

IONUT-RADU RACANEL

CAI DE COMUNICATII: PODURI
elemente generale

CONSPRESS



BUCURESTI

2007

IONUȚ RADU RĂCĂNEL

**CĂI DE COMUNICAȚII: PODURI
elemente generale**

CONSPRESS



BUCUREȘTI

2007

Descrierea CIP a Bibliotecii Nationale a României

RĂCĂNEL, IONUȚ RADU

Căi de Comunicații: poduri: elemente generale/
Ionuț Radu Răcănel. – București: Conspress, 2007

Bibliogr.

ISBN 978-973-100-000-8

624.2/.8

ISBN 978-973-100-000-8

CONSPRESS
B-dul Lacul Tei 124 sector 2 Bucuresti
Tel.: 021 242 27 19 / 183

PREFAȚĂ

Lucrarea “Căi de Comunicații: Poduri. Elemente generale” concepută și realizată de Șef lucr.dr.ing. Ionuț Radu Răcănel poate fi situată, prin conținutul său, în categoria materialelor de studiu pentru cultură tehnică generală, care se adresează în primul rând studenților Universităților Tehnice cu specializări în domeniul de inginerie civilă, dar poate fi utilă, prin datele, informațiile și exemplele pe care le conține, absolvenților care încep o carieră în ingineria podurilor.

Scopul acestui volum este să completeze și să îmbunătățească materialele existente în România cu tematică tehnică asemănătoare, bazându-se pe o documentare relevantă, din care au rezultat exemple reprezentative din evoluția și concepția lucrărilor de poduri, atât în România, cât și în țările mai avansate. Această lucrare nu reprezintă un lexic exhaustiv al domeniului, dar conține un ansamblu de cunoștințe absolut necesare în concepția și construcția podurilor. Se poate spune că reprezintă o introducere în domeniul construcțiilor de poduri.

Structura lucrării permite să se distingă momentele relevante din evoluția podurilor, elementele geometrice fundamentale ale podurilor și componentelor acestora – infrastructuri și suprastructuri, tipurile de racordări cu terasamentele, factorii care determină alegerea amplasamentului și a tipului de structură, clasificarea și gruparea acțiunilor pentru poduri conform prescripțiilor oficiale din România și a celor europene. Din conținutul lucrării doresc să evidențiez câteva părți care se referă la: podurile cu infrastructură integrată, podurile cu hobane și suspendate, podurile combinate, podurile pentru pietoni, podurile mobile.

Apreciez că lucrarea, prin conținutul său și maniera rațională și analitică de prezentare poate influența tinerii, care aleg pregătirea superioară în ingineria civilă, să aprofundeze domeniul complex al construcțiilor de poduri.

*Nicolae POPA
Profesor la Catedra de Poduri
Universitatea Tehnică de Construcții București*

CUPRINS

CAPITOLUL 1 ISTORIC ASUPRA EVOLUȚIEI PODURILOR	1
CAPITOLUL 2 ELEMENTE DE NOMENCLATURĂ A PODURILOR ȘI PODEȚELOR	28
2.1 GENERALITĂȚI	28
2.2 PODURI. ELEMENTE GEOMETRICE	34
2.3 PODEȚE. ELEMENTE GEOMETRICE. TIPURI DE PODEȚE	37
CAPITOLUL 3 INFRASTRUCTURA PODURILOR	45
3.1 PILE. ELEMENTE GEOMETRICE. TIPURI DE PILE	45
3.2 CULEE. ELEMENTE GEOMETRICE. TIPURI DE CULEE	52
3.3 PODURI CU INFRASTRUCTURĂ INTEGRATĂ	58
CAPITOLUL 4 APARATE DE REAZEM UTILIZATE LA PODURI	67
4.1 GENERALITĂȚI	67
4.2 DISPUNEREA APARATELOR DE REAZEM	68
4.3 TIPURI DE APARATE DE REAZEM	71
CAPITOLUL 5 SUPRASTRUCTURA PODURILOR	79
5.1 GENERALITĂȚI	79
5.2 PODURI DALATE	80
5.3 PODURI CU GRINZI	85
5.3.1 Poduri metalice cu grinzi cu inimă plină	90
5.3.2 Poduri cu grinzi din beton	103

5.4	PODURI CU GRINZI CU ZĂBRELE	110
5.5	PODURI PE CADRE	118
5.6	PODURI PE ARCE	123
5.7	PODURI CU CABLURI	130
CAPITOLUL 6 TIPURI SPECIALE DE PODURI		146
6.1	PODURI COMBINATE	146
6.2	PASAJE ȘI PODURI DE ÎNCRUCIȘARE	152
6.3	PODURI AUXILIARE (PROVIZORII)	154
6.4	PODURI PIETONALE (PASERELE)	156
6.5	PODURI MOBILE	159
6.5.1	Poduri basculante	161
6.5.2	Poduri rotitoare	163
6.5.3	Poduri ridicătoare	166
6.5.4	Alte tipuri de poduri mobile	168
6.6	PODURI PENTRU UTILITĂȚI	170
CAPITOLUL 7 AMPLASAMENTUL PODURILOR		173
7.1	GENERALITĂȚI	174
7.2	CARACTERISTICI ALE CURSURILOR DE APĂ	176
7.3	CURSURI DE APĂ CU FORME SPECIALE ALE ALBIEI	181
7.4	PODURI AMPLASATE LA CONFLUENȚA A DOUĂ APE CURGĂTOARE	188
7.5	STUDIUL TERENULUI DE FUNDAȚIE	189
7.6	STUDIUL AXEI CĂII DE COMUNICAȚIE ȘI AL LINIEI ROȘII ÎN ZONA PODURILOR	194
7.6.1	Poduri oblice	195
7.6.2	Poduri în curbă	200
7.6.3	Poduri în declivitate	205
CAPITOLUL 8 SPAȚII LIBERE PENTRU PODURI		208
8.1	GENERALITĂȚI	208
8.2	GABARITE PENTRU PODURI DE CALE FERATĂ	209
8.3	GABARITE PENTRU PODURI DE ȘOSEA, PASAJE ȘI PASERELE	214
8.4	SPAȚII LIBERE SUB PODURI	220
8.4.1	Înălțimea liberă sub poduri	221
8.4.2	Înălțimea liberă sub podețe	224

CAPITOLUL 9 METODE DE MONTAJ UTILIZATE LA PODURI	230
9.1 GENERALITĂȚI	230
9.2 DESCRIEREA METODELOR DE MONTAJ	231
CAPITOLUL 10 ACȚIUNI LA PODURI	245
10.1 GENERALITĂȚI	245
10.2 METODE DE CALCUL ALE PODURILOR	246
10.2.1 Metoda rezistențelor admisibile	247
10.2.2 Criterii de dimensionare în metoda rezistențelor admisibile	248
10.2.3 Metoda stărilor limită	249
10.3 CLASIFICAREA ȘI GRUPAREA ACȚIUNILOR CONSIDERATE LA PODURI	252
10.4 ACȚIUNI CONSIDERATE ÎN CAZUL PODURILOR DE ȘOSEA	259
10.4.1 Acțiuni permanente	259
10.4.2 Acțiuni din trafic	260
10.4.3 Acțiuni provenite din frânarea sau demararea vehiculelor	269
10.4.4 Acțiunea forței centrifuge	271
10.4.5 Acțiuni considerate pe trotuare și asupra parapetelor	272
10.5 ACȚIUNI CONSIDERATE ÎN CAZUL PODURILOR DE CALE FERATĂ	274
10.5.1 Acțiuni permanente	274
10.5.2 Acțiuni din trafic	276
10.5.3 Acțiuni provenite din frânarea sau demararea vehiculelor feroviare	281
10.5.4 Acțiuni din forța centrifugă și din șerpuirea vehiculelor	282
10.6 ALTE ACȚIUNI CONSIDERATE LA PODURI	284
10.6.1 Acțiunea vântului	284
10.6.2 Împingerea pământului	285
10.6.3 Presiunea hidrostatică a apei	287
10.6.4 Acțiuni produse de variațiile de temperatură	288
10.6.5 Acțiuni produse de contracția și curgerea lentă a betonului	289
10.6.6 Acțiuni provenind din tasările infrastructurilor	289
10.6.7 Acțiuni provenind din seism	290

