{dacă } 3 \leq \frac{h}{d} \leq 4$$

$h$  – înălțimea totală a dornului

### 3.3. Ipoteze simplificite ale dimensionării structurilor mixte oțel-beton

Metodele de dimensionare și verificare a eforturilor unitare care se dezvoltă pentru secțiunile compuse oțel-beton au la bază următoarele ipoteze generale [1]:

- valabilitatea ipotezei lui Hooke, proporționalitatea între efortul unitar și deformațiile specifice,
- valabilitatea ipotezei lui Bernoulli-Navier, secțiunile plane înainte de deformare, rămân plane și după deformare
- se contează pe o conlucrare perfectă între dala de beton și grinda de oțel, neadmițând lunecări (elastice sau remanente) pe suprafața de contact în cazul elementelor compuse cu conlucrare perfectă.
- Se neglijează deformațiile rezultate din forțe tăietoare.

Luând în considerare aceste ipoteze eforturile unitare din secțiunile transversale ale structurilor mixte oțel-beton pot fi calculate prin două metode:

1. Transformarea secțiunii neomogene de beton și oțel într-una omogenă de oțel printr-un coeficient de echivalență  $n$  (metoda secțiunii echivalente)
2. Metoda distribuirii încărcărilor

În cele ce urmează se vor calcula eforturile unitare prin folosirea metodei secțiunii echivalente. În calcule, secțiunea neomogenă de beton și oțel se va înlocui cu una omogenă de oțel (secțiune ideală) iar caracteristicile geometrice ale secțiunii de beton se vor lua în considerare reduse cu coeficientul de echivalență „ $n_0$ ”, care reprezintă raportul între modulul de elasticitate al oțelului și al betonului, funcție de natura încărcărilor ce acționează asupra structurii compuse considerate:

$$n_0 = \frac{E_a}{E_{cm}} \quad (3.3.-1.)$$

Unde:  $E_a$  – modulul de elasticitate al oțelului din grinda metalică;  
 $E_{cm}$  – modulul de elasticitate secant al betonului din dală, conform EN 1992-1-1:2004, Tab. 3.1. sau Tab. 11.3.1;

Eventualele secțiuni întinse ale betonului nu se iau în considerare [1].

Coeficientul de echivalență „ $n$ ” se va lua în considerare diferențiat în funcție de curgerea lentă a betonului și de încărcările de lungă și scurtă durată precum și frecvența acestora după cum urmează:

$$n_L = n_0 \cdot [1 + \psi_2 \cdot \varphi(t)] \quad (3.3.-2.)$$

Unde:  $n_0$  – coeficient de echivalență  
 $\varphi(t)$  - funcție care descrie curgerea lentă a betonului  $\varphi(t, t_0)$  conform EN1992-1-1:2004, Sect. 3.1.4. sau 11.3.3.  
 $\psi$  - coeficient pentru curgerea lentă în funcție de tipul de încărcare  
 = 1,10 pentru încărcări permanente;  
 = 0,55 pentru efecte primare și secundare ale contracției;  
 = 1,50 pentru precomprimare prin deformații impuse;

Pentru încărcări de lungă durată se adoptă coeficientul de echivalență ( $3n_0$ ), iar pentru încărcări repetate ( $2n_0$ ).

### 3.4. Calculul în domeniul elastic

#### 3.4.1. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande

Pentru dimensionarea dalei folosim modelele de calcul din fig. 3.4.1.-1 respectiv fig. 3.4.1.-2, iar după stabilirea dimensiunilor dalei se verifică prin calcul eforturile unitare maxime. Modelul de calcul are ca bază de pornire două ipoteze:

- Ipoteza I – axa neutră se află în oțel, caz în care repartizarea eforturilor unitare pe secțiunea transversală se poate observa în fig. 3.4.1.-1
- Ipoteza II – axa neutră se află în beton, caz în care repartizarea eforturilor unitare pe secțiunea transversală se poate observa în fig. 3.4.1.-2

#### Ipoteza I – A.N. în oțel:

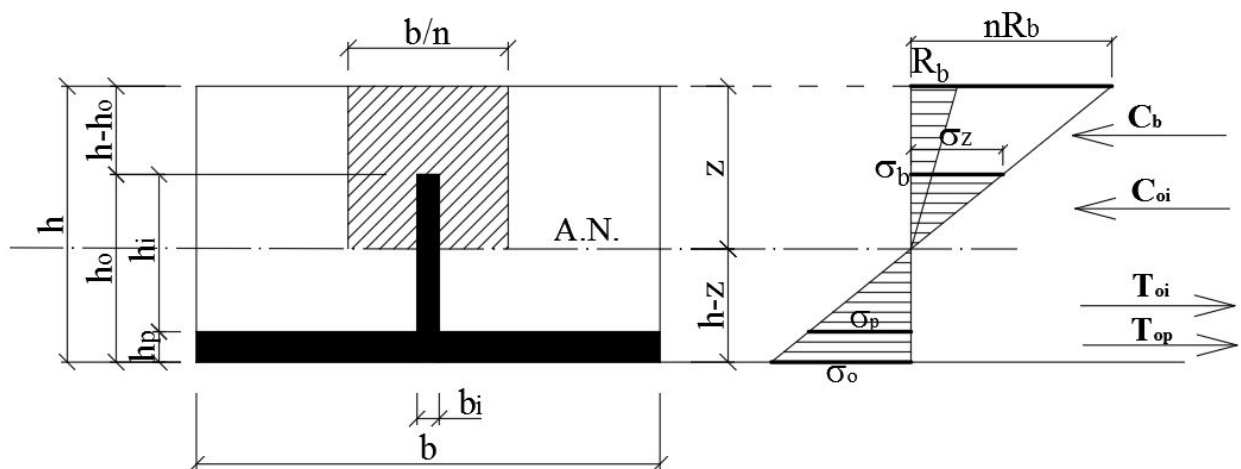


Fig. 3.4.1.-1. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structură metalică din platbenzi  
Axa neutră în oțel

Din condiția de echilibru rezultă următoarea ecuație:

$$C_b + C_{oi} = T_{op} + T_{oi} \quad (3.4.-1.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $R_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot R_b \quad (3.4.-2.)$$

$$\sigma_p = \frac{h-z-h_p}{z} \cdot n \cdot R_b \quad (3.4.-3.)$$

$$\sigma_z = \frac{z-h+h_o}{z} \cdot n \cdot R_b \quad (3.4.-4.)$$

$$\sigma_b = \frac{z-h+h_o}{z} \cdot R_b \quad (3.4.-5.)$$

Componentele ecuației de echilibru (3.4.-1.) sunt:

$$C_b = \frac{b \cdot z \cdot R_b}{2} - \frac{(z-h+h_o)^2}{2 \cdot z} \cdot R_b \cdot b_i \quad (3.4.-6.)$$

$$C_{oi} = \frac{(z - h + h_o)^2}{2 \cdot z} \cdot n \cdot R_b \cdot b_i \quad (3.4.-7.)$$

$$T_{oi} = \frac{(h - z - h_p)^2}{2 \cdot z} \cdot n \cdot R_b \cdot b_i \quad (3.4.-8.)$$

$$T_{op} = \frac{(2h - 2z - h_p)}{2z} \cdot n \cdot R_b \cdot h_p \cdot b \quad (3.4.-9.)$$

Dezvoltând ecuația de echilibru (3.4.-1.), obținem o ecuație de gradul II în  $z$  (3.4.-10.), a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre (3.4.-13.):

$$\begin{aligned} & (b - b_i) \cdot z^2 + 2 \cdot \left[ n \cdot b_i \cdot (h - h_p) + n \cdot b \cdot h_p - b_i \cdot (n - 1) \cdot (h - h_o) \right] \cdot z + \\ & + \left[ b_i \cdot (n - 1) \cdot (h - h_o)^2 - n \cdot b_i \cdot (h - h_p)^2 - n \cdot b \cdot h_p \cdot (2 \cdot h - h_p) \right] = 0 \end{aligned} \quad (3.4.-10.)$$

$$\begin{aligned} & \Downarrow \\ & \alpha \cdot z^2 + \beta \cdot z + \gamma = 0 \end{aligned} \quad (3.4.-11.)$$

Unde:

$$\alpha = b - b_i$$

$$\beta = 2 \cdot \left[ n \cdot b_i \cdot (h - h_p) + n \cdot b \cdot h_p - b_i \cdot (n - 1) \cdot (h - h_o) \right]$$

$$\gamma = b_i \cdot (n - 1) \cdot (h - h_o)^2 - n \cdot b_i \cdot (h - h_p)^2 - n \cdot b \cdot h_p \cdot (2 \cdot h - h_p)$$

Rezolvarea ecuației de gradul II (3.4.-11.):

$$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \beta \quad (3.4.-12.)$$

$$z = \frac{\sqrt{\Delta} - \beta}{2 \cdot \alpha} \quad (3.4.-13.)$$

Cunoscând poziția axei neutre „ $z$ ”, se pot determina elementele de calcul ale secțiunii:

- Aria de calcul:

$$A_c = b \cdot h_p + b_i \cdot (h - z - h_p) + \frac{b \cdot z}{n} \quad (3.4.-14.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_b = \frac{b \cdot z}{n} \cdot \frac{z}{2} = \frac{b \cdot z^2}{2n} \quad (3.4.-15.)$$

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + \frac{b_i}{2} (h - z - h_p)^2 \quad (3.4.-16.)$$

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{b \cdot z^3}{3n} + \frac{b_i \cdot (h - h_p - z)^3}{3} + \frac{b \cdot h_p^3}{12} + b \cdot h_p \cdot \left[ h - z - \frac{h_p}{2} \right]^2 \quad (3.4.-16.)$$

**Ipoteza II – A.N. în beton:**

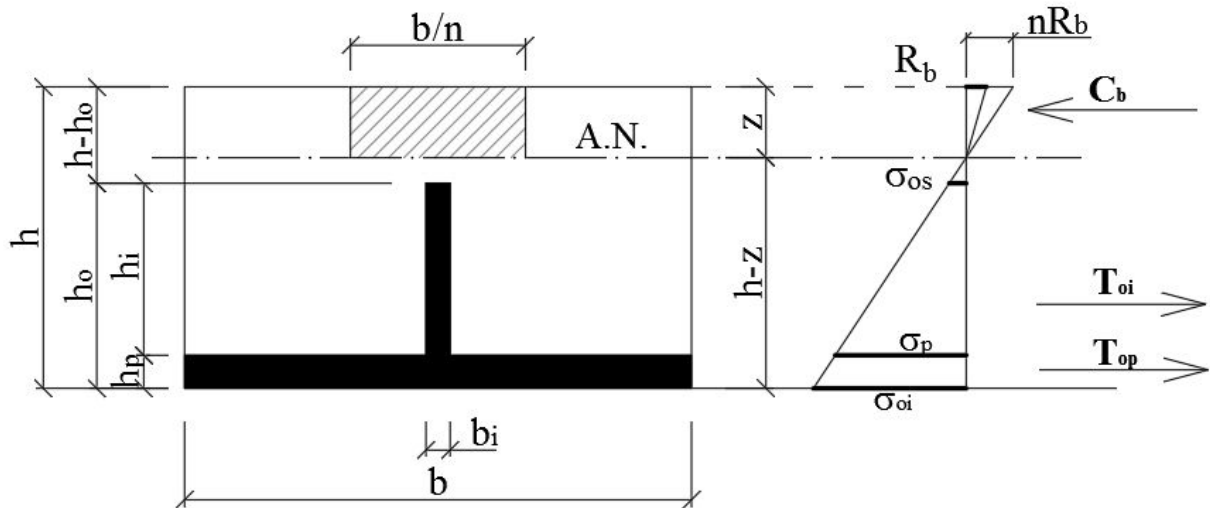


Fig. 3.4.1.-2. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structură metalică din platbenzi  
Axa neutră în beton

Din condiția de echilibru rezultă următoarea ecuație:

$$C_b = T_{op} + T_{oi} \quad (3.4.-17.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $R_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot R_b \quad (3.4.-18.)$$

$$\sigma_p = \frac{h-z-h_p}{z} \cdot n \cdot R_b \quad (3.4.-19.)$$

$$\sigma_{os} = \frac{h-h_o-z}{z} \cdot n \cdot R_b \quad (3.4.-20.)$$

Componentele ecuației de echilibru (3.4.-17.) sunt:

$$C_b = \frac{b \cdot z \cdot R_b}{2} \quad (3.4.-21.)$$

$$T_{oi} = \frac{(2h-2z-h_p-h_o)}{2 \cdot z} \cdot n \cdot R_b \cdot b_i \cdot h_i \quad (3.4.-22.)$$

$$T_{op} = \frac{(2h-2z-h_p)}{2z} \cdot n \cdot R_b \cdot h_p \cdot b \quad (3.4.-23.)$$

Înlocuind componentele în ecuația de echilibru (3.4.-17.), obținem o ecuație de gradul II în  $z$  (3.4.-24.), a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre (3.4.-27.):

$$b \cdot z^2 + 2 \cdot n \cdot (h_i \cdot b_i + b \cdot h_p) \cdot z - n \cdot [h_i \cdot b_i \cdot (2 \cdot h - h_{pi} - h_o) + h_{pi} \cdot b \cdot (2 \cdot h - h_{pi})] = 0 \quad (3.4.-24.)$$

$$\Downarrow$$

$$\alpha \cdot z^2 + \beta \cdot z + \gamma = 0 \quad (3.4.-25.)$$

Unde:

$$\alpha = b$$

$$\beta = 2 \cdot n \cdot (h_i \cdot b_i + b \cdot h_p)$$

$$\gamma = -n \cdot [h_i \cdot b_i \cdot (2 \cdot h - h_{pi} - h_o) + h_{pi} \cdot b \cdot (2 \cdot h - h_{pi})]$$

Rezolvarea ecuației de gradul II (3.4.-25.):

$$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \beta \quad (3.4.-26.)$$

$$z = \frac{\sqrt{\Delta} - \beta}{2 \cdot \alpha} \quad (3.4.-27.)$$

Astfel cunoscând poziția axei neutre „z” în cazul în care axa neutră (A.N.) se află în beton, se pot determina elementele de calcul ale secțiunii:

- Aria de calcul:

$$A_c = b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p) + \frac{b \cdot z}{n} \quad (3.4.-28.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_b = \frac{b \cdot z}{n} \cdot \frac{z}{2} = \frac{b \cdot z^2}{2n} \quad (3.4.-29.)$$

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + b_i \cdot (h_o - h_p) \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} - \frac{h_o}{2} \right) \quad (3.4.-30.)$$

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{b \cdot z^3}{3n} + \frac{b_i \cdot (h_o - h_p)^3}{12} + b_i \cdot (h_o - h_p) \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} - \frac{h_o}{2} \right)^2 + \frac{b \cdot h_p^3}{12} + b \cdot h_p \cdot \left[ h - z - \frac{h_p}{2} \right]^2 \quad (3.4.-31.)$$

Calculul valorii lui z și implicit a elementelor de calcul ale secțiunii (arie de calcul, moment static al secțiunii comprimate, moment de inerție) se efectuează diferențiat în funcție de coeficientul de echivalență luat în considerare funcție de tipul încărcării: de lungă durată (permanentă), de scurtă durată, repetată (oboseală) astfel:

✚	Încărcare de scurtă durată:	$n_q = n_0$	$\rightarrow z_q$	$\rightarrow A_{cq}, S_{bq}, S_{oq}, I_{cq}$
✚	Încărcare repetată:	$n_r = 2n_0$	$\rightarrow z_r$	$\rightarrow A_{cr}, S_{br}, S_{or}, I_{cr}$
✚	Încărcare de lungă durată:	$n_p = 3n_0$	$\rightarrow z_p$	$\rightarrow A_{cp}, S_{bp}, S_{op}, I_{cp}$

Eforturile unitare normale în pozițiile cele mai defavorabile ale secțiunii de beton și oțel se pot calcula cu următoarele relații:

$$\sigma_{o \max} = \frac{M \cdot (h - z)}{I_c} \begin{cases} \sigma_o(n_q) \\ \sigma_o(n_r) \end{cases} \quad (3.4.-17.)$$

$$\sigma_{b \max} = \frac{M \cdot z}{n \cdot I_c} \begin{cases} \sigma_b(n_q) \\ \sigma_b(n_r) \\ \sigma_b(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-18.)$$

Efortul unitar tangențial produs de forța tăietoare se poate calcula cu relația lui Juravski:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{T_y \cdot S_z(y)}{b_y \cdot I_z} \quad (3.4.-19.)$$

$$\tau_{o \max} = \frac{T \cdot S_o}{b_i \cdot I_c} \begin{cases} \tau_o(n_q) \\ \tau_o(n_r) \\ \tau_o(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-20.)$$

$$\tau_{b \max} = \frac{n \cdot T \cdot S_b}{b \cdot I_c} \begin{cases} \tau_b(n_q) \\ \tau_b(n_r) \\ \tau_b(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-21.)$$

Unde: M - momentul încovoietor din secțiunea respectivă  
T – forța tăietoare din secțiunea respectivă

Eforturile unitare normale maxime respectiv eforturile unitare tangențiale maxime în oțel și beton se aleg astfel:

$$\sigma_{b \max} = \max \left\{ \left[ \sigma_b(n_p) + \sigma_b(n_r) \right]; \left[ \sigma_b(n_p) + \sigma_b(n_q) \right] \right\} \leq \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.4.-22)$$

$$\sigma_{o \max} = \max \left\{ \left[ \sigma_o(n_p) + \sigma_o(n_r) \right]; \left[ \sigma_o(n_p) + \sigma_o(n_q) \right] \right\} \leq \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.4.-23)$$

$$\tau_{b \max} = \max \left\{ \left[ \tau_b(n_p) + \tau_b(n_r) \right]; \left[ \tau_b(n_p) + \tau_b(n_q) \right] \right\} \quad (3.4.-24)$$

$$\tau_{o\max} = \max\left\{\left[\tau_o(n_p) + \tau_o(n_r)\right]; \left[\tau_o(n_p) + \tau_o(n_q)\right]\right\} \quad (3.4.-25)$$



### 3.4.2. Dale cutate cu secțiunea mixtă oțel-beton

Modelul de calcul pentru o structură mixtă oțel-beton tip dală cutată se poate vedea în fig. 3.4.2.-1 și fig. 3.4.2.-2 [17]. Și pentru acest tip de structură mixtă oțel-beton trebuie luate în considerare cele două ipoteze și anume:

- Ipoteza I – axa neutră se află în oțel, caz în care repartizarea eforturilor unitare pe secțiunea transversală se poate observa în fig. 3.4.1.-1
- Ipoteza II – axa neutră se află în beton, caz în care repartizarea eforturilor unitare pe secțiunea transversală se poate observa în fig. 3.4.1.-2

**Ipoteza I – A.N. în oțel:**

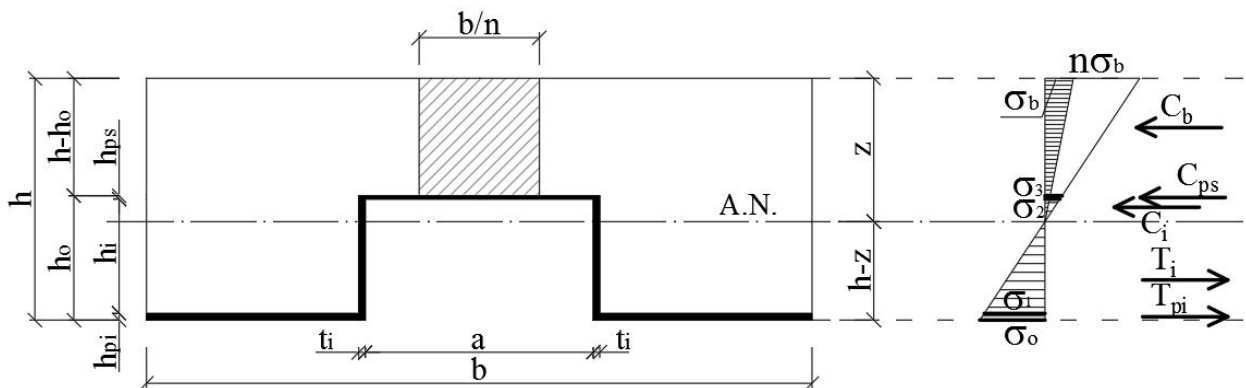


Fig. 3.4.2.-1. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton tip dală cutată  
Axa neutră în oțel

Din condiția de echilibru se poate deduce următoarea ecuație:

$$C_b + C_{ps} + C_i = T_i + T_{pi} \quad (3.4.-26.)$$

Pentru ipoteza de calcul I, eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-27.)$$

$$\sigma_1 = \frac{h-z-h_{pi}}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-28.)$$

$$\sigma_2 = \frac{z-h+h_o-h_{ps}}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-29.)$$

$$\sigma_3 = \frac{z-h+h_o}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-30.)$$

Componentele ecuației de echilibru (3.4.-26) sunt:

$$C_b = b \cdot (h-h_o) \cdot \frac{2 \cdot z - h + h_o}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-31.)$$

$$C_{ps} = h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i) \cdot \frac{(2 \cdot z - 2 \cdot h + 2 \cdot h_o - h_{ps})}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-32.)$$

$$C_i = 2 \cdot t_i \cdot \frac{(z-h+h_o-h_{ps})}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-33.)$$

$$T_i = 2 \cdot t_i \cdot \frac{(h-z-h_{pi})}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-34.)$$

$$T_{pi} = h_{pi} \cdot (b-a) \cdot \frac{(2h-2z-h_{pi})}{2z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-35.)$$

Dezvoltând ecuația de echilibru (3.4.-26.), obținem o ecuație de gradul I în  $z$ , a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre:

$$z = \frac{\left[ n \cdot h_{pi} \cdot (2h-h_{pi}) \cdot (b-a) + 2n \cdot t_i \cdot (h-h_{pi})^2 - 2n \cdot t_i \cdot (h-h_o+h_{ps})^2 + \right.}{\left. + n \cdot h_{ps} \cdot (a+2t_i) \cdot (2h-2h_o+h_{ps}) + b \cdot (h-h_o)^2 \right]}{\left[ 2n \cdot h_{pi} \cdot (b-a) + 4n \cdot t_i \cdot (h-h_{pi}) - 4n \cdot t_i \cdot (h-h_o+h_{ps}) + \right.} \quad (3.4.-36.)$$

$$\left. + 2n \cdot h_{ps} \cdot (a+2 \cdot t_i) + 2b \cdot (h-h_o) \right]}$$

Cunoscând poziția axei neutre „ $z$ ”, se pot determina elementele de calcul ale secțiunii:

- Aria de calcul:

$$A_c = h_{pi} \cdot (b-a) + 2 \cdot t_i \cdot (h_o - h_{pi}) + a \cdot h_{ps} + \frac{b}{n} \cdot (h-h_o) \quad (3.4.-37.)$$

- Momente statice în funcție de poziția axei neutre:

- A.N. se află în placa de oțel superioară:  $h-h_o < z < h-h_o+h_{ps}$

$$S_b = \frac{b}{2n} \cdot (h-h_o) \cdot (2z-h+h_o) + \frac{1}{2} \cdot (a+2 \cdot t_i) \cdot (z-h+h_o)^2 \quad (3.4.-38.)$$

$$S_o = h_{pi} \cdot (b-a) \cdot \left( h-z + \frac{h_{pi}}{2} \right) + t_i \cdot (h_o - h_{ps} - h_{pi}) \cdot (2h-2z-h_{pi}-h_o+h_{ps}) + \quad (3.4.-39.)$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot (a+2 \cdot t_i) \cdot (z-h+h_o)^2$$

- A.N. se află în inimă:  $h-h_o+h_{ps} \leq z$

$$S_b = \frac{b}{2n} \cdot (h-h_o) \cdot (2z-h+h_o) + h_{ps} \cdot (a+2 \cdot t_i) \cdot \left( z-h+h_o - \frac{h_{ps}}{2} \right) + \quad (3.4.-40.)$$

$$+ t_i \cdot \left( z-h+h_o-h_{ps} \right)^2$$

$$S_o = h_{pi} \cdot (b-a) \cdot \left( h-z - \frac{h_{pi}}{2} \right) + t_i \cdot (h-h_{pi}-z)^2 \quad (3.4.-41.)$$

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{b \cdot (h-h_o)^3}{12n} + \frac{b \cdot (h-h_o)}{n} \left( z - \frac{h-h_o}{2} \right)^2 + \frac{(a+2t_i) \cdot h_{ps}^3}{12} + h_{ps} \cdot (a+2t_i) \cdot \left( z-h+h_o - \frac{h_{ps}}{2} \right)^2 + \quad (3.4.-42.)$$

$$+ \frac{t_i \cdot h_i^3}{6} + 2t_i \cdot h_i \left( h-z-h_{pi} - \frac{h_i}{2} \right)^2 + \frac{(b-a) \cdot h_{pi}^3}{12} + h_{pi} \cdot (b-a) \cdot \left( h-z - \frac{h_{pi}}{2} \right)^2$$

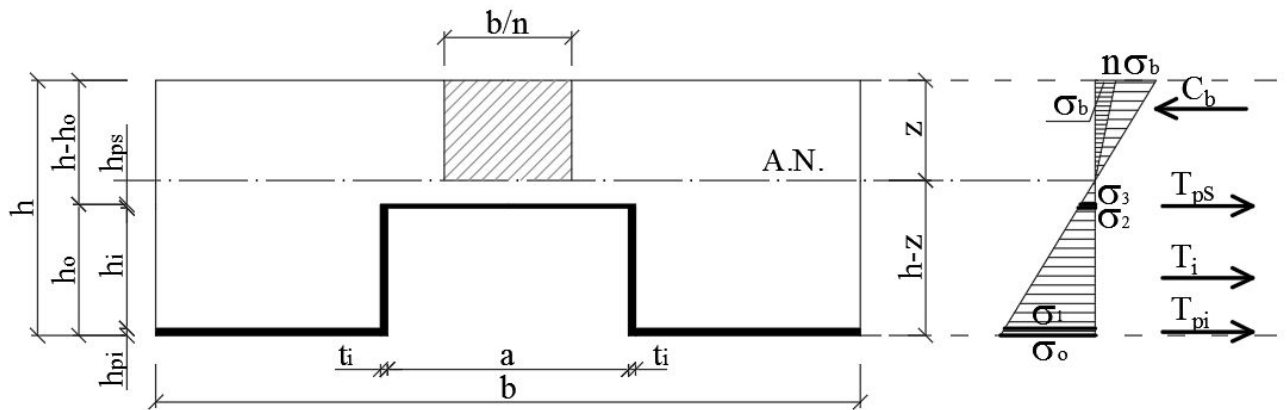
**Ipoteza II – A.N. în beton:**

Fig. 3.4.2.-2. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton tip dală cutată  
Axa neutră în beton

Din condiția de echilibru rezultă următoarea ecuație:

$$C_b = T_{pi} + T_i + T_{ps} \quad (3.4.-43.)$$

Pentru această ipoteză de calcul, eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-44.)$$

$$\sigma_1 = \frac{h-z-h_{pi}}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-45.)$$

$$\sigma_2 = \frac{h-h_{ps}-h_i-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-46.)$$

$$\sigma_3 = \frac{h-h_o-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-47.)$$

Componentele ecuației de echilibru (3.4.-43.) sunt:

$$C_b = \frac{b \cdot z}{2} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-48.)$$

$$T_{pi} = h_{pi} \cdot (b-a) \cdot \frac{(2h-2z-h_{pi})}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-49.)$$

$$T_i = h_i \cdot t_i \cdot \frac{(2h-2z-2h_{pi}-h_i)}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-50.)$$

$$T_{ps} = h_{ps} \cdot (a+2t_i) \cdot \frac{(2h-h_{pi}-h_i-h_o-2z)}{2z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-51.)$$

Dezvoltând ecuația de echilibru (3.4.-43.), obținem o ecuație de gradul II în  $z$  (3.4.-52.), a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre (3.4.-55.):

$$b \cdot z^2 + [2n \cdot h_{pi} \cdot (b-a) + 4n \cdot h_i \cdot t_i + n \cdot h_{ps} \cdot (a+2t_i)] \cdot z - n \cdot h_{pi} \cdot (b-a)(2h-h_{pi}) - 2n \cdot h_i \cdot t_i \cdot (2h-2h_{pi}-h_i) - n \cdot h_{ps} \cdot (a+2t_i)(2h-h_{pi}-h_i-h_o) = 0 \quad (3.4.-52.)$$

⇓

$$\alpha \cdot z^2 + \beta \cdot z + \gamma = 0 \quad (3.4.-53.)$$

Unde:

$$\alpha = b$$

$$\beta = 2n \cdot h_{pi} \cdot (b - a) + 4n \cdot h_i \cdot t_i + n \cdot h_{ps} \cdot (a + 2t_i)$$

$$\gamma = -n \cdot h_{pi} \cdot (b - a)(2h - h_{pi}) - 2n \cdot h_i \cdot t_i \cdot (2h - 2h_{pi} - h_i) - n \cdot h_{ps} \cdot (a + 2t_i)(2h - h_{pi} - h_i - h_o)$$

Rezolvarea ecuației de gradul II (3.4.-47.):

$$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \beta \quad (3.4.-54.)$$

$$z = \frac{\sqrt{\Delta} - \beta}{2 \cdot \alpha} \quad (3.4.-55.)$$

Cunoscând poziția axei neutre „z”, se pot determina elementele de calcul ale secțiunii:

- Aria de calcul:

$$A_c = h_{pi} \cdot (b - a) + 2 \cdot t_i \cdot (h_i + h_{ps}) + a \cdot h_{ps} + \frac{b \cdot z}{n} \quad (3.4.-56.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_b = \frac{b \cdot z}{n} \cdot \frac{z}{2} = \frac{b \cdot z^2}{2n} \quad (3.4.-57.)$$

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = h_{pi} \cdot (b - a) \cdot \left( h - z - \frac{h_{pi}}{2} \right) + 2 \cdot t_i \cdot h_i \cdot \left( h - z - h_{pi} - \frac{h_i}{2} \right) + h_{ps} \cdot (a + 2t_i) \cdot \left( h - z - h_{pi} - h_i - \frac{h_{ps}}{2} \right) \quad (3.4.-58.)$$

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{b \cdot z^3}{3n} + \frac{(a + 2t_i) \cdot h_{ps}^3}{12} + h_{ps} \cdot (a + 2t_i) \cdot \left( h - h_o - z + \frac{h_{ps}}{2} \right)^2 + \frac{t_i \cdot h_i^3}{6} + 2t_i \cdot h_i \left( h - z - h_{pi} - \frac{h_i}{2} \right)^2 + \frac{(b - a) \cdot h_{pi}^3}{12} + h_{pi} \cdot (b - a) \cdot \left( h - z - \frac{h_{pi}}{2} \right)^2 \quad (3.4.-59.)$$

Eforturile unitare se calculează, luând în considerare încărcările de lungă durată, de scurtă durată, precum și oboseala.

$$\sigma_o \max = \frac{M \cdot (h - z)}{I_c} \begin{cases} \sigma_o(n_q) \\ \sigma_o(n_r) \\ \sigma_o(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-60.)$$

$$\sigma_{b \max} = \frac{M \cdot z}{n \cdot I_c} \begin{cases} \sigma_b(n_q) \\ \sigma_b(n_r) \\ \sigma_b(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-61.)$$

Efortul unitar tangențial produs de forța tăietoare se poate calcula cu relația lui Juravski:

$$\tau_{o \max} = \frac{T \cdot S_o}{2 \cdot t_i \cdot I_c} \begin{cases} \tau_o(n_q) \\ \tau_o(n_r) \\ \tau_o(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-62.)$$

$$\tau_{b \max} = \frac{n \cdot T \cdot S_b}{b \cdot I_c} \begin{cases} \tau_b(n_q) \\ \tau_b(n_r) \\ \tau_b(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-63.)$$

Eforturile unitare normale maxime și eforturile unitare tangențiale maxime în oțel și beton se aleg în mod similar:

$$\sigma_{b \max} = \max \left\{ \left[ \sigma_b(n_p) + \sigma_b(n_r) \right]; \left[ \sigma_b(n_p) + \sigma_b(n_q) \right] \right\} \leq \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.4.-64)$$

$$\sigma_{o \max} = \max \left\{ \left[ \sigma_o(n_p) + \sigma_o(n_r) \right]; \left[ \sigma_o(n_p) + \sigma_o(n_q) \right] \right\} \leq \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.4.-65)$$

$$\tau_{b \max} = \max \left\{ \left[ \tau_b(n_p) + \tau_b(n_r) \right]; \left[ \tau_b(n_p) + \tau_b(n_q) \right] \right\} \quad (3.4.-66)$$

$$\tau_{o \max} = \max \left\{ \left[ \tau_o(n_p) + \tau_o(n_r) \right]; \left[ \tau_o(n_p) + \tau_o(n_q) \right] \right\} \quad (3.4.-67)$$

### 3.4.3. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel

Podurile în structură mixtă oțel-beton la care structura de oțel este alcătuită din țevi de oțel pot fi realizate în două variante constructive:

1. Țevile de oțel care alcătuiesc structura de oțel sunt așezate tangențial și rigidizate prin anretoaze transversale
2. Țevile de oțel sunt dispuse la o anumită distanță între ele, prevăzute cu rigidizări transversale

Conlucrarea dintre oțel și beton este facilitată și de platbanda de oțel care fixează țevile de oțel. În figura de mai jos sunt prezentate aceste platbenzi în cele două cazuri: când țevile se ating și când țevile se află la o anumită distanță între ele. Aceste elemente de rigidizare se montează pe suprafața superioară a tevilor prin sudura continuă.

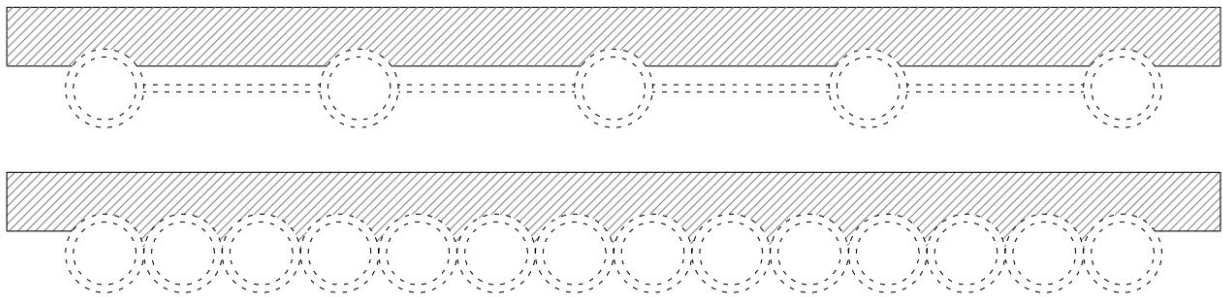


Fig. 3.4.3.-1. Platbenzi de fixare din oțel

Ambele variante constructive pot fi realizate fie monolit caz în care țevile de oțel sunt înglobate pe o anumită înălțime în dala de beton, fie prefabricat caz în care dala de beton este susținută de țevile de oțel. Această lucrare va trata varianta constructivă monolită.

În studiul modelului de calcul ales se deosebesc trei ipoteze de calcul ale acestor tipuri de structuri și anume:

1. Axa neutră trece prin beton
2. Axa neutră trece prin beton și țeava de oțel
3. Axa neutră trece prin țeava de oțel

### 3.4.3.1. Structură mixtă cu țevi de oțel așezate tangențial

#### Axa neutră trece prin secțiunea de beton

Modelul de calcul pentru această variantă constructivă, considerând că axa neutră trece prin secțiune de beton, se poate observa în fig. 3.4.3.1.-1. Având în vedere că țevile sunt așezate tangențial, lățimea de calcul a fâșiei de dală este identică cu diametrul exterior al țevii de oțel. Secțiunea de beton întinsă nu se ia în calcul.

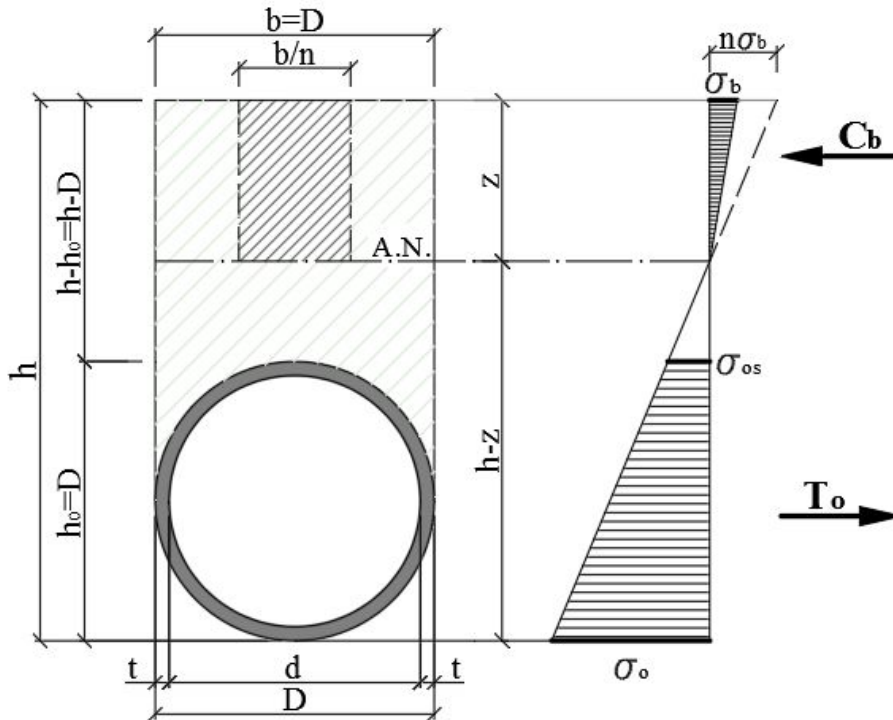


Fig. 3.4.3.1.-1. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton cu structura metalică din țevi de oțel tangențiale  
Axa neutră în secțiunea de beton

Relația care stabilește poziția axei neutre:

$$C_b = T_o \quad (3.4.-68.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-69.)$$

$$\sigma_{os} = \frac{h-z-D}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-70.)$$

Forța de compresiune din beton respectiv de întindere din oțel se calculează cu următoarele relații:

$$T_o = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{2 \cdot h - 2 \cdot z - D}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_a \quad (3.4.-71.)$$

$$C_b = b \cdot z \cdot \frac{\sigma_b}{2} = D \cdot z \cdot \frac{\sigma_b}{2} \quad (3.4.-72.)$$

În urma înlocuirii obținem o ecuație de gradul II (3.4.-73.) a cărei rezolvare conduce la aflarea poziției axei neutre:

$$D \cdot z^2 = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot (2 \cdot h - 2 \cdot z - D)$$

$$D \cdot z^2 + n \cdot \frac{\pi}{2} \cdot (D^2 - d^2) \cdot z - n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot (2 \cdot h - D) = 0 \quad (3.4.-73.)$$

↓

$$\alpha \cdot z^2 + \beta \cdot z + \gamma = 0 \quad (3.4.-74.)$$

Unde:

$$\alpha = D$$

$$\beta = n \cdot \frac{\pi}{2} \cdot (D^2 - d^2)$$

$$\gamma = -n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot (2 \cdot h - D)$$

Rezolvarea ecuației de gradul II (3.4.-74.):

$$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma \quad (3.4.-75.)$$

$$z = \frac{\sqrt{\Delta} - \beta}{2 \cdot \alpha} \quad (3.4.-76.)$$

Cunoscând poziția axei neutre (z), se pot determina caracteristicile geometrice ale secțiunii echivalente (arie de calcul, momente statice al secțiunii și moment de inerție)

- Aria de calcul:

$$A_c = \frac{D}{n} \cdot z + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.4.-77.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_b = \frac{b}{n} \cdot z \cdot \frac{z}{2} = \frac{D \cdot z^2}{2n} \quad (3.4.-78.)$$

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} \right) \quad (3.4.-79.)$$

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{D \cdot z^3}{3n} + \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) + \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} \right)^2 \quad (3.4.-80.)$$



## Axa neutră trece prin secțiunea de beton și cea de oțel

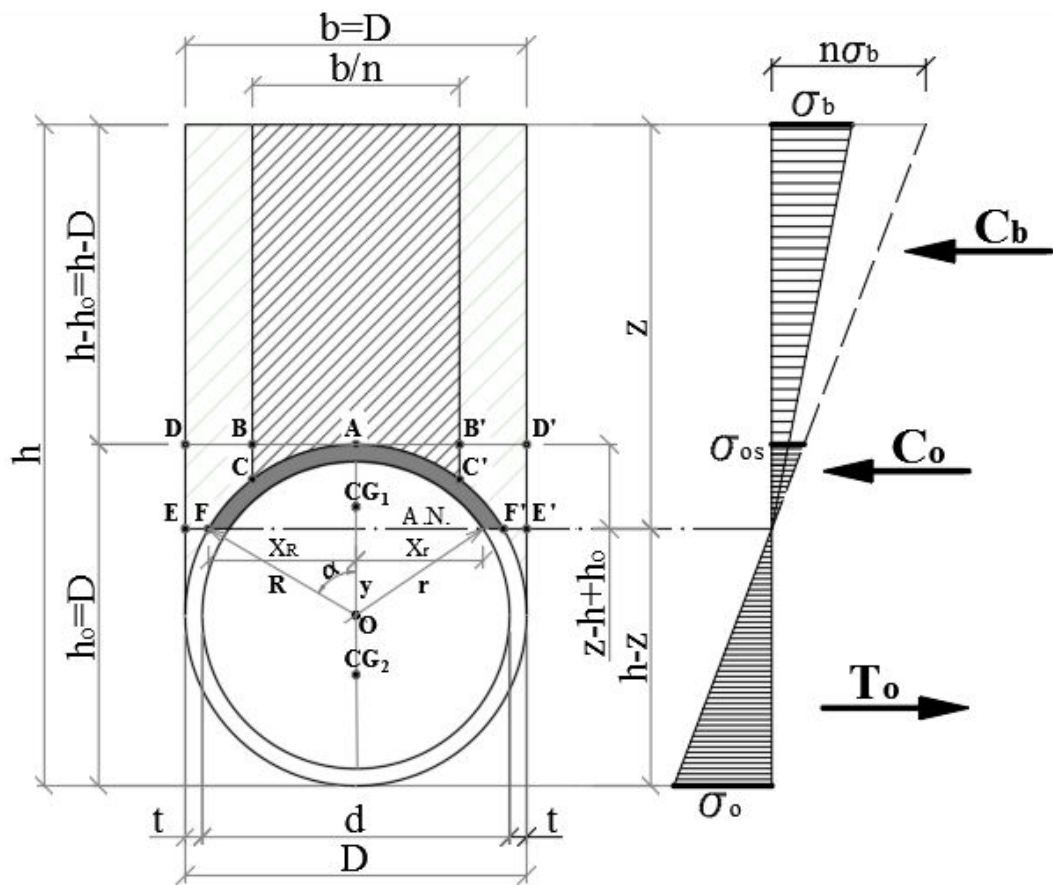


Fig. 3.4.3.1.-2. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton cu structura metalică din țevi de oțel tangențiale  
Axa neutră în secțiunea de beton și țevă de oțel

Relația care stabilește poziția axei neutre:

$$C_b + C_o = T_o \quad (3.4.-81.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-82.)$$

$$\sigma_{os} = \frac{z-h+D}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-83.)$$

Ca prim pas stabilim abscisele  $X_r$  și  $X_R$  în sistemul cartezian  $XOY$ :

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R^2 \\ y = h-z-R \end{cases} \Rightarrow X_R = \pm \sqrt{D \cdot (h-z) - (h-z)^2} \quad (3.4.-84.)$$

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = r^2 \\ y = h-z-R \end{cases} \Rightarrow X_r = \pm \sqrt{\frac{d^2}{4} - (h-z)^2 + D \cdot (h-z) - \frac{D^2}{4}} \quad (3.4.-85.)$$

Suprafața de oțel comprimată ( $S$ ) se poate afla prin diferența de arie a celor două sectoare de cerc ( $A_1(D)$  și  $A_2(d)$ ) delimitate de poziția axei neutre astfel:

$$A_1 = R^2 \cdot \alpha = \frac{D^2}{4} \cdot \arcsin \frac{X_R}{R} = \frac{D^2}{4} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot X_R}{D} \quad (3.4.-86.)$$

$$A_2 = r^2 \cdot \alpha = \frac{d^2}{4} \cdot \arcsin \frac{X_r}{r} = \frac{d^2}{4} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot X_r}{d} \quad (3.4.-87.)$$

$$S = A_1 - A_2 = \frac{D^2}{4} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot X_R}{D} - \frac{d^2}{4} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot X_r}{d} \quad (3.4.-88.)$$

Forțele de compresiune din beton și oțel respectiv de întindere din oțel se calculează cu următoarele relații:

$$T_o = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - S \right] \frac{h-z}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-89.)$$

$$C_o = S \cdot \frac{z-h+D}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-90.)$$

$$C_b = (b \cdot z - A_1) \cdot \frac{\sigma_b}{2} = \left( D \cdot z - \frac{D^2}{4} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot X_R}{D} \right) \cdot \frac{\sigma_b}{2} \quad (3.4.-91.)$$

În calculul forței de compresiune în beton, pentru o mai mare precizie a determinării poziției axei neutre, s-a luat în considerare și suprafața delimitată de punctele ADEF respectiv AD'E'F'.

Înlocuind relațiile (3.4.-89.-90.-91.) în ecuația de echilibru (3.4.-81.) obținem:

$$n \cdot \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - S \right] \frac{h-z}{z} = n \cdot S \cdot \frac{z-h+D}{z} + D \cdot z - \frac{D^2}{4} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot X_R}{D} \quad (3.4.-92.)$$

Suprafața S se determină din relația (3.4.-88.) iar  $X_R$  cu relația (3.4.-84.).

Întrucât atât suprafața S precum și  $X_R$  se exprimă în funcție de necunoscuta  $z$ , ecuația de stabilire a axei neutre se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

Dacă în calculul forței de compresiune în beton nu se ia în considerare suprafața delimitată de punctele ADEF respectiv AD'E'F', în relația de calcul pentru  $C_b$  (3.4.-91) intervine suplimentar efortul unitar normal în beton în secțiunea DD' (3.4.-93):

$$\sigma_{bi} = \frac{z-h+D}{z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-93.)$$

$$C_b = b \cdot (h - h_o) \cdot \frac{\sigma_b + \sigma_{bi}}{2} = D \cdot (h - D) \cdot \frac{2 \cdot z - h + D}{2 \cdot z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-94.)$$

Astfel, dezvoltând relația de echilibru (3.4.-81.), ecuația de stabilire a axei neutre devine:

$$n \cdot \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - S \right] \cdot (h-z) - n \cdot S \cdot (z-h+D) - D \cdot (h-D) \cdot (2 \cdot z - h + D) = 0 \quad (3.4.-95.)$$

Similar cu relația (3.4.-92.), suprafața S se exprimă în funcție de necunoscuta  $z$ , astfel ecuația de stabilire a axei neutre (3.4.-95.) se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

Este de menționat faptul că în urma calculului experimental cu cele două metode de calcul a mai multor secțiuni cu înălțimi diferite, diferențele observate în ceea ce privește poziția axei neutre este de 4-5 cm.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii echivalente (arie de calcul, momente statice al secțiunii și moment de inerție) sunt:

- Aria de calcul (pentru simplificare aria delimitată de punctele ABC respectiv AB'C' nu se iau în considerare):

$$A_c = \frac{b}{n} \cdot (h - h_0) + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{D}{n} \cdot (h - D) + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.4.-96.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{b}{n} \cdot (h - h_0) \cdot \left( z - \frac{h - h_0}{2} \right) + (A_1 - A_2) \cdot \left[ z - (h - h_0) - (R - y_{OCG_1}) \right] = \\ &= \frac{D}{n} \cdot (h - D) \cdot \left( z - \frac{h - D}{2} \right) + (A_1 - A_2) \cdot \left[ z - h + \frac{D}{2} + y_{OCG_1} \right] \end{aligned} \quad (3.4.-97.)$$

Unde  $y_{OCG_1}$  reprezintă distanța de la centrul țevii la centrul de greutate a secțiunii de oțel comprimate exprimată prin relația (3.4.-98.) iar  $A_1$  și  $A_2$  reprezintă ariile celor două sectoare de cerc ( $A_1(D)$  și  $A_2(d)$ ) exprimate prin relațiile (3.4.-86.-87.):

$$y_{OCG_1} = \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\frac{A_1 \cdot X_R}{\arcsin \frac{X_R}{R}} - \frac{A_2 \cdot X_r}{\arcsin \frac{X_r}{r}}}{A_1 - A_2} \right) \quad (3.4.-98.)$$

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - (A_1 - A_2) \right] \cdot \left[ h - z - \frac{D}{2} + y_{OCG_2} \right] \quad (3.4.-99.)$$

Unde  $y_{OCG_2}$  reprezintă distanța de la centrul de greutate al secțiunii de oțel întinse până la centrul țevii exprimată prin relația:

$$y_{OCG_2} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} \right) - (A_1 - A_2) \cdot \left( z - h + \frac{D}{2} + y_{OCG_1} \right)}{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - A_1 + A_2} \quad (3.4.-100.)$$

- Momentul de inerție de calcul:

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{D \cdot (h - D)^3}{12 \cdot n} + \frac{D \cdot (h - D)}{4 \cdot n} \cdot (2 \cdot z - h + D)^2 + \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) + \\ &+ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} \right)^2 \end{aligned} \quad (3.4.-101.)$$

### Axa neutră trece prin secțiunea țevii de oțel

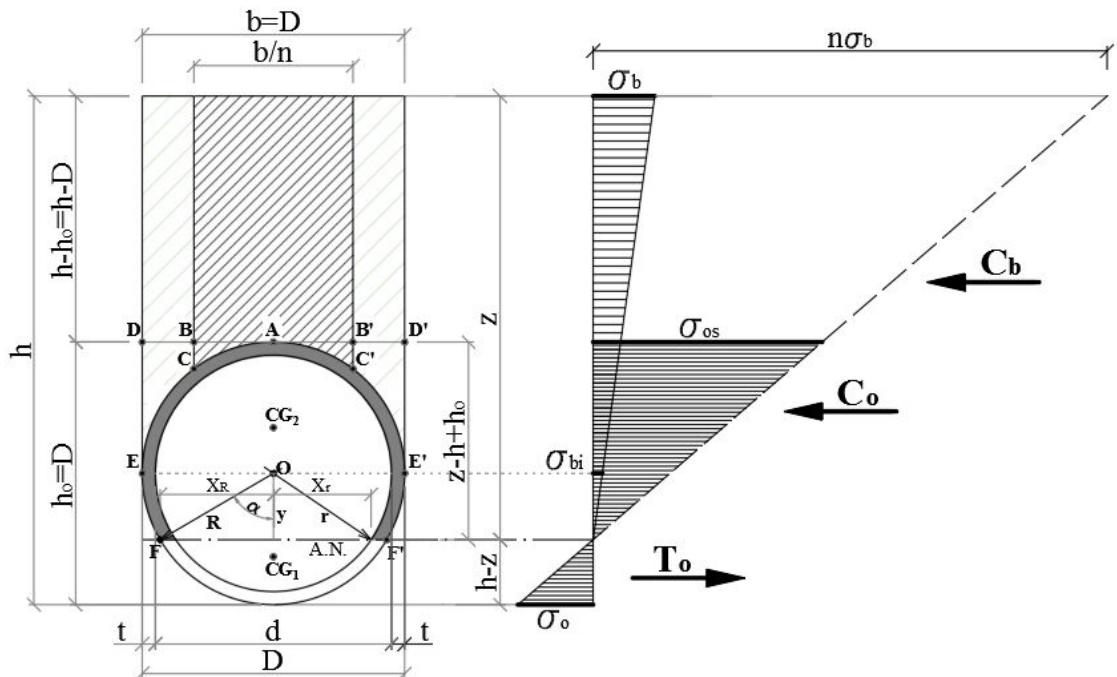


Fig. 3.4.3.1.-3. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton cu structura metalică din țevi de oțel tangențiale  
Axa neutră în secțiunea de oțel

Relația care stabilește poziția axei neutre este același ca și în cazul în care axa neutră intersectează secțiunea de beton și oțel:

$$C_b + C_o = T_o \quad (3.4.-102.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-103.)$$

$$\sigma_{os} = \frac{z-h+D}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-104.)$$

$$\sigma_{bi} = \frac{h-\frac{D}{2}}{z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-105.)$$

Suprafața de oțel comprimată ( $S^*$ ) se poate afla astfel:

$$S^* = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - A_1 + A_2 \quad (3.4.-106.)$$

unde  $A_1$  și  $A_2$  reprezintă ariile sectoarelor de cerc delimitate de axa neutră, calculându-se cu relațiile (3.4.-86.) și (3.4.-87.).

Abscisele  $X_r$  și  $X_R$  se calculează conform celor descrise în cap. 3.4.1.3.2.

Identic cu ipoteza 2 de calcul (axa neutră în beton și oțel), la calculul forței de compresiune în beton, pentru o mai mare precizie a determinării poziției axei neutre, s-a luat în considerare și

suprafața delimitată de punctele ADE respectiv AD'E'. Forțele de compresiune respectiv de întindere se calculează cu următoarele relații:

$$T_o = (A_1 - A_2) \frac{h-z}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-107.)$$

$$C_o = S^* \cdot \frac{z-h+D}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-108.)$$

$$C_b = \left[ b \cdot \left( h - \frac{D}{2} \right) - \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R^2 \right] \cdot \frac{\sigma_{bi} + \sigma_b}{2} = \left[ b \cdot (h-R) - \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \right] \cdot \frac{h+z-\frac{D}{2}}{2 \cdot z} \sigma_b \quad (3.4.-109.)$$

Înlocuind relațiile (3.4.-107.-108.-109.) în ecuația de echilibru (3.4.-102.) obținem:

$$n \cdot S^* \cdot (z-h+D) + \left[ D \cdot \left( h - \frac{D}{2} \right) - \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \right] \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} \right) - n \cdot (h-z) \cdot (A_1 - A_2) = 0 \quad (3.4.-110.)$$

Suprafața  $S^*$  se determină din relația (3.4.-106.).

Și în acest caz suprafața  $S^*$  se exprimă în funcție de necunoscuta  $z$ , astfel ecuația de stabilire a axei neutre se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

Dacă în calculul forței de compresiune în beton nu se ia în considerare suprafața delimitată de punctele ADE respectiv AD'E', în relația de calcul pentru forța de compresiune în beton  $C_b$  (3.4.-109) intervine un efort unitar normal în beton diferit calculat în secțiunea DD' (3.4.-111):

$$\sigma_{bi} = \frac{z-h+D}{z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-111.)$$

$$C_b = (h-h_0) \cdot \frac{\sigma_b + \sigma_{bi}}{2} = b \cdot (h-D) \cdot \frac{2 \cdot z - h + D}{2 \cdot z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-112.)$$

Astfel, dezvoltând relația de echilibru (3.4.-102.), ecuația de stabilire a axei neutre devine:

$$n \cdot S^* \cdot (z-h+D) + D \cdot (h-D) \cdot (2 \cdot z - h + D) - n \cdot (A_1 - A_2) \cdot (h-z) = 0 \quad (3.4.-113.)$$

Similar cu relația (3.4.-110.), suprafața  $S^*$  se exprimă în funcție de necunoscuta  $z$ , astfel ecuația de stabilire a axei neutre (3.4.-113.) se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii echivalente (arie de calcul, momente statice al secțiunii și moment de inerție) sunt:

- Aria de calcul (pentru simplificare aria delimitată de punctele ABC respectiv AB'C' nu se iau în considerare):

$$A_c = \frac{b}{n} \cdot (h-h_0) + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{D}{n} \cdot (h-D) + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.4.-114.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_b = \frac{D}{n} \cdot (h-D) \cdot \left( z - \frac{h-D}{2} \right) + S^* \cdot (y_{OCG_2} + \frac{D}{2} - h + z) \quad (3.4.-115.)$$

Unde  $y_{OCG_2}$  reprezintă distanța de la centrul de greutate a părții de oțel comprimate la centrul țevii.

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = (A_1 - A_2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} + y_{oCG_1} \right) \quad (3.4.-116.)$$

Unde  $y_{oCG_1}$  reprezintă distanța de la centrul de greutate a părții de oțel întinse la centrul țevii.

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{D \cdot (h - D)^3}{12 \cdot n} + \frac{D \cdot (h - D)}{4 \cdot n} \cdot (2 \cdot z - h + D)^2 + \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) + \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( \frac{D}{2} - h + z \right)^2 \quad (3.4.-117.)$$

### 3.4.3.2. Structură mixtă cu țevi de oțel așezate distanțat

#### Axa neutră trece prin secțiunea de beton

Modelul de calcul pentru această variantă constructivă, considerând că axa neutră trece prin secțiune de beton, se poate observa în fig. 3.4.3.2.-1. Deoarece țevile sunt așezate distanțat, lățimea de calcul a fâșiei de dală nu mai este identică cu diametrul exterior al țevii de oțel. Modul de determinare a poziției axei neutre este identic cu cel pentru cazul când țevile sunt așezate tangențial una față de cealaltă. Secțiunea de beton întinsă nu se ia în calcul.

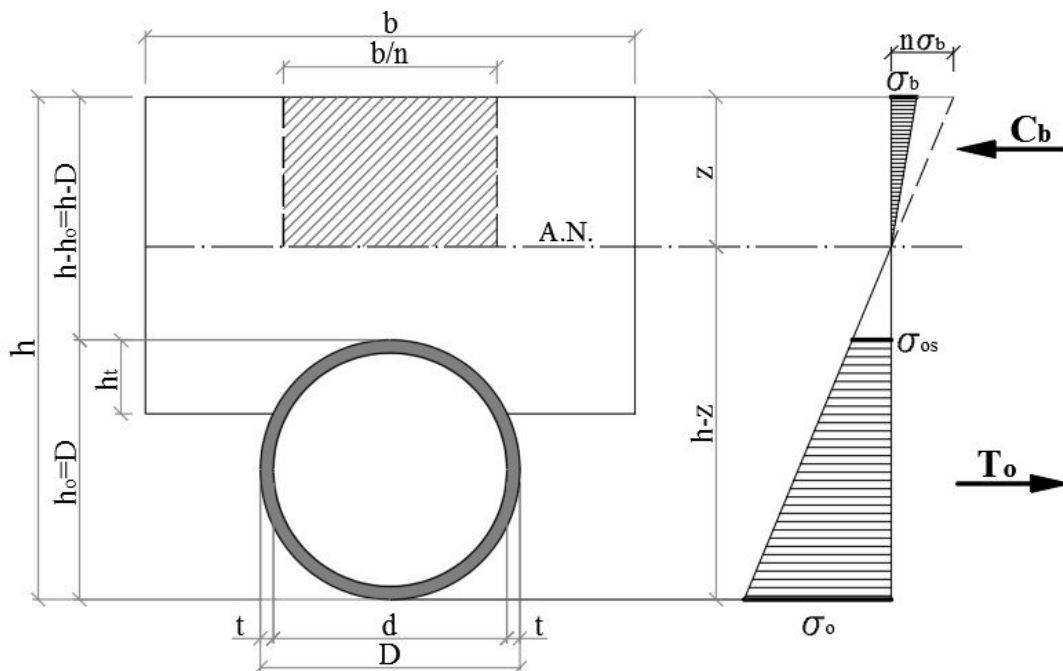


Fig. 3.4.3.2.-1. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton cu structura metalică din țevi de oțel distanțate  
Axa neutră în secțiunea de beton

Relația care stabilește poziția axei neutre:

$$C_b = T_o \quad (3.4.-118.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  identic cu cazul în care țevile sunt așezate tangențial:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-119.)$$

$$\sigma_{os} = \frac{h-z-D}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-120.)$$

La fel și forța de compresiune din beton respectiv de întindere din oțel se calculează cu aceleași relații:

$$T_o = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{2 \cdot h - 2 \cdot z - D}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-121.)$$

$$C_b = b \cdot z \cdot \frac{\sigma_b}{2} \quad (3.4.-122.)$$

În urma înlocuirii în ecuația de echilibru, obținem o ecuație de gradul II (3.4.-123.) a cărei rezolvare conduce la aflarea poziției axei neutre:

$$b \cdot z^2 + n \cdot \frac{\pi}{2} \cdot (D^2 - d^2) \cdot z - n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot (2 \cdot h - D) = 0 \quad (3.4.-123.)$$

$$\Downarrow$$

$$\alpha \cdot z^2 + \beta \cdot z + \gamma = 0 \quad (3.4.-124.)$$

Unde:

$$\alpha = b$$

$$\beta = n \cdot \frac{\pi}{2} \cdot (D^2 - d^2)$$

$$\gamma = -n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot (2 \cdot h - D)$$

Rezolvarea ecuației de gradul II (3.4.-124.):

$$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \beta \quad (3.4.-125.)$$

$$z = \frac{\sqrt{\Delta} - \beta}{2 \cdot \alpha} \quad (3.4.-126.)$$

Cunoscând poziția axei neutre (z), se pot determina caracteristicile geometrice ale secțiunii echivalente (arie de calcul, momente statice al secțiunii și moment de inerție)

- Aria de calcul:

$$A_c = \frac{b}{n} \cdot z + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.4.-127.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_b = \frac{b \cdot z^2}{2 \cdot n} \quad (3.4.-128.)$$

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} \right) \quad (3.4.-129.)$$

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{b \cdot z^3}{3n} + \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) + \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left(h - z - \frac{D}{2}\right)^2 \quad (3.4.-130.)$$

#### Axa neutră trece prin secțiunea de beton și cea de oțel

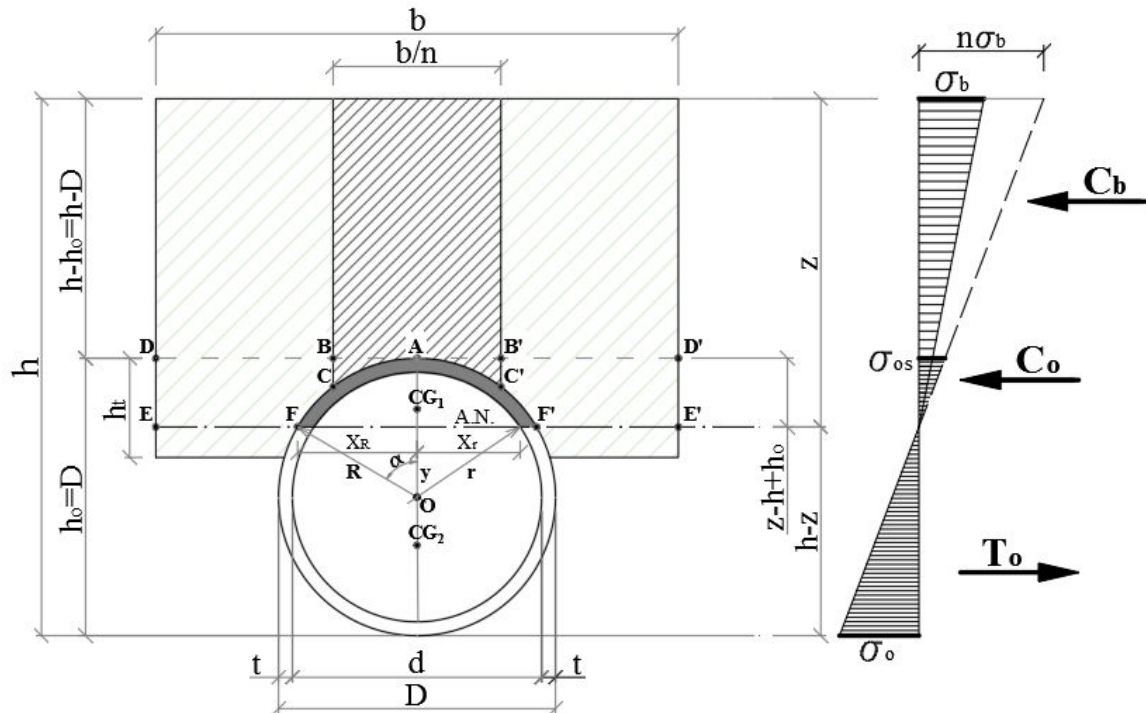


Fig. 3.4.3.2.-2. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton cu structura metalică din țevi de oțel tangențiale  
Axa neutră în secțiunea de beton și țevă de oțel

Relația care stabilește poziția axei neutre:

$$C_b + C_o = T_o \quad (3.4.-131.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  în mod similar cu modelul de calcul pentru țevi tangențiale:

$$\sigma_o = \frac{h-z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-132.)$$

$$\sigma_{os} = \frac{z-h+D}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-133.)$$

Abscisele  $X_r$  și  $X_R$  în sistemul cartezian  $XOY$ , precum și calculul suprafeței de oțel comprimat se poate stabili cu relațiile (3.4.-84.) - (3.4.-88.):

La calculul forței de compresiune în beton, pentru o mai mare precizie a determinării poziției axei neutre, s-a luat în considerare și suprafața delimitată de punctele ADEF respectiv AD'E'F'.

Forțele de compresiune din beton și oțel respectiv de întindere din oțel se calculează cu următoarele relații:

$$T_o = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - S \right] \frac{h-z}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-134.)$$



$$C_o = S \cdot \frac{z-h+D}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-135.)$$

$$C_b = (b \cdot z - A_1) \cdot \frac{\sigma_b}{2} \quad (3.4.-136.)$$

Înlocuind relațiile (3.4.-134) – (3.4.-136.) în ecuația de echilibru (3.4.-131.) obținem:

$$n \cdot \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - S \right] \frac{h-z}{z} - n \cdot S \cdot \frac{z-h+D}{z} - b \cdot z - \frac{D^2}{4} \cdot \arcsin \frac{2 \cdot X_R}{D} \quad (3.4.-137.)$$

Suprafața S se determină din relația (3.4.-88.) iar  $X_R$  cu relația (3.4.-84.).

Întrucât atât suprafața S precum și  $X_R$  se exprimă în funcție de necunoscuta z, ecuația de stabilire a axei neutre se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

Dacă în calculul forței de compresiune în beton nu se ia în considerare suprafața delimitată de punctele ADEF respectiv AD'E'F', în relația de calcul pentru  $C_b$  (3.4.-136.) intervine suplimentar efortul unitar normal în beton în secțiunea DD':

$$\sigma_{bi} = \frac{z-h+D}{z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-138.)$$

$$C_b = b \cdot (h-D) \cdot \frac{2 \cdot z - h + D}{2 \cdot z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-139.)$$

Astfel, dezvoltând relația de echilibru (3.4.-131.), ecuația de stabilire a axei neutre devine:

$$n \cdot \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - S \right] \cdot (h-z) - n \cdot S \cdot (z-h+D) - b \cdot (h-D) \cdot (2 \cdot z - h + D) = 0 \quad (3.4.-140.)$$

Similar cu relația (3.4.-137.), suprafața S precum și  $X_R$  se exprimă în funcție de necunoscuta z, astfel ecuația de stabilire a axei neutre (3.4.-140.) se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

În urma unui calcul experimental a mai multor secțiuni cu înălțimi diferite, folosind ecuațiile (3.4.-137.) și (3.4.-140.) diferența observată în ceea ce privește poziția axei neutre de la caz la caz este de 4-5 cm.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii echivalente (arie de calcul, momente statice al secțiunii și moment de inerție) sunt:

- Aria de calcul (pentru simplificarea ariei delimitată de punctele ABC respectiv AB'C' nu se iau în considerare):

$$A_c = \frac{b}{n} \cdot (h-D) + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.4.-141.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_c = \frac{b}{2 \cdot n} \cdot (h-D) \cdot (2 \cdot z - h + D) + (A_1 - A_2) \cdot \left[ z - h + \frac{D}{2} + y_{OCG_1} \right] \quad (3.4.-142.)$$

Unde  $y_{OCG_1}$  reprezintă distanța de la centrul țevii la centrul de greutate a secțiunii de oțel comprimate exprimată prin relația (3.4.-98.) iar  $A_1$  și  $A_2$  reprezintă ariile celor două sectoare de cerc ( $A_1(D)$  și  $A_2(d)$ ) exprimate prin relațiile (3.4.-86.-87.):

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - (A_1 - A_2) \right] \cdot \left[ h - z - \frac{D}{2} + y_{OCG_2} \right] \quad (3.4.-143.)$$

Unde  $y_{OCG_2}$  reprezintă distanța de la centrul de greutate al secțiunii de oțel întinse până la centrul țevii exprimată prin relația (3.4.-100.)

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{b \cdot (h - D)^3}{12 \cdot n} + \frac{b \cdot (h - D)}{4 \cdot n} \cdot (2 \cdot z - h + D)^2 + \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) + \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} \right)^2 \quad (3.4.-144.)$$

### Axa neutră trece prin secțiunea țevii de oțel

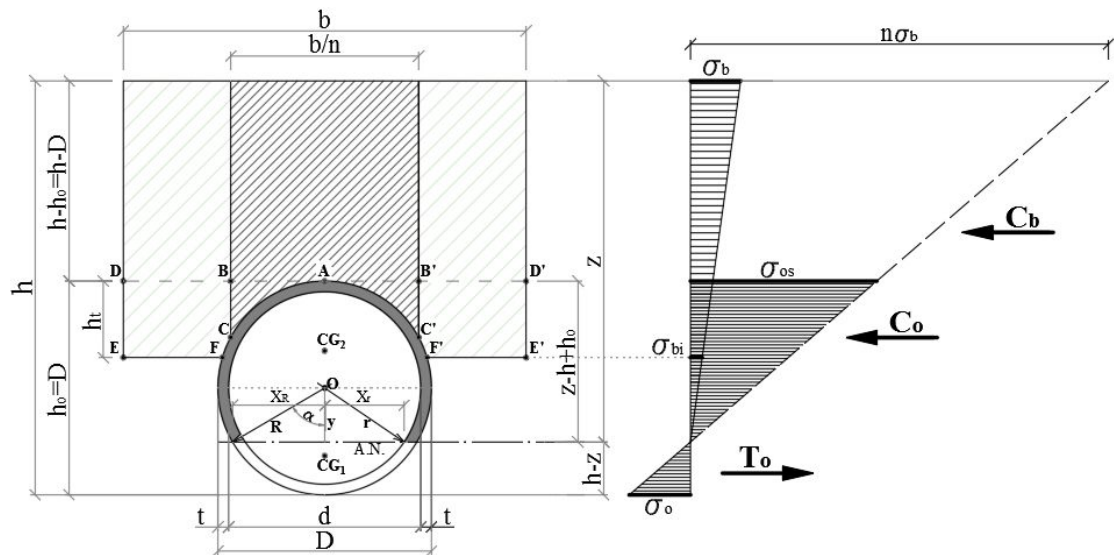


Fig. 3.4.3.2.-3. Model de calcul pentru structură mixtă oțel-beton cu structura metalică din țevi de oțel distanțate  
Axa neutră în secțiunea de oțel

Relația care stabilește poziția axei neutre este același ca și în cazul în care axa neutră intersectează secțiunea de beton și oțel:

$$C_b + C_o = T_o \quad (3.4.-145.)$$

Eforturile unitare se pot exprima în funcție de  $\sigma_b$  astfel:

$$\sigma_o = \frac{h - z}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-146.)$$

$$\sigma_{os} = \frac{z - h + D}{z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-147.)$$

$$\sigma_{bi} = \frac{z - h + D - h_t}{z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-148.)$$

La calculul forței de compresie în beton, pentru o mai mare precizie a determinării poziției axei neutre, s-a luat în considerare și suprafața delimitată de punctele ADEF respectiv AD'E'F'. Forțele de compresie respectiv de întindere se calculează cu următoarele relații:

$$T_o = (A_1 - A_2) \frac{h-z}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-149.)$$

$$C_o = S^* \cdot \frac{z-h+D}{2 \cdot z} \cdot n \cdot \sigma_b \quad (3.4.-150.)$$

$$C_b = [b \cdot (h-D+h_t) - A_1^*] \cdot \frac{\sigma_{bi} + \sigma_b}{2} = \\ = [b \cdot (h-D+h_t) - 2\sqrt{h_t \cdot (D-h_t)}] \cdot \frac{2 \cdot z - h + D - h_t}{2 \cdot z} \sigma_b \quad (3.4.-151.)$$

Suprafața de oțel comprimată ( $S^*$ ) este dată de relația (3.4.-106.).

Suprafețele sectoarelor de cerc  $A_1$  și  $A_2$  delimitate de axa neutră, se calculează cu relațiile (3.4.-86.) și (3.4.-87.). Din diferența celor două arii a sectoarelor de cerc rezultă suprafața de oțel întinsă. Aria  $A_1^*$  reprezintă suprafața din dala de beton ocupată de țeavă și se calculează cu relația:

$$A_1^* = 2 \cdot \sqrt{h_t \cdot (D-h_t)} \quad (3.4.-152.)$$

unde  $h_t$  reprezintă înălțimea cu care țeava de oțel este înglobată în dala de beton.

Abscisele  $X_F$  și  $X_R$  se calculează conform celor descrise în cap. 3.4.1.3.2.

Înlocuind relațiile (3.4.-149.-150.-151.) în ecuația de echilibru (3.4.-145.) obținem:

$$n \cdot S^* \cdot (z-h+D) + [b \cdot (h-D+h_t) - 2\sqrt{h_t \cdot (D-h_t)}] \cdot (2 \cdot z - h + D - h_t) - \\ - n \cdot (h-z) \cdot (A_1 - A_2) = 0 \quad (3.4.-153.)$$

Suprafața  $S^*$  se determină din relația (3.4.-106.) și se exprimă în funcție de necunoscuta  $z$ , astfel ecuația de stabilire a axei neutre se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

Dacă în calculul forței de compresiune în beton nu se ia în considerare suprafața delimitată de punctele ADEF respectiv AD'E' F', în relația de calcul pentru forța de compresiune în beton  $C_b$  (3.4.-151) intervine un efort unitar normal în beton diferit calculat în secțiunea DD' (3.4.-154):

$$\sigma_{bi} = \frac{z-h+D}{z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-154.)$$

$$C_b = (h-h_o) \cdot \frac{\sigma_b + \sigma_{bi}}{2} = b \cdot (h-D) \cdot \frac{2 \cdot z - h + D}{2 \cdot z} \cdot \sigma_b \quad (3.4.-155.)$$

Astfel, dezvoltând relația de echilibru (3.4.-145.), ecuația de stabilire a axei neutre devine:

$$n \cdot S^* \cdot (z-h+D) + b \cdot (h-D) \cdot (2 \cdot z - h + D) - n \cdot (A_1 - A_2) \cdot (h-z) = 0 \quad (3.4.-156.)$$

Similar cu relația (3.4.-153.), suprafața  $S^*$  se exprimă în funcție de necunoscuta  $z$ , astfel ecuația de stabilire a axei neutre (3.4.-156.) se poate rezolva doar cu ajutorul metodelor numerice.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii echivalente (arie de calcul, momente statice al secțiunii și moment de inerție) sunt:

- Aria de calcul (pentru simplificare aria delimitată de punctele ABC respectiv AB'C' nu se iau în considerare):

$$A_c = \frac{b}{n} \cdot (h-h_o) + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{b}{n} \cdot (h-D) + \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.4.-157.)$$

- Momentul static al secțiunii comprimate de beton în raport cu axa neutră:

$$S_b = \frac{b}{2 \cdot n} \cdot (h - D) \cdot (2 \cdot z - h + D) + S^* \cdot \left( y_{OCG_2} + \frac{D}{2} - h + z \right) \quad (3.4.-158.)$$

Unde  $y_{OCG_2}$  reprezintă distanța de la centrul de greutate a părții de oțel comprimate la centrul țevii.

- Momentul static al secțiunii întinse de oțel în raport cu axa neutră:

$$S_o = (A_1 - A_2) \cdot \left( h - z - \frac{D}{2} + y_{OCG_1} \right) \quad (3.4.-159.)$$

Unde  $y_{OCG_1}$  reprezintă distanța de la centrul de greutate a părții de oțel întinse la centrul țevii.

- Momentul de inerție de calcul:

$$I_c = \frac{b \cdot (h - D)^3}{12 \cdot n} + \frac{b \cdot (h - D)}{4 \cdot n} \cdot (2 \cdot z - h + D)^2 + \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) + \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \left( \frac{D}{2} - h + z \right)^2 \quad (3.4.-160.)$$

Eforturile unitare se calculează, luând în considerare încărcările de lungă durată, de scurtă durată, precum și oboseala.

$$\sigma_o \max = \frac{M \cdot (h - z)}{I_c} \begin{cases} \sigma_o(n_q) \\ \sigma_o(n_r) \\ \sigma_o(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-161.)$$

$$\sigma_b \max = \frac{M \cdot z}{n \cdot I_c} \begin{cases} \sigma_b(n_q) \\ \sigma_b(n_r) \\ \sigma_b(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-162.)$$

Efortul unitar tangențial produs de forța tăietoare se poate calcula cu relația lui Juravski:

$$\tau_o \max = \frac{T \cdot S_o}{2 \cdot (X_R - X_r) \cdot I_c} \begin{cases} \tau_o(n_q) \\ \tau_o(n_r) \\ \tau_o(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-163.)$$

$$\tau_{b \max} = \frac{n \cdot T \cdot S_b}{b \cdot I_c} \begin{cases} \tau_b(n_q) \\ \tau_b(n_r) \\ \tau_b(n_p) \end{cases} \quad (3.4.-164.)$$

Eforturile unitare normale maxime și eforturile unitare tangențiale maxime în oțel și beton se aleg în mod similar:

$$\sigma_{b \max} = \max \left\{ \left[ \sigma_b(n_p) + \sigma_b(n_r) \right]; \left[ \sigma_b(n_p) + \sigma_b(n_q) \right] \right\} \leq \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.4.-165)$$

$$\sigma_{o \max} = \max \left\{ \left[ \sigma_o(n_p) + \sigma_o(n_r) \right]; \left[ \sigma_o(n_p) + \sigma_o(n_q) \right] \right\} \leq \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.4.-166)$$

$$\tau_{b \max} = \max \left\{ \left[ \tau_b(n_p) + \tau_b(n_r) \right]; \left[ \tau_b(n_p) + \tau_b(n_q) \right] \right\} \quad (3.4.-167)$$

$$\tau_{o \max} = \max \left\{ \left[ \tau_o(n_p) + \tau_o(n_r) \right]; \left[ \tau_o(n_p) + \tau_o(n_q) \right] \right\} \quad (3.4.-168)$$

#### 3.4.4. Calculul și limitarea deformațiilor

Săgeata maximă verticală totală determinată pentru încărcarea permanentă și pentru încărcarea din convoi nu trebuie să depășească valoarea de  $L/600$  unde  $L$  reprezintă deschiderea podului.

Săgeata din convoi se calculează conform Anexei A2 a EN 1990 pentru încărcarea din convoi LM71 multiplicat cu factorul dinamic  $\Phi$  și considerând coeficientul încărcării unitar.

Formula de calcul a săgeții verticale este:

$$f_{\max} = \frac{5 \cdot M_{\max} \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I} \quad (3.4.-169)$$

unde:  $M_{\max}$  – momentul maxim provenit din încărcarea permanentă sau încărcarea din convoi

$L$  – deschiderea podului

$E$  – modulul de elasticitate al secțiunii echivalente (oțel)

$I$  – moment de inerție al secțiunii echivalente

Săgeata maximă totală se determină ca cea mai mare valoare dintre săgeata din încărcarea permanentă cumulată cu cea din încărcarea utilă și săgeata din aceeași încărcare permanentă cumulată cu cea repetată astfel:

$$f_{\max} = \max \left\{ \left[ f_{\max}(n_p) + f_{\max}(n_r) \right]; \left[ f_{\max}(n_p) + f_{\max}(n_q) \right] \right\} < \frac{L}{600} \quad (3.4.-170)$$

### 3.4.5. Calculul forței de lunecare

Proiectarea elementelor de legătură s-a făcut prin metoda rezistențelor admisibile, și anume în starea limită a deformațiilor critice. Starea limită a deformațiilor critice limitează încărcarea elementelor de legătură, rezultată din acțiunile de exploatare, în așa fel încât să nu se resimtă pe secțiunea compusă nici o lunecare care să reducă gradul de conlucrare [1].

Forța de lunecare necesară pentru verificarea la starea limită de deformații critice se determină în ipoteza comportării elastice a secțiunii compuse oțel-beton. Mărimea este dată de relația [1]:

$$L = \frac{T \cdot S_x}{I_c} \quad (3.4.-171)$$

unde:  $T$  – forța tăietoare din secțiunea considerată, rezultată din acțiunile preluate de secțiunea compusă

$S_x$ - momentul static în raport cu axa neutră a zonei comprimate de beton din secțiunea transformată, sau momentul static în raport cu axa neutră a suprafeței transformate de beton.

$I_c$ - momentul de inerție a secțiunii compuse oțel – beton.

Calculul forței de lunecare s-a efectuat pentru pentru cele două faze caracteristice de lucru ale elementelor compuse:

- Pentru faza inițială când toate acțiunile se consideră de scurtă durată,
- Pentru faza finală când se ia în considerare și efectul curgerii lente a betonului la acțiunile de lungă durată.

Proiectarea elementelor de legătură se face pentru valoare cea mai mare a forței de lunecare. Calculul forței de lunecare s-a făcut în două secțiuni și anume în secțiunea de pe reazem unde forța tăietoare este maximă și în secțiunea din mijlocul deschiderii unde forța tăietoare este minimă.

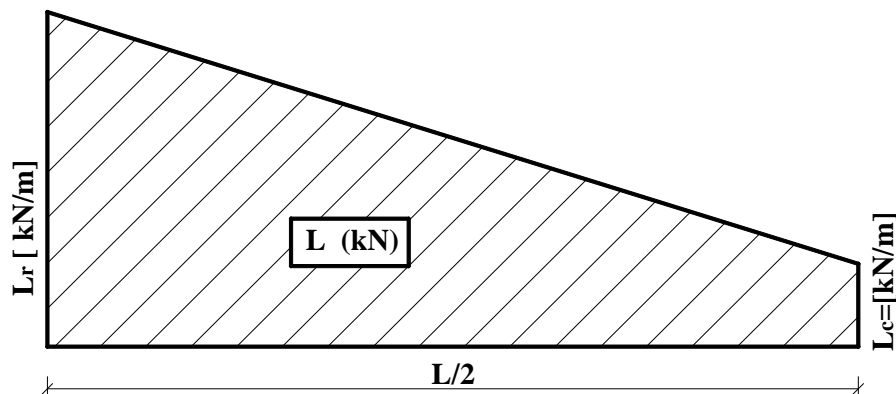


Fig. 3.4.5. Model de calcul forță de lunecare pe jumătate de deschidere a podului

Forța de lunecare totală se calculează ca aria trapezului format de diagrama forțelor de lunecare de pe reazem respectiv câmp.

$$L = \frac{(L_r + L_c) \cdot \frac{L}{2}}{2} \quad (3.4.-172)$$

### 3.5. Calculul în starea limită ultimă (domeniu plastic)

Pentru stabilirea stării ultime de rezistență a secțiunii transversale a unei dale mixte oțel-beton se vor lua în considerare numai momentele încovoietoare din încărcarea permanentă respectiv încărcarea din convoi. Valoarea de proiectare a momentului de încovoiere total în starea limită ultimă de rezistență este dată de expresia:

$$M_{SLU} = 1.35 \cdot M_p + 1.45 \cdot M_q \quad (3.5.-1)$$

Unde:

$M_p$  – reprezintă momentul de încovoiere rezultat din încărcarea permanentă

$M_q$  – reprezintă momentul de încovoiere rezultat din încărcarea din convoi

Momentul de încovoiere în starea limită ultimă calculat trebuie să fie mai mic decât momentul încovoietor plastic capabil în orice secțiune transversală a structurii:

$$M_{SLU} < M_{RD} \quad (3.5.-2)$$

Momentul încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) se determină folosind o distribuție dreptunghiulară a tensiunilor atât pentru structura metalică cât și pentru cea de beton a dalei mixte oțel-beton [7]. Teoretic, acest moment se obține când toate elementele componente ale secțiunii devin plastice reprezintă momentul maxim la care rezistă secțiunea înainte de cedare.

Tensiunea în oțel este considerată egală cu rezistența de calcul la curgere a oțelului  $f_{yd}$ , din întindere sau compresiune:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-3)$$

Unde:  $f_y$  – limita de curgere a oțelului

$\gamma_a$  – factor parțial de siguranță pentru material (pentru oțel  $\gamma_a = 1,15$ )

Tensiunea în beton pentru zona comprimată are valoarea limită constantă pe toată înălțimea zonei comprimate:

$$f_{cd} = \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.5.-4)$$

Unde:  $f_{ck}$  – rezistența caracteristică a betonului determinată pe cilindrii

$\gamma_c$  – factor parțial de siguranță pentru material (pentru beton  $\gamma_c = 1,5$ )

Rezistența la întindere în beton se neglijează.