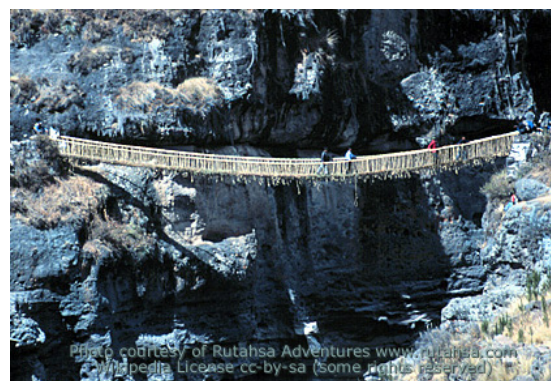
10.6.8 Acțiuni datorate curgerii apei, deplasării blocurilor de gheață, coliziunii dintre vehicule și părți ale podului, frecării în aparatele de reazem	292
BIBLIOGRAFIE	294

CAPITOLUL 1

ISTORIC ASUPRA EVOLUȚIEI PODURILOR

Evoluția podurilor de-a lungul istoriei a fost determinată de evoluția societății omenești în fiecare orânduire socială traversată. Podurile au apărut din necesitatea traversării obstacolelor întâlnite în drumul oamenilor: ape curgătoare, văi adânci și accidentate, prăpastii și au evoluat de la formele cele mai simple ce utilizau în principal materiale de construcție existente în natură (lemn și piatră), până la formele moderne de astăzi realizate din beton respectiv din oțel sau din combinații ale celor două materiale. Ritmul de dezvoltare al construcției de poduri a fost direct influențat de descoperirea materialelor de construcție noi și performante cum sunt betonul armat și precomprimat, oțelul, materialele compozite care au condus nu numai la abordarea unor tipuri noi de structuri, de neimaginat în trecut, dar mai ales la realizarea unor poduri ce pot conduce la traversări ale unor obstacole de dimensiuni mari.

Primele tipuri de poduri, cele mai simple forme, au apărut firesc din necesitatea de a oferi omului o posibilitate de traversare a unor obstacole, dat fiind faptul că nu exista o cale de ocolire a obstacolului. Traversarea apelor și a altor obstacole s-a făcut la început pe poduri primitive din trunchiuri de copaci (Fig. 1.1), din liane (Fig. 1.2) sau chiar din piatră (Fig. 1.3).

**Fig.1.1 Pod din trunchiuri de arbori****Fig. 1.2 Pod din liane****Fig. 1.3 Pod din piatră**

Există însă și poduri naturale rezultate în urma unor fenomene de modificare a morfologiei scoarței terestre sau prin prăbușirea tavanelor unor peșteri, având uneori dimensiuni importante și oferind în epoca modernă posibilitatea construirii unor căi de comunicație fără a realiza o altă structură de rezistență. Este cazul podului natural numit “Podul lui Dumnezeu” din localitatea Ponoarele, județul Gorj (Fig. 1.4).

Construcția podurilor realizate prin contribuția omului își are originile în Egipt și Mesopotamia, dar și în Europa Mediteraneană, mai ales în Imperiul Roman.

Primul pod important a fost realizat peste râul Eufrat, în Babilon, în anul 600 î.e.n. și avea o lungime de aproximativ 300 m. Pilele (*Pilă* – parte a infrastructurii podului pe care există reazeme intermediare ce susțin

suprastructura) erau construite din cărămidă și utilizau pentru îmbinare un mortar de asphalt. Secțiunea pilelor avea 21 m lungime și 9 m lățime. Suprastructura era realizată din trunchiuri de palmier dispuse alăturat.



Fig. 1.4 Podul lui Dumnezeu din localitatea Ponoarele, jud. Gorj

Ritmul construcției de poduri a devenit semnificativ în perioada Imperiului Roman. Romanii au rămas în istoria podurilor atât prin structurile de apeducte pentru alimentarea cu apă a localităților, ce se întindeau pe zeci de km, dar și prin lucrările de poduri realizate în special sub formă de bolți și arce din piatră și lemn.

Cel mai mare pod din lemn construit de romani a fost podul peste Dunăre la Drobeta Turnu Severin, conceput și realizat de Apollodor din Damasc între anii 104 -105 d.H. pentru a permite armatelor romane traversarea Dunării. Podul, prezentat în Fig. 1.5, după o reconstituire a inginerului francez Edgar Dupperex, avea suprastructura realizată din arce concentrice din lemn de stejar pe care rezema calea. Lungimea totală a podului a fost de aproximativ 1071 m, fiind acoperită cu 21 de deschideri de câte 33 m fiecare. Pilele ce susțineau suprastructura aveau o lățime de 18 m și erau realizate la exterior din zidărie uscată de piatră, iar la interior din blocuri de piatră îmbinate cu ciment roman.

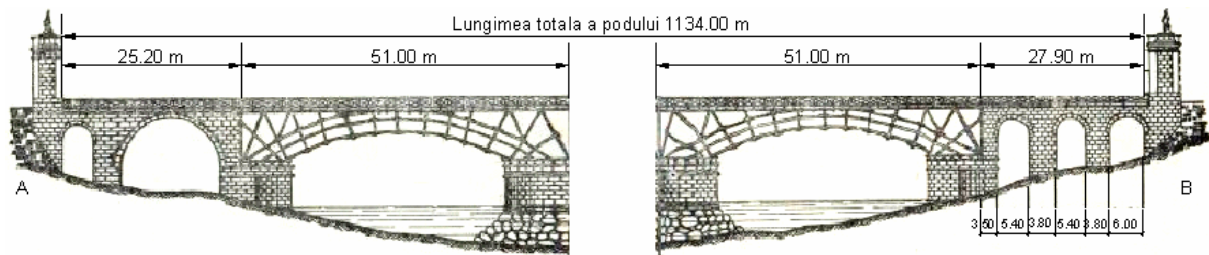


Fig. 1.5 Deschiderile de capăt ale podului peste Dunăre de la Drobeta Turnu Severin
A - Culeea de pe malul românesc
B – Culeea de pe malul sârbesc

Romanii au realizat și poduri masive importante având ca element principal de rezistență bolta în plin cintru (în arc de cerc) realizată din blocuri de piatră cioplită.

Cel mai important pod de acest fel, având cea mai mare înălțime deasupra apei (circa 65 m) a fost realizat pe vremea împăratului Traian în jurul anilor 100 peste râul Tago în Spania și este numit podul Alcantara (Fig. 1.6).



Fig. 1.6 Podul Alcantara peste râul Tago

Dintre apeductele realizate de romani, cel mai cunoscut este cel realizat lângă orașul Nimes din Franța numit Pont du Gard (Fig. 1.7), realizat în secolul I î.H. din bolți suprapuse pe 3 nivele. Un alt apeduct important este cel din orașul Segovia, în Spania, cu o lungime inițială estimată de istorici la 12 km, realizat cu zidărie uscată din blocuri de piatră șlefuite cu dimensiuni cuprinse între 50 -120 cm dispuse tot în formă de bolți pe două nivele.



Fig. 1.7 Apeductul roman numit Pont du Gard

După căderea Imperiului Roman au fost construite poduri importante mai ales în Orient, în special în Imperiul Bizantin și în Iran între secolele VI-IX.

Secolele XI-XV au fost marcate de puternice războaie interstatale ce au influențat forma constructivă a podurilor realizate în această perioadă de timp. Podurile aveau calea îngustă și erau fortificate cu turnuri și metereze pentru a înlesni apărarea lor în caz de atac. În această perioadă a crescut și interesul pentru schimburile comerciale, construindu-se, în special în orașe, poduri cu lățimi mari pe care existau locuințe și chiar spații comerciale.

Un astfel de pod este Ponte Vecchio din Florența, în Italia (Fig. 1.8) realizat în anul 1395. Podul are lățimea de 37.30 m suprastructura fiind constituită din 3 bolți, cea mai mare având deschiderea de 29.20 m.



Fig. 1.8 Ponte Vecchio din Florența

Între secolele XVI și XIX s-au realizat, în special în Italia, poduri din zidărie de piatră având o mare valoare artistică și în prezent. Podurile susțineau locuințe sau erau destinate spațiilor comerciale în zone intens cizulate. Un astfel de pod a fost construit în Veneția, Italia, de către arhitectul Antonio Ponte în anul 1591. Podul Ponte Rialto (Fig. 1.9) este realizat din marmură albă în pantă și contrapantă, are o deschidere de 28.20 m și o lățime de 22 m, dintre care 7 m pentru circulație, restul spațiului fiind ocupat de magazine. Podul reprezintă o atracție turistică și a fost astfel conceput încât să poată susține mari aglomerări de oameni.