### 3.5.1. Dale cu secțiunea mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande

Pentru determinarea poziției axei neutre plastice se iau în considerare cele două ipoteze:

- Ipoteza I – axa neutră se află în oțel, caz în care repartizarea eforturilor unitare pe secțiunea transversală se poate observa în fig. 3.5.1.-1
- Ipoteza II – axa neutră se află în beton, caz în care repartizarea eforturilor unitare pe secțiunea transversală se poate observa în fig. 3.5.1.-2

#### Ipoteza I – A.N. în oțel:

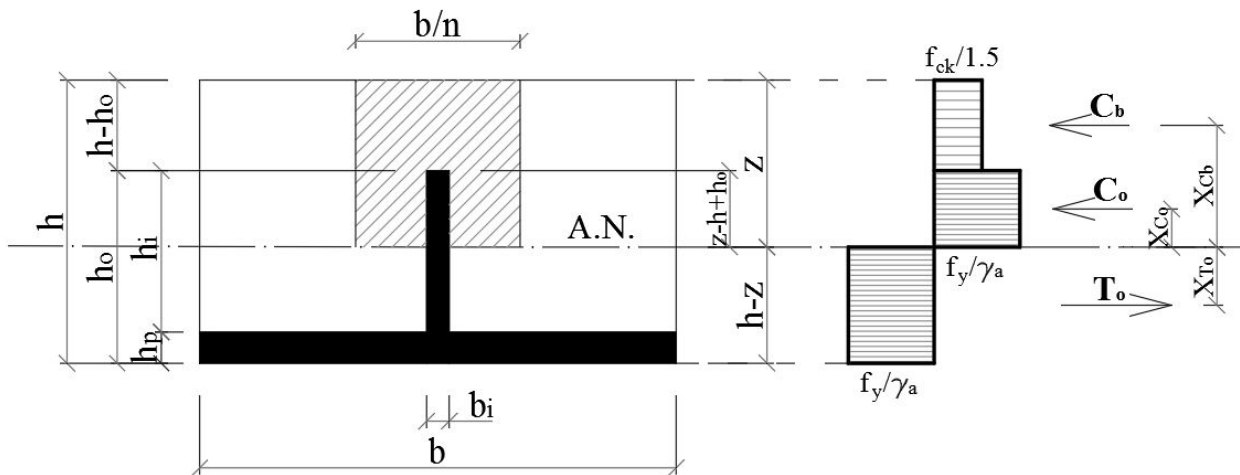


Fig. 3.4.1.-1. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structură metalică din platbenzi  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră în oțel

Din condiția de echilibru rezultă următoarea ecuație:

$$C_b + C_o = T_o \quad (3.5.-5.)$$

Valorile celor trei componente ale ecuației de echilibru (3.5.-5.) sunt:

$$C_b = [b \cdot z - (z - h + h_o) \cdot b_i] \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.5.-6.)$$

$$C_o = (z - h + h_o) \cdot b_i \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-7.)$$

$$T_o = [b \cdot h_p + b_i \cdot (h - z - h_p)] \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-8.)$$

Dezvoltând ecuația de echilibru (3.5.-5.), obținem o ecuație de gradul I în  $z$ , a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre (3.5.-9.):

$$z = \frac{\frac{f_y}{\gamma_a} [b \cdot h_p + b_i \cdot (2 \cdot h - h_p - h_o)] - \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_i \cdot (h - h_o)}{\frac{2 \cdot f_y \cdot b_i}{\gamma_a} + \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b - b_i)} \quad (3.4.-10.)$$



Calculul momentului încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) în starea limită ultimă se determină ca suma momentelor forțelor interne în raport cu axa neutră.

$$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + C_o \cdot X_{Co} + T_o \cdot X_{To} \quad (3.5.-11.)$$

Unde:

$X_{Cb}$ ,  $X_{Co}$  și  $X_{To}$  – distanțele de la centrele de greutate ale rezultatelor forțelor interne la axa neutră.

Aceste distanțe se calculează cu teorema lui Varignon din egalitatea sumelor de momente statice ale ariilor întinse sau comprimate (după caz) și momentul static al întregii secțiuni întinse sau comprimate față de axa neutră plastică.

$$b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + b_i \cdot (h - z - h_p) \cdot \frac{(h - z - h_p)}{2} = [b \cdot h_p + b_i \cdot (h - z - h_p)] \cdot X_{To} \quad (3.5.-12.)$$

$$X_{To} = \frac{b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + b_i \cdot \frac{(h - z - h_p)^2}{2}}{[b \cdot h_p + b_i \cdot (h - z - h_p)]} \quad (3.5.-13.)$$

Distanța între centrul de greutate a rezultatelor  $C_o$  și  $C_b$  la axa neutră plastică se determină identic:

$$b_i \cdot (z - h + h_o) \cdot \frac{(z - h + h_o)}{2} = b_i \cdot (z - h + h_o) \cdot X_{Co} \quad (3.5.-14.)$$

$$X_{Co} = \frac{(z - h + h_o)}{2} \quad (3.5.-15.)$$

$$b \cdot z \cdot \frac{z}{2} - b_i \cdot (z - h + h_o) \cdot \frac{(z - h + h_o)}{2} = [b \cdot z - b_i \cdot (z - h + h_o)] \cdot X_{Cb} \quad (3.5.-16.)$$

$$X_{Cb} = \frac{b \cdot z^2 - b_i \cdot (z - h + h_o)^2}{2[b \cdot z - b_i \cdot (z - h + h_o)]} \quad (3.5.-17.)$$

**Ipoteza II – A.N. în beton:**

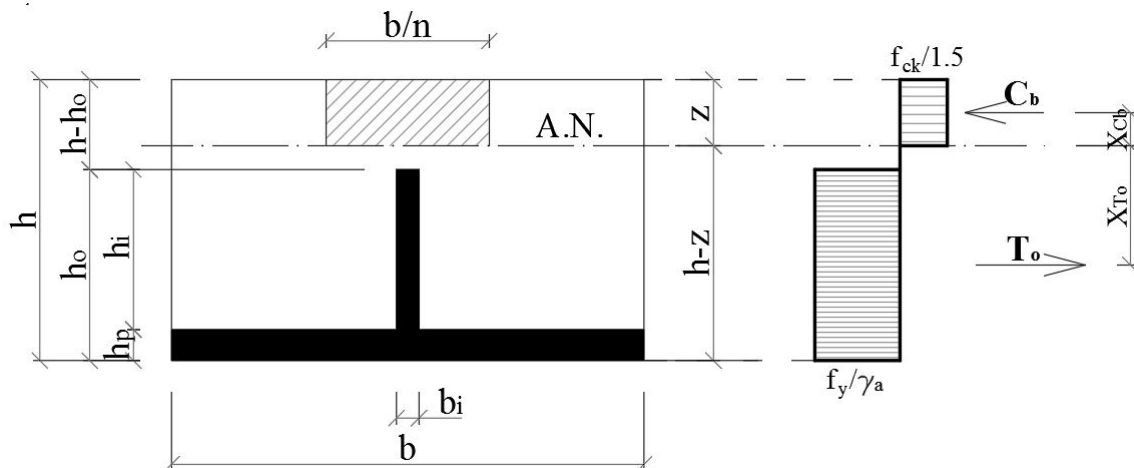


Fig. 3.4.1.-2. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structură metalică din platbenzi  
Calcul în starea limită ultimă - Axă neutră în beton

Din condiția de echilibru rezultă următoarea ecuație:

$$C_b = T_o \quad (3.5.-18.)$$

Valorile celor două componente ale ecuației de echilibru (3.5.-18.) sunt:

$$C_b = b \cdot z \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.5.-19.)$$

$$T_o = [b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p)] \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-20.)$$

Dezvoltând ecuația de echilibru (3.5.-18.), obținem o ecuație de gradul I în  $z$ , a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre (3.5.-21.):

$$z = \frac{\frac{f_y}{\gamma_a} [b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p)]}{\frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b} \quad (3.5.-21.)$$

Calculul momentului încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) în starea limită ultimă se determină ca suma momentelor forțelor interne în raport cu axa neutră.

$$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + T_o \cdot X_{To} \quad (3.5.-22.)$$

Unde:

$X_{Cb}$  și  $X_{To}$  – distanțele de la centrele de greutate ale rezultatelor forțelor interne la axa neutră.

Identic cu ipoteza I, aceste distanțe se calculează cu teorema lui Varignon din egalitatea sumelor de momente statice ale ariilor întinse sau comprimate (după caz) și momentul static al întregii secțiuni întinse sau comprimate față de axa neutră plastică.

$$b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + b_i \cdot (h_o - h_p) \left[ \frac{h_o - h_p}{2} + h - z - h_o \right] = [b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p)] \cdot X_{To} \quad (3.5.-23.)$$

$$X_{To} = \frac{b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + b_i \cdot (h_o - h_p) \left[ \frac{h_o - h_p}{2} + h - z - h_o \right]}{[b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p)]} \quad (3.5.-24.)$$

$$b \cdot z \cdot \frac{z}{2} = b \cdot z \cdot X_{Cb} \quad (3.5.-25.)$$

$$X_{Cb} = \frac{z}{2} \quad (3.5.-26.)$$

### 3.5.2. Dale cu secțiunea mixtă cutată

Ipoteza I – A.N. în oțel:

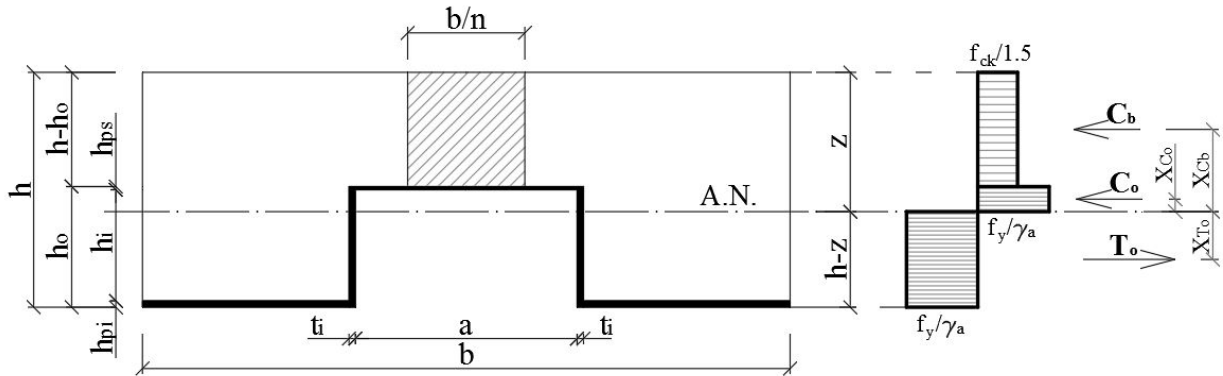


Fig. 3.4.1.-1. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cutată  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră în oțel

Din condiția de echilibru rezultă următoarea ecuație:

$$C_b + C_o = T_o \quad (3.5.-27.)$$

Valorile celor trei componente ale ecuației de echilibru (3.5.-27.) sunt:

$$C_b = [b \cdot z - (a + 2 \cdot t_i)(z - h + h_o)] \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_b} \quad (3.5.-28.)$$

$$C_o = [2 \cdot t_i \cdot (z - h + h_o - h_{ps}) + h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i)] \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-29.)$$

$$T_o = [h_{pi} \cdot (b - a) + 2 \cdot t_i \cdot (h - z - h_{pi})] \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-30.)$$

Dezvoltând ecuația de echilibru (3.5.-27.), obținem o ecuație de gradul I în  $z$ , a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre (3.5.-31.):

$$z = \frac{\frac{f_y}{\gamma_a} [h_{pi} \cdot (b - a) + 2 \cdot t_i \cdot (2 \cdot h - h_{pi} - h_o + h_{ps}) - h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i)] - \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_b} \cdot (a + 2 \cdot t_i) \cdot (h - h_o)}{4 \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \cdot t_i + \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b - a - 2 \cdot t_i)} \quad (3.4.-31.)$$

Calculul momentului încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) în starea limită ultimă:

$$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + C_o \cdot X_{Co} + T_o \cdot X_{To} \quad (3.5.-32.)$$

Unde:

$X_{Cb}$ ,  $X_{Co}$  și  $X_{To}$  – distanțele de la centrele de greutate ale rezultatelor forțelor interne la axa neutră.

Distanțele se calculează cu teorema lui Varignon după modelul prezentat în Cap. 3.5.1.

$$X_{To} = \frac{h_{pi} \cdot (b - a) \cdot \left( h - z - \frac{h_{pi}}{2} \right) + t_i \cdot (h - z - h_{pi})^2}{h_{pi} \cdot (b - a) + 2 \cdot t_i \cdot (h - z - h_{pi})} \quad (3.5.-33.)$$

$$X_{Co} = \frac{h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i) \cdot \left( z - h + h_o - \frac{h_{pi}}{2} \right) + t_i \cdot (z - h + h_o - h_{pi})^2}{h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i) + 2 \cdot t_i \cdot (z - h + h_o - h_{pi})} \quad (3.5.-34.)$$

$$X_{Cb} = z - \frac{(h - h_o)}{2} \quad (3.5.-35.)$$

**Ipoteza II – A.N. în beton:**

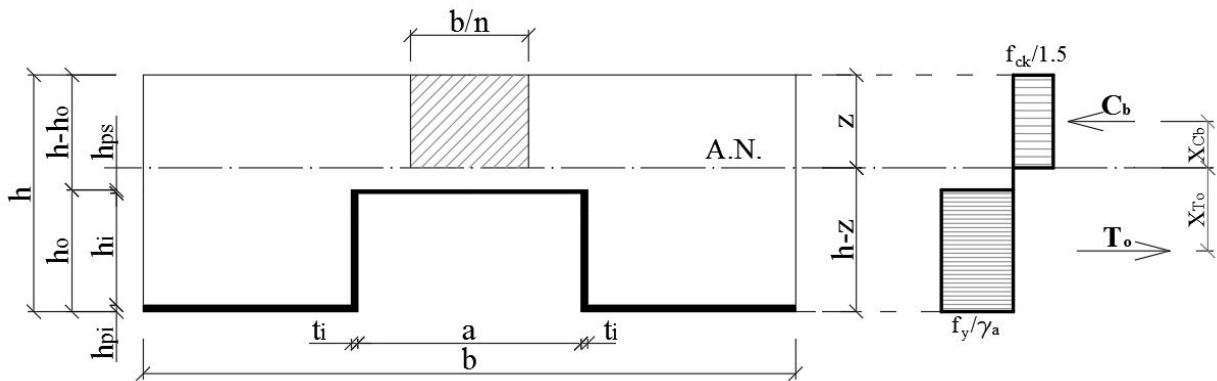


Fig. 3.4.1.-2. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cutată  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră în beton

Din condiția de echilibru rezultă următoarea ecuație:

$$C_b = T_o \quad (3.5.-36.)$$

Valorile celor două componente ale ecuației de echilibru (3.5.-36.) sunt:

$$C_b = b \cdot z \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.5.-37.)$$

$$T_o = \left[ (b - a) \cdot h_{pi} + 2 \cdot t_i \cdot (h_o - h_{ps} - h_{pi}) + (a + 2 \cdot t_i) \cdot h_{ps} \right] \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-38.)$$

Dezvoltând ecuația de echilibru (3.5.-36.), obținem o ecuație de gradul I în  $z$ , a cărei rezolvare duce la obținerea poziției axei neutre (3.5.-39.):

$$z = \frac{\frac{f_y}{\gamma_a} \left[ h_{pi} \cdot (b - a) + 2 \cdot t_i \cdot (h_o - h_{ps} - h_{pi}) + h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i) \right]}{\frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b} \quad (3.5.-39.)$$

Calculul momentului încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) în starea limită ultimă se determină ca suma momentelor forțelor interne în raport cu axa neutră.

$$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + T_o \cdot X_{To} \quad (3.5.-40.)$$

Unde:

$X_{Cb}$  și  $X_{To}$  – distanțele de la centrele de greutate ale rezultatelor forțelor interne la axa neutră.

Relațiile de calcul ale acestor distanțe sunt:

$$X_{To} = \left[ \begin{array}{l} h_{pi} \cdot (b-a) \cdot \left( h-z - \frac{h_{pi}}{2} \right) + t_i \cdot (h_o - h_{pi} - h_{ps}) \cdot (2 \cdot h - 2 \cdot z - h_{pi} - h_o + h_{ps}) + \\ + h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i) \cdot \left( h-z - h_o + \frac{h_{ps}}{2} \right) \end{array} \right] / \quad (3.5.-41.)$$

$$\left[ h_{pi} \cdot (b-a) + 2 \cdot t_i \cdot (h_o - h_{pi} - h_{ps}) + h_{ps} \cdot (a + 2 \cdot t_i) \right]$$

$$X_{Cb} = \frac{z}{2} \quad (3.5.-42.)$$

### 3.5.3. Dale cu secțiunea mixtă oțel-beton la care structura metalică este alcătuită din țevi

După cum am arătat și în Capitolul 3.4., aceste tipuri de structuri mixte se pot diferenția în funcție de poziția țevilor (alăturate sau distanțate) sau de poziția dalei de modul constructiv al dalei, adică monolit sau prefabricat.

Acest capitol va trata calculul în starea limită ultimă a structurilor monolite la care țevile sunt așezate alăturat, respectiv la o anumită distanță între ele. Deoarece calculul este asemănător pentru fiecare soluție constructivă, se vor prezenta figurile ambelor modele de calcul în cadrul fiecărei ipoteze și anume:

1. Axa neutră trece prin beton
2. Axa neutră trece prin beton și țeava de oțel
3. Axa neutră trece prin țeava de oțel

#### Ipoteza I – A.N. trece prin beton:

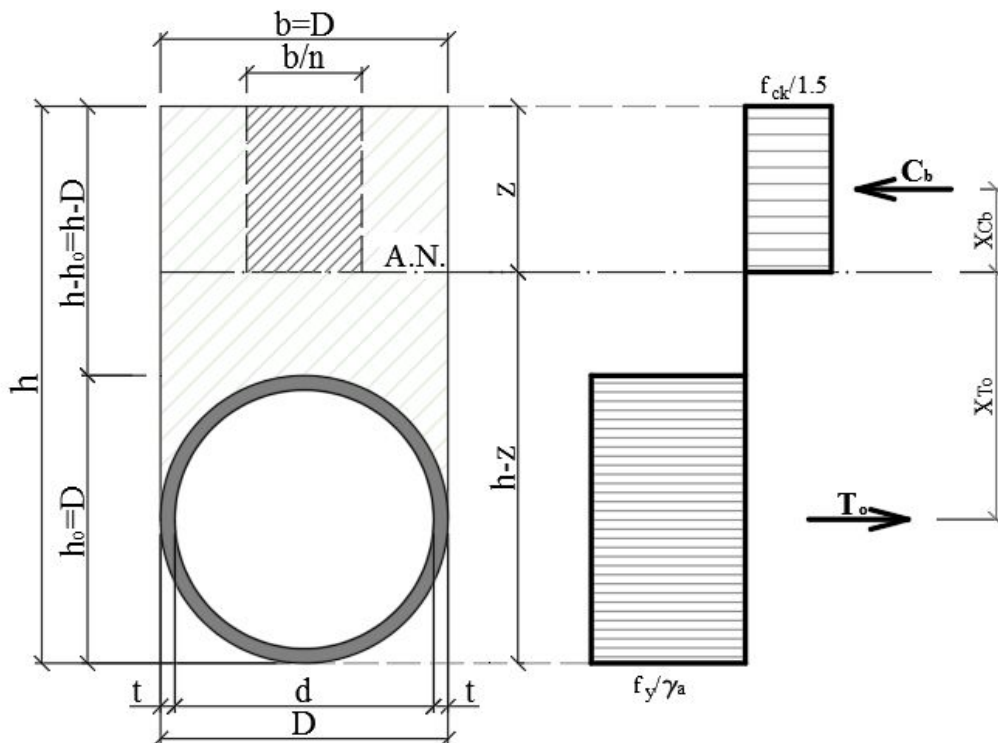


Fig. 3.5.3.-1. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structura metalică din țevi alăturate  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră în beton

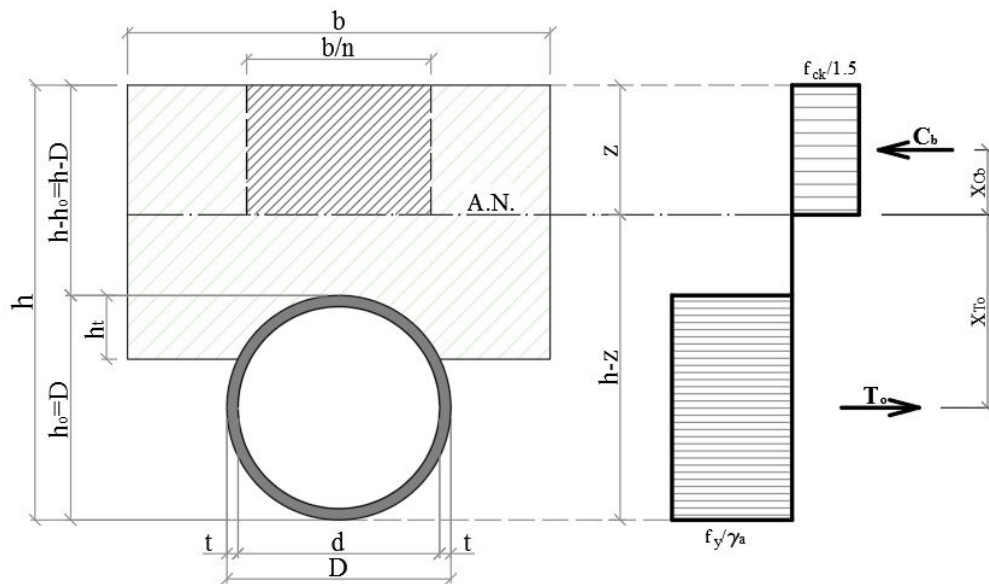


Fig. 3.5.3.-2. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structura metalică din țevi distanțate  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră în beton

Relația care stabilește poziția axei neutre:

$$C_b = T_o \quad (3.5.-43.)$$

Forța de compresiune din beton respectiv de întindere din oțel în starea limită ultimă se calculează cu următoarele relații:

$$T_o = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-44.)$$

$$C_b = b \cdot z \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.5.-45.)$$

În urma înlocuirii obținem o ecuație de gradul I, a cărei rezolvare conduce la aflarea poziției axei neutre:

$$z = \frac{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot \frac{f_y}{\gamma_a}}{b \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c}} \quad (3.5.-46.)$$

Calculul momentului încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) în starea limită ultimă se determină ca suma momentelor forțelor interne în raport cu axa neutră.

$$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + T_o \cdot X_{To} \quad (3.5.-47.)$$

Unde:

$X_{Cb}$  și  $X_{To}$  – distanțele de la centrele de greutate ale rezultatelor forțelor interne la axa neutră.

Relațiile de calcul ale acestor distanțe sunt:

$$X_{Cb} = \frac{z}{2} \quad (3.5.-48.)$$

$$X_{To} = h - z - \frac{D}{2} \quad (3.5.-49.)$$

**Ipoteza II – A.N. trece prin beton și oțel:**

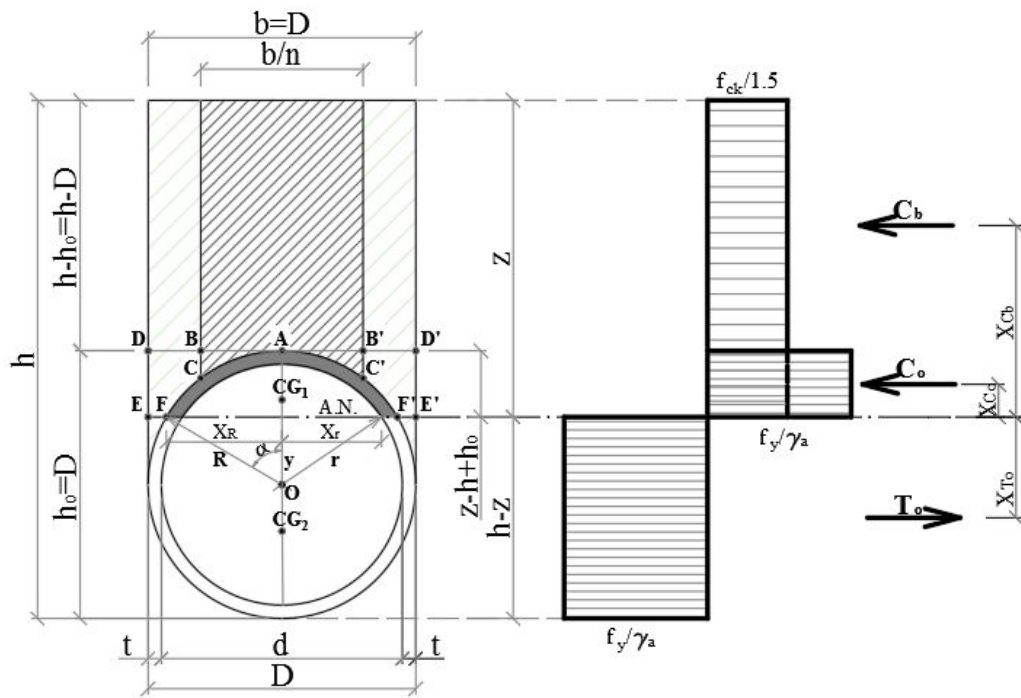


Fig. 3.5.3.-3. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structura metalică din țevi alăturate  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră în beton și oțel

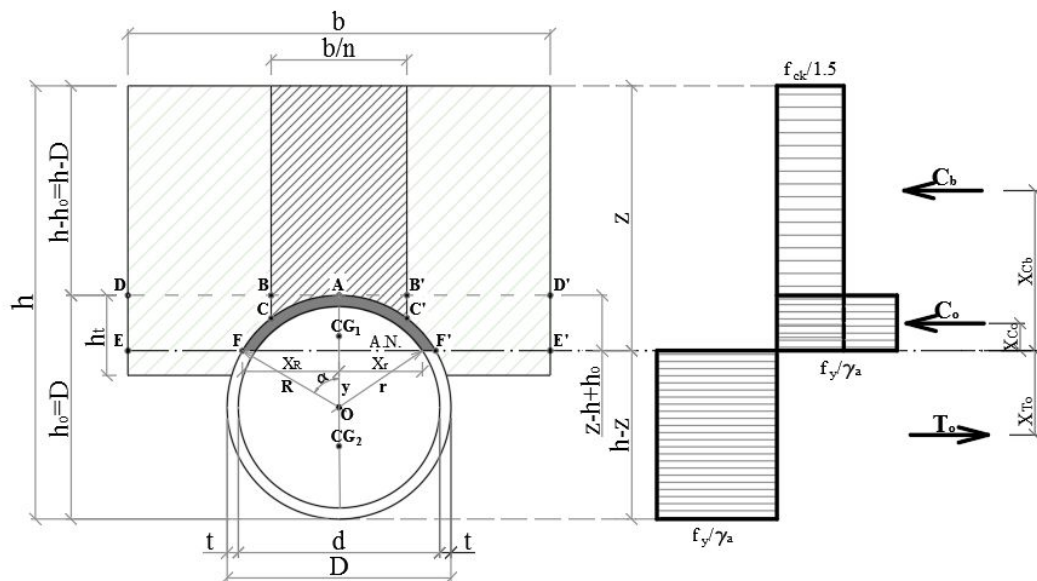


Fig. 3.5.3.-4. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structura metalică din țevi distanțate  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră în beton și oțel

Relația care stabilește poziția axei neutre:

$$T_o = C_o + C_b \quad (3.5.-50.)$$

Valorile celor trei componente ale ecuației de echilibru (3.5.-50.) sunt:

$$T_o = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - s \right] \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-51.)$$

$$C_o = S \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-52.)$$

$$C_b = [b \cdot z - A_1] \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.5.-53.)$$

unde S reprezintă suprafața de țevă comprimată iar  $A_1$  zona delimitată de punctele AFF' și se calculează cu relațiile (3.4.-86.) și (3.4.-88.) de la Cap. 3.4.3.

În urma înlocuirii obținem:

$$\left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - 2 \cdot S \right] \frac{f_y}{\gamma_a} - (b \cdot z - A_1) \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 0 \quad (3.5.-54.)$$

Deoarece S, respectiv  $A_1$  se exprimă în relațiile (3.4.-86.) și (3.4.-88.) în funcție de z, această ecuație poate fi rezolvată doar prin metode numerice.

Calculul momentului încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) este:

$$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + C_o \cdot X_{Co} + T_o \cdot X_{To} \quad (3.5.-55.)$$

unde  $X_{Cb}$ ,  $X_{Co}$  și  $X_{To}$  reprezintă distanțele de la centrele de greutate ale rezultatelor forțelor interne la axa neutră și se determină prin următoarele relații:

$$X_{Cb} = \frac{z}{2} \quad (3.5.-56.)$$

$$X_{To} = h - z - \frac{D}{2} + y_{CG_2} \quad (3.5.-57.)$$

$$X_{Co} = z - h + \frac{D}{2} + y_{CG_1} \quad (3.5.-58.)$$

Unde  $y_{CG_1}$  și  $y_{CG_2}$  reprezintă centrele de greutate ale secțiunii de oțel comprimate respectiv întinse și se calculează cu relațiile (3.4.-98.) și (3.4.-100.) de la Cap. 3.4.3.

La calculul distanței  $X_{Cb}$ , pentru simplificare, nu s-au luat în considerare zonele de beton comprimat delimitate de punctele ADEF și AD'E'F'.



**Ipoteza III – A.N. trece prin oțel:**

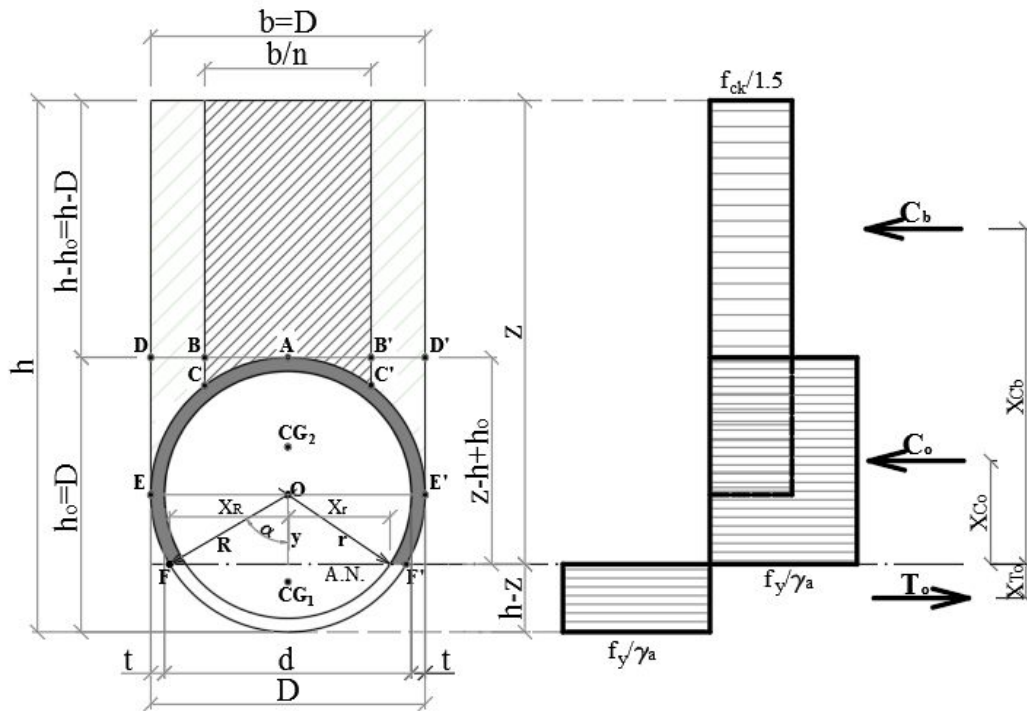


Fig. 3.5.3.-3. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structura metalică din țevi alăturate  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră trece prin oțel

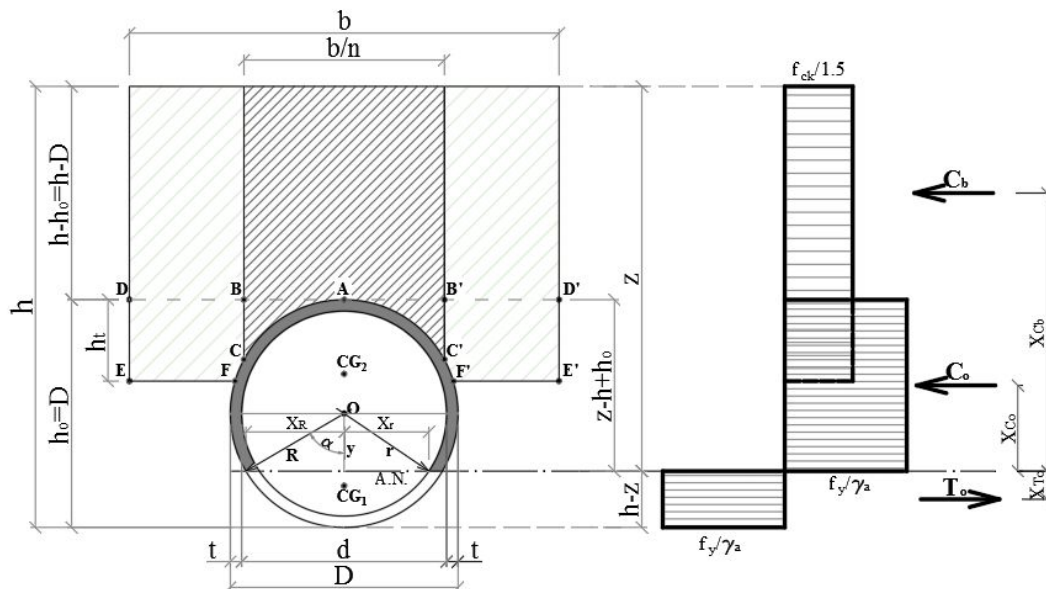


Fig. 3.5.3.-4. Model de calcul al structurii mixte oțel-beton cu structura metalică din țevi distanțate  
Calcul în starea limită ultimă - Axa neutră trece prin oțel

Relația care stabilește poziția axei neutre plastice:

$$T_o = C_o + C_b \quad (3.5.-59.)$$

Valorile celor trei componente ale ecuației de echilibru (3.5.-50.) sunt:

$$T_o = S \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-60.)$$

$$C_o = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - S \right] \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (3.5.-61.)$$

$$C_b = \left[ b \cdot \left( h - \frac{D}{2} \right) - \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \right] \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.5.-62.)$$

unde  $S$  reprezintă suprafața de țevă comprimată și se calculează cu relația (3.4.-86.) de la Cap. 3.4.3.

În urma înlocuirii obținem:

$$\left[ \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) - 2 \cdot S \right] \frac{f_y}{\gamma_a} - \left[ b \cdot \left( h - \frac{D}{2} \right) - \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \right] \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 0 \quad (3.5.-63.)$$

Deoarece  $S$  se exprimă în relația (3.4.-86.) în funcție de  $z$ , această ecuație poate fi rezolvată doar prin metode numerice.

Calculul momentului încovoietor capabil ( $M_{RD}$ ) este:

$$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + C_o \cdot X_{Co} + T_o \cdot X_{To} \quad (3.5.-64.)$$

unde  $X_{Cb}$ ,  $X_{Co}$  și  $X_{To}$  reprezintă distanțele de la centrele de greutate ale rezultatelor forțelor interne la axa neutră și se determină prin următoarele relații:

$$X_{Cb} = \frac{h - h_o}{2} \quad (3.5.-65.)$$

$$X_{To} = h - z - \frac{D}{2} + y_{CG_1} \quad (3.5.-66.)$$

$$X_{Co} = z - h + \frac{D}{2} + y_{CG_2} \quad (3.5.-67.)$$

Unde  $y_{CG_1}$  și  $y_{CG_2}$  reprezintă centrele de greutate ale secțiunii de oțel întinse respectiv comprimate și se calculează cu relațiile (3.4.-98.) și (3.4.-100.) de la Cap. 3.4.3.

La calculul distanței  $X_{Cb}$ , pentru simplificare, nu s-au luat în considerare zonele de beton comprimat delimitate de punctele ADE și AD'E'.

## 4. Program de calcul a podurilor în structură mixtă oțel-beton Newline CSD (Composite Structure Design)

### 4.1. Introducere

În practica proiectării drumurilor, a căilor ferate precum și a podurilor, s-au întâlnit situații când o mare parte a timpului consumat pentru elaborarea unui proiect a fost alocat studiului unor variante de soluții tehnice și implicit a obținerii soluției optime, pentru o cât mai bună punere în operă a proiectului. În acest context, proiectarea asistată de calculator s-a impus ca o soluție ce oferă proiectantului mijloacele necesare studiului tuturor soluțiilor posibile. Prin modificarea repetată a datelor inițiale de proiectare, pot fi studiate diverse variante ale proiectului cu implicații directe asupra calității acestuia în sine. [22]

Având în vedere că în domeniul podurilor dalate în structură mixtă oțel-beton facilitarea procesului de proiectare printr-un program de calcul destinat acestor tipuri de structuri este inexistentă, folosindu-ne de o versiune gratuită a programului Microsoft Visual Basic, unul din limbajele de programare cele mai apreciate și facile de utilizat, am creat un program pentru calculul acestor structuri mixte. La prima apariție în anul 2002, într-un format demonstrativ, acest program a primit denumirea de KIRON și era structurat pe trei module care calculau trei tipuri de poduri dalate în structură mixtă oțel-beton: dală mixtă cu structura de oțel realizată din platbenzi, dală mixtă cutată și dală mixtă la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel. Ulterior, acest program a fost dezvoltat realizându-se o versiune nouă, mult mai fiabilă, denumită Newline CSD (Composite Structure Design) care ține seama și de noile cerințe ale normelor europene de proiectare (Eurocode).

Soluția oferită de programul Newline CSD se constituie într-o abordare complexă a podurilor în structură mixtă, având ca punct de plecare suprastructurile podurilor de cale ferată pentru viteze mari folosite cu succes în țările Europei de Vest.

Deloc de neglijat este faptul că utilizarea la parametrii optimi a programului de calcul Newline CSD, nu necesită deloc studierea unei documentații voluminoase sau cu un grad mare de dificultate ci doar cunoașterea unor caracteristici ale căii ferate. Dispunând de o arhitectură deschisă, programul este ușor de utilizat, fiind conceput cu casete de dialog și comenzi în limba română. Există în lucru și o versiune în limba engleză și maghiară a acestui program. Procesând formulele matematice, programul oferă un calcul rapid și precis ale caracteristicilor podului (greutatea structurii, caracteristici geometrice, momente încovoietoare, eforturi, deformații, etc.), el putând fi folosit cu succes atât în proiectarea în baza vechilor standarde STAS, cât și a noilor norme Eurocode.

Schema de utilizare a programului se poate observa în fig. 4.1.-1.

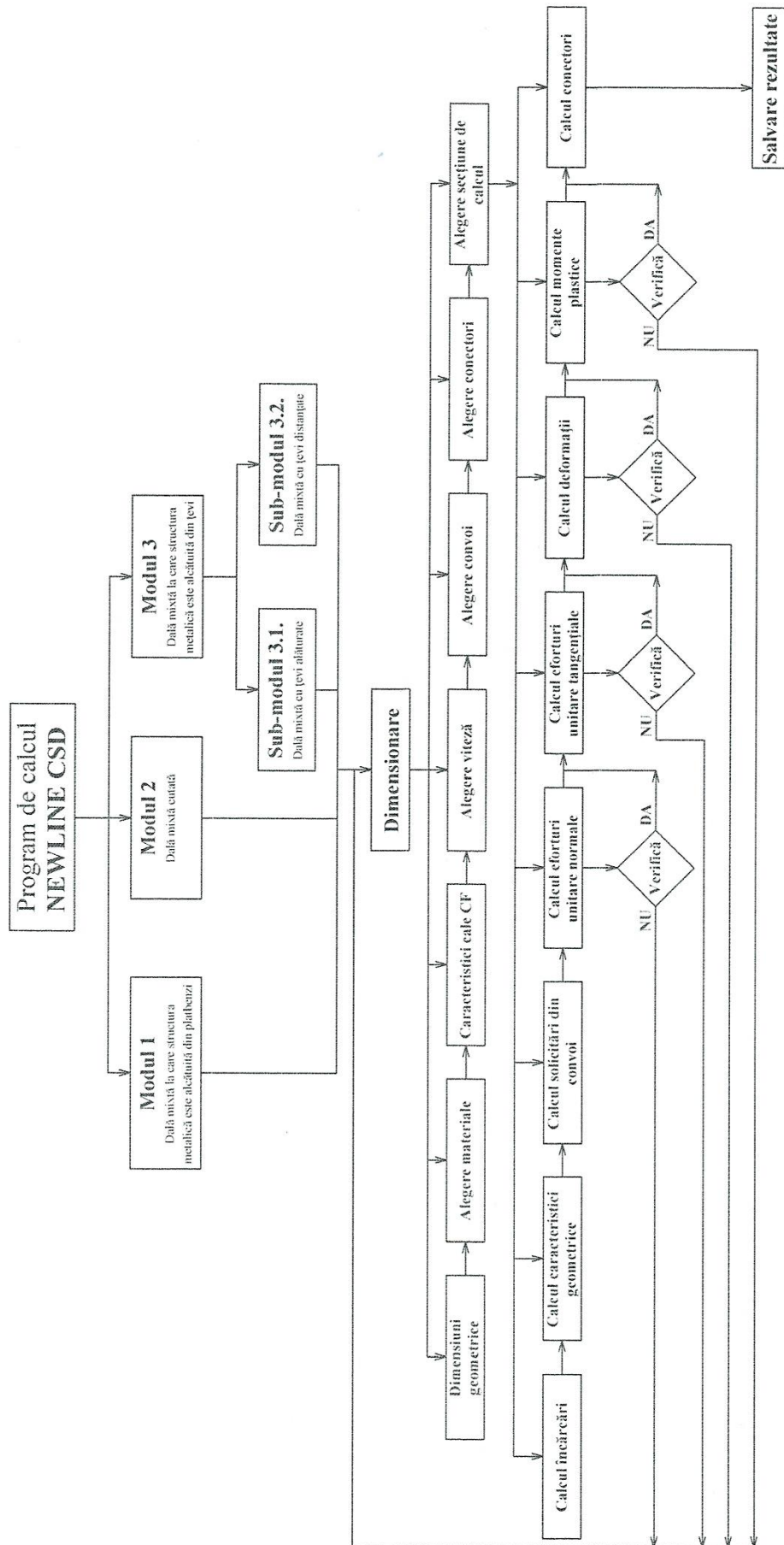


Fig. 4.1.-1. Schema logică de utilizare a programului NEWLINE CSD

## 4.2. Prezentarea programului

Programul Newline CSD special conceput pentru calculul dalelor în structură mixtă oțel-beton oferă posibilitatea utilizatorului de a alege trei soluții constructive de dale mixte oțel-beton:

- Dală în structură mixtă oțel beton la care structura de oțel este alcătuită din platbenzi
- Dală cutată în structură mixtă oțel-beton
- Dală în structură mixtă oțel-beton la care structura metalică este alcătuită din țevi de oțel

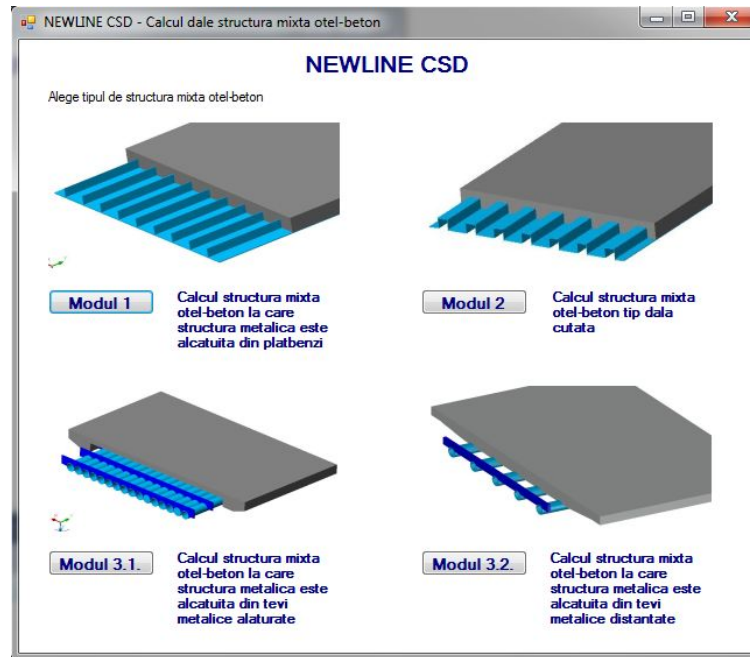


Fig. 4.2.-1. Alegerea soluției constructive a dalei mixte

Dimensionarea structurii este cea mai importantă etapă în proiectare. După cum s-a văzut și în schema logică de utilizare a programului, în această etapă utilizatorul trebuie să parcurgă șapte pași de dimensionare, structurați în tab-uri diferite ale aceleiași ferestre. Acești pași solicită introducerea datelor privind:

- Definierea dimensiunilor geometrice

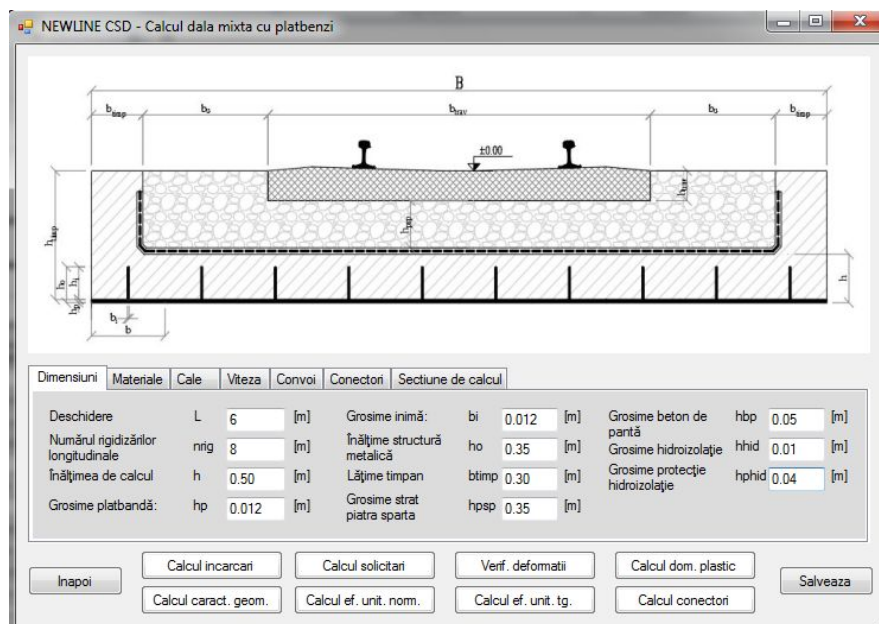


Fig. 4.2.-2. Dimensionare – Caracteristici geometrice ale structurii

➤ Alegerea materialelor

Programul este conceput a calcula dalele în structură mixtă oțel-beton cu șase clase de rezistență a betonului (C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55 și C50/60) și patru clase de rezistență pentru oțel (S235, S275, S355 și S450) cu care utilizatorul poate să-și dimensioneze structura. Factorii parțiali de siguranță pentru cele două materiale, chiar dacă sunt date de normele de proiectare, sunt lăsate la libera alegere a utilizatorului.

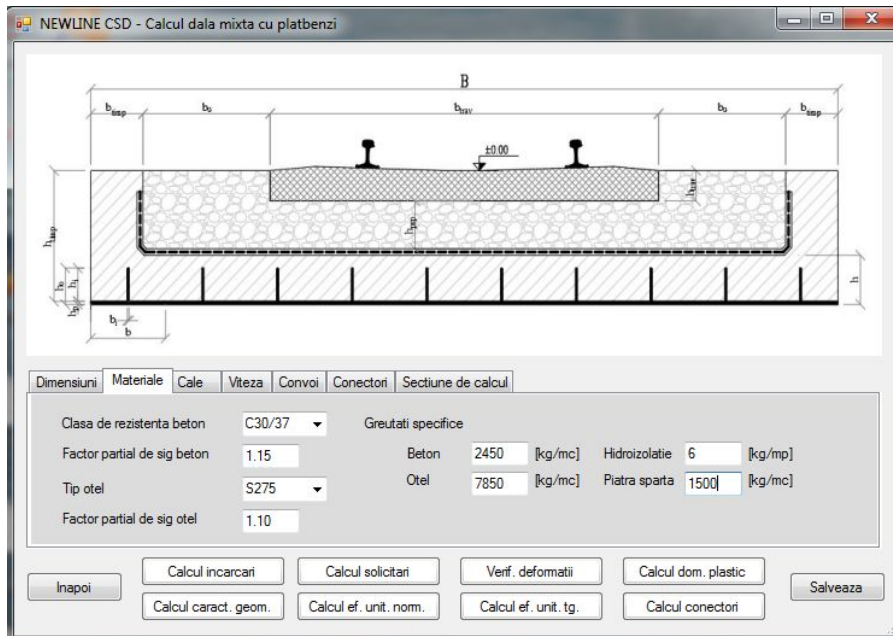


Fig. 4.2.-3. Dimensionare – Materiale

➤ Definirea caracteristicilor căii

În această etapă a dimensionării se definesc tipul de șină și traversa corespunzătoare. Programul este astfel conceput încât nu permite utilizatorului să aleagă un tip de traversă care nu este compatibilă cu tipul șinei, atenționându-l printr-un mesaj de eroare. Tipul de cale și modul de întreținere a căii sunt date necesare în baza cărora sunt calculați coeficienții dinamici pentru încărcările din convoi.

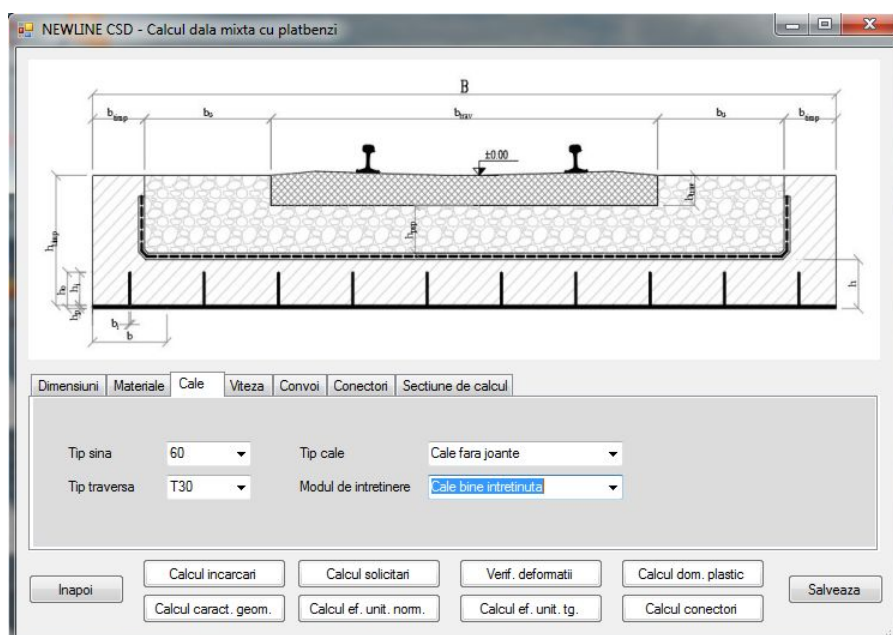


Fig. 4.2.-4. Dimensionare – Cale

➤ Alegerea vitezei materialului rulant

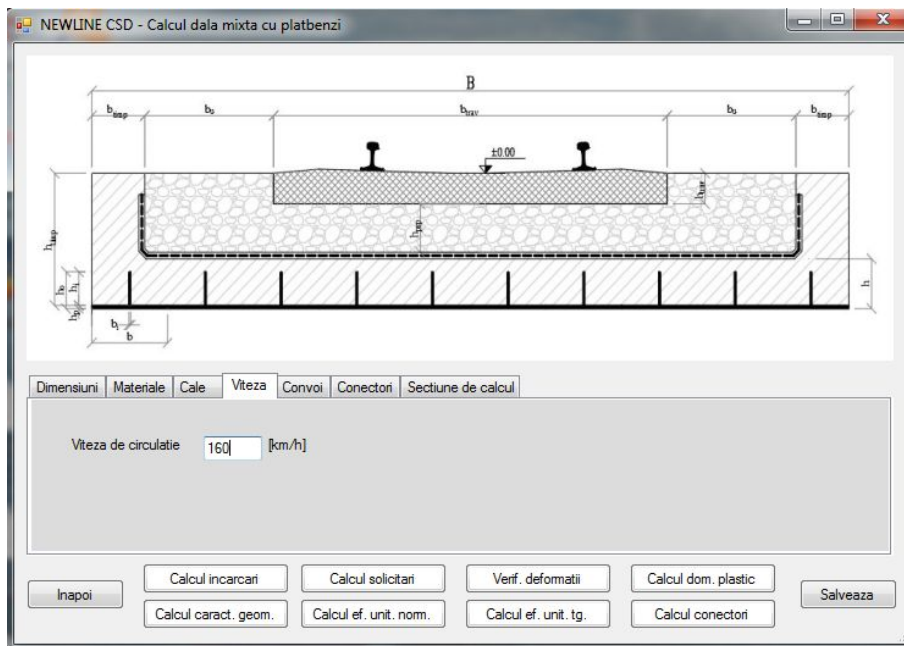


Fig. 4.2.-5. Dimensionare – Alegerea vitezei materialului rulant

➤ Alegerea tipului de convoi

Programul oferă posibilitatea utilizatorului de a alege convoiul dorit. Această variantă îmbunătățită a programului conține atât convoaiele P10 și P10 alternativ (pentru deschideri până la 3,5m) în conformitate cu STAS 3220-89 „Poduri de cale ferată. Convoaie tip”, cât și modelele de încărcări prevăzute de SR EN 1991-2. Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri”. Raționamentul includerii convoaielor de calcul conform STAS a fost cel de a oferi posibilitatea de a verifica o serie de dale cu astfel de soluție constructivă, respectiv de a face o comparație între o structură calculată sub încărcare conform STAS 3220-89 cu una conform Eurocod1.

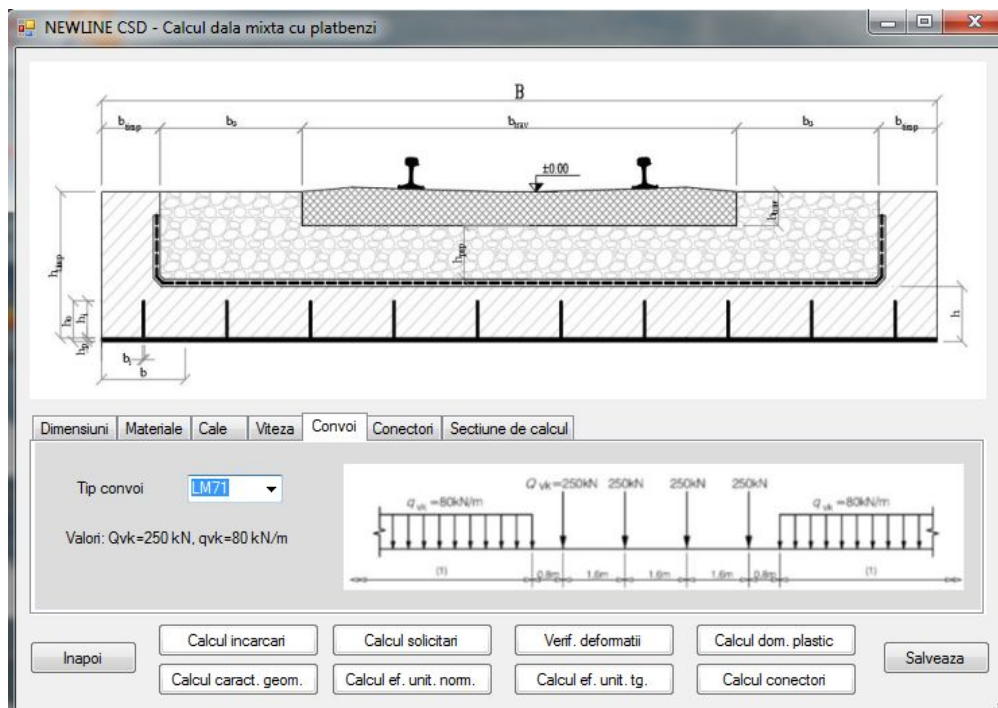


Fig. 4.2.-6. Dimensionare – Alegerea convoiului de calcul

➤ Alegerea tipului de conectori

Asigurarea conlucrării dintre dala de beton și structura de oțel este dată de conectori. Astfel în această etapă de dimensionare, este creată o fereastră separată care oferă posibilitatea alegerii tipului de conector ce se dorește a fi utilizat. În varianta actuală a programului sunt prezentați trei tipuri de conectori: doi rigizi (profile UNP și cornier) și unul elastic (dornuri). După tipul conectorului ales și alegerea numărului de conectori de pe un rând, programul calculează numărul de conectori necesari a se monta pe o jumătate de deschidere precum și distanțele de poziționare a acestora.

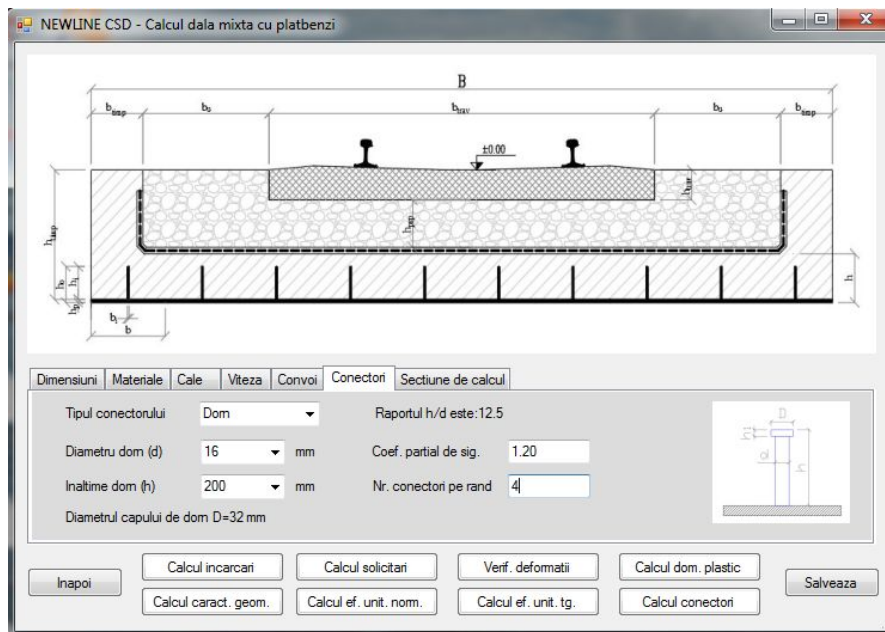


Fig. 4.2.-7. Dimensionare – Alegerea tipului și caracteristicilor conectorilor

➤ Alegerea secțiunii de calcul

Se alege orice secțiune de pe deschidere în care se doresc informații suplimentare privind valoarea solicitărilor, programul fiind conceput să calculeze solicitările maxime care intervin, pentru care se și fac verificările în domeniul elastic și plastic.

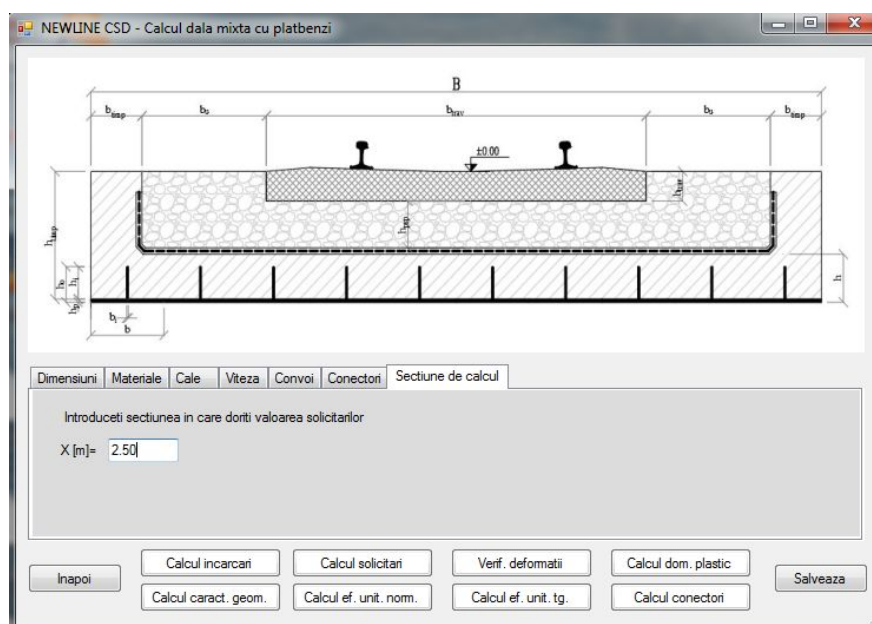


Fig. 4.2.-8. Dimensionare – Alegerea secțiunii pentru calculul solicitărilor



Programul oferă posibilitatea de a reveni la etapa de dimensionare în timpul verificării structurii pentru a obține secțiunea optimă de calcul.

De asemenea, programul atenționează utilizatorul asupra eventualelor greșeli apărute în dimensionare. Mesajul de atenționare apare deasupra ferestrei de dimensionare și atrage atenția utilizatorului asupra erorii făcute.

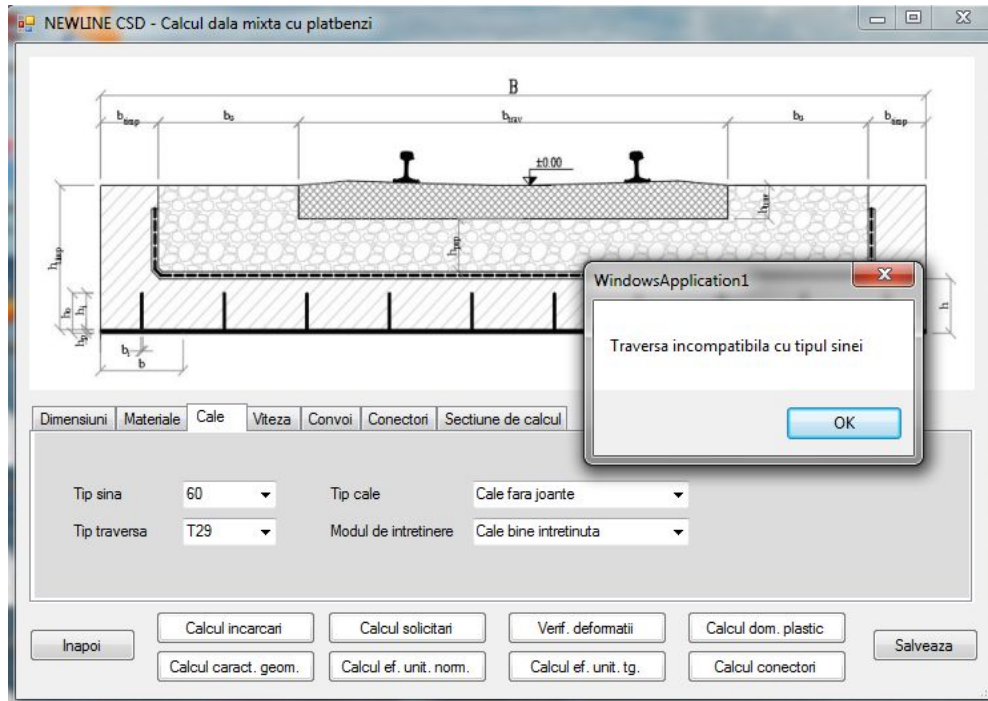


Fig. 4.2.-9. Dimensionare – Mesaj eroare introducere date

Încărcările uniform distribuite permanente sunt calculate în daN/m iar încărcările din convoi în kN/m, în baza datelor introduse de utilizator în etapa de dimensionare. În cazul încărcărilor din convoi s-a adoptat un calcul simplificat în care acestea sunt transformate în încărcări uniform distribuite echivalente.

Dimensiunile structurii pot fi modificate dacă prin accesarea comenzii „Închide” se revine la etapa de dimensionare.

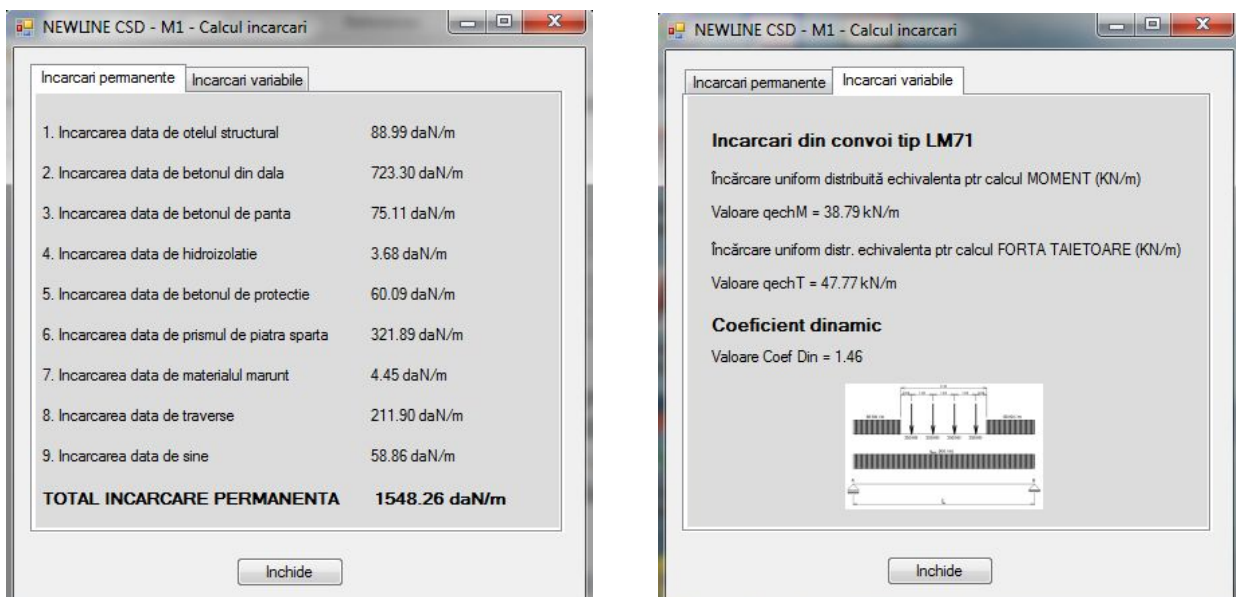


Fig. 4.2.-10. Calcul încărcări permanente și variabile

Se calculează astfel momentul încovoietor maxim, respectiv forța tăietoare maximă din încărcările permanente și variabile, dar și valoarea acestora într-o anumită secțiune aleasă de utilizator în etapa de dimensionare.

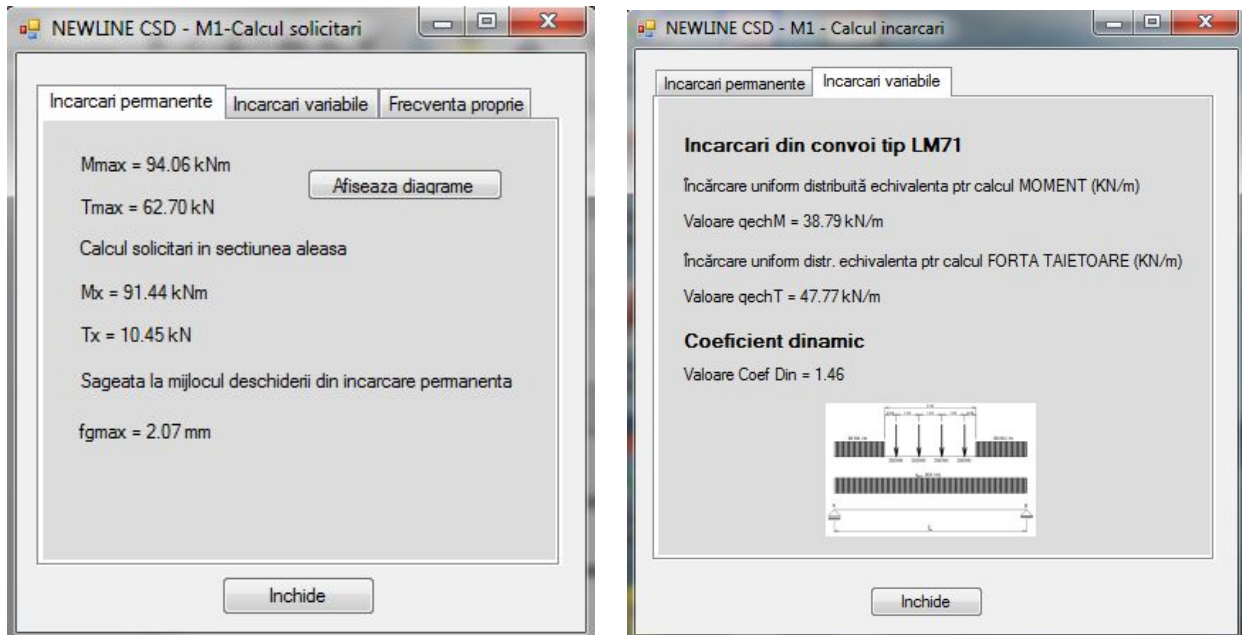


Fig. 4.2.-11. Calcul forțe tăietoare și momente încovoietoare

Coeficientul dinamic este calculat de program în funcție de tipul de convoi ales (STAS sau Eurocod). Dacă convoiul este unul conform STAS 3220-89, atunci coeficientul dinamic se calculează în funcție de tipul de cale pe pod (cale cu rosturi sudate sau cale cu rosturi nesudate), continuitatea prismului de piatră spartă pe pod, respectiv viteza de circulație. În cazul modelelor de încărcări conform SR EN 1991-2. Eurocod 1, programul calculează coeficientul dinamic în funcție de modul de întreținere a căii (cale bine întreținută sau cale cu întreținere normală). În același timp, programul verifică condițiile de aplicabilitate ai coeficienților dinamici și anume dacă viteza de circulație este mai mică decât 200 km/h, respectiv frecvența proprie de oscilații a structurii se menține între limitele superioare și inferioare pentru deschiderea considerată. Aceste valori sunt afișate într-o fereastră separată și pot fi vizualizate de utilizator.

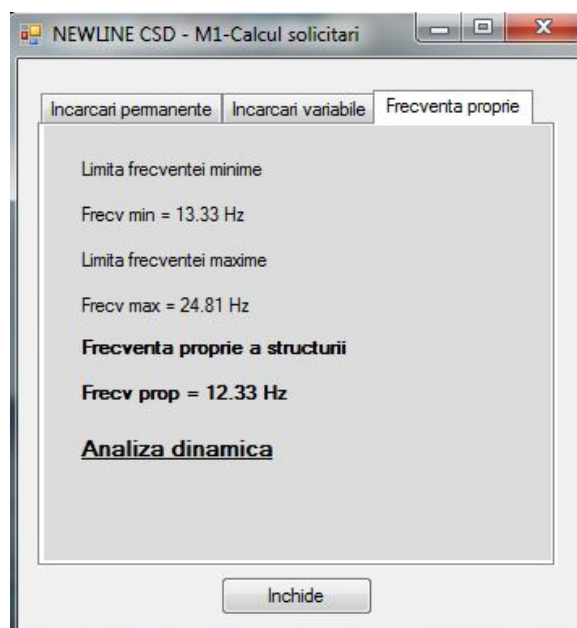


Fig. 4.2.-12. Calcul frecvență proprie și limită maximă și minimă

Secțiunea transversală de calcul a celor trei tipuri de structuri mixte oțel-beton, în domeniul elastic, se obține ca o secțiune omogenă de oțel prin transformarea secțiunii comprimate de beton într-o secțiune echivalentă de oțel. Coeficientul de echivalare al betonului în oțel se obține prin raportarea modului de elasticitate a oțelului la modulul de elasticitate al betonului. Dacă modulul de elasticitate al oțelului nu diferă în funcție de tipul de oțel ales, nu la fel se întâmplă în cazul betonului. Modulul de elasticitate al betonului variază în funcție de clasa de rezistență a betonului iar în timp, odată cu creșterea rezistenței medii la compresiune a betonului, crește și modulul de elasticitate. Calculele în continuare se fac diferențiat pentru încărcări de scurtă durată ( $n$ ), încărcări repetate ( $2n$ ) și încărcări de lungă durată ( $3n$ ).

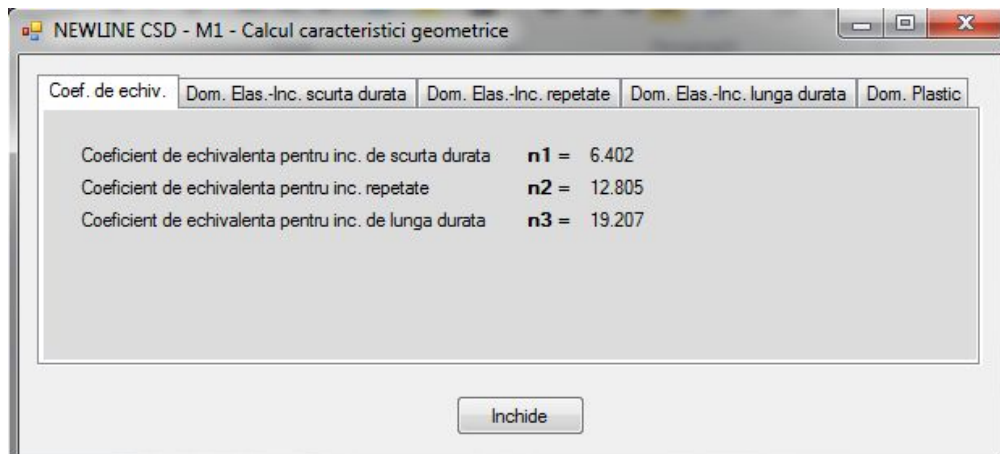


Fig. 4.2.-13. Calcul coeficienți de echivalență

Caracteristicile geometrice ale secțiunii transformate s-au calculat în ipotezele enumerate mai sus. Programul calculează următoarele caracteristici pentru domeniul elastic:

- $Z$  – poziția axei neutre a secțiunii
- $I_c$  - momentul de inerție al secțiunii
- $A_c$  - aria de calcul
- $S_b$  - momentul static al zonei comprimate
- $S_o$  – momentul static al zonei întinse

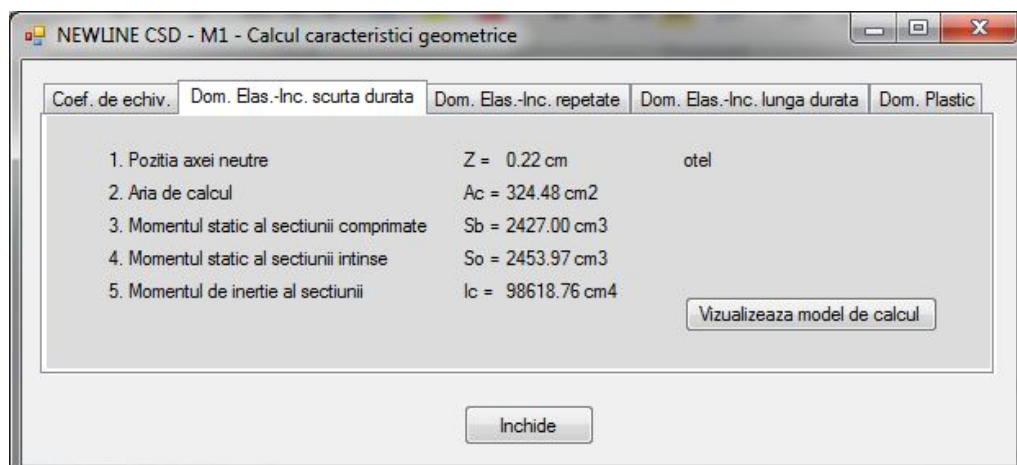


Fig. 4.2.-14. Calcul caracteristici geometrice pentru încărcări de scurtă durată – Dom. Elastic

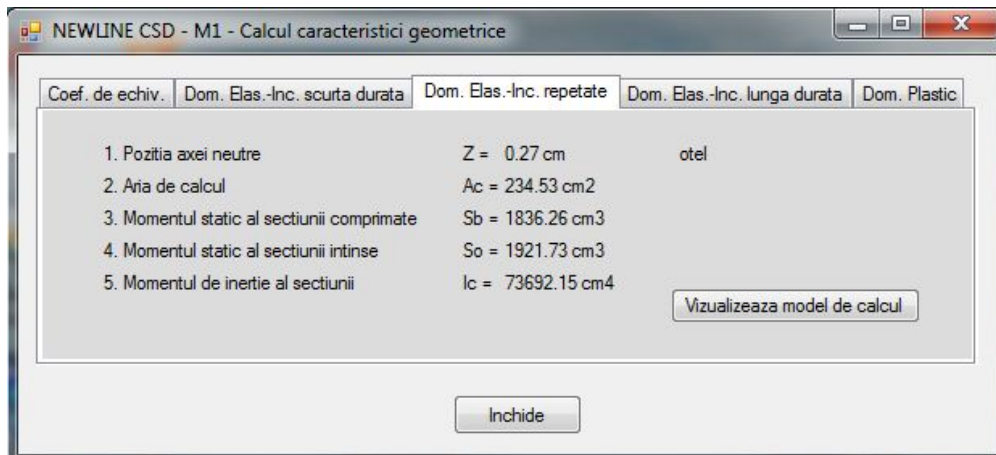


Fig. 4.2.-15. Calcul caracteristici geometrice pentru încărcări repetate – Dom. Elastic

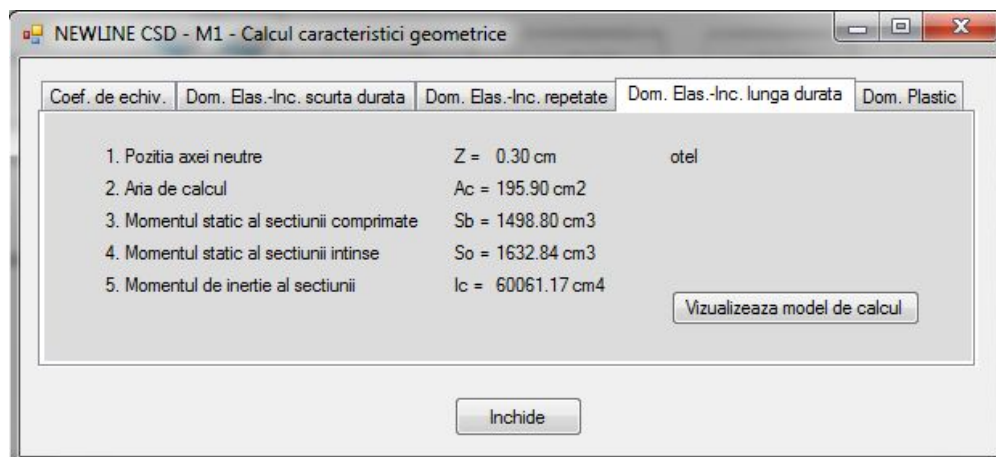


Fig. 4.2.-16. Calcul caracteristici geometrice pentru încărcări de lungă durată – Dom. Elastic

În cazul calculului în starea limită ultimă, se afișează doar poziția axei neutre plastice:

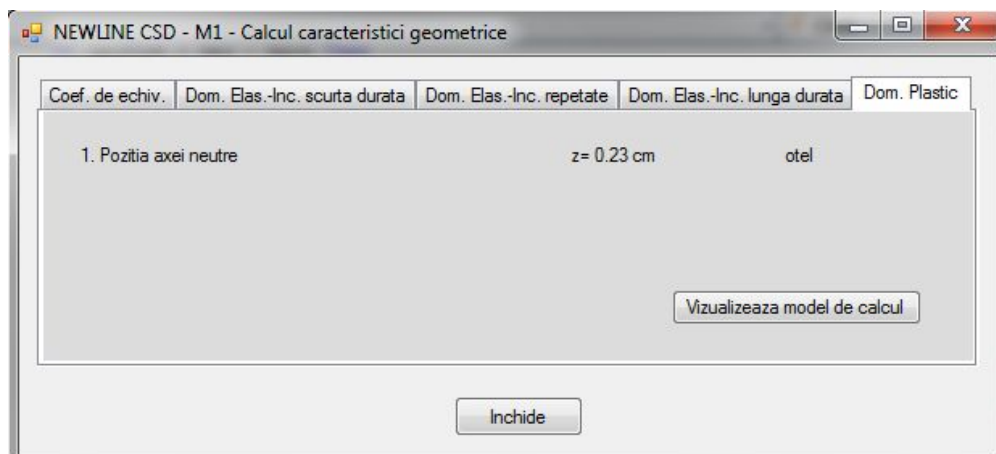


Fig. 4.2.-17. Calcul caracteristici geometrice pentru încărcări de lungă durată – Dom. Plastic

De asemenea se poate vizualiza și modelul de calcul pentru ambele cazuri: calcul în domeniu elastic sau plastic.

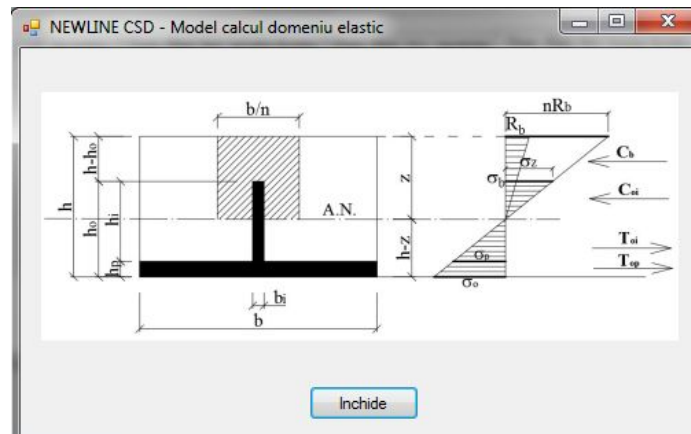


Fig. 4.2.-18. Model calcul dală mixtă cu platbenzi – Dom. Elastic

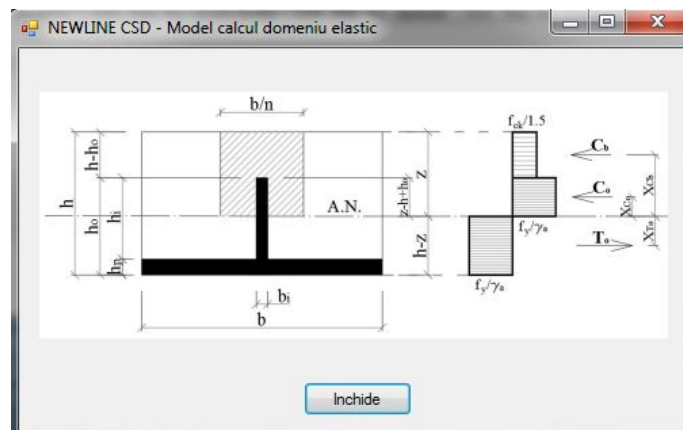


Fig. 4.2.-19. Model calcul dală mixtă cu platbenzi – Dom. Plastic

Eforturile unitare normale respectiv cele tangențiale se calculează pentru fiecare caz de încărcare și pentru combinații ale acestor încărcări. Verificarea eforturilor calculate se face în limita eforturilor admisibile pentru fiecare material ales, aplicând factorii parțiali de siguranță pentru fiecare material în parte.