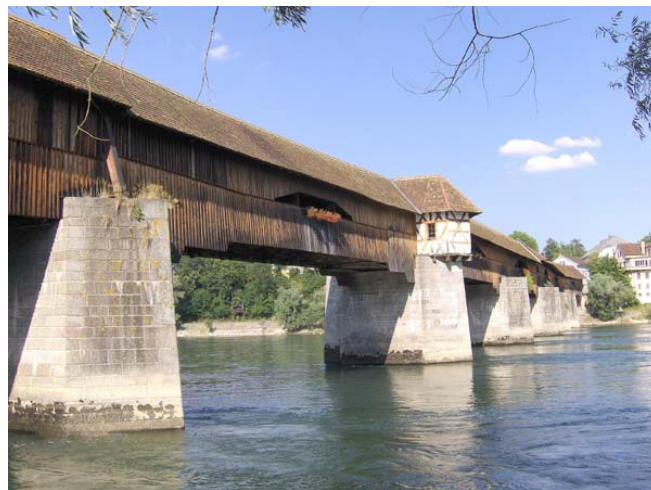
Fig.1.9 Ponte Rialto din Veneția

Un alt pod cu aspect estetic deosebit și având o înălțime mare este viaductul Ronda, din Spania (Fig. 1.10).

Tot în această perioadă, pe lângă podurile masive din piatră s-au construit și poduri din lemn, cu dimensiuni importante. O astfel de structură este podul peste Rin la Schaffhausen (Fig. 1.11) situat la granița dintre Elveția și Germania, având două deschideri de 51 și respectiv 59 m. Podul proiectat de frații Grubenmann este complet acoperit.



Fig. 1.10 Viaductul roman Ronda din Spania



**Fig. 1.11 Podul peste Rin la Schaffhausen,
la granița dintre Elveția și Germania**

Podurile se pot realiza însă integral din lemn (atât infrastructura, cât și suprastructura), dar ele au un caracter provizoriu, înlocuind temporar până la reconstrucție sau consolidare un pod definitiv. Un astfel de pod este prezentat în figura 1.12.

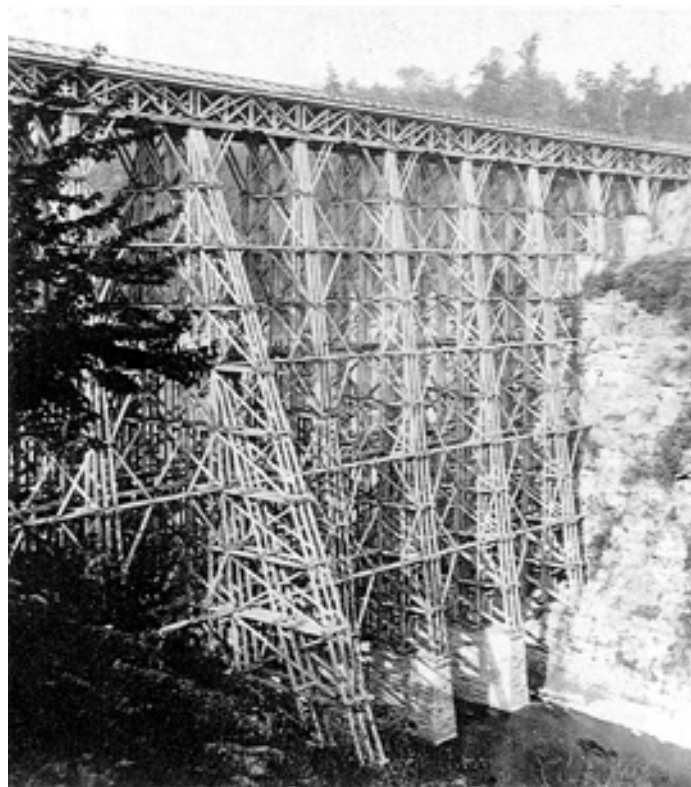


Fig. 1.12 Pod provizoriu din lemn

În jurul anilor 1700 a fost construit și primul pod metalic, în China la Lutingchiao. Podul aflat în funcțiune și astăzi a fost realizat ca pod suspendat cu lanțuri și are o deschidere de 100 de m.

Secolele al XVIII-lea și al XIX-lea marchează o evoluție rapidă a infrastructurii transporturilor, în special a lucrărilor de căi ferate. Astfel, ca urmare a creșterii sarcinilor care circulau pe poduri și de asemenea a vitezelor de circulație a apărut necesitatea găsirii și dezvoltării atât a unor noi metode de construcție cât și a unor materiale mai performante.

În secolul al XIX-lea apar și se dezvoltă podurile din lemn realizate în sistem grinzi cu zăbrele. Cele mai cunoscute sisteme utilizate în acea perioadă erau *Long* (Fig.1.13) grinzi cu zăbrele consolidate cu contrafișe, *Town* (Fig. 1.14) grinzi cu zăbrele multiple realizate din dulapi fixați la noduri cu buloane metalice și sistemul *Howe* (Fig. 1.15) derivat de fapt din sistemul *Long* și la care montanții verticali din lemn au fost înlocuiți cu tiranți metalici,

tiranții din lemn neputând avea îmbinări corespunzătoare pentru preluarea întinderilor.

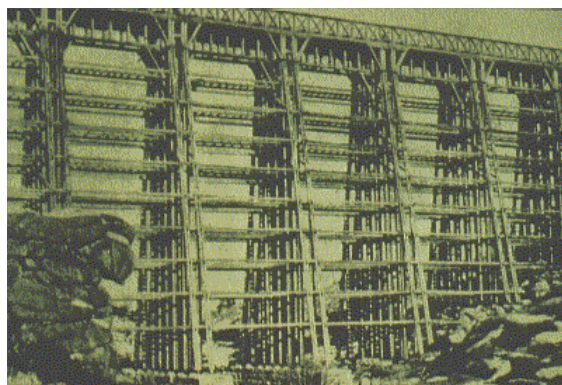


Fig. 1.13 Pod din lemn realizat în sistem Long



a)



b)

Fig. 1.14 Pod din lemn cu grinzi de tip Town

a) Vedere laterală a podului

b) Detaliu grindă tip Town



Fig. 1.15 Pod din lemn realizat în sistem Howe

Începând cu mijlocul secolului al XVIII-lea și până la mijlocul secolului al XIX-lea ia amploare construcția podurilor metalice din fontă. Ca formă constructivă aceste poduri erau asemănătoare celor anterioare realizate din piatră sau zidărie și aveau deci ca principală structură de rezistență bolțile sau arcele. Această formă pune cel mai bine în valoare caracteristicile mecanice ale fontei și anume rezistențe mari la solicitări de compresiune și mici la solicitări de întindere. Primul pod important din fontă a fost realizat între anii 1776 și 1779 de către Abraham Darby peste râul Severn, în localitatea Coalbrookdale din Anglia. Podul numit Iron Bridge (Fig. 1.16) este realizat din 5 arce paralele cu deschiderea de 30.62 m.



Fig. 1.16 Podul Iron Bridge în localitatea Coalbrookdale, Anglia

Podurile metalice realizate din fontă s-au răspândit mai întâi în Europa, în Anglia, Germania și Franța, dar și în S.U.A. În anul 1819 a fost terminat podul Southwark, peste Tamisa, structura de rezistență fiind alcătuită din arce realizate din bolțari din fontă cu care s-a realizat o deschidere a podului de 73 m. În Franța, un pod important din fontă, finalizat în anul 1839 este podul Carousell peste Sena la Paris. Soluția constructivă aleasă a fost tot cea cu arce, dar de această dată arcele erau realizate din tuburi din fontă. Deschiderea podului este de 48 m.