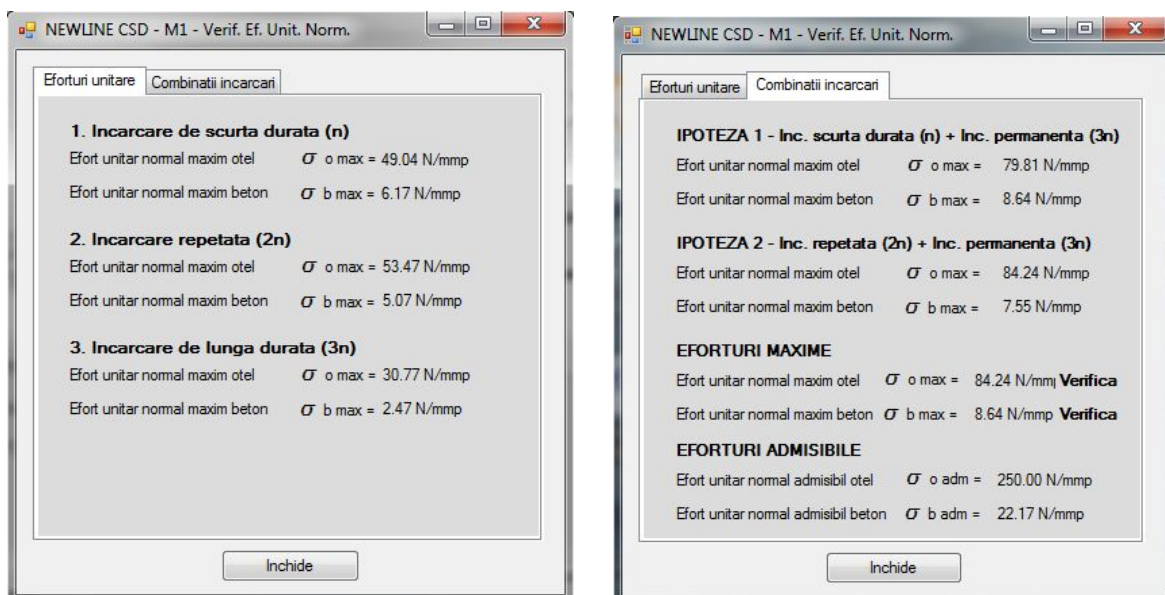


Fig. 4.2.-20. Calculul și verificarea eforturilor unitare normale – Dom. Elastic

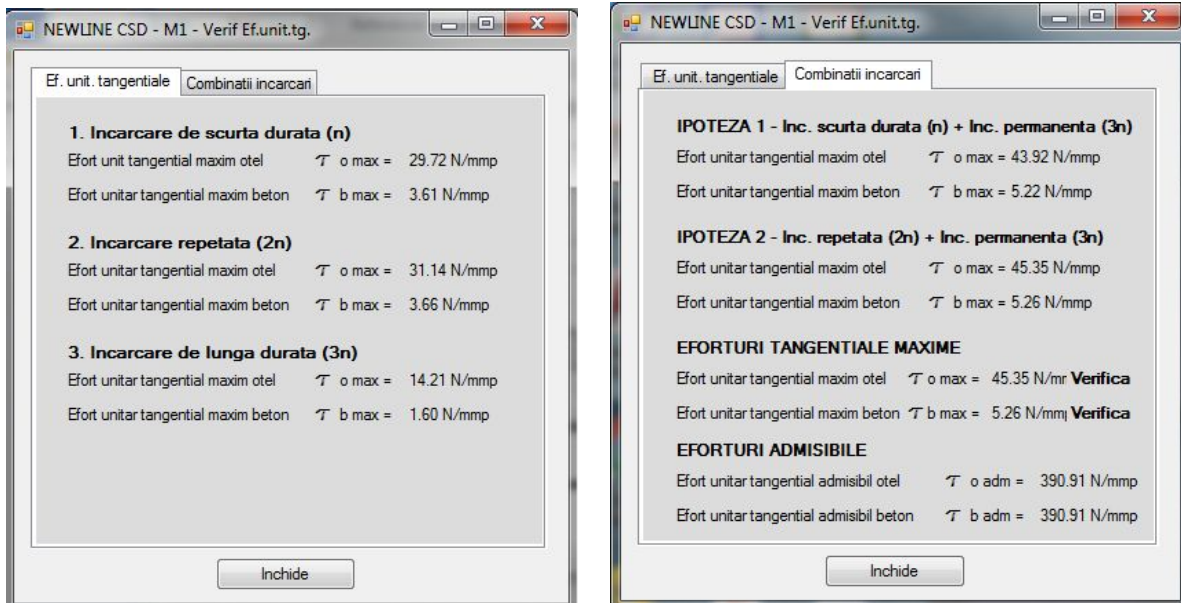


Fig. 4.2.-21. Calculul și verificarea eforturilor unitare tangentiale – Dom. Elastic

Deformațiile verticale ale structurii (săgeata maximă) se calculează pentru fiecare tip de încărcare: permanentă, de scurtă durată și repetată, iar valoarea finală obținută ca maximul valorii combinațiilor de încărcări se compară cu săgeata maximă admisibilă.

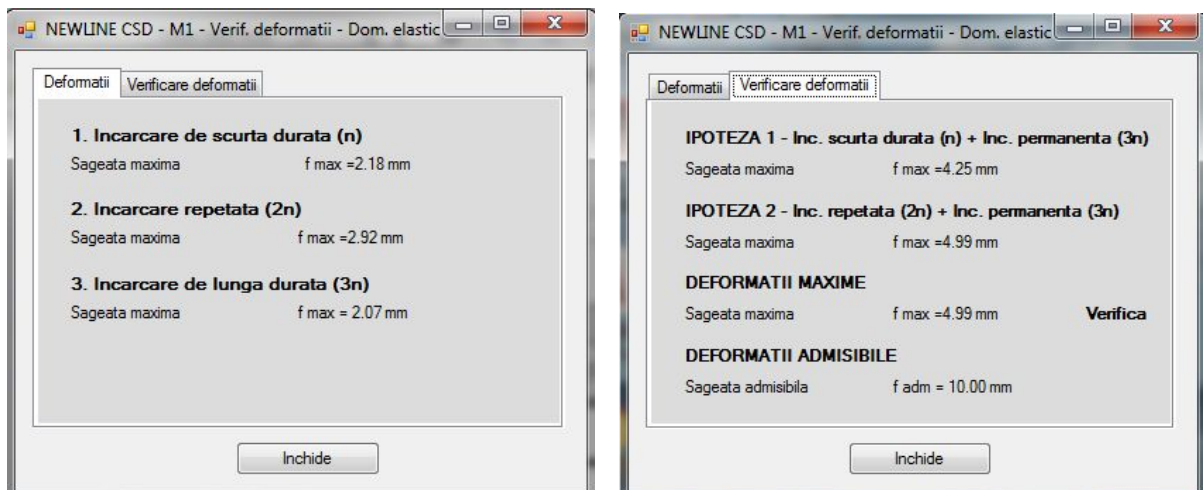


Fig. 4.2.-22. Calculul și verificarea deformațiilor – Dom. Elastic

Pentru fiecare tip de beton și oțel ales sunt date eforturile unitare admisibile care sunt comparate cu eforturile calculate urmând să atenționeze utilizatorul asupra cazului în care eforturile calculate nu verifică. La fel se procedează și la calculul săgeților. Atenționarea se face printr-un mesaj ce apare în fereastra de afișare a rezultatelor în dreptul fiecărui efort unitar verificat.

Programul calculează momentul de încovoiere în starea limită ultimă și îl compară cu momentul încovoietor plastic capabil. Pentru stabilirea stării ultime de rezistență a secțiunii transversale, se vor lua în considerare numai momentele încovoietoare din încărcarea permanentă respectiv încărcarea din convoi.

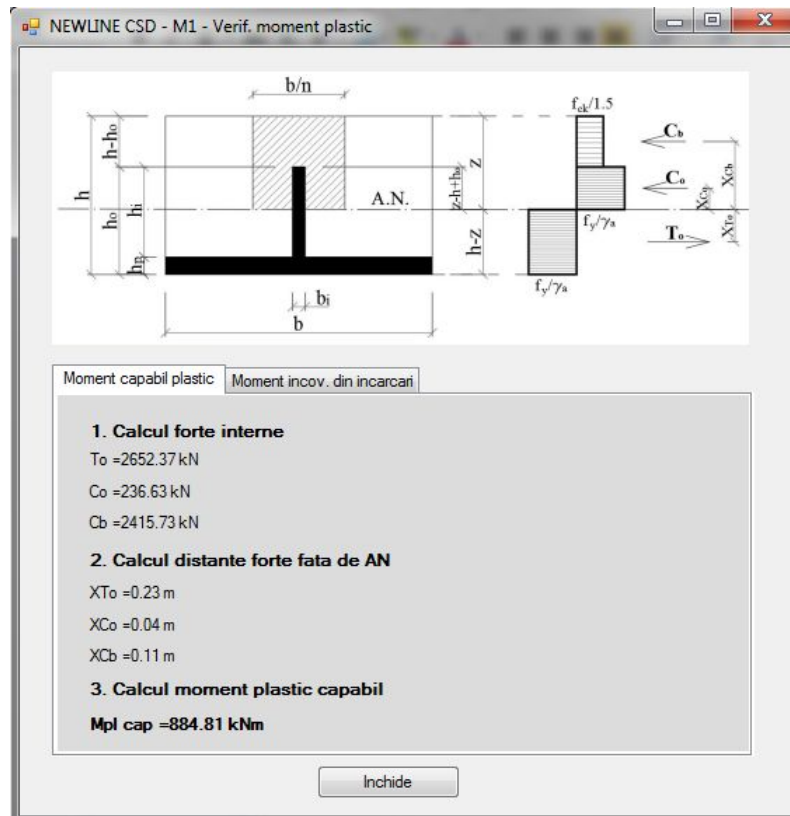


Fig. 4.2.-23. Calculul momentului capabil plastic

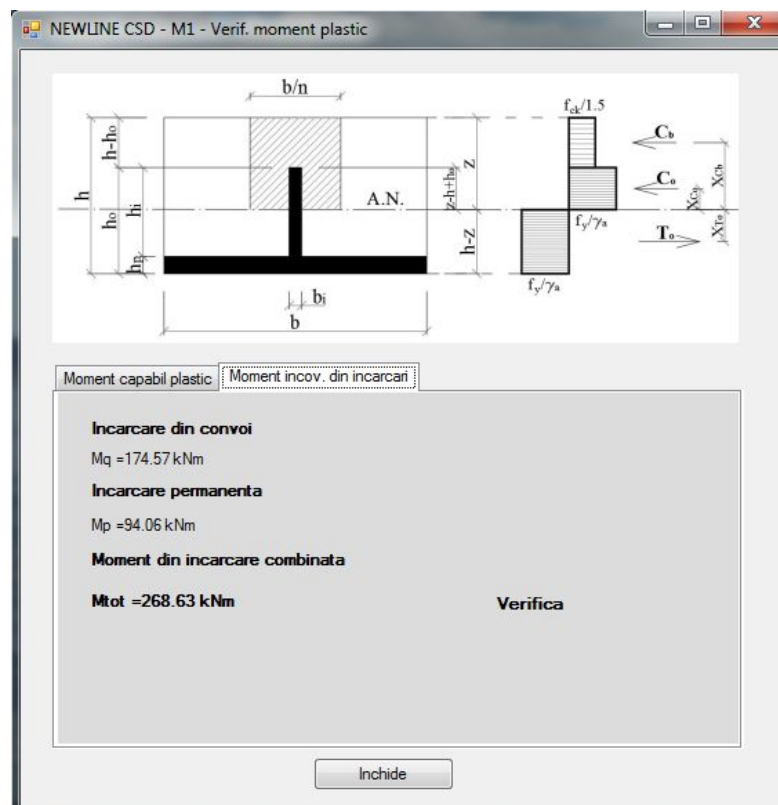


Fig. 4.2.-24. Calculul și verificarea momentului de încovoiere în starea limită ultimă

Calculul conectorilor se efectuează în baza forțelor de lunecare pentru toate cazurile de încărcare în zona reazemului respectiv în mijlocul deschiderii. Forța de lunecare totală reprezintă valoarea maximă a combinațiilor de încărcare posibile. Programul calculează automat valoarea rezistenței acestui conector la lunecare.

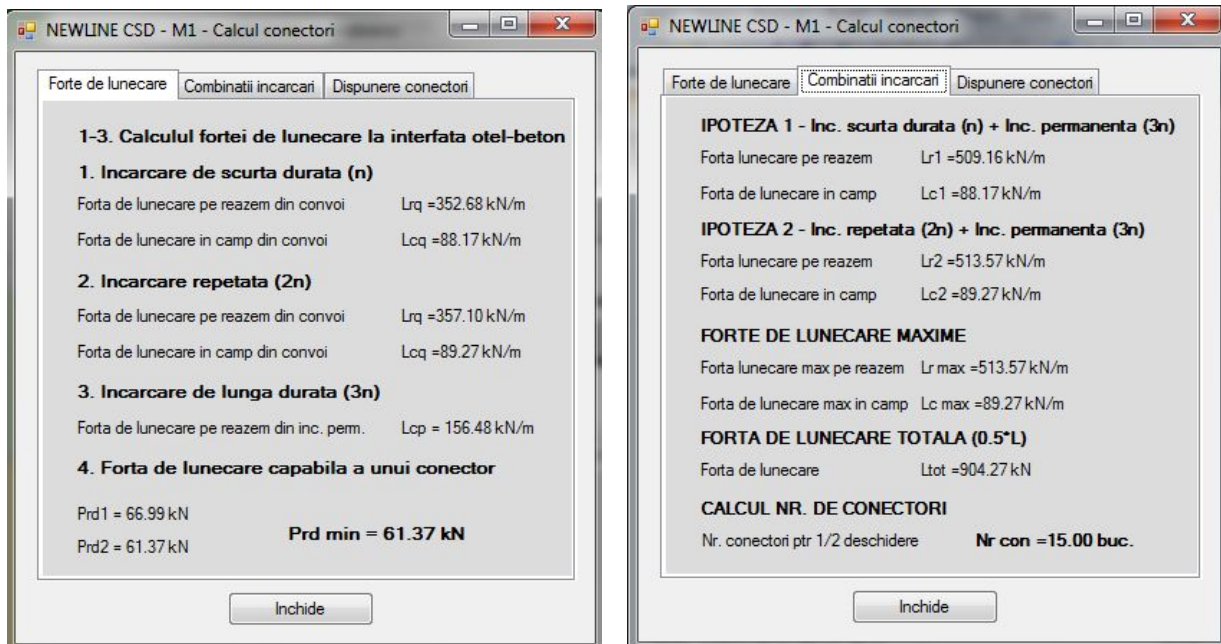


Fig.4.2.-25. Calculul forței de lunecare și a necesarului de conectori

După aflarea numărului de conectori necesar a se amplasa pe o jumătate de deschidere a podului, programul calculează numărul de rânduri pe care se dispun conectorii și distanțele de dispunere a acestora.

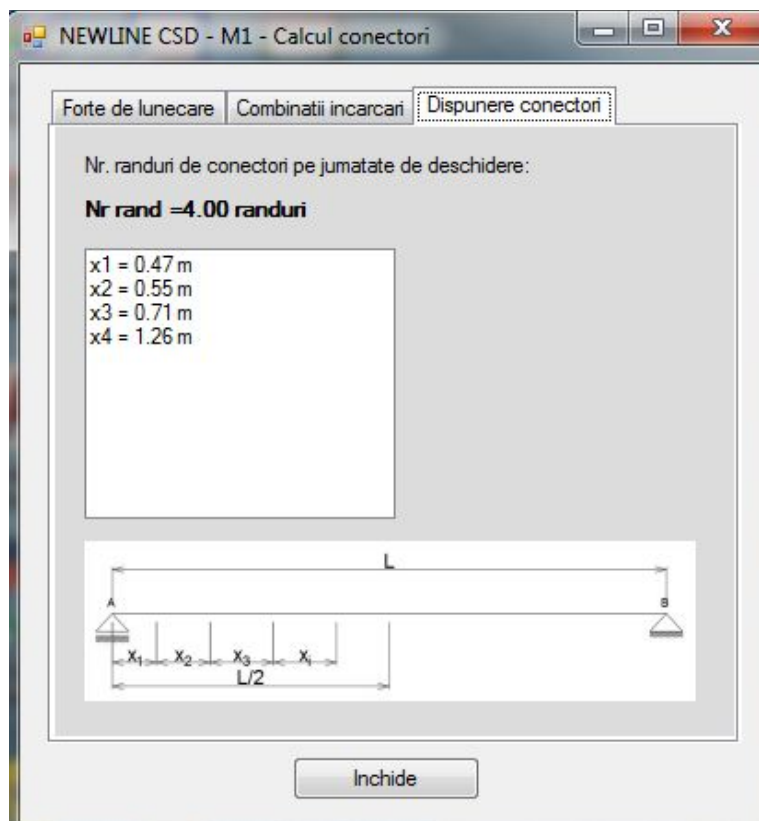


Fig. 4.2.-26. Calculul numărului de rânduri de conectori și a distanțelor de dipunere

Pentru o mai eficientă utilizare a programului NEWLINE CSD precum și salvarea rezultatelor acestuia, a fost creată posibilitatea de tipărire a rezultatelor sub forma unui breviar de calcul, ceea ce confera o mai mare autenticitate rezultatelor obținute, așa cum se va vedea și în anexa prezentată la sfârșitul acestei lucrări.



### 4.3. Concluzii referitoare la programul NEWLINE CSD

S-a considerat utilă, oportună și binevenită realizarea acestui program de calcul a podurilor cu structură mixtă oțel - beton, având în vedere creșterea și dezvoltarea construcțiilor în ultimii ani. Într-o astfel de conjunctură, apare necesitatea dezvoltării și aprofundării noilor metode de calcul în cadrul Facultății de Construcții, secția Căi Ferate, Drumuri și Poduri.

În cadrul programului NEWLINE CSD pentru a ușura legătura utilizator-calculator, cu ajutorul Microsoft Visual Basic s-a realizat o interfață prietenoasă printr-o succesiune de casete de dialog pentru fiecare parte a programului: introducerea datelor, afișarea, salvarea și tipărirea rezultatelor.

Modul de programare elaborat reprezintă o abordare diferită de celelalte programe de calcul, fiind orientat în principal pe o prezentare cât mai simplă pentru utilizator. Aceste caracteristici fac ca programul să fie util atât în domeniul educațional precum și în proiectare, fiind evident avantajul datorat faptului că nu este necesară studiarea unei documentații suplimentare. Astfel, studiul unui număr mare de soluții nu presupune un consum mare de timp și nici nu implică calcule din partea utilizatorului.

Procesând formulele matematice caracteristice calculului structurilor prezentate, programul oferă ideii de proiectare un grad ridicat de generalitate, el putând fi folosit cu succes atât în limitele STAS-urilor cât și a cerințelor noi de proiectare impuse de Eurocod.

În viitor se dorește dezvoltarea programului NEWLINE CSD prin realizarea și a altor module de calcul precum și a unei opțiuni de editare a părților desenate. Acest lucru va permite calculul automat a datelor referitoare la structurile mixte, elaborarea planurilor desenate, astfel încât programul NEWLINE CSD să fie o variantă flexibilă, fiabilă și nu în ultimul rând foarte ușor de utilizat în comparație cu programele deja existente.

Modulele realizate până în acest moment și-au găsit utilitatea atât în proiecte de firmă cât și în plan educațional. În viitor se dorește testarea lui riguroasă în diferite situații de calcul.

## 5. Studiu de caz: Analiza statică și modală experimentală (dinamică) a unei dale mixte oțel – beton

### 5.1. Introducere

Urmărirea comportării în timp a structurilor de poduri de cale ferată este o problemă ce preocupă tot mai mult Diviziile de Întreținere Linii din cadrul Regionalelor de Cale Ferată. Informațiile culese din teren sunt de o importanță vitală în deciziile pe care aceste organisme trebuie să le adopte în ceea ce privește intervențiile necesare a se efectua pentru menținerea siguranței circulației pe aceste structuri.

La momentul actual au fost demarate o serie de lucrări de reabilitare de cale ferată, așa cum am arătat în capitolul 2 a prezentei lucrări, dar multe magistrale încă sunt în faza de studiu de fezabilitate.

Pe Linia 300 București – Oradea, firul I de circulație CF, au fost construite în anul 1997 patru structuri tip dală mixtă oțel-beton la care structura metalică este alcătuită din platbenzi:

- Km 549+750
- Km 550+000
- Km 550+400
- Km 552+000

Cu toate că aceste structuri sunt relativ noi și nu și-au depășit perioada de serviciu pentru care au fost proiectate, împreună cu Secția nr. 3 de Întreținere Linii CF din cadrul Regionalei CF Cluj, am întreprins o acțiune de monitorizare a acestor structuri în vederea culegerii de informații în ceea ce privește comportarea atât sub sarcină statică cât și dinamică a acestor structuri.

### 5.2. Descrierea dalei mixte folosite în studiul de caz

Structura folosită în studiul de caz este situată pe Linia de cale ferată 300 Cluj-Napoca – Oradea, firul I de circulație CF, între stațiile Stana și Huedin la km 550+000.



Fig. 5.2.-1. Podet dalat structură mixtă oțel-beton  
L.C.F. 300 Cluj-Napoca – Oradea, km 550+000





Soluția constructivă a acestei dale cu conlucrare oțel beton consta în execuția a două semidale (elemente prefabricate) care se assemblează prin șuruburi de înaltă rezistență și apoi se monolitizează cu beton B400 (C35/45).

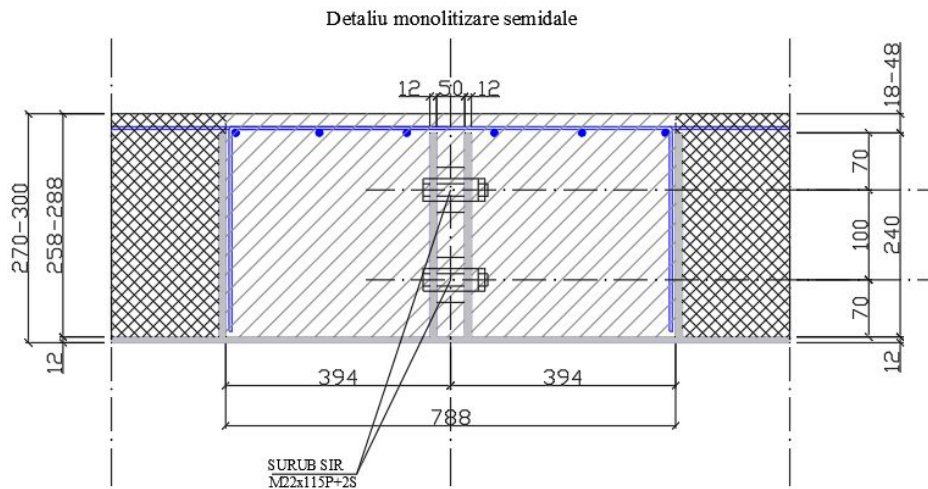


Fig. 5.2.-6. Detaliu monolitizare [5]

În acest sens, ultima rigidizare este prevăzută cu găuri de diametru de 23mm pentru prinderea cu șuruburi. În cazul de față, execuția pe firul II de circulație nu s-a mai întâmplat, astfel este vizibilă și acum rigidizarea de capăt a structurii. Timpanul din această parte a structurii, cu rol de a reține prismul de piatră spartă a fost realizată printr-o metodă provizorie cu o grindă de lemn.



Fig. 5.2.-7. Zona marginală a semidalei de pe Fir I CF

De aceste rigidizări sunt prinse elemente tip cornier cu rol de împiedicare a lunecării la interfața oțel beton (conectori). Cornierele folosite sunt de tip 70x70x7 și 40x40x5.

Secțiunea transversală a semidalei, respectiv detaliile de armare ale prefabricatului pot fi observate în figura 5.2.-8.

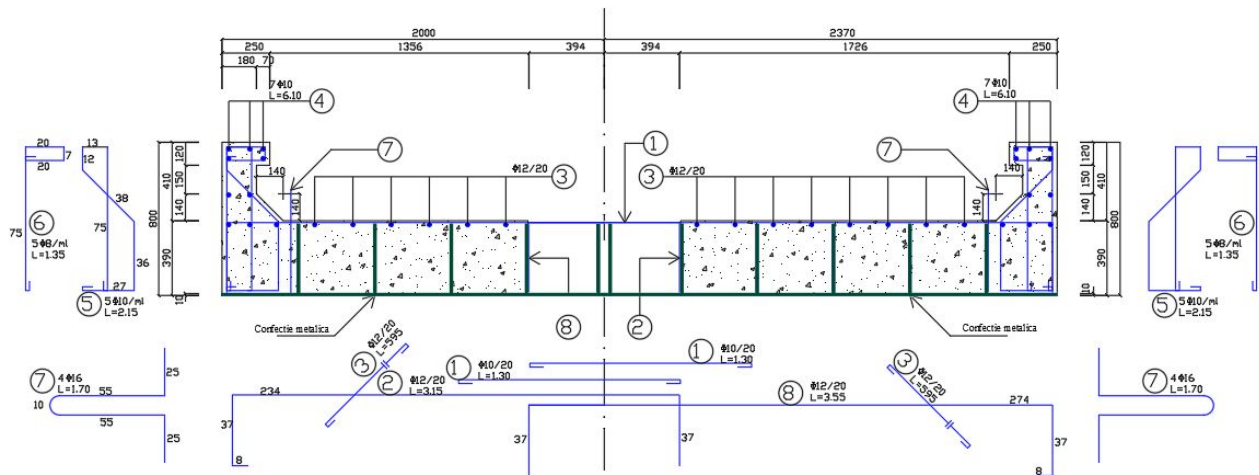


Fig. 5.2.-7. Zona marginală a semidalei de pe Fir I CF [5]

### 5.3. Analiza statică a dalei

Analiza statică a dalei a constat în încărcarea structurii cu o locomotivă LDH tip 80, măsurarea deformațiilor dalei la mijlocul deschiderii și compararea datelor măsurate cu cele rezultate din calcul cu programul NEWLINE CSD.

#### 5.3.1. Măsurarea deformațiilor

Măsurarea deformațiilor s-a realizat cu o stație totală LEICA tip 700 TPS Automated Series, cu distanță minimă de măsurare de 1,5m și precizie de citire a datelor de 1mm. [25]. Stația a fost instalată în albia podului la aprox. 4 m distanță de punctele de măsurat.



Fig. 5.3.1.-1. Stație totală LEICA TPS 700

Locomotiva LDH tip 80 a fost pusă la dispoziție de Secția L3 de Întreținere CF din cadrul Regionalei de Cale Ferată Cluj. Încercarea a avut loc în data de 16.09.2016, dată la care firul I de circulație CF, pe care se află structura încercată, se afla sub închidere de trafic.

Locomotiva prezintă următoarele caracteristici (date preluate din cartea tehnică):

- Greutate totală: 70 to.
- Număr osii: 4
- Distanța dintre axele boghiurilor: 9700 mm
- Ampatamentul unui boghiu: 2500 mm
- Sarcina maximă pe osie:  $17,5 \pm 3\%$  to sau  $171,62 \pm 3\%$  kN



Fig. 5.3.1.-2. Locomotiva LDH 80

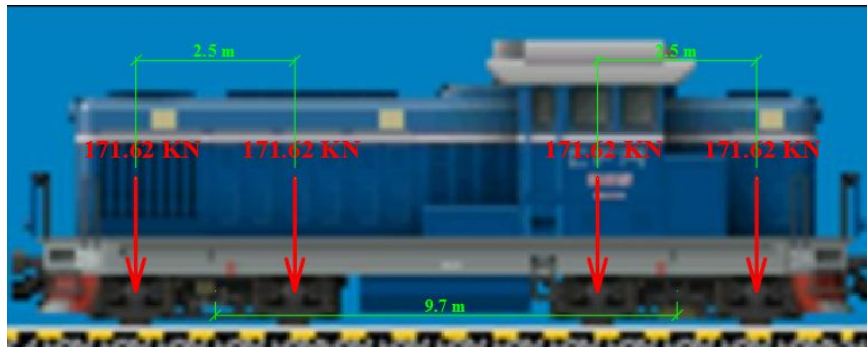


Fig. 5.3.1.-3. Distribuția sarcinilor pe osie pentru locomotiva LDH 80

Pentru măsurarea deformațiilor sub încărcare s-au ales trei puncte în mijlocul deschiderii dalei astfel:

- Pct. 1 – sub primul fir de șină
- Pct. 2 – mijlocul dalei în secțiune transversală
- Pct. 3 – sub al doilea fir de șină

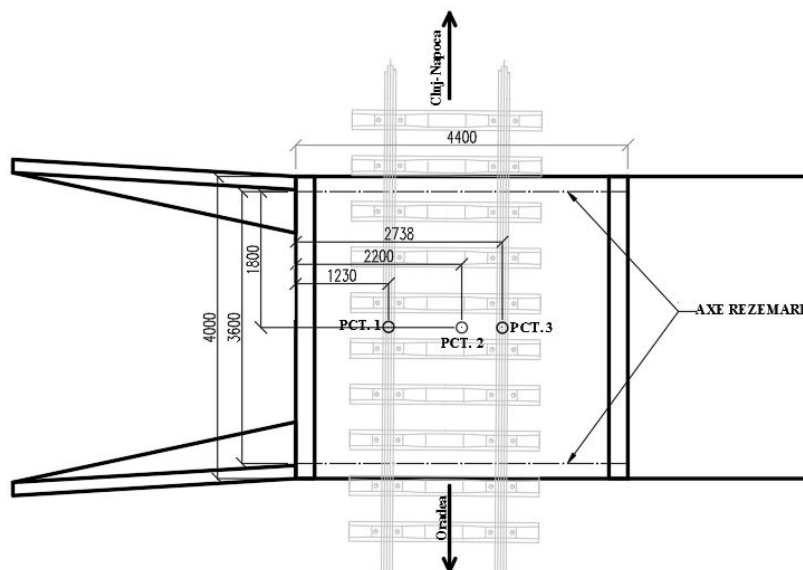


Fig. 5.3.1.-4. Alegerea punctelor de măsurare a deformațiilor

Au fost efectuate măsurători pe dala neîncărcată, după care locomotiva a fost poziționată pe dală astfel încât una dintre boghiuri să încarce dala în ipoteza cea mai defavorabilă și s-au măsurat din nou cele trei puncte. După descărcarea structurii, au fost măsurate din nou cele trei puncte. Rezultatele măsurătorilor se pot observa în Tabelul 5.3.1.-1.



Fig. 5.3.1.-5. Încărcarea structurii și măsurarea punctelor

Tabel 5.3.1.-1.

Rezultatele măsurătorilor au fost următoarele:	PCT 1	PCT 2	PCT 3
Structură neîncărcată	549.916	549.913	549.914
Structură încărcată	549.915	549.912	549.913
Structură descărcată	549.916	549.913	549.914

Măsurătorile evidențiază faptul că structura, sub încărcarea unui boghiu cu sarcini pe osie de câte 171.62 kN dispuse în ipoteza cea mai defavorabilă a încărcării, prezintă o deformație verticală pe mijlocul deschiderii (în toate cele trei puncte) de până la 1 mm și nu prezintă deformație remanentă după îndepărtarea încărcării.

### 5.3.2. Model dimensionat cu programul NEWLINE CSD

Din datele culese pe teren, respectiv consultând documentația pusă la dispoziție de Secția L3 de Întreținere Linii CF Cluj, s-a urmărit crearea unui model de calcul a podului folosind programul NEWLINE CSD. Scopul a fost acela de a obține valorile deformațiilor sub încărcarea cu sarcina unui boghiu al locomotivei LDH 80, pentru fi comparate cu cele măsurate în teren și apoi studierea eforturilor ce iau naștere în dală sub această încărcare.

Deoarece programul NEWLINE CSD este conceput a calcula eforturile și deformațiile produse de încărcarea cu convoi P10 și P10 alternativ definit de STAS 3220-89 „Poduri de cale ferată. Convoaie tip”, cât și cele produse de modelele de încărcări prevăzute de SR EN 1991-2. Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri”, a fost nevoie de un artificiu de dimensionare pentru a lua în considerare încărcările produse de locomotiva LDH 80, respectiv s-a ținut seama și de faptul că această încărcare este una statică și nu dinamică. Din acest considerent s-a echivalat încărcarea produsă de o osie a locomotivei LDH 80 cu o încărcare uniform distribuită pe toată deschiderea dalei, încărcare care s-a adăugat la încărcarea permanentă a dalei. Valoarea acestei încărcări echivalente uniform distribuite este de 95,34 kN/m.

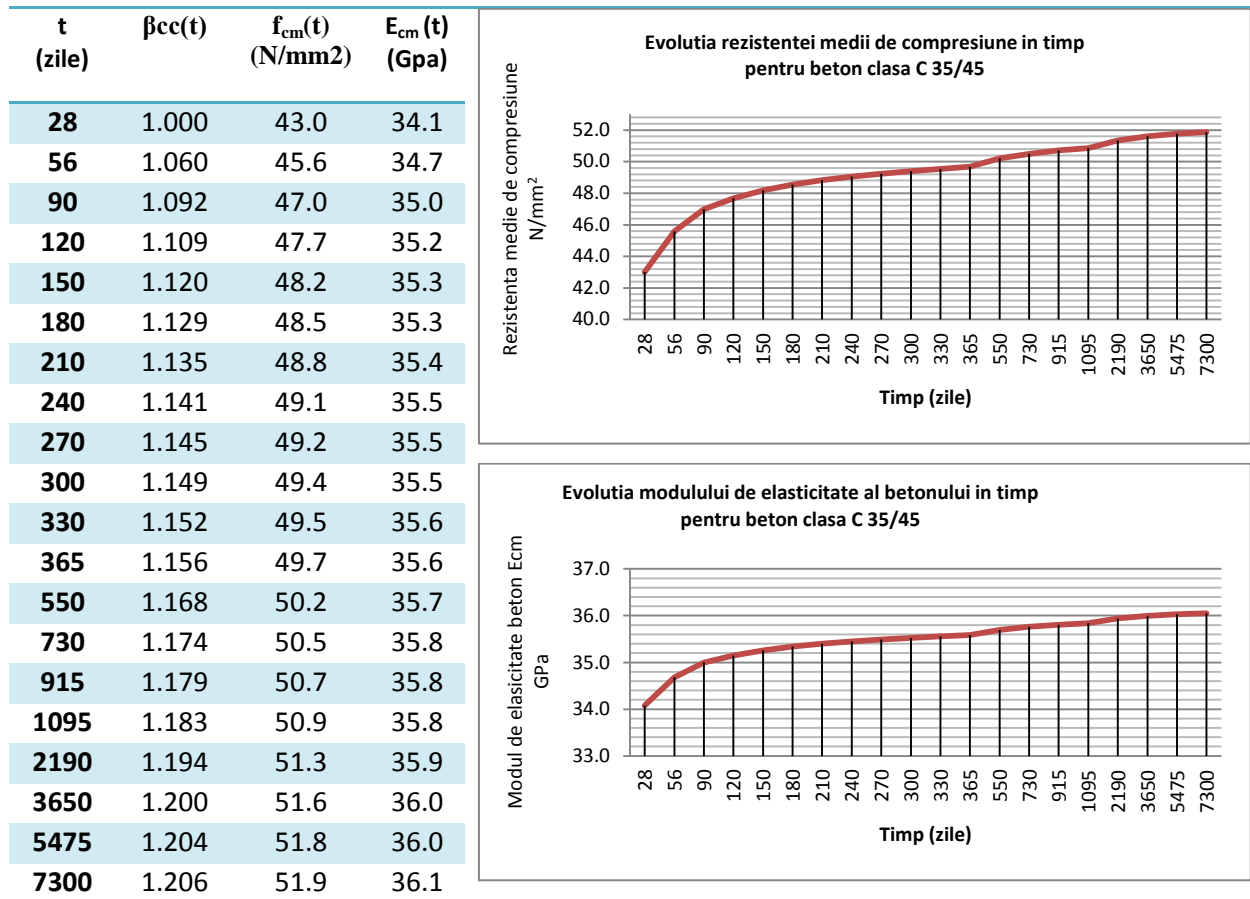
Confecția metalică a podului este realizată din oțel tip OL37-4K, care în conformitate cu STAS 500/2-80 – Oțeluri de uz general pentru construcții – Mărci, are limita de curgere pentru



elemente cu grosimi mai mici de 16 mm de  $240 \text{ N/mm}^2$ . Așadar, din punctul de vedere al limitei de curgere, poate fi asimilat cu un oțel de clasă S235.

Betonul este prevăzut în documentele de execuție a dalei cu o clasă de rezistență BC30 (B400) echivalent cu actualul C 35/45. Având în vedere că rezistențele medii la compresiune ale betonului și implicit modulul de elasticitate cresc în timp, am efectuat o analiză a acestei creșteri pentru perioada de 20 de ani ce a trecut de la construcția dalei. În tabelul nr. 5.3.2.-1. se pot observa rezultatele acestei analize:

Tabel. 5.3.2.-1.



Așadar, la momentul actual, betonul teoretic ar trebui să prezinte o rezistență medie la compresiune de  $51.9 \text{ N/mm}^2$ , ceea ce ar corespunde unei rezistențe caracteristice a betonului pe cilindrii (rezistența de proiectare) de  $43,9 \text{ N/mm}^2$ . Din acest considerent, în dimensionarea structurii cu ajutorul programului NEWLINE CSD, se va alege o clasă de beton C40/50.

Dimensiunile geometrice introduse în modulul de dimensionare a programului NEWLINE CSD au fost următoarele:

- Deschidere de calcul: 3,60m
- Înălțime de calcul: 0,30 m
- Înălțime structură metalică: 0,25 m
- Grosime platbandă orizontală și inimă (rigidizare curentă): 12 mm
- Număr rigidizări: 9 buc.
- Lățime timpan: 0,27 m
- Grosime strat piatră spartă sub traversă: 0,35 m
- Grosime hidroizolație: 5 mm
- Grosime protecție hidroizolație: 4 cm

Ferestrele de dimensionare a structurii dalei măsurate de la km 550+000 se pot observa în cele ce urmează:

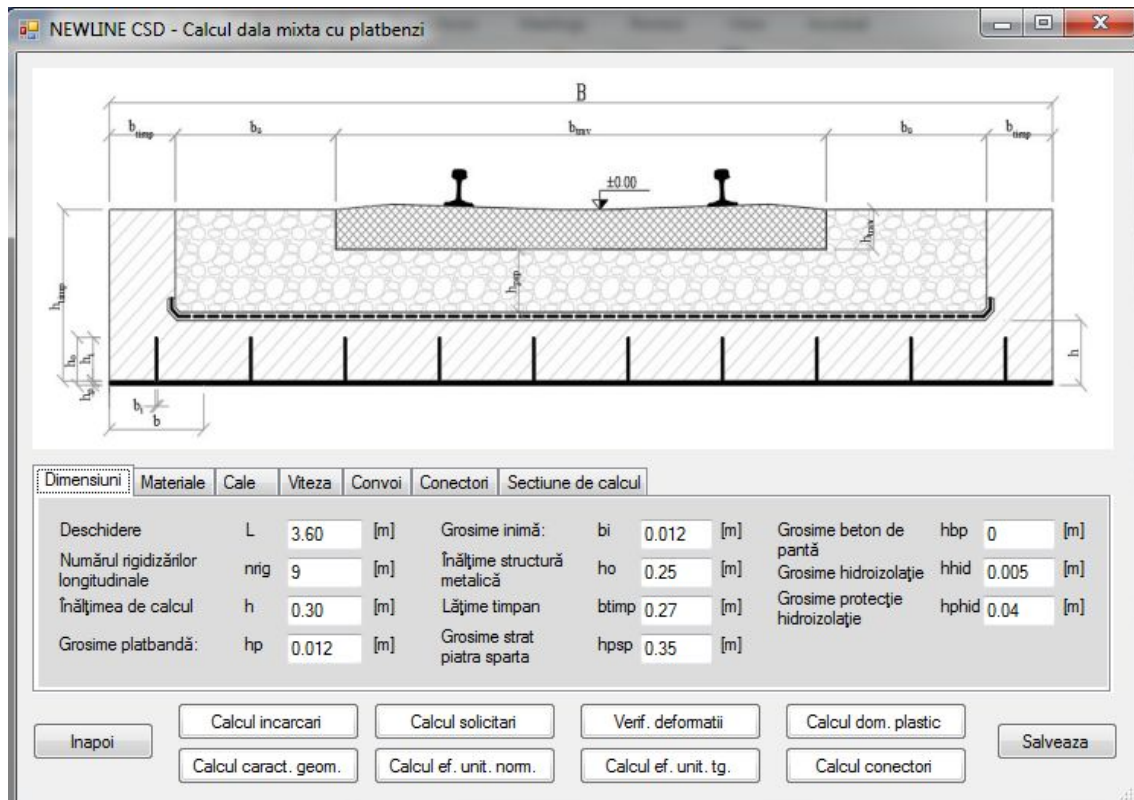


Fig. 5.3.2.-1. Dimensionare dală mixtă km 550+000 LCF 300 Cluj-Oradea – dimensiuni geometrice

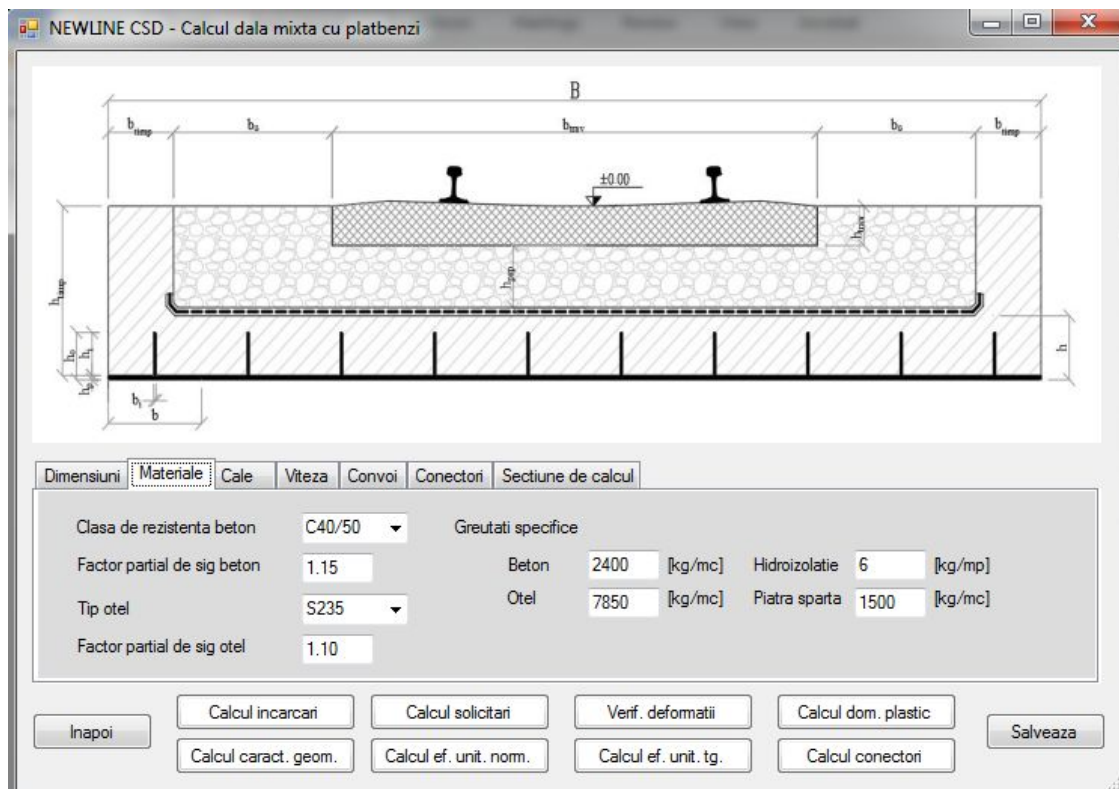


Fig. 5.3.2.-2. Dimensionare dală mixtă km 550+000 LCF 300 Cluj-Oradea – caracteristici materiale

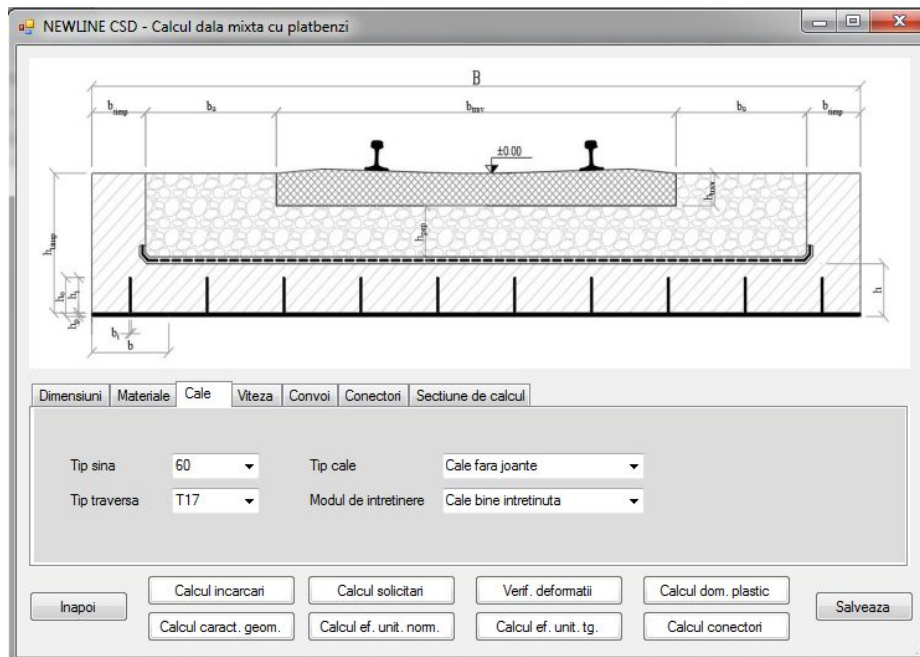


Fig. 5.3.2.-3. Dimensionare dală mixtă km 550+000 LCF 300 Cluj-Oradea – caracteristici cale

Modificând programul de calcul astfel încât încărcarea produsă de locomotiva LDH să fie adăugată la încărcarea permanentă a structurii, rezultatele au fost următoarele:

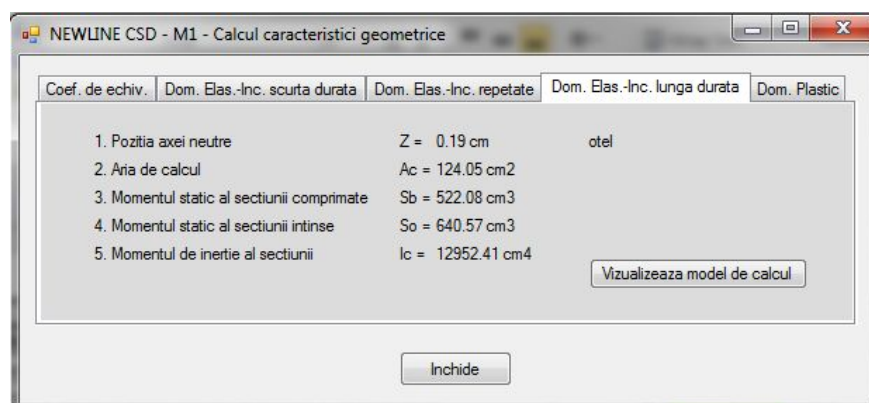


Fig. 5.3.2.-4. Calcul dală mixtă km 550+000 LCF 300 Cluj-Oradea – caracteristici geometrice

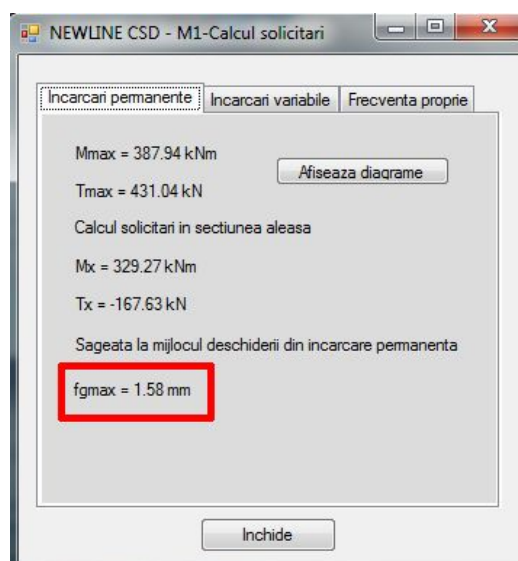


Fig. 5.3.2.-5. Calcul dală mixtă km 550+000 LCF 300 Cluj-Oradea – Solicitări din încărcări

Așadar săgeata maximă calculată sub încărcarea din greutatea proprie la care s-a adăugat încărcarea din locomotiva LDH 80 este de 1,58 mm, comparabilă cu valoarea de 1,00 mm măsurată în teren.

#### 5.4. Analiza modală experimentală

Analiza modală experimentală prezintă o serie largă de aplicații în ramura ingineriei civile:

- Optimizarea proprietăților dinamice ale structurii (masă, rigiditate, amortizare)
- Evaluarea pericolului producerii fenomenului de rezonanță
- Anticiparea comportamentului dinamic
- Determinarea coeficientului de amortizare pentru a fi introdus în modelări EF
- Corelarea modelelor EF cu structura reală
- Detectarea deteriorărilor și evaluarea gradului de uzură
- Monitorizare în timp a structurii [26].

Metoda folosită a fost cea a analizei modale operaționale a dalei și a urmărit culegerea de informații privind comportarea structurii sub acțiunea solicitărilor dinamice produse de traficul feroviar.

##### 5.4.1. Echipament utilizat

Echipamentul ales pentru acest studiu a fost pus la dispoziție de Facultatea de Construcții, Departamentul de Mecanică.

Echipamentul Bruel&Kjaer folosit a fost compus dintr-un sistem de achiziție date Pulse 3560-C conectat la un computer portabil, 3 accelerometre piezoelectrice tip 4507B002 și cabluri de transmisie date.



Fig. 5.4.1.-1. Echipament Bruel&Kjaer [26]

##### 5.4.2. Metoda experimentală

Testarea experimentală a dalei mixte oțel-beton a presupus plasarea celor trei accelerometre la intradosul plăcii metalice a dalei, pe axul ce definește mijlocul deschiderii astfel:

- Input. 1 – sub primul fir de șină
- Input. 2 – mijlocul dalei în secțiune transversală
- Input. 3 – sub al doilea fir de șină

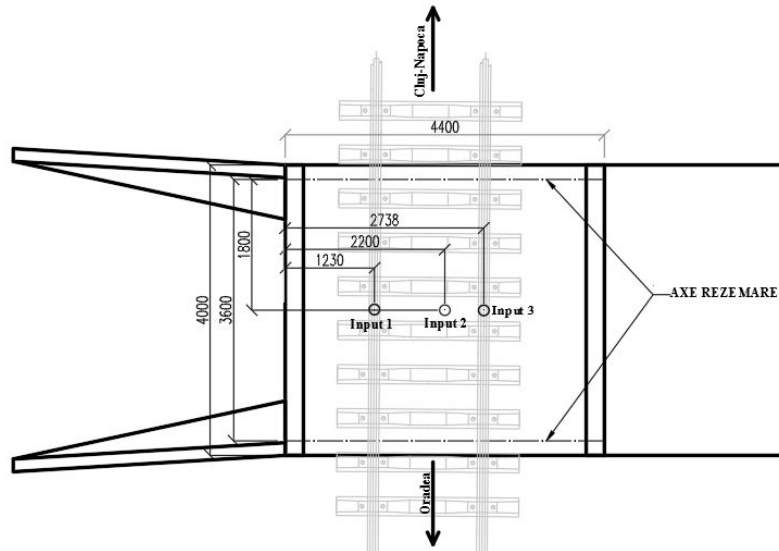


Fig. 5.4.2.-1. Amplasare accelerometre pe indradosul dalei CF km 550+000, L300 Cluj-Napoca-Oradea

Testele au avut loc în două zile consecutive, 10-11 mai 2017 și au început aprox. La ora 10:00 în data de 10.05.2017, respectiv 11:10 în data de 11.05.2017.



Fig. 5.4.2.-2. Echipament măsurare și amplasare accelerometre

S-a urmărit înregistrarea de date pentru un trafic feroviar divers, din acest considerent în cele ce urmează se vor prezenta rezultatele obținute pentru două tipuri de convoaie feroviare:

- tren Desiro SR 20D „Săgeata albastră” – R 3074 Oradea –Cluj, care a trecut peste structura urmărită la ora 10:42 în data de 10.05.2017
- tren clasic compus din locomtivă Diesel și patru vagoane de călători – InterRegio 1834 Timișoara Nord – Iași care a trecut peste structura urmărită la ora 12:00 în data de 11.05.2017.



Fig. 5.4.2.-3. InterRegio 1834 Timișoara Nord – Iași

Datele înregistrate în teren au fost prelucrate cu programul Pulse LabShop și pornind de la accelerațiile înregistrate, s-au determinat vitezele și deplasările punctelor măsurate. Graficele de variație a deplasărilor pot fi observate în figurile de mai jos:

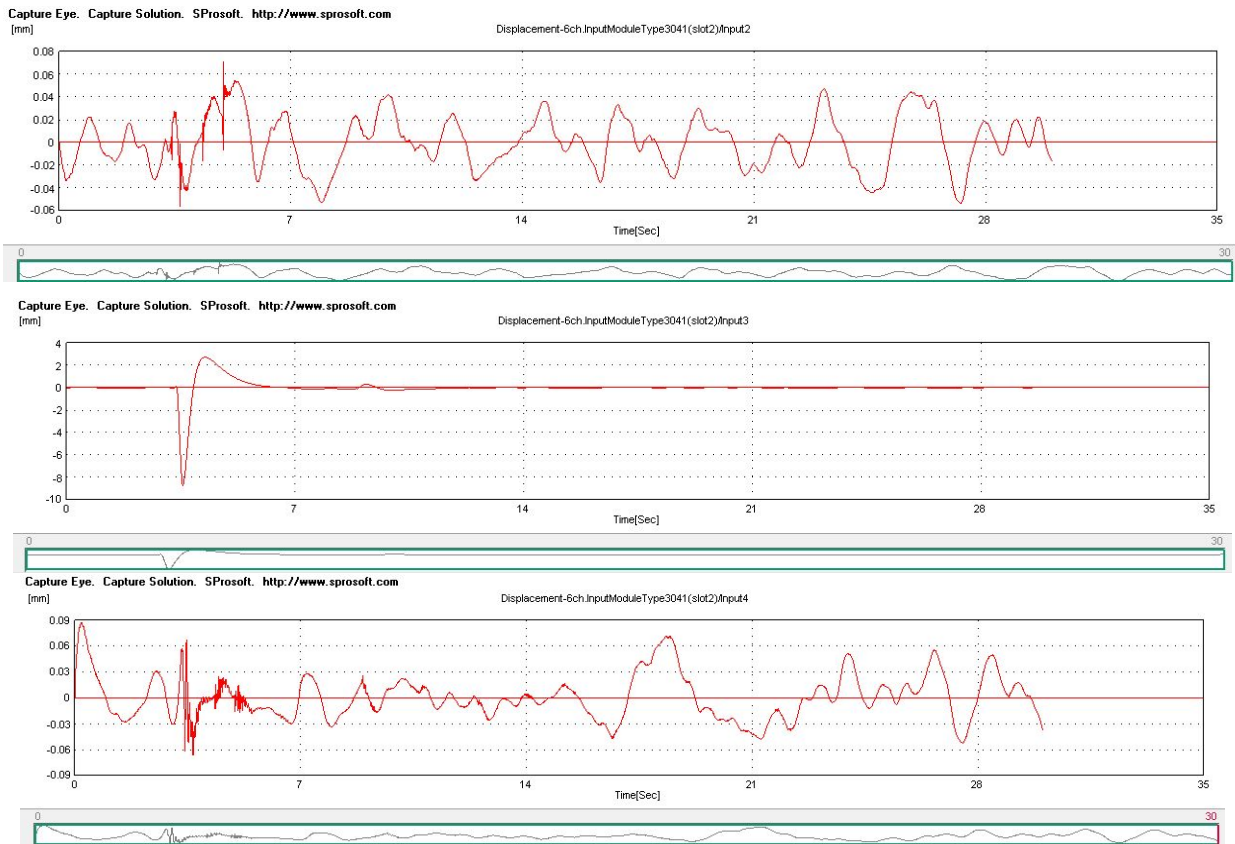


Fig. 5.4.2.-4. Deplasări măsurate în data de 10.05.2017 ora 10:42 - R 3074 Oradea –Cluj

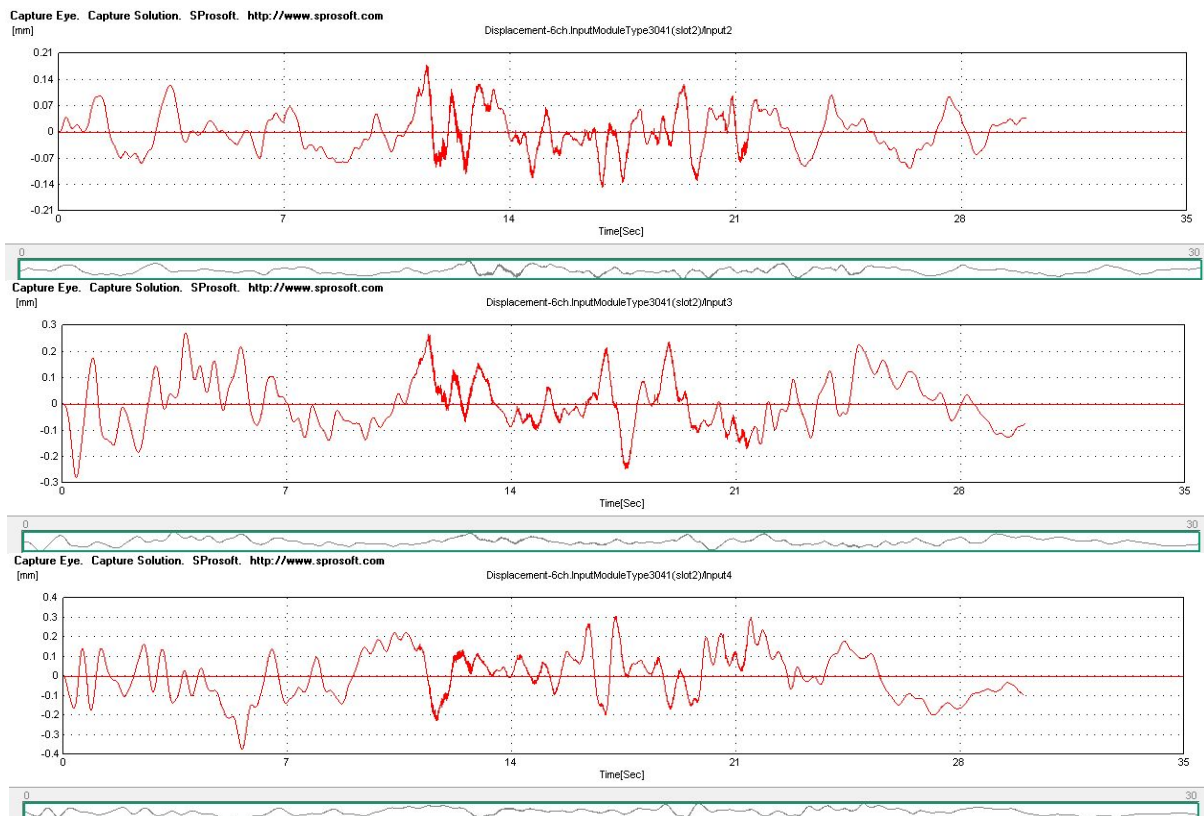


Fig. 5.4.2.-5. Deplasări măsurate în data de 11.05.2017 ora 12:00 - InterRegio 1834 Timișoara Nord

### 5.4.3. Compararea rezultatelor metodei experimentale cu cele rezultate din modelarea cu programul NEWLINE CSD

Modelarea structurii dalei mixte oțel-beton în programul NEWLINE CSD respectă aceleași principii enunțate în capitolul 5.3.2.

Așa cum am amintit anterior, programul este conceput doar pentru încărcările utile P10 și P10 alternativ definit de STAS 3220-89 „Poduri de cale ferată. Convoaie tip”, cât și cele produse de modelele de încărcări prevăzute de SR EN 1991-2. Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri”. Pentru a efectua o comparație în care modelul dimensionat respectiv încărcarea utilă să fie cât mai aproape de cea reală, s-a modificat partea de program ce definește încărcările utile prin introducerea încărcării produse de automotorul Desiro SR 20D – „Săgeata albastră”. Pentru convoiul clasic compus din locomotivă Diesel și patru vagoane de călători se vor compara valorile cu cele obținute din convoi P10 respectiv LM71.

Automotorul Desiro SR 20D – „Săgeata albastră” prezintă următoarele caracteristici:

- Greutate totală: 68.2 to.
- Formula osiilor: B' (2)' B'
- Distanța dintre axele boghiurilor: 16000 mm
- Ampatamentul boghiului motor: 1900 mm
- Ampatamentul boghiului tip Jakobs: 2650 mm
- Sarcina maximă pe osie: 16.00 to sau 157 kN

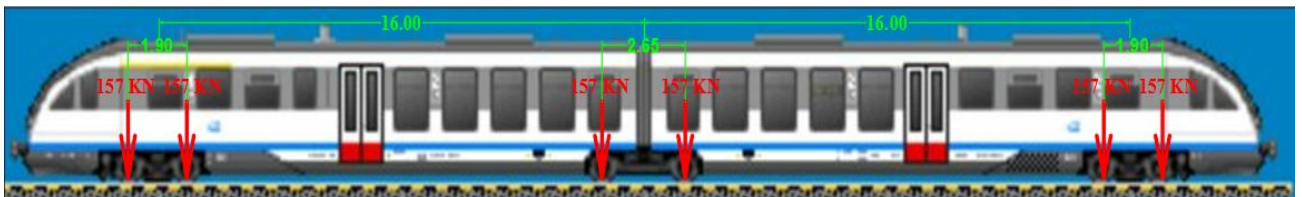


Fig. 5.4.3.-1. Dispunerea osiilor și încărcări pe osii Autotren Desiro SR 20D

Datele de dimensionare a dalei mixte oțel-beton sunt aceleași cu cele prezentate la capitolul 5.3.2. Ceea ce intervine suplimentar ca și dată de intrare este viteza de deplasare pe pod. Aceasta a fost de 40 km/h având în vedere că structura se află în apropierea stației Huedin.

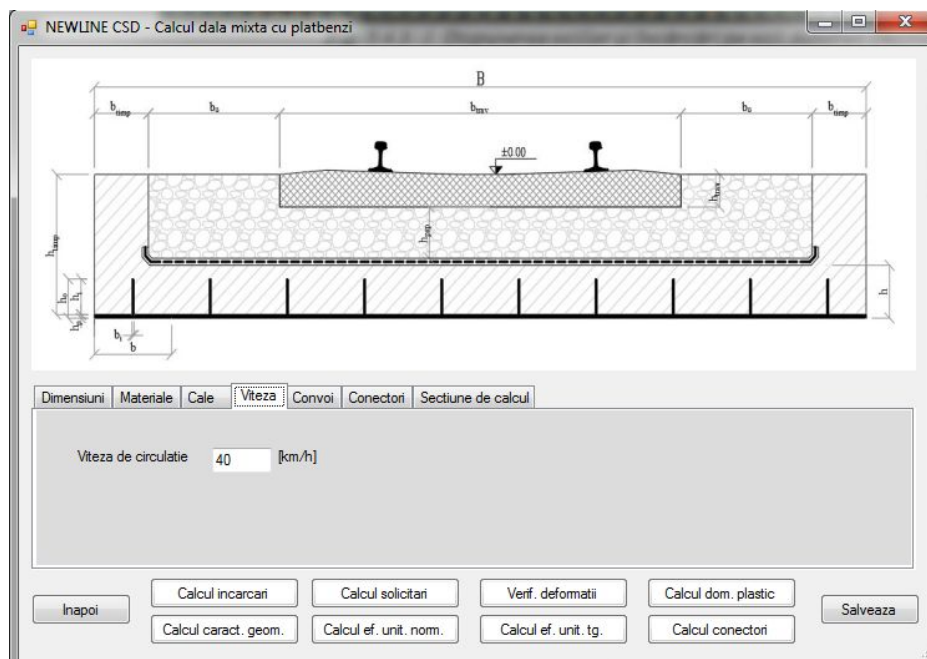


Fig. 5.4.3.-2. Alegerea vitezei de deplasare a automotorului

Modulul nou introdus în program ce permite utilizatorului să aleagă și varianta de încărcare utilă formată dintr-un automotor Desiro SR 20D:

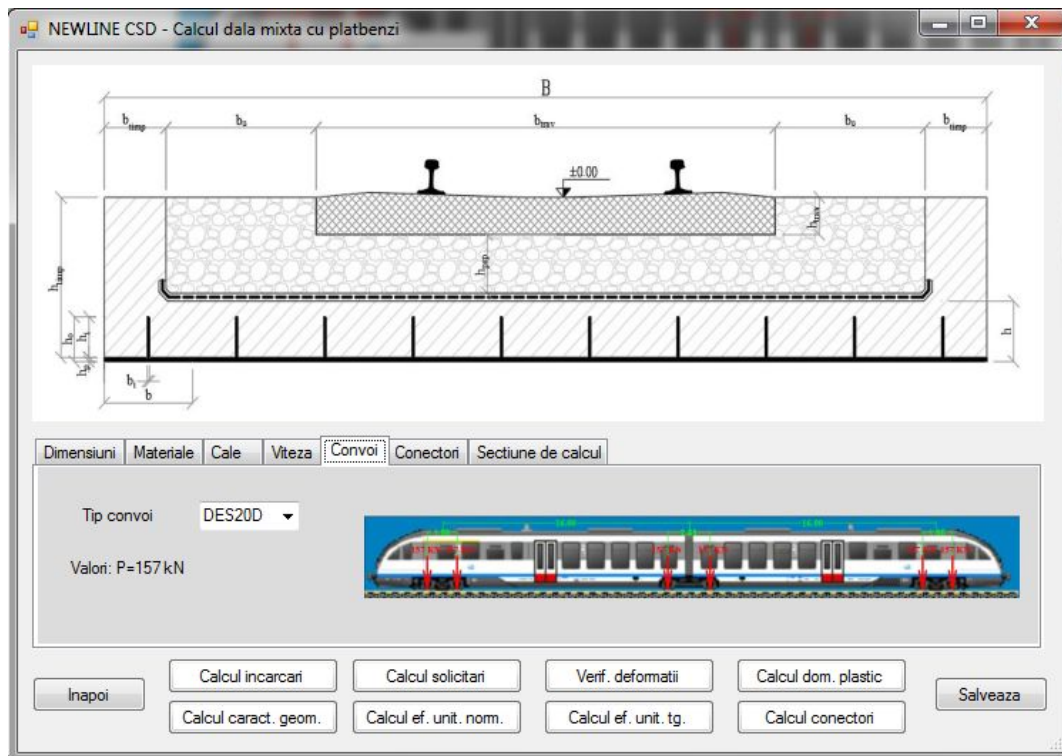


Fig. 5.4.3.-3. Alegerea încărcării utile – Automotor Desiro SR 20D

În cele ce urmează se prezintă rezultatele calculului privind încărcările permanente respectiv utile, caracteristicile geometrice ale secțiunii de calcul, solicitările produse de încărcări, deformațiile structurii (săgeată maximă) atât pentru încărcarea permanentă cât și pentru cea utilă (scurtă durată și repetată) și în cele din urmă calculul și verificarea eforturilor unitare normale în secțiunea cea mai solicitată din beton respectiv oțel.

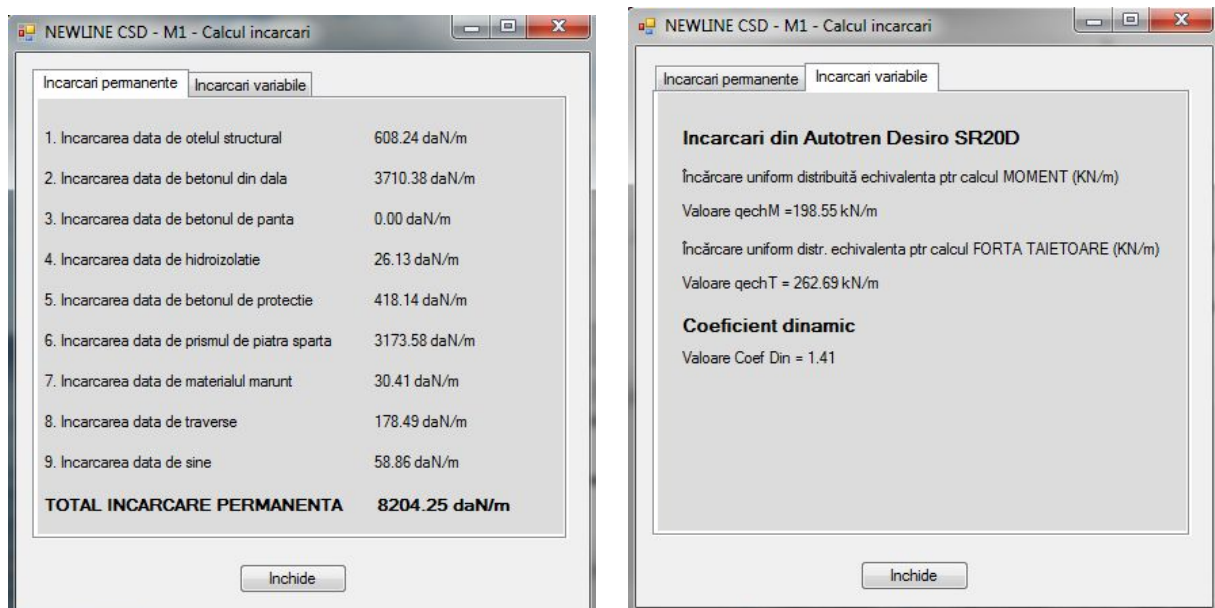


Fig. 5.4.3.-4. Afișarea încărcărilor



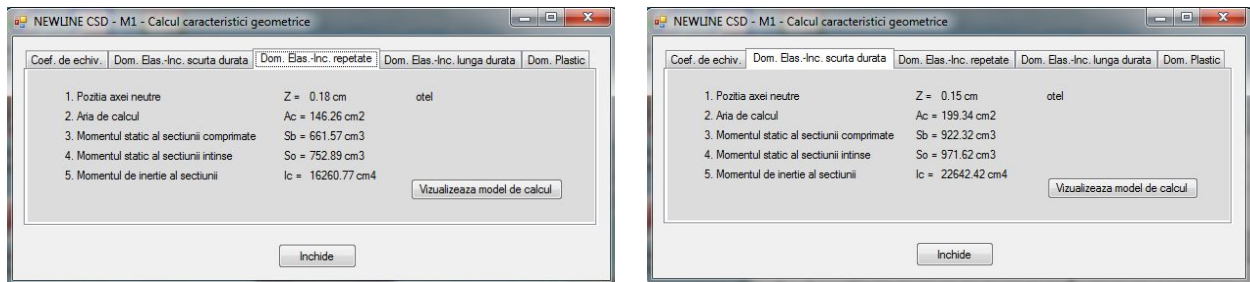


Fig. 5.4.3.-5. Calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunii pentru încărcare utilă

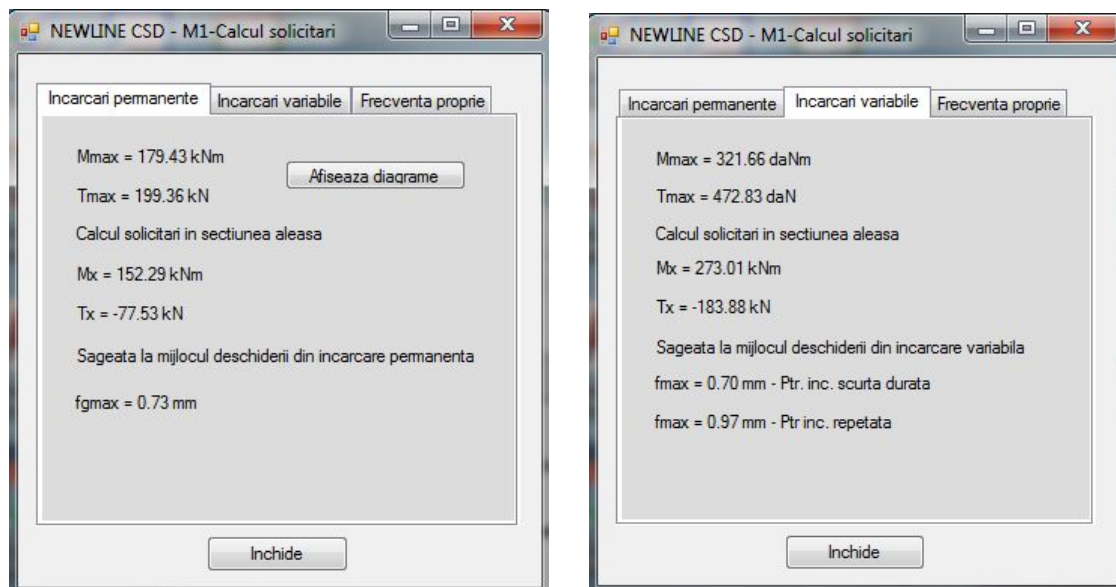


Fig. 5.4.3.-6. Calculul solicitărilor pentru încărcarea permanentă și utilă

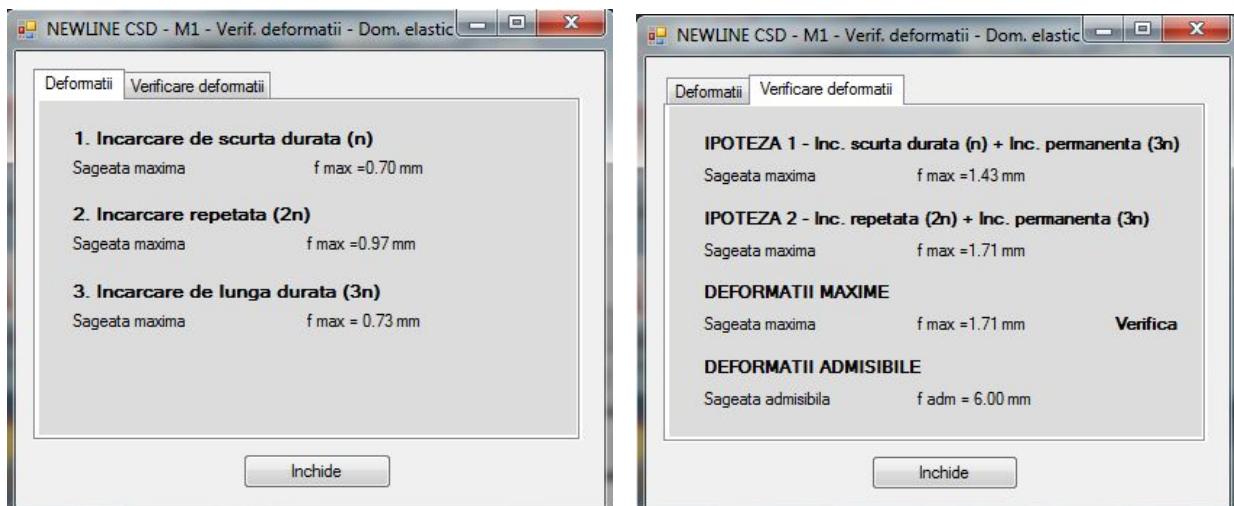


Fig. 5.4.3.-7. Calculul și verificarea deformațiilor – Automotor Desiro SR 20D

După cum se poate observa săgeata maximă calculată din încărcarea permanentă este de 0,73mm iar în cazul încărcării utile aceasta are valoarea de 0,70mm pentru încărcare de scurtă durată, respectiv 0,97mm pentru încărcarea repetată. Aceste valori se compară cu valoarea maximă de 0,09 mm obținută din analiza modală experimentală.

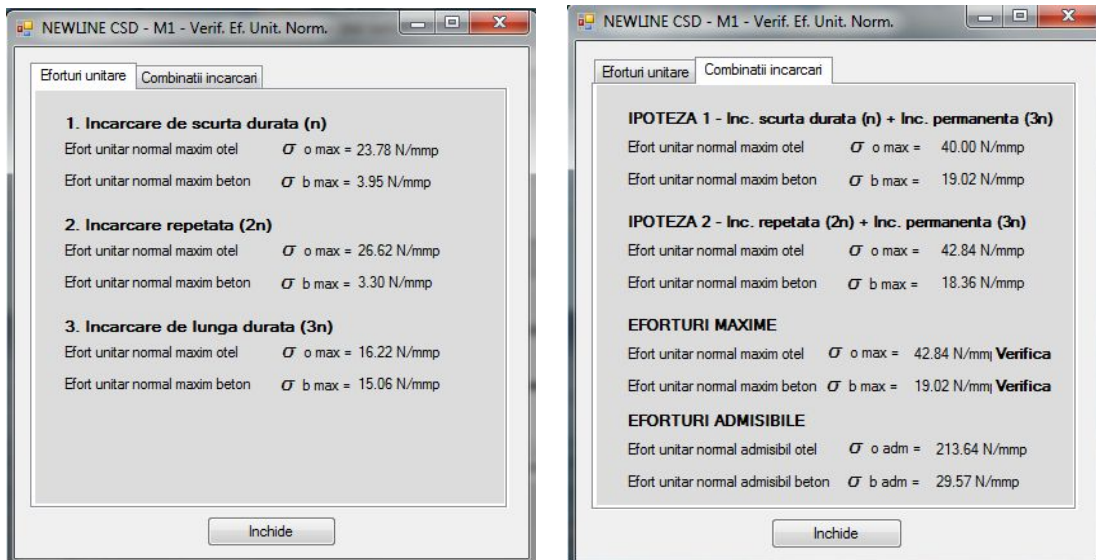


Fig. 5.4.3.-8. Calculul și verificarea eforturilor unitare normale - Automotor Desiro SR 20D

Din analiza rezultatelor obținute prin calcul cu programul Newline CSD, rezultă că eforturile unitare normale produse de încărcarea cu un automotor tip Desiro SR 20D care parcurge structura cu viteza de 40 km/h reprezintă doar 20% din efortul normal admisibil în oțel, respectiv 64% din efortul normal admisibil în beton.

Pentru cazul trenului clasic compus din locomotivă și patru vagoane de călători s-a luat în considerare în modulul de dimensionare al programului NEWLINE CSD un convoi P10 conform STAS 3220-89 „Poduri de cale ferată. Convoaie tip”, convoi care se deplasează cu aceeași viteză de 40 km/h.

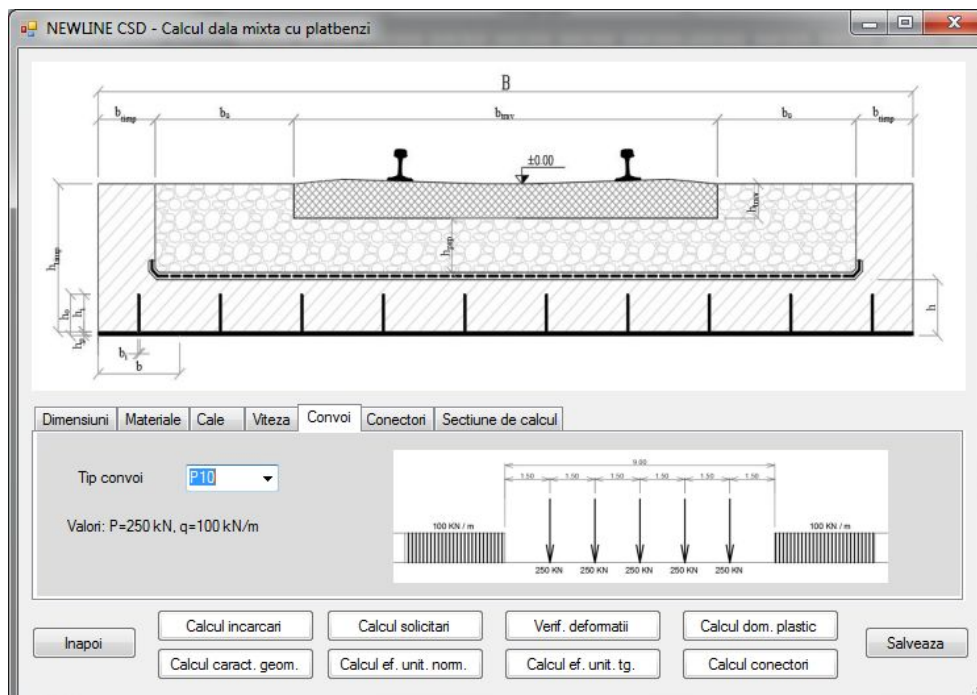


Fig. 5.4.3.-9. Alegerea încărcării utile – Convoi P10

În acest caz, rezultatele privind calculul deformațiilor respectiv a eforturilor unitare normale sunt următoarele:

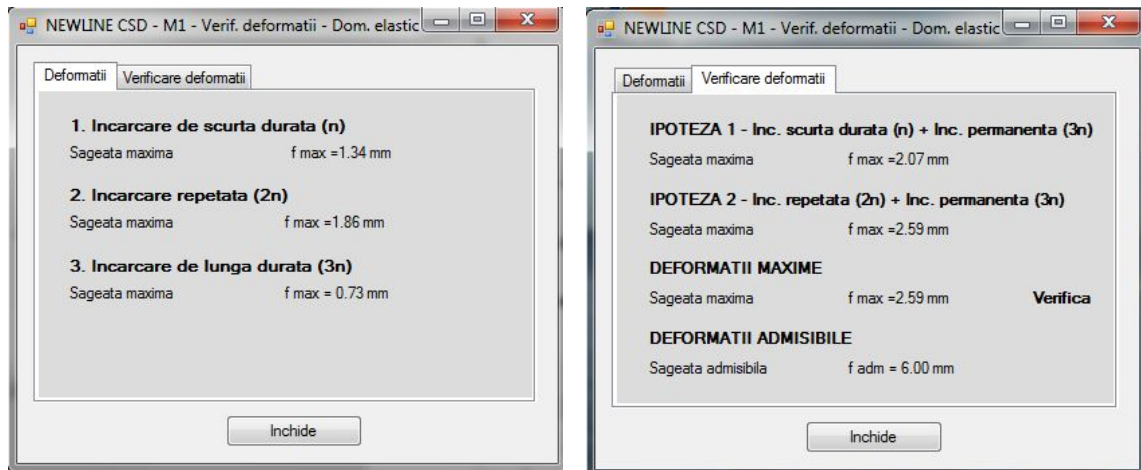


Fig. 5.4.3.-10. Calculul și verificarea deformațiilor – Convoi P10

Așadar pentru un convoi P10 ce tranzitează dala, se poate observa că valoarea săgeții maxime calculată în cazul încărcării utile are valoarea de 1,34 mm pentru încărcare de scurtă durată, respectiv 1,86 mm pentru încărcarea repetată. Aceste valori se compară cu valoarea maximă de 0,30 mm obținută din analiza modală experimentală.

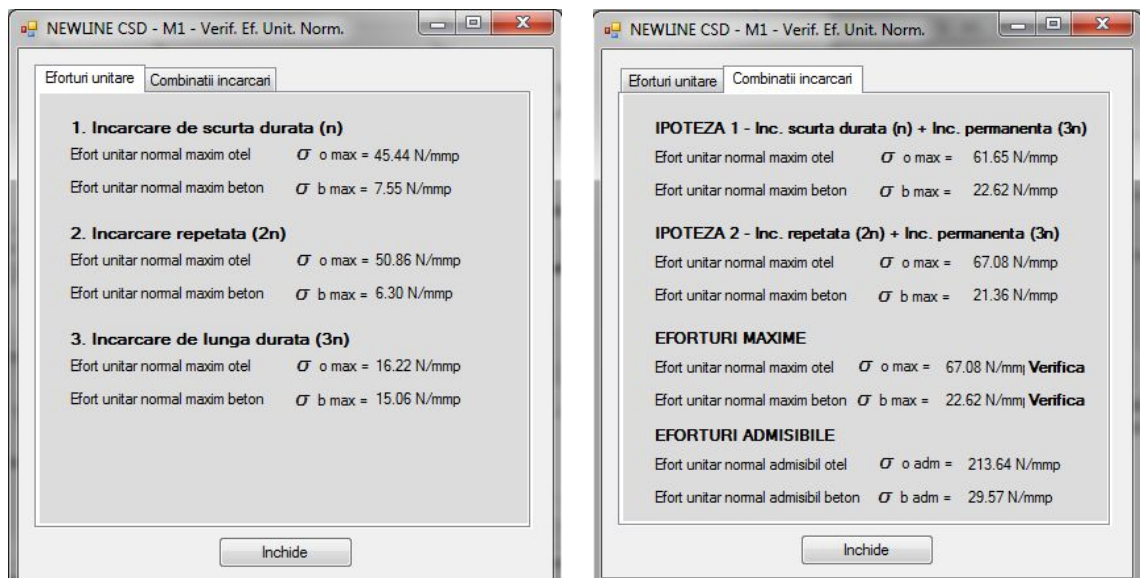


Fig. 5.4.3.-11. Calculul și verificarea eforturilor unitare normale – Convoi P10

După cum se poate observa, eforturile unitare normale produse de încărcarea cu un convoi P10, care parcurge structura cu viteza de 40 km/h, cresc față de cazul anterior, dar totuși reprezintă doar 31,4% din efortul normal admisibil în oțel, respectiv 76,5% din efortul normal admisibil în beton.

La fel putem echivala încărcarea produsă de locomotivă și cele patru vagoane cu un model de încărcare LM71 conform SR EN 1991-2. Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri”. Valoarea vitezei de circulație rămâne 40 km/h, în schimb prin alegerea tipului de cale și a modului de întreținere, programul va calcula coeficientul dinamic diferit, adică ținând cont de prevederile Eurocod.