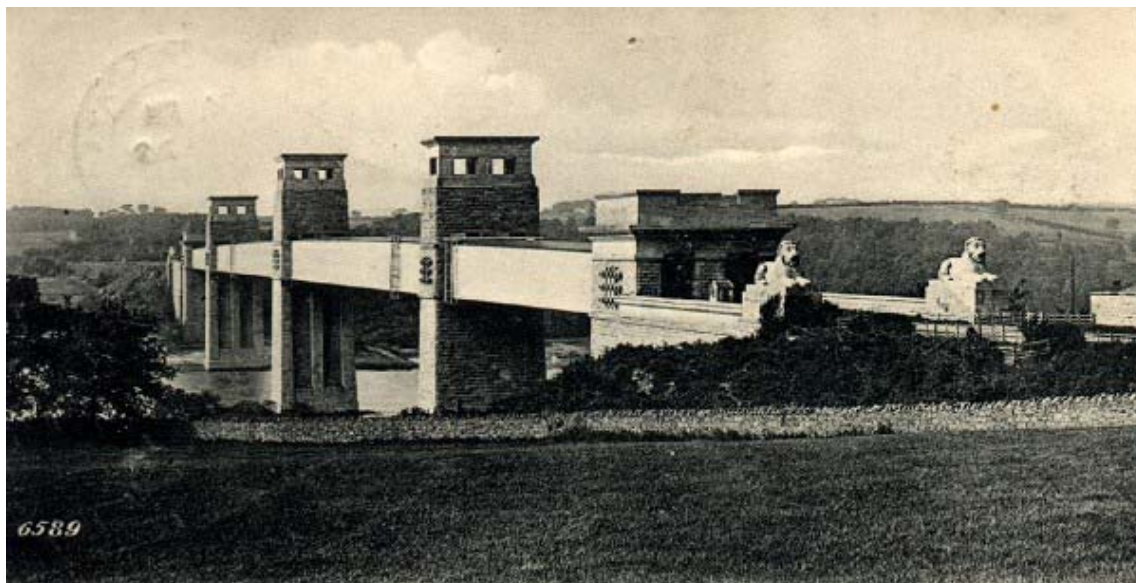
În această perioadă de timp au loc însă și numeroase accidente apărute la structurile de rezistență realizate din fontă atât la poduri cât și la hale industriale, gări sau hale de expoziție. Cauza o constituia tocmai comportarea nesatisfăcătoare a fontei la solicitări de întindere. Trebuia deci găsit un material metalic care să înlăture aceste neajunsuri și astfel a apărut *fierul pudlat* ce a fost utilizat ca material de construcție între începutul secolului al XIX-lea și sfârșitul secolului al XIX-lea.

În perioada 1846-1850, inginerul Robert Stephenson a construit podul Britannia peste strâmtoarea Menai, în Anglia (Fig. 1.17). Podul a reprezentat o soluție îndrăznească pentru acea vreme și o premieră deoarece au fost realizate pentru prima oară încercări pe modele la scara 1:7 care aveau drept scop stabilirea pe cale experimentală a dimensiunilor elementelor principale de rezistență.

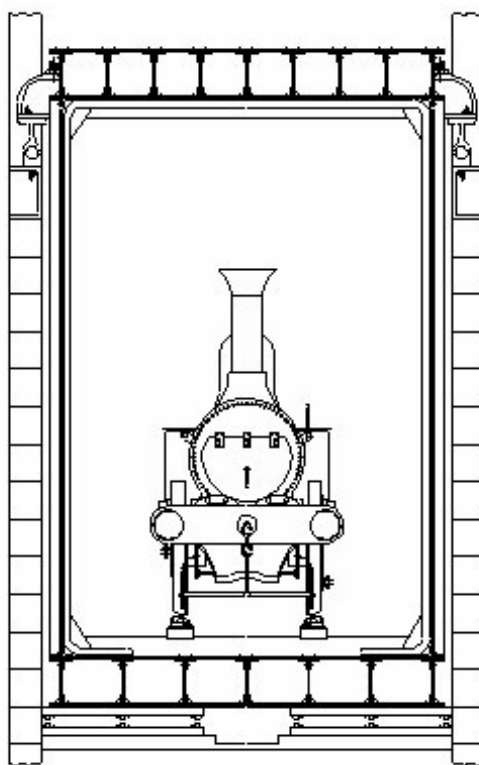
Podul avea 4 deschideri ($71.40+2\times 141.78+71.40$) m și suprastructura era o grindă continuă cu secțiune transversală casetată. În interiorul casetei, la partea inferioară era amplasată calea ferată simplă. Podul a fost distrus în urma unui incendiu de mari proporții.

Utilizarea *fierului pudlat* a permis abordarea și altor tipuri de sisteme structurale pentru suprastructurile podurilor metalice. Un exemplu este podul construit în perioada 1847-1857, peste Vistula, la Dirschau în Germania (Fig. 1.18). Suprastructura este realizată cu grinzi cu zăbrele sistem multiplu, pe 6 deschideri, deschiderea maximă fiind de 131 m, valoare importantă pentru acea dată.

În anul 1884 a fost finalizat în Franța viaductul de cale ferată Garabit (Fig.1.19), ce utilizează ca structură principală de rezistență un arc dublu articulată din fier pudlat, cu deschiderea de 165 m. Podul a fost construit de celebrul inginer francez Gustave Eiffel.



a)



b)

Fig.1.17 Podul Britannia peste strâmtoarea Menai în Anglia
a) Vedere de ansamblu
b) Secțiune transversală



Fig. 1.18 Podul peste Vistula la Dirschau în Germania



Fig. 1.19 Viaductul Garabit realizat de inginerul francez Gustave Eiffel

Începând cu a doua jumătate a secolului al XIX-lea și până în prezent apar noi materiale de construcții și în această categorie pot fi incluse betonul armat, betonul precomprimat și bineînțeles oțelul.

Primele poduri realizate din beton simplu utilizau aceleași forme constructive ca și podurile masive din zidărie, anume arcele și bolțile. Treptat însă au apărut podurile din beton armat realizate în soluția cu grinzi cu înălțime constantă sau variabilă.

Dintre podurile din beton armat importante realizate la nivel mondial, în figura 1.20 este prezentat podul de șosea Sandö din Suedia, peste râul Ångermansälven, finalizat în anul 1943. Podul are o deschidere de 264 m, o săgeată de 42 m, iar lungimea totală este de 810 m.



Fig. 1.20 Podul cu arce din beton armat Sandö

În figura 1.21 se prezintă o vedere a podului Arrabida, peste râul Douro, ce face legătura între orașele Porto și Vila Nova de Gaia din Portugalia. Podul a fost realizat în soluția cu arce din beton armat, fiind construit în perioada 1960-1963, are o lungime totală de 615 m, săgeata arcului este de 52 m, iar cu deschiderea de 270 m a deținut recordul la acea dată. Tablierul din beton se află la o înălțime de 70 m deasupra nivelului apei și are o lățime de 27 m.



Fig. 1.21 Podul Arrabida peste râul Douro

Un alt pod important realizat din beton armat a fost podul peste Dunăre de la Novi Sad în Serbia (Fig. 1.22). Acesta a fost realizat în soluția cu arce cu calea la mijloc, cu două deschideri dintre care cea maximă avea valoarea de 211 m. Podul a fost complet distrus în timpul atacurilor trupelor aliate în războiul din fosta Republică Federativă Iugoslavia.

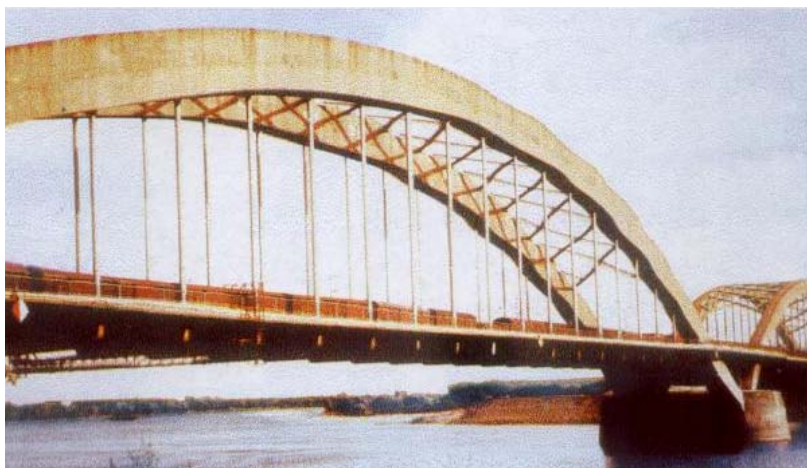


Fig. 1.22 Fostul pod de pe Dunăre la Novi Sad, în Serbia

În ceea ce privește podurile din beton precomprimat, acestea au avut o evoluție semnificativă în special în a doua jumătate a secolului al XX-lea. În această perioadă au fost puse la punct și noi metode de execuție ce au permis abordarea unor noi soluții și sisteme constructive.

În figura 1.23 este prezentat podul peste Rin la Bendorf, în Germania, realizat cu grinzi din beton precomprimat și executat în consolă. Având o deschidere maximă de 208 m, acest pod a deținut recordul de deschidere în perioada anilor 1960. Lungimea totală a podului este de 500 m.

Cu ajutorul grinzilor ancorate realizate din beton precomprimat au putut fi executate deschideri foarte mari. În anul 1962 a fost terminat podul peste golful Maracaibo în Venezuela (Fig. 1.24), care are podul principal executat cu 5 deschideri de câte 235 m fiecare, iar lungimea totală este de 8272 m.

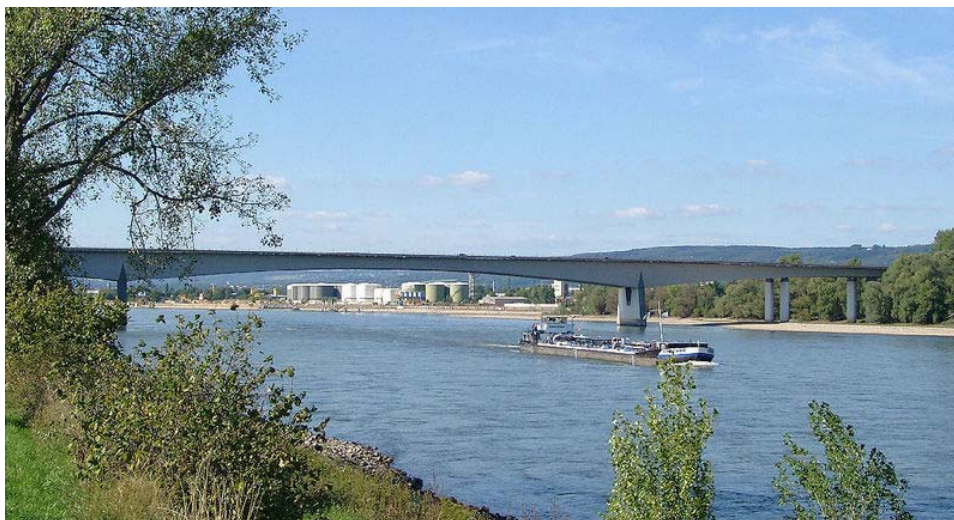


Fig. 1.23 Podul peste Rin la Bendorf



Fig. 1.24 Podul peste golful Maracaibo în Venezuela

Odată cu descoperirea celor trei mari procedee de obținere a oțelului pe cale industrială, procedeele *Bessemer*, *Siemens-Martin* și *Thomas* a început și perioada utilizării oțelului moale pentru construcția podurilor. A fost astfel eliminat principalul inconvenient al fierului pudlat și anume neomogenitatea structurală, oțelurile obținute prin cele trei procedee având caracteristici mecanice superioare fierului pudlat. Sistemele structurale utilizate la construcția podurilor au evoluat și ele odată cu apariția oțelului. S-au impus, în special începând cu a doua jumătate a secolului al XX-lea, podurile cu cabluri și anume podurile

hobanate, respectiv suspendate. Utilizând aceste sisteme structurale deschiderile ce puteau fi acoperite aveau valori din ce în ce mai mari.

Dintre podurile remarcabile realizate din oțel pe plan mondial pot fi amintite:

- podul suspendat Brooklyn (Fig. 1.25), construit în anul 1883 la New York peste râul East River, cu deschiderea de 488 m;



Fig. 1.25 Podul Brooklyn de la New York, S.U.A.

- în perioada 1884-1890 a fost construit podul de cale ferată Firth of Forth (Fig. 1.26), cu grinzi cu zăbrele cu console și articulații (grinzi Gerber) și având deschiderea de 521 m. Forma grinzilor principale cu zăbrele a fost stabilită pe baza formei diagramelor de momente încovoietoare.



Fig. 1.26 Podul Firth of Forth din Scoția realizat cu grinzi Gerber (cu console și articulații)

- între anii 1905 și 1917 a fost realizat podul Québec peste râul Sfântul Laurențiu (Fig. 1.27), în Canada, în soluția grinzi cu zăbrele tip Gerber, având deschiderea centrală de 548.60 m ceea ce reprezintă, pentru acest tip de structură, recordul de deschidere chiar și în prezent;



Fig. 1.27 Podul Québec peste râul Sfântul Laurențiu în Canada

- primul pod suspendat cu deschidere mai mare de 1000 m a fost executat în perioada 1929-1932 peste râul Hudson, la New York. Podul se numește George Washington și are o deschidere de 1067 m;
- podul Golden Gate din San Francisco (Fig. 1.28) a fost finalizat în anul 1937 și are o deschidere de 1280 m. Podul a reprezentat o premieră prin realizarea în apele golfului a unor infrastructuri fundate direct la mare adâncime.



Fig. 1.28 Podul suspendat Golden Gate din San Francisco

În a doua jumătate a secolului al XX-lea au luat amploare soluțiile de poduri cu cabluri. Podul suspendat Humber de la Hull (Fig.1.29), în Anglia a fost dat în exploatare în 1981 și a fost unul dintre primele poduri la care s-a utilizat pentru secțiunea transversală a suprastructurii, o casetă închisă din oțel, sub forma unei aripi de avion, pentru a atenua efectele dinamice date de vânt. Pentru stabilirea formei în secțiune transversală a suprastructurii au fost realizate studii în tunele aerodinamice.

Cu valoarea de 1410 m între axele pilonilor acest pod a deținut recordul de deschidere până în anul 1995, când a fost depășit de podul Great Baelt din Danemarca (Fig. 1.30), ce are deschiderea de 1624 m.



Fig. 1.29 Podul suspendat Humber de la Hull, Anglia



Fig. 1.30 Podul Great Belt din Danemarca

Recordul mondial de deschidere pentru podurile suspendate este deținut în prezent de podul Akashi-Kaikyo (Fig. 1.31) construit în Japonia și finalizat în anul 1999. Podul este situat pe o magistrală rutieră ce unește insulele Shikoku și Honshu și are o deschidere de 1990.8 m între piloni.



Fig. 1.31 Podul Akashi Kaikyo din Japonia

Concomitent cu dezvoltarea podurilor suspendate, au fost realizate și poduri cu *hobane*. În anul 2004, în luna august, a fost deschis traficului podul Rion-Antirion (Fig. 1.32), care traversează golful Corint aproape de localitatea Patras din Grecia. Podul face legătura între localitatea Rion din Peloponez și localitatea Antirion din Grecia Continentală. Soluțiile constructive și tehnologiile de execuție aplicate la construcția acestui pod au condus la o structură care să reziste condițiilor dificile din amplasament: apă foarte adâncă, teren impropriu de fundare și activitate seismică intensă determinată de mișcări ale plăcilor tectonice în zonă. Tablierul podului are o lățime de 28 m și susține câte două benzi de circulație pe sens, câte o bandă de urgență și câte un trotuar pentru circulația pietonilor. Podul are o lungime totală de aproximativ 2880 m, cea mai mare deschidere măsurând 560 m. Fundațiile și elavația pilonilor podului au fost proiectate astfel încât în cazul unor puternice

mișcări seismice să poată fi absorbită energia eliberată, limitându-se deplasările.



Fig. 1.32 Podul Rion-Antirion peste golful Corint

În decembrie 2004 a fost deschis traficului podul (viaductul) Millau din Franța (Fig. 1.33) ce traversează râul Tarn. Tablierul podului susține 4 benzi de circulație pentru autostradă și are o lățime de 32 m. Sistemul constructiv este cu *hobane*, cea mai mare deschidere având valoarea de 321m. Pentru reducerea momentelor încovoietoare în piloni ca urmare a încărcării inegale a deschiderilor, pilonii au fost fixați de suprastructură (de tablier) și nu executați în prelungirea pilelor. Podul reprezintă un record în ceea ce privește înălțimea pilelor, cea mai înaltă dintre acestea măsurând 270 m. Lungimea totală a podului însumează 2460 m.

În stadiu de proiect se află un pod suspendat peste strâmtoarea Messina, în Italia, ce ar trebui să realizeze legătura cu insula Sicilia. Podul ar urma să aibă o deschidere de aproximativ 3000 m. Această valoare record a deschiderii ridică în prezent probleme inginerilor proiectanți și constructorilor datorită faptului că materialele cunoscute în prezent conduc la valori mari ale greutateii permanente a suprastructurii.



Fig. 1.33 Viaductul Millau din Franța

În țara noastră evoluția podurilor a parcurs aceleași etape ca și pe plan mondial și a fost influențată major de conjunctura politică și socială din această parte a Europei. Lucrări importante de poduri, atât masive, cât mai ales din oțel au fost realizate în perioada anilor 1800-1900 de ingineri români de marcă cum au fost Elie Radu și Anghel Saligny.

Dintre podurile din beton armat sunt precizate aici viaductul Caracău (pod de cale ferată simplă) dat în exploatare în anul 1946 (Fig. 1.34), având o lungime totală de 264 m, o săgeată de 37 m, bolta având o deschidere de 100 m și podul peste Argeș la Hotarele (Fig. 1.35), cu suprastructura realizată din două arce cu calea la mijloc având deschiderea de 85 m.



Fig. 1.34 Viaductul Caracău finalizat în 1946



Fig. 1.35 Podul peste râul Argeș la Hotarele

În ceea ce privește podurile metalice, primele poduri din fontă au fost realizate în Banat. În a doua jumătate a secolului al XIX-lea au fost construite o serie de poduri din fier pudlat dintre care cel mai important este podul combinat de cale ferată și șosea peste Siret la Cosmești finalizat în 1872 (Fig.1.36).