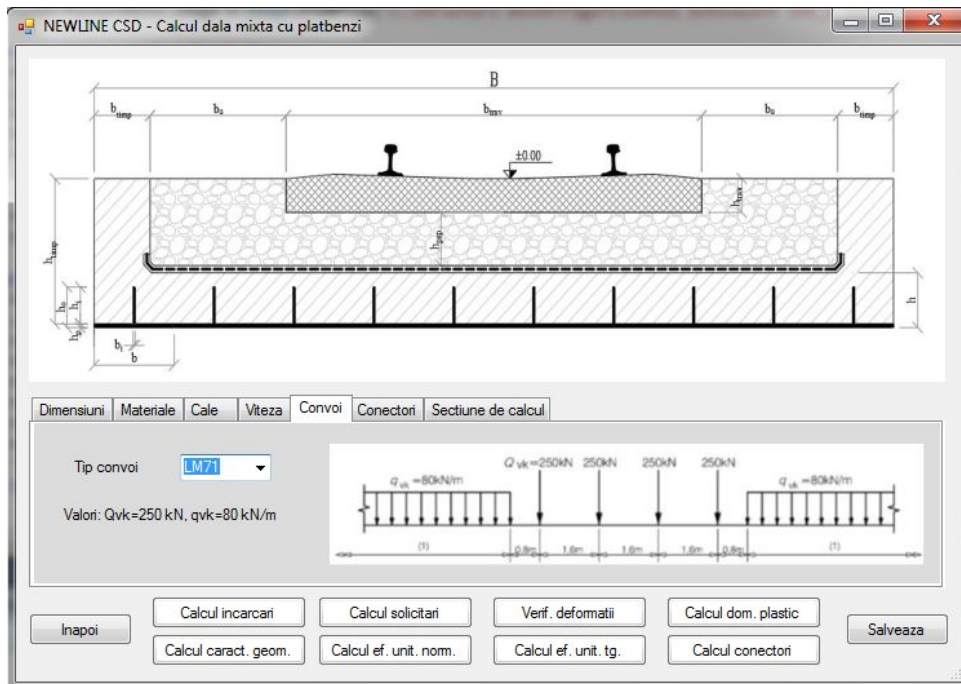


Fig. 5.4.3.-12. Alegerea încărcării utile – Model de încărcare LM71

Valorile deformațiilor respectiv a eforturilor unitare normale sunt următoarele:

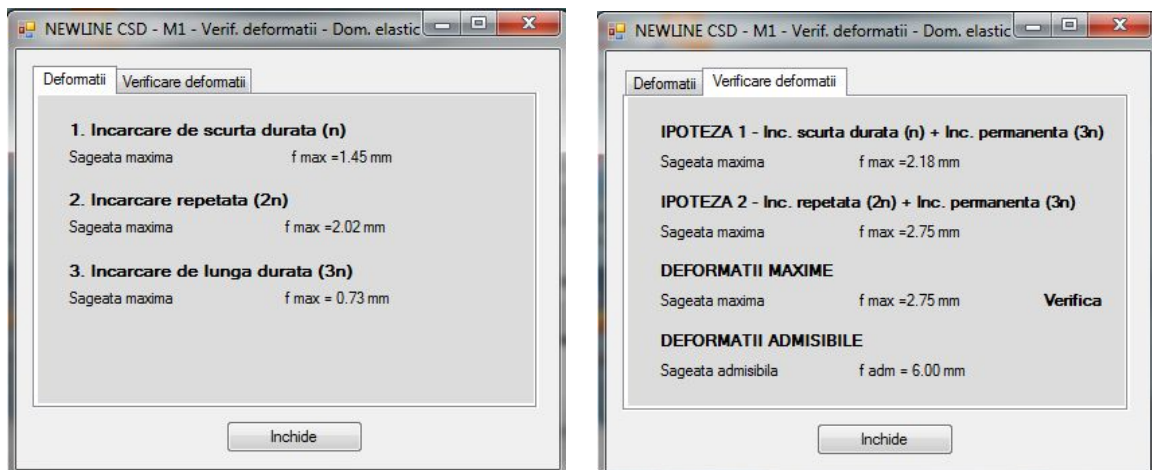


Fig. 5.4.3.-13. Calculul și verificarea deformațiilor – Convoi P10

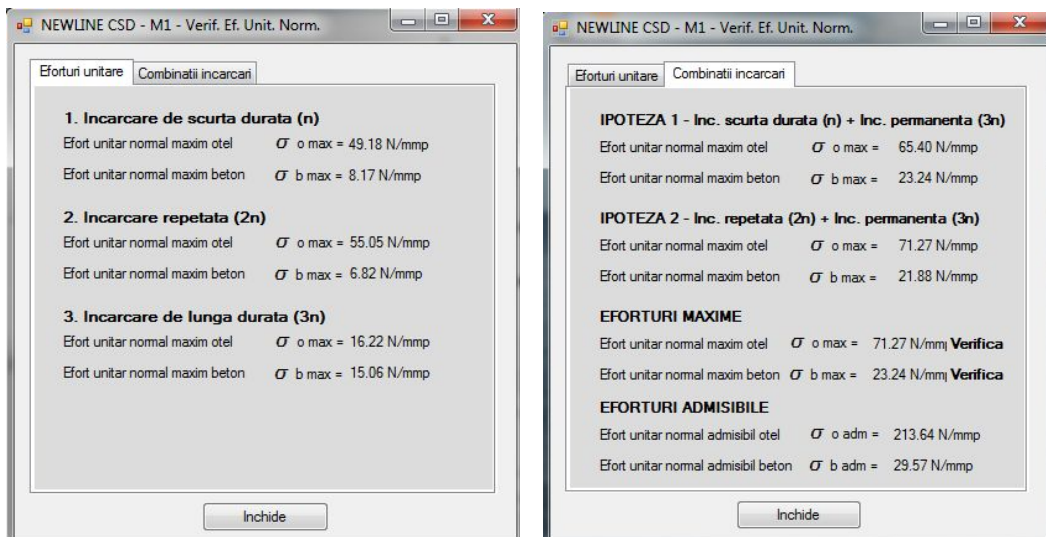


Fig. 5.4.3.-14. Calculul și verificarea eforturilor unitare normale – Convoi P10

În cazul modelului de încărcare LM71, se poate observa că valoarea săgeții maxime calculată în cazul încărcării utile are valoarea de 1,45 mm pentru încărcare de scurtă durată, respectiv 2,02 mm pentru încărcarea repetată. Aceste valori se compară cu aceeași valoarea maximă de 0,30 mm obținută din analiza modală experimentală.

Eforturile unitare normale produse de încărcarea cu un model de încărcare LM 71, care parcurge structura cu viteza de 40 km/h, cresc ușor față de cazul convoiului P10 datorită coeficientului dinamic mai mare, dar totuși reprezintă doar 33,3% din efortul normal admisibil în oțel, respectiv 78,6% din efortul normal admisibil în beton.

### 5.5. Concluzii

Acest studiu a avut ca obiect doar o singură structură tip dală mixtă oțel-beton, însă pentru a evalua pe deplin procedura de testare, ar fi interesant de testat atât structuri similare ca deschidere cât și structuri cu deschideri mai mari. Totuși există o corespondență bună între rezultatele experimentale și cele calculate în urma modelării structurii și a încărcărilor cu programul NEWLINE CSD.

Din punct de vedere al analizei statice, dacă facem o comparație între rezultatele obținute pe teren și cele calculate, observăm valori similare ale deformațiilor maxime ale structurii.

Tabel. 5.4.4.-1.

	Săgeata maximă măsurată sub încărcarea cu locomotiva LDH 80	Săgeata maximă calculată de programul NEWLINE CSD
Pct.1	1 mm	1,58 mm
Pct.2	1 mm	
Pct.3	1 mm	

În cazul analizei modale operaționale în comparație cu dimensionarea structurii cu ajutorul programului observăm următoarele valori ale săgeților maxime în regim dinamic:

Tabel. 5.4.4.-2.

Tip încărcare	Săgeata maximă obținută din analiza modală operațională	Săgeata maximă calculată de programul NEWLINE CSD	
		Înc. Scurtă durată	Înc. repetată
Desiro SR 20D	0,09 mm	0,70 mm	0,97 mm
Locomotivă Diesel cu 4 vagoane	0,40 mm	1,34 mm (calc. Ptr. Conv. P10)	1,86 mm (calc. Ptr. Conv. P10)
Locomotivă Diesel cu 4 vagoane	0,40 mm	1,45 mm (calc. Ptr. Conv. LM71)	2,02 mm (calc. Ptr. Conv. LM71)

În ambele cazuri observăm o valoare a săgeții maxime mai mari în cazul dimensionării structurii cu programul NEWLINE CSD. O explicație a acestui fapt ar putea fi rolul pe care-l joacă timpanul podului (chiar dacă este executat doar pe o singură parte), care are un efect de rigidizare suplimentară a dalei, efect pe care programul nu-l ia în considerare din motivul de a nu periclita siguranța structurii în etapa de proiectare.

## 6. Concluzii generale. Contribuții personale.

### 6.1. Concluzii generale

În cadrul lucrărilor de reabilitare de cale ferată din țara noastră, sunt tot mai des alese podurile în structură mixtă oțel-beton pentru reconstrucția podurilor cu deschideri mici și mijlocii (până la 30m). Dintre acestea, soluția constructivă cea mai des folosită este cea a podurilor cu grinzi metalice înglobate (GMIB).

La proiectul de Reabilitare a Liniei CF Câmpina – Predeal – Componentă a Coridorului IV PanEuropean, am avut ocazia să particip la construcția mai multor structuri de poduri cu grinzi metalice înglobate în beton dintre care amintesc:

- Pod nr.4 – km 105+428,40
  - Deschidere  $L=6,60$  m;
  - Înălțime grindă metalică  $H_{met}= 340$  mm;
  - Înălțime de calcul suprastructură  $H_{str} = 44,0$  cm;
- Pod nr.9 – km 112+300,00
  - Deschidere  $L=8,60$  m;
  - Înălțime grindă metalică  $H_{met}= 440$  mm;
  - Înălțime de calcul suprastructură  $H_{str} = 55,0$  cm;
- Pod nr.12 – km 114+363,10
  - Deschidere  $L=9,00$  m;
  - Înălțime grindă metalică  $H_{met}= 480$  mm;
  - Înălțime de calcul suprastructură  $H_{str} = 58,0$  cm;
- Pod nr.15 – km 115+402,00
  - Deschidere  $L=2 \times 18,45$  m;
  - Înălțime grindă metalică  $H_{met}= 1090$  mm;
  - Înălțime de calcul suprastructură  $H_{str} = 119,0$  cm;
- Pod nr.17 – km 116+950,40
  - Deschidere  $L=8,40$  m;
  - Înălțime grindă metalică  $H_{met}= 440$  mm;
  - Înălțime de calcul suprastructură  $H_{str} = 54,0$  cm;
- Pod nr.25 – km 123+798,65
  - Deschidere  $L= 3 \times 18,20$  m;
  - Înălțime grindă metalică  $H_{met}= 960$  mm;
  - Înălțime de calcul suprastructură  $H_{str} = 106,0$  cm;

Cu toate că această soluție constructivă are avantajele ei prin folosirea proprietăților favorabile ale oțelului și betonului oferind structurii durabilitate, simplitate și rapiditate în execuție, în lumina celor prezentate în lucrarea de față, putem afirma că pentru deschideri de până la 10 m, și dalele în structură mixtă oțel-beton și-ar găsi cu succes aplicabilitatea în lucrări de reabilitare de acest gen prin avantajele pe care le oferă și anume:

- Reducerea înălțimii de construcție a suprastructurii și implicit a consumului de materiale, deci o reducere de costuri;
- Nu este nevoie de cofraje pierdute, care implică timp de execuție mărit pentru a fi confecționate pe șantier respectiv costuri mărite de manoperă;
- Armarea acestor dale este mai simplă și rapidă, oferind un spațiu de manevră muncitorului mult mai comod decât în cazul grinzilor metalice înglobate

- Este o soluție flexibilă care poate fi ușor adaptată și la traversări oblice.
- Poate fi executată în sistem prefabricat, astfel pot fi eliminate lucrările de eșafodaj.

În concluzie, se poate afirma faptul că scopul stabilit prin tema de cercetare a fost realizată pe deplin prin dezvoltarea unor modele de calcul pentru dalele în structură mixtă oțel-beton, respectiv elaborarea unui program de calcul care aduce mari avantaje proiectanților din acest domeniu de activitate oferindu-le posibilitatea de a alege varianta optimă de soluție constructivă a dalei pentru o anumită deschidere.

## 6.2. Contribuții personale

Având în vedere obiectivele propuse și rezultatele obținute pe parcursul elaborării tezei de doctorat, consider că am adus următoarele contribuții personale în acest domeniu:

- Realizarea unui studiu teoretic în ceea ce privește metodele de calcul ale celor trei tipuri de dale în structură mixtă oțel-beton;
- Elaborarea unui program de calcul (NEWLINE CSD) care să faciliteze calculul acestor tipuri de dale atât conform normelor vechi românești cât și a prevederilor normelor europene, oferind utilizatorului avantajul de alege soluția cea mai fezabilă pentru structura proiectată.
- Realizarea unui studiu comparativ pentru un număr semnificativ de dale în structură mixtă în cadrul celor trei soluții constructive
- Prezentarea unui studiu experimental al unei dale în structură mixtă oțel-beton pentru care a fost elaborat modul de comportare a acesteia sub acțiunea încărcărilor din trafic feroviar (verificarea deformațiilor în regim static și dinamic);
- Modelarea unei structuri de dală mixtă oțel-beton, cea considerată în studiul experimental și verificarea cu ajutorul programului NEWLINE CSD a modului de comportare sub acțiunea mai multor tipuri de încărcări din trafic feroviar.

## ANEXA 1 – Dimensionare și calcul încărcări permanente

## Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande												
Dimensionare și calcul lățime activă de dală - încărcări permanente												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
<b>Dimensiuni - Date de intrare</b>						<b>Tip cale</b>						
Deschidere				L=	6.00	m	Tip Șină		60			
Numărul rigidizărilor longitudinale (inimi)				$n_{rig}$ =	8.00	buc.	Tip Traversă (T)		17			
Înălțimea de calcul a dalei:				h=	0.50	m						
Grosime platbandă:				$h_o$ =	0.012	m	<b>Tip material</b>					
Grosime inimă:				$b_o$ =	0.012	m	Clasa beton		30 / 37			
Înălțime structură metalică				$h_o$ =	0.35	m	Tip oțel		S 275			
Lățime timpan				$b_{imp}$ =	0.30	m						
Grosime strat piatra sparta sub traversa				$h_{psp}$ =	0.35	m	<b>Greutati specifice</b>					
Grosime beton de pantă				$h_{bp}$ =	0.05	m	Beton	2400	kg	/	mc	
Grosime hidroizolație				$h_{hidr}$ =	0.010	m	Oțel	7850	kg	/	mc	
Grosime protecție hidroizolație				$h_{phidr}$ =	0.04	m	Hidroizolatie	6	kg	/	mp	
Înălțime conector tip dorn				$h_{dorn}$ =	0.200	m	Piatra sparta	1500	kg	/	mc	
<b>Dimensiuni calculate</b>						Traversa		262	kg	/	buc	
Lungime traversă				$l_{trav}$ =	2.6	m	Sina	60	kg	/	ml	
Înălțime traversă				$h_{trav}$ =	0.203	m						
Număr traverse				$n_{trav}$ =	9	buc.	<b>Tip dorn (conector)</b>					
Lățimea secțiunii transversale:				B=	5.00	m	Diametru tijă		16	mm		
Înălțime timpan				$h_{imp}$ =	1.14	m	Înălțime		200	mm		
Lățimea activă de dală		Câmp		$b_{efc}$ =	0.625	m	Rezistență		500	N	/	mm <sup>2</sup>
		Reazem		$b_{er}$ =	0.625	m						
<b>Denumirea secțiunii calculate</b>				<b>Aria</b>	<b>Volumul</b>	<b>Greutatea</b>	<b>Greutatea</b>	<b>Greutatea</b>				
				[mp]	[mc]	[kg]	[kg/ml]	Greutatea daN/ml				
Oțel structural				0.092	0.555	4354.3	725.7	711.9				
Dala de beton				2.799	16.796	40310.7	6718.4	6590.8				
Betonul de panta				0.220	1.320	3168.0	528.0	518.0				
Hidroizolatia				34.2		205.2	34.2	33.6				
Betonul de protecție a hidroizolatiei				0.200	1.200	2880.0	480.0	470.9				
Piatra sparta				2.433	14.599	21898.8	3649.8	3580.5				
Material marunt						217.7	36.3	35.6				
Traversa						1179.0	196.5	192.8				
Sina						360.0	60.0	58.9				
<b>Total</b>						<b>74573.7</b>	<b>12428.9</b>	<b>12192.8</b>				



## ANEXA 2a – Calcul caracteristici geometrice în domeniul elastic pentru încărcări de scurtă durată

## Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande										
Calcul în domeniul elastic pentru încărcări de scurtă durată										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Definirea caracteristicilor geometrice ale secțiunii:</b>					<b>Caracteristici de rezistența beton</b>					
Lățimea secțiunii de calcul:	b=	0.63	m	pentru clasele cuprinse C25/30 - C50/60						
Înălțimea de calcul a dalei:	h=	0.50	m	$f_{ck, cil} =$	30	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)				
Grosime platbandă inferioară	$h_p =$	0.012	m	$f_{ck, cub} =$	37	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)				
Grosime inimă:	$b_i =$	0.012	m	$E_{cm} =$	32.8	Gpa				
Înălțime structură metalică	$h_o =$	0.35	m	<b>Modul elasticitate oțel</b>						
Coefficient de echivalență	n=	6.40		E=	210000	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)				
<b>Determinarea poziției axei neutre</b>								IP I (oțel)	IP II (beton)	
$\alpha = b - b_i$								$\alpha =$	0.61	0.63
$\beta = 2 \cdot \left[ n \cdot b_i \cdot (h - h_p) + n \cdot b \cdot h_p - b_i \cdot (n-1) \cdot (h - h_o) \right]$								$\beta =$	0.15	0.15
$\gamma = b_i \cdot (n-1) \cdot (h - h_o) - n \cdot b_i \cdot (h - h_p) - n \cdot b \cdot h_p \cdot (2 \cdot h - h_p)$								$\gamma =$	-0.06	-0.06
$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$								$\Delta =$	0.18	0.18
$z_1 = \frac{-\beta + \sqrt{\Delta}}{2\alpha}$								$z_1[m] =$	0.22	0.22
$z_2 = \frac{-\beta - \sqrt{\Delta}}{2\alpha}$								$z_2[m] =$	-0.47	-0.46
<b>Poziția axei neutre:</b>			Calcul Ip.I - Axa neutră în oțel		Valoare:	Calcul Ip.II- Axa neutră în beton				
			z=	0.22	m	0.22	z=			
			Axa neutră se afla în oțel							
<b>Elementele de calcul a secțiunii echivalente:</b>			Calcul Ip.I - Axa neutră în oțel		Valori alese:	Calcul Ip.II- Axa neutră în beton				
Aria de calcul	$A_c =$	324.48	cm <sup>2</sup>	324.48	$A_c =$	333.09	cm <sup>2</sup>			
Momentul static al secțiunii de beton	$S_b =$	2427.00	cm <sup>3</sup>	2427.00	$S_b =$	2423.74	cm <sup>3</sup>			
Momentul static al secțiunii de oțel	$S_o =$	2453.97	cm <sup>3</sup>	2453.97	$S_o =$	2423.74	cm <sup>3</sup>			
Momentul de inerție de calcul	$I_c =$	98618.76	cm <sup>4</sup>	98618.76	$I_c =$	98774.22	cm <sup>4</sup>			

## ANEXA 2b – Calcul caracteristici geometrice în domeniul elastic pentru încărcări repetate

## Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande										
Calcul în domeniul elastic pentru încărcări repetate										
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Definirea caracteristicilor geometrice ale secțiunii:										
Lățimea secțiunii de calcul:				b=	0.63	m				
Înălțimea de calcul a dalei:				h=	0.50	m				
Grosime platbandă inferioară				ht=	0.012	m				
Grosime inimă:				bi=	0.012	m				
Înălțime structură metalică				h0=	0.35	m				
Coeficient de echivalență				n=	12.80					
Determinarea poziției axei neutre								IP I (otel)	IP II (beton)	
$\alpha = b - b_i$								$\alpha =$	0.61	0.63
$\beta = 2 \cdot \left[ n \cdot b_i \cdot (h - h_p) + n \cdot b \cdot h_p - b_i \cdot (n-1) \cdot (h - h_0) \right]$								$\beta =$	0.30	0.30
$\gamma = b_i \cdot (n-1) \cdot (h - h_0)^2 - n \cdot b_i \cdot (h - h_p)^2 - n \cdot b \cdot h_p \cdot (2 \cdot h - h_p)$								$\gamma =$	-0.13	-0.13
$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$								$\Delta =$	0.40	0.41
$z_1 = \frac{-\beta + \sqrt{\Delta}}{2\alpha}$								$z_1 [m] =$	0.27	0.27
$z_2 = \frac{-\beta - \sqrt{\Delta}}{2\alpha}$								$z_2 [m] =$	-0.76	-0.75
Poziția axei neutre:				Calcul Ip.I - Axa neutră în oțel		Valoare:	Calcul Ip.II- Axa neutră în beton			
				z= 0.27		m	0.27	z= 0.27		
				Axa neutră se afla în oțel						
Elementele de calcul a secțiunii echivalente:				Calcul Ip.I - Axa neutră în oțel		Valori alese:	Calcul Ip.II- Axa neutră în beton			
Aria de calcul				$A_c =$	234.53	cm <sup>2</sup>	234.53	$A_c =$	249.30	cm <sup>2</sup>
Momentul static al secțiunii de beton				$S_b =$	1836.26	cm <sup>3</sup>	1836.26	$S_b =$	1832.38	cm <sup>3</sup>
Momentul static al secțiunii de oțel				$S_o =$	1921.73	cm <sup>3</sup>	1921.73	$S_o =$	1832.38	cm <sup>3</sup>
Momentul de inerție de calcul				$I_c =$	73692.15	cm <sup>4</sup>	73692.15	$I_c =$	74460.19	cm <sup>4</sup>

## ANEXA 2c – Calcul caracteristici geometrice în domeniul elastic pentru încărcări de lungă durată

## Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande										
Calcul în domeniul elastic pentru încărcări de lungă durată										
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Definirea caracteristicilor geometrice ale secțiunii:										
Lățimea secțiunii de calcul:		b=0.63		m						
Înălțimea de calcul a dalei:		h=0.50		m						
Grosime platbandă inferioară		ht=0.012		m						
Grosime inimă:		bi=0.012		m						
Înălțime structură metalică		h0=0.35		m						
Coeficient de echivalență		n=19.21								
Determinarea poziției axei neutre								IP I (otel)	IP II (beton)	
$\alpha = b - b_i$								$\alpha =$	0.61	0.63
$\beta = 2 \cdot \left[ n \cdot b_i \cdot (h - h_p) + n \cdot b \cdot h_p - b_i \cdot (n-1) \cdot (h - h_0) \right]$								$\beta =$	0.45	0.44
$\gamma = b_i \cdot (n-1) \cdot (h - h_0)^2 - n \cdot b_i \cdot (h - h_p)^2 - n \cdot b \cdot h_p \cdot (2 \cdot h - h_p)$								$\gamma =$	-0.19	-0.19
$\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$								$\Delta =$	0.67	0.68
$z_1 = \frac{-\beta + \sqrt{\Delta}}{2\alpha}$								$z_1[m]=$	0.30	0.30
$z_2 = \frac{-\beta - \sqrt{\Delta}}{2\alpha}$								$z_2[m]=$	-1.03	-1.01
Poziția axei neutre:		Calcul Ip.I - Axa neutră în oțel		Valoare:		Calcul Ip.II- Axa neutră în beton				
		z= 0.30		m		z= 0.30		m		
						Axa neutră se afla în oțel				
Elementele de calcul a secțiunii echivalente:		Calcul Ip.I - Axa neutră în oțel		Valori alese:		Calcul Ip.II- Axa neutră în beton				
Aria de calcul		$A_c=$ 195.90		cm <sup>2</sup>		195.90		$A_c=$ 214.21		cm <sup>2</sup>
Momentul static al secțiunii de beton		$S_b=$ 1498.80		cm <sup>3</sup>		1498.80		$S_b=$ 1495.41		cm <sup>3</sup>
Momentul static al secțiunii de oțel		$S_o=$ 1632.84		cm <sup>3</sup>		1632.84		$S_o=$ 1495.41		cm <sup>3</sup>
Momentul de inerție de calcul		$I_c=$ 60061.17		cm <sup>4</sup>		60061.17		$I_c=$ 61508.07		cm <sup>4</sup>

## ANEXA 3a – Calcul în domeniul plastic

## Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande									
Calcul în domeniul plastic (SLU)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Definirea caracteristicilor geometrice ale secțiunii:						Caracteristici de rezistența beton			
Lățimea secțiunii de calcul:						pentru clasele cuprinse C25/30 - C50/60			
Lățimea de calcul a dalei:						$f_{ck, cil} = 30$	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)		
Grosime platbandă inferioară:						$f_{ck, cub} = 37$	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)		
Grosime inimă:						$E_{cm} = 32.8$	Gpa		
Înălțime structură metalică:						$\lambda = 0.85$			
Calculul momentului încovoietor capabil:						Modul elasticitate oțel			
$M_{SLU} = 1.35 \cdot M_p + 1.45 \cdot M_q$						$E = 210000$	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)		
$M_{RD} = C_b \cdot X_{Cb} + C_o \cdot X_{Co} + T_o \cdot X_{To}$						$f_y = 275$	N/mm <sup>2</sup> (Mpa)		
$M_{SLU} < M_{RD}$						$\gamma = 1.1$			
Determinarea poziției axei neutre și a distanțelor forțelor interne față de axa neutră plastică									
IPOTEZA 1: Axă neutră se află în oțel									
$z = \frac{f_y \left[ b \cdot h_p + b_i \cdot (2 \cdot h - h_p - h_o) \right] - \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_i \cdot (h - h_o)}{\frac{2 \cdot f_y \cdot b_i}{\gamma_a} + \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \cdot (b - b_i)}$						$z = 0.23$	m		
$X_{To} = \frac{b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + b_i \cdot \frac{(h - z - h_p)^2}{2}}{\left[ b \cdot h_p + b_i \cdot (h - z - h_p) \right]}$						$X_{To} = 0.23$	m		
$X_{Co} = \frac{(z - h + h_o)}{2}$						$X_{Co} = 0.04$	m		
$X_{Cb} = \frac{b \cdot z^2 - b_i \cdot (z - h + h_o)^2}{2 \left[ b \cdot z - b_i \cdot (z - h + h_o) \right]}$						$X_{Cb} = 0.11$	m		

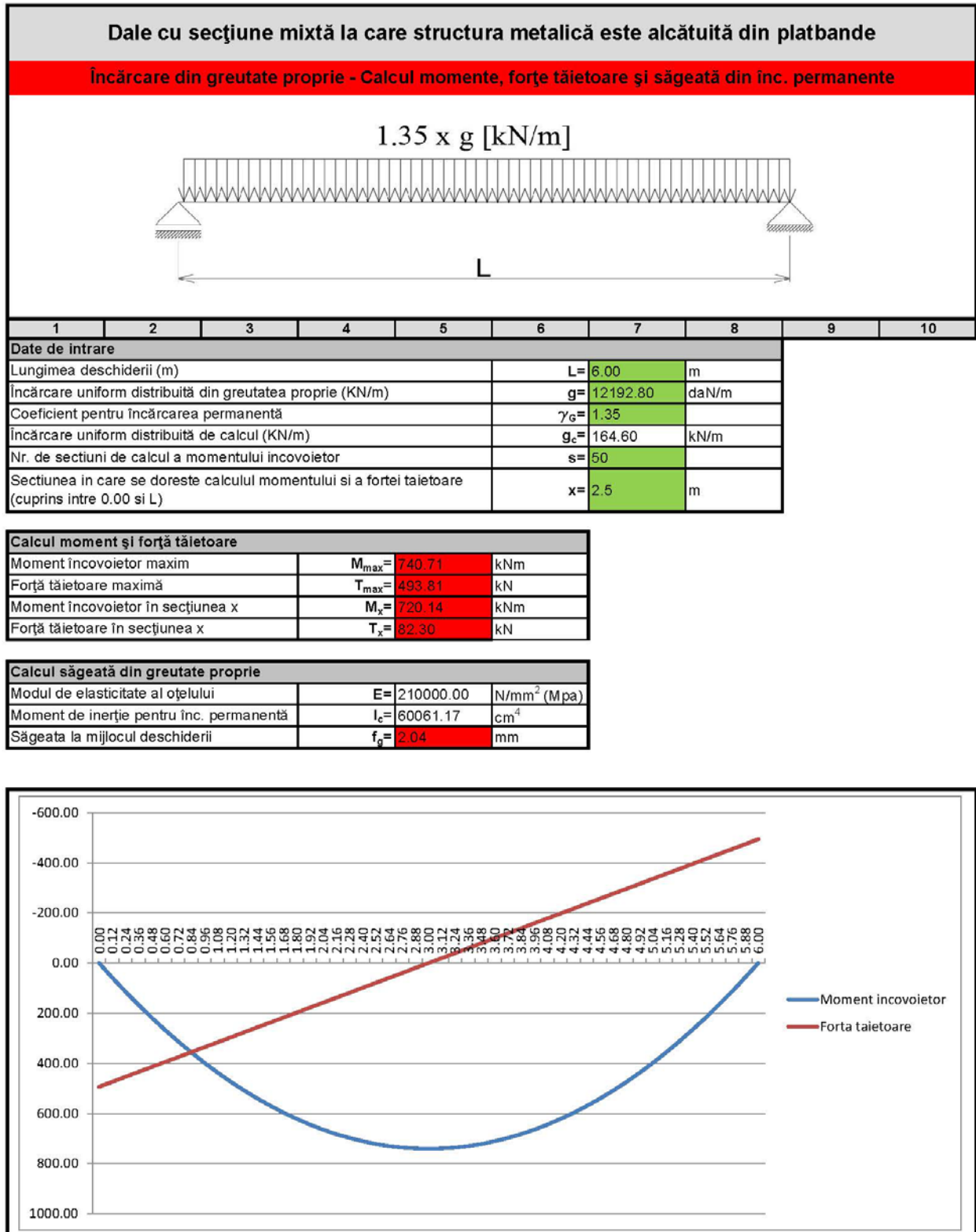
## ANEXA 3b – Calcul în domeniul plastic

## Newline CSD

IPOTEZA 2: Axa neutră se află în beton		
$z = \frac{f_y [b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p)]}{\gamma_a \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck} \cdot b}{\gamma_c}}$	$z = 0.27$	m
$X_{T_o} = \frac{b \cdot h_p \cdot \left( h - z - \frac{h_p}{2} \right) + b_i \cdot (h_o - h_p) \left[ \frac{h_o - h_p}{2} + h - z - h_o \right]}{[b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p)]}$	$X_{T_o} = 0.16$	m
$X_{C_b} = \frac{z}{2}$	$X_{C_b} = 0.14$	m
Determinarea forțelor interne		
IPOTEZA 1: Axa neutră se află în oțel		
$T_o = [b \cdot h_p + b_i \cdot (h - z - h_p)] \cdot \frac{f_y}{\gamma_a}$	$T_o = 2652.37$	kN
$C_o = (z - h + h_o) \cdot b_i \cdot \frac{f_y}{\gamma_a}$	$C_o = 236.63$	kN
$C_b = [b \cdot z - (z - h + h_o) \cdot b_i] \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$	$C_b = 2415.73$	kN
IPOTEZA 2: Axa neutră se află în beton		
$T_o = [b \cdot h_p + b_i \cdot (h_o - h_p)] \cdot \frac{f_y}{\gamma_a}$	$T_o = 2889.00$	kN
$C_b = b \cdot z \cdot \frac{\lambda \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$	$C_b = 2889.00$	kN
Determinarea Momentului Capabil Plastic		
IPOTEZA 1: Axa neutră se află în oțel		
$M_{RD} = C_b \cdot X_{C_b} + C_o \cdot X_{C_o} + T_o \cdot X_{T_o}$	$M_{cap,pl} = 884.81$	kNm
IPOTEZA 2: Axa neutră se află în beton		
$M_{RD} = C_b \cdot X_{C_b} + T_o \cdot X_{T_o}$	$M_{cap,pl} = 856.95$	kNm
REZULTATE FINALE		
Poziția axei neutre este în <b>otel</b>	$z = 0.23$	m
Distanța forței interne de întindere a oțelului față de axa neutră plastică	$X_{T_o} = 0.23$	cm <sup>4</sup>
Distanța forței interne de compresiune a oțelului față de axa neutră plastică	$X_{C_o} = 0.04$	cm <sup>4</sup>
Distanța forței interne de compresiune a betonului față de axa neutră plastică	$X_{C_b} = 0.11$	cm <sup>4</sup>

## ANEXA 4 – Calcul momente, forțe tăietoare și săgeată din încărcări permanente

## Newline CSD



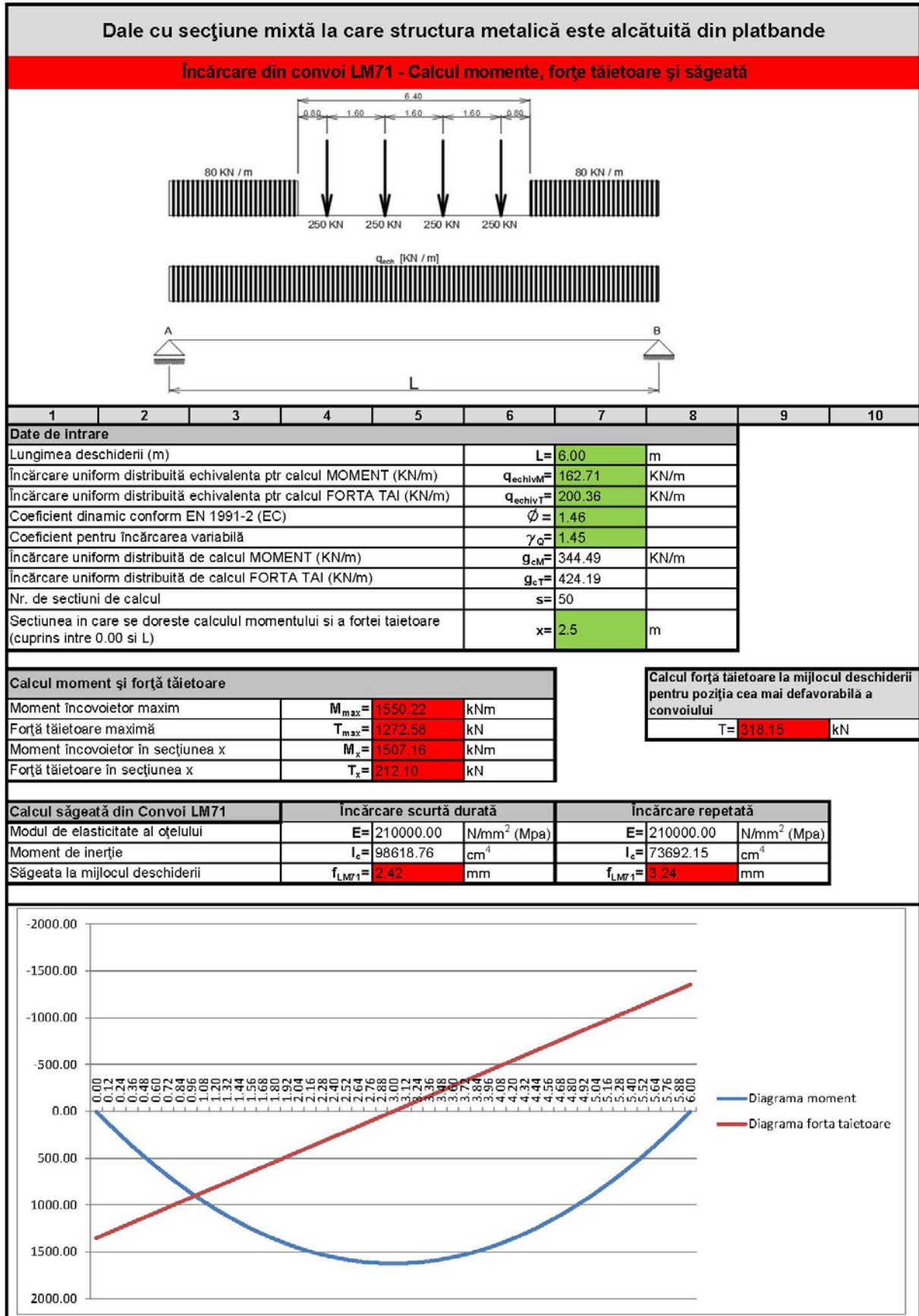
ANEXA 5a – Verificarea frecvenței proprii a structurii  
Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande										
Încărcare din greutate proprie - Verificarea frecvenței proprii a structurii										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Date de intrare</b>										
Lungimea deschiderii (m)						L=	6.00	m		
Viteza de circulație (km/h)						V=	120.00	km/h		
Săgeata la mijlocul deschiderii						$f_d$ =	2.04	mm		
<b>Calcul valori frecvențe limită (MIN, MAX) și frecvență proprie</b>										
Limita frecvenței minime				Frecv <sub>min</sub> =	13.33	Hz				
Limita frecvenței maxime				Frecv <sub>max</sub> =	24.81	Hz				
Frecvența proprie a structurii				Frecv <sub>prop</sub> =	12.43	Hz				
Necesită analiză dinamică?					DA					

ANEXA 5b – Calcul coeficient dinamic  
Newline CSD

DATE DE INTRARE NECESARE CALCULULUI COEFICIENTULUI DINAMIC			
DATE DE INTRARE	Introduceți deschiderea de calcul (m)	L=	6.00
	Introduceți tipul de cale	0 sau 1 dupa caz	1
	0 pentru cale cu rosturi		
	1 pentru cale fara joante		
	Introduceți modul de intretinere	0 sau 1 dupa caz	0
	0 cale bine intretinuta		
	1 intretinere standard		
Introduceți viteza de circulație (km/h)	v=	120.0	
Introduceți grosimea prismului de piatra sparta (cm)	hp=	35.00	
CALCULE	<b>COEFICIENT DINAMIC CALCULAT DUPA STAS 1489-78</b>		
	Coeficient dinamic functie de deschidere si tip cale	$\psi$ =	1.51
	Coeficient dinamic corectat in functie de grosime prism	$\psi_{hp}$ =	1.49
	Coeficient dinamic corectat in functie de viteza de circulație	$\psi'$ =	1.49
	<b>COEFICIENT DINAMIC CALCULAT DUPA EN 1991-2 (EC)</b>		
	Coeficient dinamic calculat pentru cale bine intretinuta	$\phi_{2c}$ =	1.46
	Coeficient dinamic calculat pentru cale cu intretinere standard	$\phi_{3c}$ =	0.00
	Coeficient dinamic limitat pentru cale bine intretinuta	$\phi_{2l}$ =	1.46
	Coeficient dinamic calculat pentru cale cu intretinere standard	$\phi_{3l}$ =	1.00
	Coeficient dinamic luat in considerare	$\phi$ =	1.46

ANEXA 6 – Calcul momente, forțe tăietoare și deformații din încărcare cu convoi  
Newline CSD





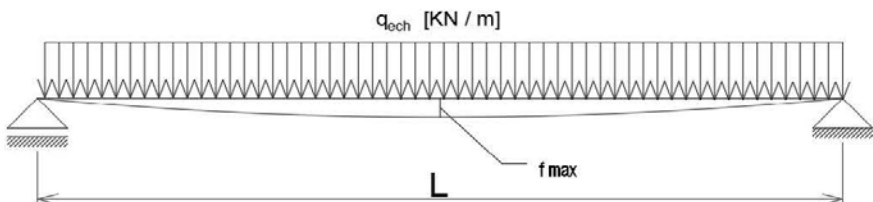
ANEXA 7 – Calcul eforturi unitare din încărcare permanentă și utilă  
Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande											
Calcul eforturi unitare din încărcare permanentă și variabilă											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Date de intrare</b>											
Factor parțial de siguranță pentru oțel						$\gamma = 1.10$					
Factor parțial de siguranță pentru beton						$\gamma_b = 1.15$					
Înălțimea de calcul (m)						$h = 0.50$ m					
Coeficient de echivalență pentru încărcarea de scurtă durată						$n = 6.40$					
Coeficient de echivalență pentru încărcarea repetată						$2n = 12.80$					
Coeficient de echivalență pentru încărcarea de lungă durată						$3n = 19.21$					
Poziția axei neutre pentru încărcarea de scurtă durată						$z_n = 0.22$ m					
Poziția axei neutre pentru încărcarea repetată						$z_{2n} = 0.27$ m					
Poziția axei neutre pentru încărcarea de lungă durată						$z_{3n} = 0.30$ m					
Moment de inerție pentru încărcarea de scurtă durată						$I_n = 98618.76$ cm <sup>4</sup>					
Moment de inerție pentru încărcarea repetată						$I_{2n} = 73692.15$ cm <sup>4</sup>					
Moment de inerție pentru încărcarea de lungă durată						$I_{3n} = 60061.17$ cm <sup>4</sup>					
Rezistența caracteristică a betonului pe cilindri la 28 de zile						$f_{ck} = 30.00$ N/mm <sup>2</sup>					
Limita de curgere a oțelului						$f_y = 275.00$ N/mm <sup>2</sup>					
Moment încovoietor maxim din încărcarea de scurtă durată (alt P10)						$M_{qP10a} = 973.91$ kNm					
Moment încovoietor maxim din încărcarea de scurtă durată (P10)						$M_{qP10} = 1623.18$ kNm					
Moment încovoietor maxim din încărcarea de scurtă durată (LM71)						$M_{qLM71} = 1550.22$ kNm					
Moment încovoietor maxim din încărcarea de scurtă durată (SW2)						$M_{qSW2} = 1429.12$ kNm					
Moment încovoietor maxim din încărcarea de scurtă durată (SW0)						$M_{qSW0} = 1267.15$ kNm					
Moment încovoietor maxim din încărcarea permanentă						$M_g = 740.71$ kNm					
<b>Eforturi unitare maxime</b>											
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi P10 alternativ						$\sigma_{0maxP10a} =$	$n$	$2n$	$3n$	Incarcare permanenta	N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi P10						$\sigma_{0maxP10} =$	34.20	37.28	30.29		N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi LM71						$\sigma_{0maxLM71} =$	54.43	59.35			N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi SW2						$\sigma_{0maxSW2} =$	50.18	54.71			N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi SW0						$\sigma_{0maxSW0} =$	44.49	48.51			N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi P10 alternativ						$\sigma_{bmaxP10a} =$	4.30	3.54	2.44		N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi P10						$\sigma_{bmaxP10} =$	7.17	5.90			N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi LM71						$\sigma_{bmaxLM71} =$	6.84	5.63			N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi SW2						$\sigma_{bmaxSW2} =$	6.31	5.19			N/mm <sup>2</sup>
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi SW0						$\sigma_{bmaxSW0} =$	5.59	4.60			N/mm <sup>2</sup>
<b>COMBINATII DE INCARCARI</b>											
						Caz I (n+3n)	Caz II (2n+3n)	Max. (Caz I, Caz II)	Admisibil	Verificare	
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi P10 alternativ (daN/cm <sup>2</sup> )						$\sigma_{0maxP10a} =$	64.48	67.57	87.57	250.00	Verifica
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi P10						$\sigma_{0maxP10} =$	87.28	92.43	92.43		Verifica
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi LM71						$\sigma_{0maxLM71} =$	84.72	89.64	89.64		Verifica
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi SW2						$\sigma_{0maxSW2} =$	80.47	85.00	85.00		Verifica
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi SW0						$\sigma_{0maxSW0} =$	74.78	78.80	78.80		Verifica
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi P10 alternativ						$\sigma_{bmaxP10a} =$	6.74	5.97	6.74	22.17	Verifica
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi P10						$\sigma_{bmaxP10} =$	9.60	8.33	9.60		Verifica
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi LM71						$\sigma_{bmaxLM71} =$	9.28	8.07	9.28		Verifica
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi SW2						$\sigma_{bmaxSW2} =$	8.74	7.63	8.74		Verifica
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi SW0						$\sigma_{bmaxSW0} =$	8.03	7.04	8.03		Verifica

ANEXA 8 – Calcul eforturi tangențiale din încărcare permanentă și utilă  
Newline CSD