Fig. 1.36 Podul metalic combinat de cale ferată și șosea de la Cosmești

În perioada 1890-1895 inginerul român Anghel Saligny a realizat complexul de poduri dintre Fetești și Cernavodă, compus din podul peste brațul Borcea, viaductul lezer și podul Regele Carol I, peste brațul principal al Dunării (Fig. 1.37). Având o lungime totală însumată a deschiderilor de 4088 m, acest complex de poduri era cel mai lung din Europa la vremea când a fost construit, iar podul Carol I avea cea mai mare deschidere (190 m) din Europa Continentală . Suprastructura a fost realizată în sistem grinzi cu zăbrele cu

console și articulații (grinzi Gerber) înălțime variabilă, forma grinzilor “urmărind” diagrama de momente încovoietoare.

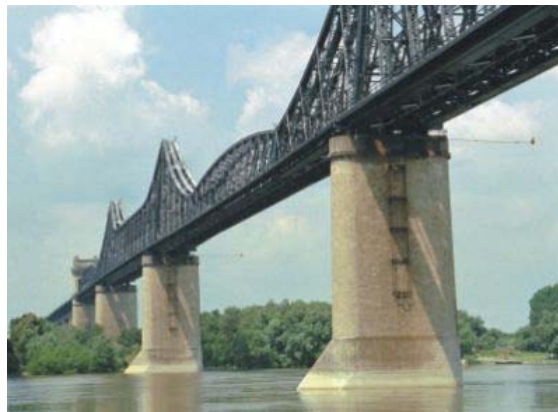


Fig. 1.37 Podul Carol I peste Dunăre la Cernavodă

După cel de-al doilea război mondial au fost realizate la noi în țară poduri metalice mari, cele mai importante fiind cele realizate peste Dunăre sau peste Canalul Dunăre-Marea Neagră.

În anul 1954 a fost terminat podul care face legătura între localitățile Giurgiu din România și Russe din Bulgaria, podul fiind numit “Podul Priteniei” (Fig. 1.38). Acest pod este un pod combinat de cale ferată și șosea, cele două căi de comunicație fiind suprapuse: calea ferată simplă la partea inferioară și șoseaua cu două benzi de circulație la partea superioară. Podul a fost astfel proiectat încât deschiderea centrală de 86 m să poată fi ridicată la nevoie cu ajutorul unui sistem de trolii pentru a permite trecerea, la nevoie, a macaralelor fluviale sau a vaselor cu încărcări speciale. Suprastructura podului principal a fost realizată cu grinzi continue cu zăbrele sistem compus. Deschiderea maximă a podului este de 160 m, iar lungimea totală de aproximativ 2224 m.

Alte poduri importante din punct de vedere al soluțiilor constructive adoptate, al dimensiunilor geometrice și tehnologiilor aplicate au fost executate în perioada 1970-1986 în zona Fetești-Cernavodă, peste canalul Dunăre-Marea Neagră, la Agigea, Medgidia și Basarabi și la Giurgeni-Vadu Oii. Soluțiile moderne aplicate au fost: suprastructură casetată cu platelaj

ortotrop la podul de la Giurgeni-Vadu Oii, cabluri la podul hobanat de la Agigea, respectiv arce cu tiranți verticali sau înclinați la podurile de la Medgidia și Basarabi.



Fig. 1.38 Podul “Prieteniei” peste Dunăre, între Giurgiu și Russe

Podul de la Giurgeni-Vadu Oii (Fig. 1.39) a fost finalizat în anul 1970. Suprastructura este o grindă metalică continuă cu înălțime variabilă, ce susține patru benzi de circulație care oferă o lățime a părții carosabile de 13.80 m. Lungimea totală a podului este de 1464.40 m, fiind acoperită cu următoarea succesiune de deschideri (incluzând aici și viaductele de acces): $8 \times 46.00 + 120.00 + 3 \times 160.00 + 120.00 + 8 \times 46.00$ m. Podul mai prezintă o particularitate și anume aceea că pe pile au fost prevăzute dispozitive antiseismice care au făcut ca podul să se comporte foarte bine în timpul cutremurului din 1977.

După aproape 100 de ani de la realizarea complexului de poduri dintre Fetești și Cernavodă, condițiile sociale și economice din țara noastră au impus dublarea podurilor existente, prin realizarea unor noi traversări de cale ferată dublă și șosea cu patru benzi de circulație. Ca urmare, în perioada 1981-1986 au fost construite podurile metalice peste Dunăre și peste Brațul Borcea (Fig. 1.40). Podurile principale au fost realizate în soluția grinzi continui cu zăbrele cale jos și au deschiderile 3×140.00 m la Brațul Borcea, respectiv

140.00+190.00+140.00 m peste Dunăre. Viaductele feroviare, atât Borcea, cât și Dunărea, au suprastructura realizată în soluția grinzi continui metalice casetate, iar viaductele rutiere au fost executate utilizând grinzi simplu rezemate din beton precomprimat, la viaductele Borcea și tabliere cu structură compusă, oțel-beton la viaductele Dunărea. Suprastructurile podurilor principale susțin două linii de cale ferată dispuse către axul podului și patru benzi de autostradă, câte două pe sens, dispuse pe console de dimensiuni mari.



Fig. 1.39 Podul peste Dunăre la Giurgeni-Vadu Oii



Fig. 1.40 Noul pod combinat de cale ferată și șosea peste Dunăre

În figura 1.41 este prezentată o vedere a podului hobanat de la Agigea. Podul are două deschideri inegale, deschiderea principală fiind de 162 m, iar suprastructura este mixtă, realizată din grinzi metalice în conclucrare cu o placă de beton.



Fig. 1.41 Podul cu hobane peste canalul Dunăre-Marea Neagră la Agigea

Cel mai recent pod de dimensiuni mari dat în exploatare în România este podul peste Canalul Dunăre-Marea Neagră la Cernavodă ce face legătura între gară și oraș. Podul finalizat în anul 2002 a fost realizat în soluția cu două arce paralele și cu tiranți înclinați ce se intersectează (*sistem Nielsen*) și are o deschidere de 171.83 m (Fig. 1.42).

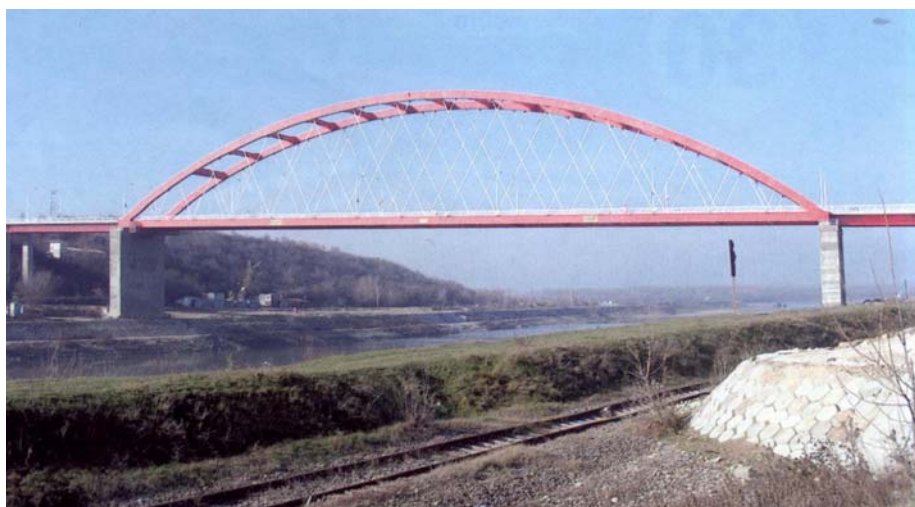


Fig. 1.42 Noul pod peste Canalul Dunăre-Marea Neagră la Cernavodă

CAPITOLUL 2

ELEMENTE DE NOMENCLATURĂ A PODURILOR ȘI PODEȚELOR

2.1 GENERALITĂȚI

Dezvoltarea continuă a societății omenești a determinat evoluția continuă a mijloacelor de transport și implicit a infrastructurii transporturilor reprezentată de căile de comunicație. Toate tipurile de căi de comunicație (auto, feroviare, navale și aeriene) s-au dezvoltat de-a lungul timpului datorită descoperirii, dezvoltării și utilizării materialelor de construcție cu caracteristici îmbunătățite (betonul armat și precomprimat, oțelurile aliate, cu granulație fină și speciale), dar și datorită dezvoltării tehnologiilor de execuție.

Podurile fac parte din categoria construcțiilor complexe, evoluția lor fiind caracteristică fiecărei epoci a societății omenești. Forma și dimensiunile podurilor au fost determinate de tipul materialului utilizat la construcția lor (lemn, piatră brută, zidărie, fontă, fier pudlat, oțel și beton) și de nivelul tehnologic existent la momentul respectiv.

Necesitatea modernizării căilor de comunicație pentru a corespunde condițiilor actuale de circulație, marcate prin creșterea volumului de trafic, a încărcărilor vehiculelor și a vitezelor de circulație a determinat și continuă să influențeze forma și dimensiunile podurilor.

Tendința actuală în construcția de poduri se materializează în creșterea continuă a deschiderilor și în reducerea dimensiunilor elementelor de rezistență, în vederea realizării unor construcții plăcute din punct de vedere

estetic și cu implicații directe asupra costurilor. Toate aceste elemente implică o analiză amănunțită a tuturor factorilor ce concură la construcția unui pod și o proiectare eficientă și corectă, în așa fel încât podul proiectat să prezinte siguranță în exploatare pe toată durata sa de serviciu.

Podurile sunt lucrări de artă realizate pentru susținerea unei căi de comunicație și asigurarea continuității ei peste un obstacol întâlnit pe traseu, obstacol pe care calea de comunicație îl traversează denivelat. Aceste obstacole pot fi cursuri de ape, văi accidentate sau intersecții cu alte căi de comunicație. În același timp, podurile asigură și continuitatea obstacolului traversat de calea de comunicație respectivă, sub pod rămânând un spațiu liber ce face posibil acest lucru.

Podurile pot fi amplasate peste cursuri de apă, peste văi uscate sau peste alte căi de comunicație existente.

Viaductele sunt poduri ce traversează văi accidentate sau înlocuiesc rambleele înalte, greu de executat și neeconomice ce ar trebui realizate pentru asigurarea continuității unei căi de comunicație.

În cazul multor poduri, cota căii de comunicație pe pod este mai mare decât cea a zonelor învecinate ale traseului. În aceste situații, pentru accesul către podul propriuzis (numit și principal), ar trebui realizate ramblee cu înălțimi mari și pe lungimi importante. Aceste lucrări de terasamente ar fi neeconomice și de cele mai multe ori ele sunt înlocuite cu *viaducte de acces* către podul principal.

Dacă traseul urmărește versanții unor defilee, lucrările de terasamente dinspre vale, necesare pentru susținerea căii de comunicație, ar rezulta cu dimensiuni mari și deci neeconomice sau realizarea lor ar putea conduce chiar la obstruarea albiei râului. Aceste situații pot fi evitate prin realizarea unor *viaducte de coastă*.

Există însă și poduri ce nu susțin căi de comunicație, numite *poduri de serviciu*, care asigură continuitatea peste obstacole a unor rețele de aducțiune

a apei, a unor conducte ce transportă agent termic, a unor conducte de gaz sau a cablurilor electrice de dimensiuni mari.

În general, în cazul podurilor există termeni și denumiri specifice de specialitate prin care se identifică atât elementele structurale, cât și componente ale reliefului în amplasamentul podului. În figura 2.1 sunt prezentate elementele componente de bază ale unei structuri de pod, comune în general tuturor podurilor.

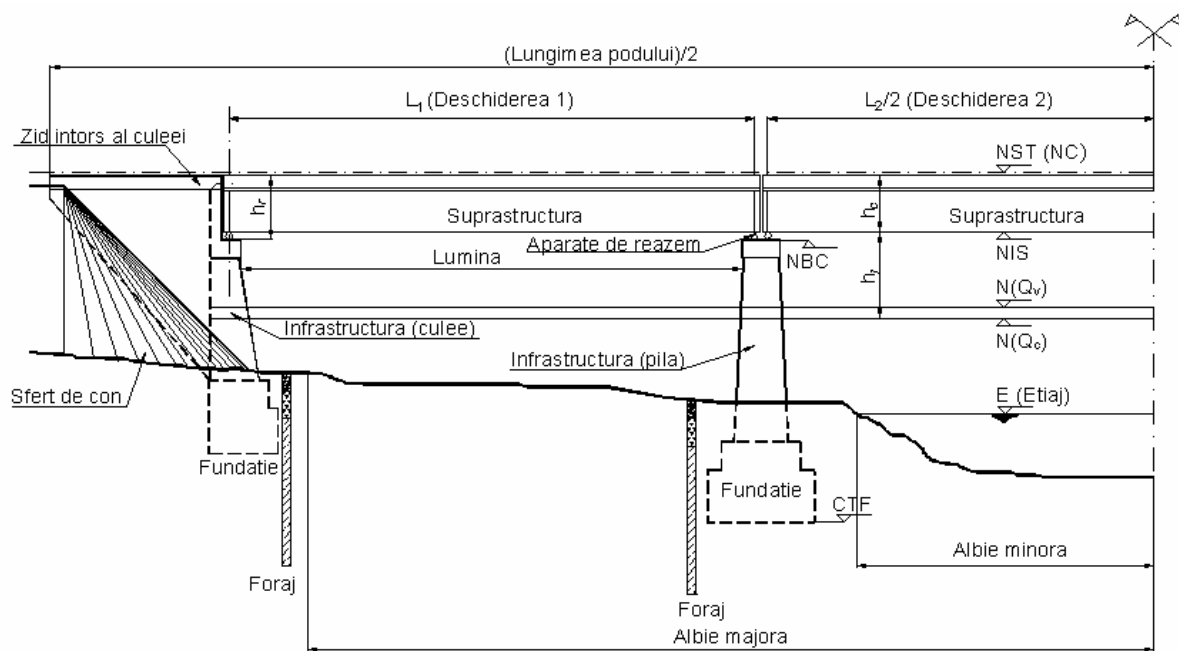


Fig. 2.1 Vedere laterală (elevație) a unui pod

Un pod se compune din două părți principale: *infrastructura* și *suprastructura*.

Infrastructura (Fig. 2.1) este partea construcției care susține suprastructura, preia încărcările provenite de la aceasta și le transmite mai departe, prin intermediul fundațiilor, terenului din amplasamentul podului. Infrastructura poate fi alcătuită numai din două culee, în cazul podurilor cu o singură deschidere, respectiv din două culee și "n" pile, pentru podurile cu "n+1" deschideri.

Culeele sunt elementele de infrastructură dispuse la capetele podului. Prin intermediul unor componente ale culeelor (aripi, sferturi de con) se realizează și racordarea podului cu terasamentele de la capetele acestuia. Racordarea se poate face în două soluții constructive, în funcție de înălțimea terasamentului și anume: pentru înălțimi mici ale terasamentului se utilizează *racordarea cu sferturi de con*, în timp ce pentru înălțimi mari de terasament, în principal din motive economice, se realizează *racordarea cu aripi*. În figura 2.1 este prezentată varianta racordării cu sfert de con.

Pilele reprezintă elemente de infrastructură ce asigură reazeme intermediare pentru suprastructura podului și sunt dispuse, la anumite distanțe, în lungul podului. Numărul pilelor variază în funcție de numărul de deschideri ale podului.

Elementele infrastructurii sunt în general alcătuite din două părți: o parte situată sub nivelul terenului natural la o adâncime stabilită prin studii de teren și prin calcul, numită *fundație* și o alta situată deasupra fundației numită *elevație* (a pilei, respectiv a culeei). Natura terenului determină alegerea soluției în ceea ce privește tipul fundațiilor infrastructurii: *fundații directe*, în cazul în care stratul portant (bun pentru fundare) se găsește la adâncimi relativ mici în raport cu suprafața terenului, respectiv *fundații indirecte* (pe piloți sau coloane) în cazul în care stratul portant se găsește la o adâncime mai mare, ce face neeconomică soluția cu fundații directe. Pentru aflarea stratificației se execută, în faza de studiu a soluției, *foraje* (fig. 2.1), a căror adâncime minimă este prevăzută în normele de proiectare. În funcție de numărul și poziția infrastructurilor și de relief, în cazul unui pod se execută mai multe foraje geotehnice, situate de regulă, cât mai aproape de locul unde vor fi construite infrastructurile. *Cota de fundare* sau *cota tălpii fundației*, notată simbolic în figura 2.1 prin CTF este un parametru fundamental stabilit pe baza studiilor de teren efectuate.

Suprastructura (Fig. 2.1) unui pod reprezintă partea construcției ce susține direct o cale de comunicație, asigură continuitatea căii de comunicație și preia direct încărcările provenite de la vehicule și orice alte încărcări cu caracter variabil și permanent la care este supusă structura. În funcție de materialul de construcție utilizat există suprastructuri de lemn, de beton armat sau precomprimat, suprastructuri metalice (realizate din oțel) și mixte (oțel-beton).