Date cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande										
Calcul eforturi tangențiale din încărcare permanentă și variabilă										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Date de intrare</b>										
Factor parțial de siguranță pentru oțel		$\gamma =$	1.10							
Factor parțial de siguranță pentru beton		$\gamma_b =$	1.15							
Lățimea de calcul (m)		$b =$	0.63	m						
Grosime inimă		$b_i =$	0.012	m						
Coefficient de echivalență pentru încărcarea de scurtă durată		$n =$	6.40							
Coefficient de echivalență pentru încărcarea repetată		$2n =$	12.80							
Coefficient de echivalență pentru încărcarea de lungă durată		$3n =$	19.21							
Poziția axei neutre pentru încărcarea de scurtă durată		$z_n =$	0.22	m						
Poziția axei neutre pentru încărcarea repetată		$z_{2n} =$	0.27	m						
Poziția axei neutre pentru încărcarea de lungă durată		$z_{3n} =$	0.30	m						
Moment static al secțiunii de beton pentru înc de scurtă durată		$S_{b_n} =$	2427.00	cm <sup>3</sup>						
Moment static al secțiunii de beton pentru înc repetată		$S_{b_{2n}} =$	1836.26	cm <sup>3</sup>						
Moment static al secțiunii de beton pentru înc de lungă durată		$S_{b_{3n}} =$	1498.80	cm <sup>3</sup>						
Moment static al secțiunii de oțel pentru înc de scurtă durată		$S_{o_n} =$	2453.97	cm <sup>3</sup>						
Moment static al secțiunii de oțel pentru înc repetată		$S_{o_{2n}} =$	1921.73	cm <sup>3</sup>						
Moment static al secțiunii de oțel pentru înc de lungă durată		$S_{o_{3n}} =$	1632.84	cm <sup>3</sup>						
Moment de inerție pentru încărcarea de scurtă durată		$I_n =$	98618.76	cm <sup>4</sup>						
Moment de inerție pentru încărcarea repetată		$I_{2n} =$	73892.15	cm <sup>4</sup>						
Moment de inerție pentru încărcarea de lungă durată		$I_{3n} =$	60061.17	cm <sup>4</sup>						
Rezistența caracteristică la tracțiune a betonului cu risc 0.05%		$f_{ctk0.05} =$	2.03	N/mm <sup>2</sup>						
Limita la rupere a oțelului		$f_t =$	430.00	N/mm <sup>2</sup>						
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (alt P10)		$T_{qP10a} =$	649.27	kN						
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (P10)		$T_{qP10} =$	1352.65	kN						
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (LM71)		$T_{qLM71} =$	1272.58	kN						
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW2)		$T_{qSW2} =$	952.74	kN						
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW0)		$T_{qSW0} =$	844.77	kN						
Forță tăietoare maximă din încărcarea permanentă		$T_g =$	493.81	kN						
<b>Eforturi unitare maxime</b>										
			<b>n</b>	<b>2n</b>	<b>3n</b>					
Efort tangential maxim oțel - încărcare cu convoi P10 alternativ	$T_{0maxP10a} =$	16.83	17.64	13.98	Incarcare permanenta	N/mm <sup>2</sup>				
Efort tangential maxim oțel - încărcare cu convoi P10	$T_{0maxP10} =$	35.06	36.74	N/mm <sup>2</sup>						
Efort tangential maxim oțel - încărcare cu convoi LM71	$T_{0maxLM71} =$	32.99	34.57	N/mm <sup>2</sup>						
Efort tangential maxim oțel - încărcare cu convoi SW2	$T_{0maxSW2} =$	24.70	25.88	N/mm <sup>2</sup>						
Efort tangential maxim oțel - încărcare cu convoi SW0	$T_{0maxSW0} =$	21.90	22.95	N/mm <sup>2</sup>						
Efort tangential maxim beton - încărcare cu convoi P10 alternativ	$T_{bmaxP10a} =$	2.05	2.07	1.58	Incarcare permanenta	N/mm <sup>2</sup>				
Efort tangential maxim beton - încărcare cu convoi P10	$T_{bmaxP10} =$	4.26	4.32	N/mm <sup>2</sup>						
Efort tangential maxim beton - încărcare cu convoi LM71	$T_{bmaxLM71} =$	4.01	4.06	N/mm <sup>2</sup>						
Efort tangential maxim beton - încărcare cu convoi SW2	$T_{bmaxSW2} =$	3.00	3.04	N/mm <sup>2</sup>						
Efort tangential maxim beton - încărcare cu convoi SW0	$T_{bmaxSW0} =$	2.66	2.70	N/mm <sup>2</sup>						
<b>COMBINATII DE INCARCARI</b>										
			<b>Caz I (n+3n)</b>	<b>Caz II (2n+3n)</b>	<b>Max. (Caz I, Caz II)</b>	<b>Admisibil</b>	<b>Verificare</b>			
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi P10 alternativ (N/mm <sup>2</sup> )	$T_{0maxP10a} =$	30.81	31.62	31.62	390.91	Verifica				
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi P10	$T_{0maxP10} =$	49.05	50.73	50.73		Verifica				
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi LM71	$T_{0maxLM71} =$	46.97	48.55	48.55		Verifica				
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi SW2	$T_{0maxSW2} =$	38.68	39.86	39.86		Verifica				
Efort unitar maxim oțel - încărcare cu convoi SW0	$T_{0maxSW0} =$	35.88	36.93	36.93		Verifica				
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi P10 alternativ	$T_{bmaxP10a} =$	3.62	3.65	3.65	390.91	Verifica				
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi P10	$T_{bmaxP10} =$	5.84	5.89	5.89		Verifica				
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi LM71	$T_{bmaxLM71} =$	5.59	5.64	5.64		Verifica				
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi SW2	$T_{bmaxSW2} =$	4.58	4.62	4.62		Verifica				
Efort unitar maxim beton - încărcare cu convoi SW0	$T_{bmaxSW0} =$	4.24	4.27	4.27		Verifica				

ANEXA 9 – Calcul eforturi tangențiale din încărcare permanentă și utilă  
Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande										
Verificarea deformațiilor maxime										
										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Date de intrare										
Deschidere					L= 6.00		m			
Încărcări variabile					Scurtă durată		Repetate			
Săgeată maximă din încărcarea de scurtă durată (alt P10) [mm]					f <sub>qP10a</sub> = 1.52		f <sub>qP10a</sub> = 2.03			
Săgeată maximă din încărcarea de scurtă durată (P10) [mm]					f <sub>qP10</sub> = 2.53		f <sub>qP10</sub> = 3.39			
Săgeată maximă din încărcarea de scurtă durată (LM71) [mm]					f <sub>qLM71</sub> = 2.42		f <sub>qLM71</sub> = 3.24			
Săgeată maximă din încărcarea de scurtă durată (SW2) [mm]					f <sub>qSW2</sub> = 2.23		f <sub>qSW2</sub> = 2.99			
Săgeată maximă din încărcarea de scurtă durată (SW0) [mm]					f <sub>qSW0</sub> = 1.98		f <sub>qSW0</sub> = 2.65			
Încărcări permanente					Lungă durată					
Săgeată maximă din încărcarea permanentă [mm]					f <sub>g</sub> = 2.04					
Deformații maxime					Caz I (n+3n)	Caz II (2n+3n)	Max. (Caz I, Caz II)	Admisibil	Verificare	
Săgeată maximă din încărcare cu convoi P10 alternativ și înc permanentă [mm]					f <sub>qP10a</sub> +f <sub>g</sub> =	3.56	4.07	4.07	10.00	Verifica
Săgeată maximă din încărcare cu convoi P10 și înc permanentă [mm]					f <sub>qP10</sub> +f <sub>g</sub> =	4.57	5.43	5.43		Verifica
Săgeată maximă din încărcare cu convoi LM71 și înc permanentă [mm]					f <sub>qLM71</sub> +f <sub>g</sub> =	4.46	5.28	5.28		Verifica
Săgeată maximă din încărcare cu convoi SW2 și înc permanentă [mm]					f <sub>qSW2</sub> +f <sub>g</sub> =	4.27	5.02	5.02		Verifica
Săgeată maximă din încărcare cu convoi SW0 și înc permanentă [mm]					f <sub>qSW0</sub> +f <sub>g</sub> =	4.02	4.69	4.69		Verifica

ANEXA 10 – Calcul forțe lunecare și conectori  
Newline CSD

Dale cu secțiune mixtă la care structura metalică este alcătuită din platbande																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Calcul forțe de lunecare și conectori																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="15">Date conectori</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Diametru tija conector tip dorn</td> <td><math>d_c =</math></td> <td>16.00</td> <td>mm</td> <td colspan="5">Date conectori tip UNP sau Cornier</td> <td>UNP</td> <td>Cornier</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Înălțime totală conector tip dorn</td> <td><math>h_c =</math></td> <td>200.00</td> <td></td> <td colspan="5">Lățime profil (h din tab dim. UNP) [mm]</td> <td><math>l =</math></td> <td>80</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Rezistența de întindere ultimă a dornului</td> <td><math>f_{td} =</math></td> <td>500.00</td> <td>N/mm<sup>2</sup></td> <td colspan="5">Înălțime profil [mm]</td> <td><math>h =</math></td> <td>100</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Coeficient parțial de siguranță</td> <td><math>\gamma_v =</math></td> <td>1.20</td> <td></td> <td colspan="5">Înălțime secțiune beton [mm]</td> <td><math>h_{bet} =</math></td> <td>488.00</td> <td>488.00</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Date structura</td> <td colspan="8">Rotirea profilului tip cornier</td> <td><math>\alpha =</math></td> <td>X</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Deschidere (m)</td> <td><math>L =</math></td> <td>6.00</td> <td>m</td> <td colspan="8">cos</td> <td>0.707388269</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Rezistența caracteristică cilindrică a betonului (N/mm<sup>2</sup>)</td> <td><math>f_{ck} =</math></td> <td>30.00</td> <td>N/mm<sup>2</sup></td> <td colspan="8">sin</td> <td>0.706825181</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Modul de elasticitate beton (N/mm<sup>2</sup>)</td> <td><math>E_{cm} =</math></td> <td>32.80</td> <td>N/mm<sup>2</sup></td> <td colspan="8"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Moment static al secțiunii de beton pentru inc de scurtă durată</td> <td><math>S_{b,sh} =</math></td> <td>2427.00</td> <td>cm<sup>3</sup></td> <td colspan="8"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Moment static al secțiunii de beton pentru inc repetată</td> <td><math>S_{b,rs} =</math></td> <td>1836.26</td> <td>cm<sup>3</sup></td> <td colspan="8"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Moment static al secțiunii de beton pentru inc de lungă durată</td> <td><math>S_{b,ls} =</math></td> <td>1498.80</td> <td>cm<sup>3</sup></td> <td colspan="8"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Moment de inerție pentru încărcarea de scurtă durată</td> <td><math>I_s =</math></td> <td>98618.76</td> <td>cm<sup>4</sup></td> <td colspan="8"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Moment de inerție pentru încărcarea repetată</td> <td><math>I_{rs} =</math></td> <td>73692.15</td> <td>cm<sup>4</sup></td> <td colspan="8"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Moment de inerție pentru încărcarea de lungă durată</td> <td><math>I_{ls} =</math></td> <td>60061.17</td> <td>cm<sup>4</sup></td> <td colspan="8"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="15">Date încărcări</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Reazem</td> <td colspan="8">Câmp</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (all P10)</td> <td><math>T_{Q_{P10R}} =</math></td> <td>649.27</td> <td></td> <td><math>T_{Q_{P10C}} =</math></td> <td>108.21</td> <td>kN</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (P10)</td> <td><math>T_{Q_{P10R}} =</math></td> <td>1352.65</td> <td></td> <td><math>T_{Q_{P10C}} =</math></td> <td>338.16</td> <td>kN</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (LM71)</td> <td><math>T_{Q_{LM71R}} =</math></td> <td>1272.58</td> <td></td> <td><math>T_{Q_{LM71C}} =</math></td> <td>318.15</td> <td>kN</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW2)</td> <td><math>T_{Q_{SW2R}} =</math></td> <td>952.74</td> <td></td> <td><math>T_{Q_{SW2C}} =</math></td> <td>238.19</td> <td>kN</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW0)</td> <td><math>T_{Q_{SW0R}} =</math></td> <td>844.77</td> <td></td> <td><math>T_{Q_{SW0C}} =</math></td> <td>211.19</td> <td>kN</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță tăietoare maximă din încărcarea permanentă</td> <td><math>T_{gr} =</math></td> <td>493.81</td> <td></td> <td><math>T_{gc} =</math></td> <td>0</td> <td>kN</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="15">Calcul forțe de lunecare capabile pentru conector tip UNP sau cornier</td> </tr> <tr> <td colspan="15">Calculul forței de lunecare capabile pentru un conector tip dorn</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Coeficient</td> <td><math>\alpha =</math></td> <td>1.00</td> <td colspan="5">Forță de lunecare capabilă MIN</td> <td><math>h1 =</math></td> <td>49.50</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare capabilă 1</td> <td><math>P_{d1} =</math></td> <td>66.99</td> <td colspan="5"></td> <td><math>h2 =</math></td> <td>84.00</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare capabilă 2</td> <td><math>P_{d2} =</math></td> <td>61.37</td> <td colspan="5"><math>P_{R10} = 61.37</math> kN</td> <td><math>h2 =</math></td> <td>84.15</td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td></td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td><math>AF1 =</math></td> <td>1732.41</td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td></td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td><math>AF2 =</math></td> <td>7068.24</td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td></td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td><math>PrdU =</math></td> <td>69.99</td> </tr> <tr> <td colspan="15">Calculul forței de lunecare la interfața oțel-beton</td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td><math>n</math></td> <td><math>2n</math></td> <td><math>3n</math></td> <td colspan="5"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - inc cu convoi P10 alternativ (kN/m)</td> <td><math>L_{F_{P10R}} =</math></td> <td>1697.85</td> <td>1617.86</td> <td>1232.28</td> <td colspan="5">Forța de lunecare capabilă din inc permanentă reazem</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi P10 (kN/m)</td> <td><math>L_{F_{P10R}} =</math></td> <td>3328.86</td> <td>3370.53</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi LM71 (kN/m)</td> <td><math>L_{F_{LM71R}} =</math></td> <td>3131.82</td> <td>3171.03</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi SW2 (kN/m)</td> <td><math>L_{F_{SW2R}} =</math></td> <td>2344.70</td> <td>2374.05</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi SW0 (kN/m)</td> <td><math>L_{F_{SW0R}} =</math></td> <td>2078.97</td> <td>2104.99</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi P10 alternativ (kN/m)</td> <td><math>L_{C_{P10R}} =</math></td> <td>266.31</td> <td>269.64</td> <td>0.00</td> <td colspan="5">Forța de lunecare capabilă din inc permanentă câmp</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi P10 (kN/m)</td> <td><math>L_{C_{P10R}} =</math></td> <td>832.21</td> <td>842.63</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi LM71 (kN/m)</td> <td><math>L_{C_{LM71R}} =</math></td> <td>782.96</td> <td>792.76</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi SW2 (kN/m)</td> <td><math>L_{C_{SW2R}} =</math></td> <td>586.17</td> <td>593.51</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi SW0 (kN/m)</td> <td><math>L_{C_{SW0R}} =</math></td> <td>519.74</td> <td>526.25</td> <td></td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="15">COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI</td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td>Caz I (n+3n)</td> <td>Caz II (2n+3n)</td> <td>Max. (Caz I, Caz II)</td> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - inc. P10 alternativ + inc perm.</td> <td><math>L_{F_{P10R}} =</math></td> <td>2830.13</td> <td>2850.14</td> <td>2850.14</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - inc. P10 + inc perm.</td> <td><math>L_{F_{P10R}} =</math></td> <td>4561.14</td> <td>4602.81</td> <td>4602.81</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - inc. LM71 + inc. perm</td> <td><math>L_{F_{LM71R}} =</math></td> <td>4364.10</td> <td>4403.31</td> <td>4403.31</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - inc. SW2 + inc. perm</td> <td><math>L_{F_{SW2R}} =</math></td> <td>3576.98</td> <td>3606.33</td> <td>3606.33</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare pe reazem - inc. SW0 + inc. perm</td> <td><math>L_{F_{SW0R}} =</math></td> <td>3311.24</td> <td>3337.27</td> <td>3337.27</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - inc. P10 alternativ + inc perm.</td> <td><math>L_{C_{P10R}} =</math></td> <td>266.31</td> <td>269.64</td> <td>269.64</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - inc. P10 + inc perm.</td> <td><math>L_{C_{P10R}} =</math></td> <td>832.21</td> <td>842.63</td> <td>842.63</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - inc. LM71 + inc. perm</td> <td><math>L_{C_{LM71R}} =</math></td> <td>782.96</td> <td>792.76</td> <td>792.76</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - inc. SW2 + inc. perm</td> <td><math>L_{C_{SW2R}} =</math></td> <td>586.17</td> <td>593.51</td> <td>593.51</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare în câmp - inc. SW0 + inc. Perm</td> <td><math>L_{C_{SW0R}} =</math></td> <td>519.74</td> <td>526.25</td> <td>526.25</td> <td colspan="5">kN/m</td> </tr> <tr> <td colspan="15">CALCULUL FORȚEI DE LUNECARE TOTALE ȘI A NR DE CONECTORI PTR O JUMĂTATE DE DESCHIDERE</td> </tr> <tr> <td colspan="7"></td> <td><math>L_{TOTAL}</math></td> <td><math>P_{rd, cap}</math></td> <td>Nr. Conectori</td> <td><math>P_{rd, cap}</math></td> <td>Nr. Conectori</td> <td><math>P_{rd, cap}</math></td> <td>Nr. Conectori</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare totală - inc. P10 alternativ + inc perm.</td> <td><math>L_{T_{P10R}} =</math></td> <td>4679.57</td> <td>61.37</td> <td>77</td> <td>345.95</td> <td>14</td> <td>69.99</td> <td>67</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare totală - inc. P10 + inc perm.</td> <td><math>L_{T_{P10R}} =</math></td> <td>8168.17</td> <td>61.37</td> <td>134</td> <td>345.95</td> <td>24</td> <td>69.99</td> <td>117</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare totală - inc. LM71 + inc. perm</td> <td><math>L_{T_{LM71R}} =</math></td> <td>7794.10</td> <td>61.37</td> <td>128</td> <td>345.95</td> <td>23</td> <td>69.99</td> <td>112</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare totală - inc. SW2 + inc. perm</td> <td><math>L_{T_{SW2R}} =</math></td> <td>6299.76</td> <td>61.37</td> <td>103</td> <td>345.95</td> <td>19</td> <td>69.99</td> <td>91</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Forță de lunecare totală - inc. SW0 + inc. perm</td> <td><math>L_{T_{SW0R}} =</math></td> <td>5795.28</td> <td>61.37</td> <td>95</td> <td>345.95</td> <td>17</td> <td>69.99</td> <td>83</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="15">DISTRIBUȚIA CONECTORILOR</td> </tr> <tr> <td colspan="7">Număr conectori pe un rând</td> <td><math>n_c =</math></td> <td>4</td> <td>2</td> <td>4</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Număr de rânduri de conectori pe jumătate de deschidere</td> <td></td> <td>Dorn</td> <td>UNP</td> <td>Cornier</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Număr de rânduri de conectori - inc. P10 alternativ + inc perm.</td> <td><math>N_{rc_{P10+0}} =</math></td> <td>20</td> <td>7</td> <td>17</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Număr de rânduri de conectori - inc. P10 + inc perm.</td> <td><math>N_{rc_{P10+0}} =</math></td> <td>34</td> <td>12</td> <td>30</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Număr de rânduri de conectori - inc. LM71 + inc. perm</td> <td><math>N_{rc_{LM71+0}} =</math></td> <td>32</td> <td>12</td> <td>28</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Număr de rânduri de conectori - inc. SW2 + inc. perm</td> <td><math>N_{rc_{SW2+0}} =</math></td> <td>26</td> <td>10</td> <td>23</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">Număr de rânduri de conectori - inc. SW0 + inc. perm</td> <td><math>N_{rc_{SW0+0}} =</math></td> <td>24</td> <td>9</td> <td>21</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="7">ALEGETI TIPUL DE CONECTOR (1-Dorn, 2-UNP, 3-Cornier)</td> <td><math>C =</math></td> <td>1</td> <td colspan="8"></td> </tr> </table>															Date conectori															Diametru tija conector tip dorn							$d_c =$	16.00	mm	Date conectori tip UNP sau Cornier					UNP	Cornier	Înălțime totală conector tip dorn							$h_c =$	200.00		Lățime profil (h din tab dim. UNP) [mm]					$l =$	80	35	Rezistența de întindere ultimă a dornului							$f_{td} =$	500.00	N/mm <sup>2</sup>	Înălțime profil [mm]					$h =$	100	35	Coeficient parțial de siguranță							$\gamma_v =$	1.20		Înălțime secțiune beton [mm]					$h_{bet} =$	488.00	488.00	Date structura							Rotirea profilului tip cornier								$\alpha =$	X	45	Deschidere (m)							$L =$	6.00	m	cos								0.707388269		Rezistența caracteristică cilindrică a betonului (N/mm <sup>2</sup> )							$f_{ck} =$	30.00	N/mm <sup>2</sup>	sin								0.706825181		Modul de elasticitate beton (N/mm <sup>2</sup> )							$E_{cm} =$	32.80	N/mm <sup>2</sup>											Moment static al secțiunii de beton pentru inc de scurtă durată							$S_{b,sh} =$	2427.00	cm <sup>3</sup>											Moment static al secțiunii de beton pentru inc repetată							$S_{b,rs} =$	1836.26	cm <sup>3</sup>											Moment static al secțiunii de beton pentru inc de lungă durată							$S_{b,ls} =$	1498.80	cm <sup>3</sup>											Moment de inerție pentru încărcarea de scurtă durată							$I_s =$	98618.76	cm <sup>4</sup>											Moment de inerție pentru încărcarea repetată							$I_{rs} =$	73692.15	cm <sup>4</sup>											Moment de inerție pentru încărcarea de lungă durată							$I_{ls} =$	60061.17	cm <sup>4</sup>											Date încărcări															Reazem							Câmp										Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (all P10)							$T_{Q_{P10R}} =$	649.27		$T_{Q_{P10C}} =$	108.21	kN						Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (P10)							$T_{Q_{P10R}} =$	1352.65		$T_{Q_{P10C}} =$	338.16	kN						Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (LM71)							$T_{Q_{LM71R}} =$	1272.58		$T_{Q_{LM71C}} =$	318.15	kN						Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW2)							$T_{Q_{SW2R}} =$	952.74		$T_{Q_{SW2C}} =$	238.19	kN						Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW0)							$T_{Q_{SW0R}} =$	844.77		$T_{Q_{SW0C}} =$	211.19	kN						Forță tăietoare maximă din încărcarea permanentă							$T_{gr} =$	493.81		$T_{gc} =$	0	kN						Calcul forțe de lunecare capabile pentru conector tip UNP sau cornier															Calculul forței de lunecare capabile pentru un conector tip dorn															Coeficient							$\alpha =$	1.00	Forță de lunecare capabilă MIN					$h1 =$	49.50	Forță de lunecare capabilă 1							$P_{d1} =$	66.99						$h2 =$	84.00	Forță de lunecare capabilă 2							$P_{d2} =$	61.37	$P_{R10} = 61.37$ kN					$h2 =$	84.15															$AF1 =$	1732.41															$AF2 =$	7068.24															$PrdU =$	69.99	Calculul forței de lunecare la interfața oțel-beton																						$n$	$2n$	$3n$								Forță de lunecare pe reazem - inc cu convoi P10 alternativ (kN/m)							$L_{F_{P10R}} =$	1697.85	1617.86	1232.28	Forța de lunecare capabilă din inc permanentă reazem						Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi P10 (kN/m)							$L_{F_{P10R}} =$	3328.86	3370.53								Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi LM71 (kN/m)							$L_{F_{LM71R}} =$	3131.82	3171.03								Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi SW2 (kN/m)							$L_{F_{SW2R}} =$	2344.70	2374.05								Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi SW0 (kN/m)							$L_{F_{SW0R}} =$	2078.97	2104.99								Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi P10 alternativ (kN/m)							$L_{C_{P10R}} =$	266.31	269.64	0.00	Forța de lunecare capabilă din inc permanentă câmp						Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi P10 (kN/m)							$L_{C_{P10R}} =$	832.21	842.63								Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi LM71 (kN/m)							$L_{C_{LM71R}} =$	782.96	792.76								Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi SW2 (kN/m)							$L_{C_{SW2R}} =$	586.17	593.51								Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi SW0 (kN/m)							$L_{C_{SW0R}} =$	519.74	526.25								COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI																						Caz I (n+3n)	Caz II (2n+3n)	Max. (Caz I, Caz II)							Forță de lunecare pe reazem - inc. P10 alternativ + inc perm.							$L_{F_{P10R}} =$	2830.13	2850.14	2850.14	kN/m					Forță de lunecare pe reazem - inc. P10 + inc perm.							$L_{F_{P10R}} =$	4561.14	4602.81	4602.81	kN/m					Forță de lunecare pe reazem - inc. LM71 + inc. perm							$L_{F_{LM71R}} =$	4364.10	4403.31	4403.31	kN/m					Forță de lunecare pe reazem - inc. SW2 + inc. perm							$L_{F_{SW2R}} =$	3576.98	3606.33	3606.33	kN/m					Forță de lunecare pe reazem - inc. SW0 + inc. perm							$L_{F_{SW0R}} =$	3311.24	3337.27	3337.27	kN/m					Forță de lunecare în câmp - inc. P10 alternativ + inc perm.							$L_{C_{P10R}} =$	266.31	269.64	269.64	kN/m					Forță de lunecare în câmp - inc. P10 + inc perm.							$L_{C_{P10R}} =$	832.21	842.63	842.63	kN/m					Forță de lunecare în câmp - inc. LM71 + inc. perm							$L_{C_{LM71R}} =$	782.96	792.76	792.76	kN/m					Forță de lunecare în câmp - inc. SW2 + inc. perm							$L_{C_{SW2R}} =$	586.17	593.51	593.51	kN/m					Forță de lunecare în câmp - inc. SW0 + inc. Perm							$L_{C_{SW0R}} =$	519.74	526.25	526.25	kN/m					CALCULUL FORȚEI DE LUNECARE TOTALE ȘI A NR DE CONECTORI PTR O JUMĂTATE DE DESCHIDERE																						$L_{TOTAL}$	$P_{rd, cap}$	Nr. Conectori	$P_{rd, cap}$	Nr. Conectori	$P_{rd, cap}$	Nr. Conectori			Forță de lunecare totală - inc. P10 alternativ + inc perm.							$L_{T_{P10R}} =$	4679.57	61.37	77	345.95	14	69.99	67			Forță de lunecare totală - inc. P10 + inc perm.							$L_{T_{P10R}} =$	8168.17	61.37	134	345.95	24	69.99	117			Forță de lunecare totală - inc. LM71 + inc. perm							$L_{T_{LM71R}} =$	7794.10	61.37	128	345.95	23	69.99	112			Forță de lunecare totală - inc. SW2 + inc. perm							$L_{T_{SW2R}} =$	6299.76	61.37	103	345.95	19	69.99	91			Forță de lunecare totală - inc. SW0 + inc. perm							$L_{T_{SW0R}} =$	5795.28	61.37	95	345.95	17	69.99	83			DISTRIBUȚIA CONECTORILOR															Număr conectori pe un rând							$n_c =$	4	2	4						Număr de rânduri de conectori pe jumătate de deschidere								Dorn	UNP	Cornier						Număr de rânduri de conectori - inc. P10 alternativ + inc perm.							$N_{rc_{P10+0}} =$	20	7	17						Număr de rânduri de conectori - inc. P10 + inc perm.							$N_{rc_{P10+0}} =$	34	12	30						Număr de rânduri de conectori - inc. LM71 + inc. perm							$N_{rc_{LM71+0}} =$	32	12	28						Număr de rânduri de conectori - inc. SW2 + inc. perm							$N_{rc_{SW2+0}} =$	26	10	23						Număr de rânduri de conectori - inc. SW0 + inc. perm							$N_{rc_{SW0+0}} =$	24	9	21						ALEGETI TIPUL DE CONECTOR (1-Dorn, 2-UNP, 3-Cornier)							$C =$	1								
Date conectori																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Diametru tija conector tip dorn							$d_c =$	16.00	mm	Date conectori tip UNP sau Cornier					UNP	Cornier																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Înălțime totală conector tip dorn							$h_c =$	200.00		Lățime profil (h din tab dim. UNP) [mm]					$l =$	80	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rezistența de întindere ultimă a dornului							$f_{td} =$	500.00	N/mm <sup>2</sup>	Înălțime profil [mm]					$h =$	100	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Coeficient parțial de siguranță							$\gamma_v =$	1.20		Înălțime secțiune beton [mm]					$h_{bet} =$	488.00	488.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Date structura							Rotirea profilului tip cornier								$\alpha =$	X	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Deschidere (m)							$L =$	6.00	m	cos								0.707388269																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Rezistența caracteristică cilindrică a betonului (N/mm <sup>2</sup> )							$f_{ck} =$	30.00	N/mm <sup>2</sup>	sin								0.706825181																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Modul de elasticitate beton (N/mm <sup>2</sup> )							$E_{cm} =$	32.80	N/mm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Moment static al secțiunii de beton pentru inc de scurtă durată							$S_{b,sh} =$	2427.00	cm <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Moment static al secțiunii de beton pentru inc repetată							$S_{b,rs} =$	1836.26	cm <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Moment static al secțiunii de beton pentru inc de lungă durată							$S_{b,ls} =$	1498.80	cm <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Moment de inerție pentru încărcarea de scurtă durată							$I_s =$	98618.76	cm <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Moment de inerție pentru încărcarea repetată							$I_{rs} =$	73692.15	cm <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Moment de inerție pentru încărcarea de lungă durată							$I_{ls} =$	60061.17	cm <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Date încărcări																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Reazem							Câmp																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (all P10)							$T_{Q_{P10R}} =$	649.27		$T_{Q_{P10C}} =$	108.21	kN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (P10)							$T_{Q_{P10R}} =$	1352.65		$T_{Q_{P10C}} =$	338.16	kN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (LM71)							$T_{Q_{LM71R}} =$	1272.58		$T_{Q_{LM71C}} =$	318.15	kN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW2)							$T_{Q_{SW2R}} =$	952.74		$T_{Q_{SW2C}} =$	238.19	kN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Forță tăietoare maximă din încărcarea de scurtă durată (SW0)							$T_{Q_{SW0R}} =$	844.77		$T_{Q_{SW0C}} =$	211.19	kN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Forță tăietoare maximă din încărcarea permanentă							$T_{gr} =$	493.81		$T_{gc} =$	0	kN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Calcul forțe de lunecare capabile pentru conector tip UNP sau cornier																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Calculul forței de lunecare capabile pentru un conector tip dorn																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Coeficient							$\alpha =$	1.00	Forță de lunecare capabilă MIN					$h1 =$	49.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Forță de lunecare capabilă 1							$P_{d1} =$	66.99						$h2 =$	84.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Forță de lunecare capabilă 2							$P_{d2} =$	61.37	$P_{R10} = 61.37$ kN					$h2 =$	84.15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
														$AF1 =$	1732.41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
														$AF2 =$	7068.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
														$PrdU =$	69.99																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Calculul forței de lunecare la interfața oțel-beton																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
							$n$	$2n$	$3n$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare pe reazem - inc cu convoi P10 alternativ (kN/m)							$L_{F_{P10R}} =$	1697.85	1617.86	1232.28	Forța de lunecare capabilă din inc permanentă reazem																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi P10 (kN/m)							$L_{F_{P10R}} =$	3328.86	3370.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi LM71 (kN/m)							$L_{F_{LM71R}} =$	3131.82	3171.03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi SW2 (kN/m)							$L_{F_{SW2R}} =$	2344.70	2374.05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare pe reazem - încărcare cu convoi SW0 (kN/m)							$L_{F_{SW0R}} =$	2078.97	2104.99																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi P10 alternativ (kN/m)							$L_{C_{P10R}} =$	266.31	269.64	0.00	Forța de lunecare capabilă din inc permanentă câmp																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi P10 (kN/m)							$L_{C_{P10R}} =$	832.21	842.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi LM71 (kN/m)							$L_{C_{LM71R}} =$	782.96	792.76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi SW2 (kN/m)							$L_{C_{SW2R}} =$	586.17	593.51																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare în câmp - încărcare cu convoi SW0 (kN/m)							$L_{C_{SW0R}} =$	519.74	526.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
COMBINAȚII DE ÎNCĂRCĂRI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
							Caz I (n+3n)	Caz II (2n+3n)	Max. (Caz I, Caz II)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Forță de lunecare pe reazem - inc. P10 alternativ + inc perm.							$L_{F_{P10R}} =$	2830.13	2850.14	2850.14	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare pe reazem - inc. P10 + inc perm.							$L_{F_{P10R}} =$	4561.14	4602.81	4602.81	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare pe reazem - inc. LM71 + inc. perm							$L_{F_{LM71R}} =$	4364.10	4403.31	4403.31	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare pe reazem - inc. SW2 + inc. perm							$L_{F_{SW2R}} =$	3576.98	3606.33	3606.33	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare pe reazem - inc. SW0 + inc. perm							$L_{F_{SW0R}} =$	3311.24	3337.27	3337.27	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare în câmp - inc. P10 alternativ + inc perm.							$L_{C_{P10R}} =$	266.31	269.64	269.64	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare în câmp - inc. P10 + inc perm.							$L_{C_{P10R}} =$	832.21	842.63	842.63	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare în câmp - inc. LM71 + inc. perm							$L_{C_{LM71R}} =$	782.96	792.76	792.76	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare în câmp - inc. SW2 + inc. perm							$L_{C_{SW2R}} =$	586.17	593.51	593.51	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Forță de lunecare în câmp - inc. SW0 + inc. Perm							$L_{C_{SW0R}} =$	519.74	526.25	526.25	kN/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
CALCULUL FORȚEI DE LUNECARE TOTALE ȘI A NR DE CONECTORI PTR O JUMĂTATE DE DESCHIDERE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
							$L_{TOTAL}$	$P_{rd, cap}$	Nr. Conectori	$P_{rd, cap}$	Nr. Conectori	$P_{rd, cap}$	Nr. Conectori																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Forță de lunecare totală - inc. P10 alternativ + inc perm.							$L_{T_{P10R}} =$	4679.57	61.37	77	345.95	14	69.99	67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Forță de lunecare totală - inc. P10 + inc perm.							$L_{T_{P10R}} =$	8168.17	61.37	134	345.95	24	69.99	117																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Forță de lunecare totală - inc. LM71 + inc. perm							$L_{T_{LM71R}} =$	7794.10	61.37	128	345.95	23	69.99	112																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Forță de lunecare totală - inc. SW2 + inc. perm							$L_{T_{SW2R}} =$	6299.76	61.37	103	345.95	19	69.99	91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Forță de lunecare totală - inc. SW0 + inc. perm							$L_{T_{SW0R}} =$	5795.28	61.37	95	345.95	17	69.99	83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DISTRIBUȚIA CONECTORILOR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Număr conectori pe un rând							$n_c =$	4	2	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Număr de rânduri de conectori pe jumătate de deschidere								Dorn	UNP	Cornier																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Număr de rânduri de conectori - inc. P10 alternativ + inc perm.							$N_{rc_{P10+0}} =$	20	7	17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Număr de rânduri de conectori - inc. P10 + inc perm.							$N_{rc_{P10+0}} =$	34	12	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Număr de rânduri de conectori - inc. LM71 + inc. perm							$N_{rc_{LM71+0}} =$	32	12	28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Număr de rânduri de conectori - inc. SW2 + inc. perm							$N_{rc_{SW2+0}} =$	26	10	23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Număr de rânduri de conectori - inc. SW0 + inc. perm							$N_{rc_{SW0+0}} =$	24	9	21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
ALEGETI TIPUL DE CONECTOR (1-Dorn, 2-UNP, 3-Cornier)							$C =$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Gavril Köllő – Calculul suprastructurilor de tip dală având secțiunea mixtă oțel-beton utilizabile la podurile de cale ferată, Ed. U.T. Pres, Cluj Napoca 1999.
- [2] Mihai Nechita, Gavril Köllő, Căi Ferate, MEI – Institutul Politehnic Cluj-Napoca, 1982.
- [3] Mircea Alexa, “Premiera în Europa: Podul mixt de cale ferată peste Dunăre și Giurgiu-Ruse”, articol apărut în revista Valahia, Anul VII, Nr. 37, pagina 9.
- [4] Căi de Comunicații: poduri: elemente generale/ Ionuț Radu Răcănel. – București: Conspress, 2007, ISBN 978-973-100-000-8
- [5] Biroul de lucrări de artă din cadrul Secției L3 Cluj – Regionala CF Cluj
- [6] Petru Moga – Poduri. Suprastructuri metalice și compuse oțel-beton, U.T. Press, Cluj-Napoca, 2011
- [7] Edward Petzek, Radu Băncilă – Alcătuirea și calculul podurilor cu grinzi metalice înglobate în beton, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara 2006.
- [8] STAS 5626-1992, “Poduri. Terminologie.”
- [9] CR 1-2.1. – 2005, Reglementare Tehnică „Cod pentru proiectarea podurilor de cale ferată. Acțiuni”, Publicat în M.O. nr. 179 bis din 24.02.2006.
- [10] STAS 3220-89. “Poduri de cale ferată. Convoaie tip”
- [11] SR EN 1991-2:2004/AC:2010, “Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri”
- [12] SR EN 1992-1-1:2004, “Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri”
- [13] SR EN 1994-2:2006/AC:2008, “Eurocod 4: Proiectarea structurilor compozite de oțel și beton. Partea 2: Reguli generale și reguli pentru poduri.”
- [14] NE 012-1:2007 Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: Producerea betonului.
- [15] Dr. Köllő G., Orbán Zs., Calculul încărcărilor pentru podurile de cale ferată și dală - Az ágyazatátvezetéses vasúti hidak terhelése, Műszaki Szemle nr. 13 / 2001, pag. 23-30, ISSN 1454-0764;
- [16] Dr. Köllő G., Orbán Zs., Structuri mixte oțel-beton - Együttműködő vasúti acél-beton öszvérhidszerkezetek, Műszaki Szemle, nr. 14 / 2001, pag. 27-32, ISSN 1454-0764;
- [17] Dr. Köllő G., Dr. Kopenetz L., Orbán Zs., Proiectarea dalelor cutate în secțiune mixtă oțel-beton - Üreges együttműködő acél-beton (öszvér) lemezek tervezése, Műszaki Szemle nr. 15 / 2001, pag. 37-52, ISSN 1454-0764;
- [18] Dr. Moga I., Dr. Köllő G., Gutiu St., Orban Zs., Evaluarea la oboseală a structurii podurilor de oțel - Az acélhidak elavulásfelméréseinek gyakorlati kérdései, Műszaki Szemle nr. 19 / 2001, pag.24-32, ISSN 1454-0764;
- [19] Dr. Köllő G., Dr. Kopenetz L., Orbán Zs., Poduri de cale ferată cu structură mixtă oțel-beton - Vasúti együttműködő acél-beton hidszerkezetek, Conferința Internațională de Inginerie Civilă și Arhitectură EPKO 2001, pag. 117–126;
- [20] Dr. Köllő G., Dr. Kopenetz L., Orbán Zs., Structuri moderne de poduri cu secțiune mixtă oțel-beton – Korszerű együttműködő acél-beton hidszerkezetek, Sapiientia Könyvek – Műszaki szaktanulmányok, Ed. Scientia, 2002, ISBN 973-85422-5-1

- [21] Dr. Köllő G., Dr. Kopenetz L., Orbán Zs., Poduri dalate în structură mixtă oțel-beton cu structura metalică alcătuită din țevi - Acélsövekből kialakítható öszvérszerkezetek, Műszaki Szemle nr. 17 / 2002, pag. 21-33, ISSN 1454-0746;
- [22] Dr. Köllő G., Orbán Zs., Godja T., Muresan O., Proiectarea asistată de calculator a dalelor în structură mixtă oțel-beton - Együttműködő acél-beton lemezek számítógépes tervezése, Műszaki Szemle nr. 18 / 2002, pag. 33-50, ISSN 1454-0746;
- [23] Dr. Köllő G., Dr. Kopenetz L., Dr. Kiss Z., Orbán Zs., Tipuri noi de structuri mixte oțel-beton construite din țevi de oțel - New Composite Structures Built of Steel Tubes, Conferința Internațională de Inginerie Civilă și Arhitectură EPKO 2002, Șumuleu-Ciuc, 6-8 iunie, vol ed. EMMTT, ISBN 973-85809-0-0, pag. 153-161.
- [24] Dr. Köllő G., Orbán Zs., Godja T., Muresan O., Program de proiectare a podurilor de cale ferată în structură mixtă oțel-beton - Vasúti öszvérlémez híd szerkezetek számítógépes tervezése, Conferința Internațională de Inginerie Civilă și Arhitectură EPKO 2003, pag. 177-181.
- [25] Date Tehnice Leica TPS 700
- [26] Analiză Modală Experimentală, Laborator „Acțiuni în Construcții și Structuri” Departamentul Mecanica Construcțiilor
- [27] [https://en.wikipedia.org/wiki/Opening\\_of\\_the\\_Liverpool\\_and\\_Manchester\\_Railway](https://en.wikipedia.org/wiki/Opening_of_the_Liverpool_and_Manchester_Railway)
- [28] [https://en.wikipedia.org/wiki/George\\_Stephenson](https://en.wikipedia.org/wiki/George_Stephenson)
- [29] <http://www.bbc.com/news/uk-england-leicestershire-35039893>
- [30] [https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s\\_Rocket](https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket)
- [31] [https://ro.wikipedia.org/wiki/Petrache\\_Poenaru](https://ro.wikipedia.org/wiki/Petrache_Poenaru)
- [32] [https://ro.wikipedia.org/wiki/Anghel\\_Saligny](https://ro.wikipedia.org/wiki/Anghel_Saligny)
- [33] <http://www.ipedia.ro/istoria-cailor-ferate-654/>
- [34] [https://ro.wikipedia.org/wiki/C%C4%83ile\\_Ferate\\_Rom%C3%A2ne](https://ro.wikipedia.org/wiki/C%C4%83ile_Ferate_Rom%C3%A2ne)
- [35] <https://www.scribd.com/document/40224549/calcul-conectori>
- [36] <https://cernavoda.wordpress.com/2009/09/19/anghel-saligny-din-intelepciunea-inginerului/>
- [37] <http://www.cunoastelumea.ro/podul-de-la-cernavoda-cel-mai-mare-pod-european-al-secolulu-al-xix-lea-a-implinite-120-de-ani-afla-i-povestea/>
- [38] <http://www.h-metal.ro/blog/podul-prieteniei-giurgiu-ruse/>
- [39] <https://www.agerpres.ro/flux-documentare/2014/06/20/documentar-60-de-ani-de-la-inaugurarea-podului-giurgiu-ruse-podul-prieteniei-09-20-43>
- [40] <http://www.ampost.ro/subpagina/masura-ispas-2000-ro-16-p-pt-001>