Transmiterea încărcărilor de la suprastructură la infrastructură se realizează prin intermediul unor dispozitive numite *aparate de reazem*, care au diferite alcătuirii și dimensiuni în funcție de reacțiunile pe care la preiau și gradele de liberate pe care trebuie să le permită, în așa fel încât să asigure funcționalitatea structurii.

Aparatele de reazem sunt de două categorii: *fixe* și *mobile*. În prezent pentru poduri se utilizează în mod curent aparate de reazem realizate din două tipuri de materiale și anume: *aparate de reazem din oțel turnat* și *aparate de reazem din neopren*.

Aparatele de reazem se așază atât pe pile cât și pe culei, pe elemente cu suprafețe plane și orizontale numite *cuzineți*, realizate din beton armat de clasă ridicată pentru a asigura preluarea reacțiunilor verticale cu valori mari ce provin de la suprastructură. Cuzineții sunt parte componentă a *banchetei cuzineților* (în figura 2.1 nivelul superior al banchetei cuzineților este marcat cu simbolul NBC).

Legăturile dintre suprastructură și infrastructură pot fi însă realizate sub forma unor noduri rigide, în cazul podurilor de tip cadru, în aceste situații lipsind aparatele de reazem între cele două părți ale podului. Conlucrarea dintre suprastructură și infrastructură are efecte benefice în ceea ce privește reducerea momentelor încovoietoare din suprastructura podului, acestea fiind mai mici decât la poduri având alte scheme statice, ca de exemplu grinzile continue sau cele simplu rezemate.

Așa cum se arăta la început, podurile pot fi construite peste văi uscate, dar și peste văi pe unde există ape curgătoare, în figura 2.1 fiind prezentată cea de-a doua situație.

Porțiunea unei văi ocupată permanent sau temporar (numai în anumite perioade ale anului) de ape curgătoare se numește *albie* (Fig. 2.1). Albia se caracterizează prin secțiune transversală, profil longitudinal și traseu în plan. În secțiunea transversală se pot distinge *albia minoră*, respectiv *albia majoră* (Fig. 2.1). Prin albia minoră, ce are de regulă o lățime fixă care se menține atât timp cât nu apar modificări semnificative în modul de curgere al râului, curg apele mici și mijlocii. Prin albia majoră curg apele mari în timpul viiturilor.

Identificarea malurilor stâng și drept ale unei ape curgătoare se face privind cursul de apă spre aval. Linia care unește punctele de cea mai mică cotă din albia râului reprezintă *talvegul*. Fundul albiei poate fi constituit din roci (în cazul cursurilor de apă situate în zone de munte), din pământuri și din material aluvionar (în cazul zonelor de podiș și șes). Forma și dimensiunile albiei în secțiune transversală sunt de mare importanță în faza de proiectare a unui pod.

Cursurile de apă au în general nivel variabil, iar linia ce definește oglinda apei pe secțiunea transversală nu este perfect orizontală din cauza existenței curenților secundari. Pe sectoarele în curbă nivelul apei este mai ridicat către malul concav, în raport cu malul convex. Nivelul unei ape curgătoare este în strânsă legătură cu debitul apei. *Debitul* unei ape curgătoare reprezintă volumul de apă scurs printr-o secțiune curență a albiei în unitatea de timp și se măsoară în general în m^3/s . Debitul poate fi stabilit prin prelucrarea datelor statistice (măsurători directe ale nivelului apei efectuate de institutele de hidrologie) sau pot fi evaluate prin calcul, prin metode indirecte. Pentru faza de proiectare a podurilor, la noi în țară, se iau în considerare două tipuri de debite și anume: *debitul de calcul* (Q_c), respectiv *debitul de verificare* (Q_v) cu diferite asigurări (probabilități de a fi depășite într-un interval determinat de timp) în

funcție de clasa tehnică a căii de comunicație susținute de pod și de clasa de importanță a podului. Cu cât probabilitatea de a se produce un debit este mai mică cu atât valoarea debitului va fi mai mare. Acestor debite le corespund, în secțiunea de scurgere a apei de sub pod, două cote ale suprafeței libere a apei (Fig. 2.1). Față de nivelul corespunzător debitului de calcul, în funcție de clasa de importanță a podului se stabilește înălțimea liberă sub pod care este utilizată la calculul cotelor banchetei cuzineților (NBC), poziția aparatelor de reazem pe infrastructuri și implicit nivelul inferior al suprastructurii simbolizat în figura 2.1 prin notația NIS.

În ceea ce privește traseul în plan, forma acestuia este sinuoasă, alcătuită din curbe. Porțiunea pe care linia talvegului trece dinspre un mal către celălalt se numește *traversadă*.

Debușeul unui pod reprezintă debitul de apă ce se poate scurge prin albie în secțiunea podului în anumite condiții, legate de nivelul și viteza apei, de lucrările hidrotehnice ce trebuie efectuate în vecinătatea podului (apărări de maluri, praguri de fund) etc.

Nivelul mediu cel mai scăzut al apei înregistrat într-o anumită perioadă de timp considerată (de regulă ultimii 20-30 de ani) se numește *etiaj* și este marcat în figura 2.1 prin simbolul E.

2.2 PODURI. ELEMENTE GEOMETRICE

Un parametru foarte important ce influențează în mod direct și fundamental soluția în vederea construirii unui pod este *deschiderea podului*. *Deschiderea* (L) (Fig. 2.1), reprezintă distanța teoretică măsurată pe orizontală între punctele de rezemare (axele aparatelor de reazem) ale suprastructurii pe două infrastructuri consecutive (pile sau culee). *Lungimea podului* (Fig. 2.1), este un alt parametru important ce caracterizează un pod și reprezintă distanța

pe orizontală măsurată între limitele exterioare ale zidurilor întoarse ale culeelor de la cele două capete ale podului. Un pod poate avea una, două sau mai multe deschideri egale sau diferite, însă valoarea lungimii este un parametru unic caracteristic fiecărui pod.

Distanța măsurată pe orizontală între fețele exterioare a două infrastructuri consecutive se numește *lumina podului* (Fig. 2.1). Ea poate avea valori diferite pe înălțime, în funcție de geometria infrastructurilor (care pot avea parament vertical sau nu).

În general, nivelele diferitelor părți componente ale unui pod, se raportează la o cotă bine precizată. Dacă este vorba de niveluri relative, atunci această cotă este *nivelul căii*, considerat la podurile de cale ferată nivelul superior al traverselor (NST, Fig. 2.1), iar la podurile de șosea nivelul drumului în ax (NC, Fig. 2.1). În cazul în care cotele de nivel se consideră cele absolute, ele se raportează la un nivel de referință, considerat în țara noastră ca fiind nivelul Mării Negre.

Alți parametri importanți ce sunt caracteristici, în general tuturor structurilor de poduri și care influențează în mod direct soluția adoptată sunt *înălțimea de construcție* (h_c , Fig. 2.1), *înălțimea pe reazem* (h_r , Fig.2.1), *înălțimea de liberă trecere sub pod* (h_l , Fig. 2.1), respectiv *înălțimea de liberă trecere pe pod* (h_t).

Înălțimea de construcție (h_c) (Fig. 2.1), reprezintă diferența de nivel între partea cea mai ridicată a căii (NST, respectiv NC) și partea cea mai de jos a suprastructurii pe deschidere, incluzând și săgeata (deformația elastică verticală) maximă produsă de încărcările din exploatare. Valoarea înălțimii de construcție se stabilește în faza de proiectare și depinde în mod direct de soluția constructivă aleasă (de tipul suprastructurii podului).

Înălțimea pe reazem (h_r) (Fig.2.1), reprezintă diferența de nivel între partea cea mai ridicată a căii pe pod (NST, respectiv NC) și fața superioară a banchetei cuzineților pe care sunt dispuse aparatele de reazem.

Spațiul de liberă trecere sub pod (h_l) depinde de natura obstacolului traversat de podul proiectat, care poate fi o apă curgătoare sau o altă cale de comunicație. Dacă obstacolul traversat este o altă cale de comunicație, spațiul de liberă trecere sub pod depinde de clasa căii de comunicație traversate.

Înălțimea de liberă trecere pe pod (h_t) (Fig. 2.2) reprezintă diferența de cotă între nivelul cel mai ridicat al căii pe pod și nivelul cel mai de jos al elementelor structurale transversale ce se găsesc la partea superioară a podului. Valoarea acestei înălțimi depinde de tipul căii de comunicație pe care o susține podul și de dimensiunile vehiculelor care circulă pe pod.

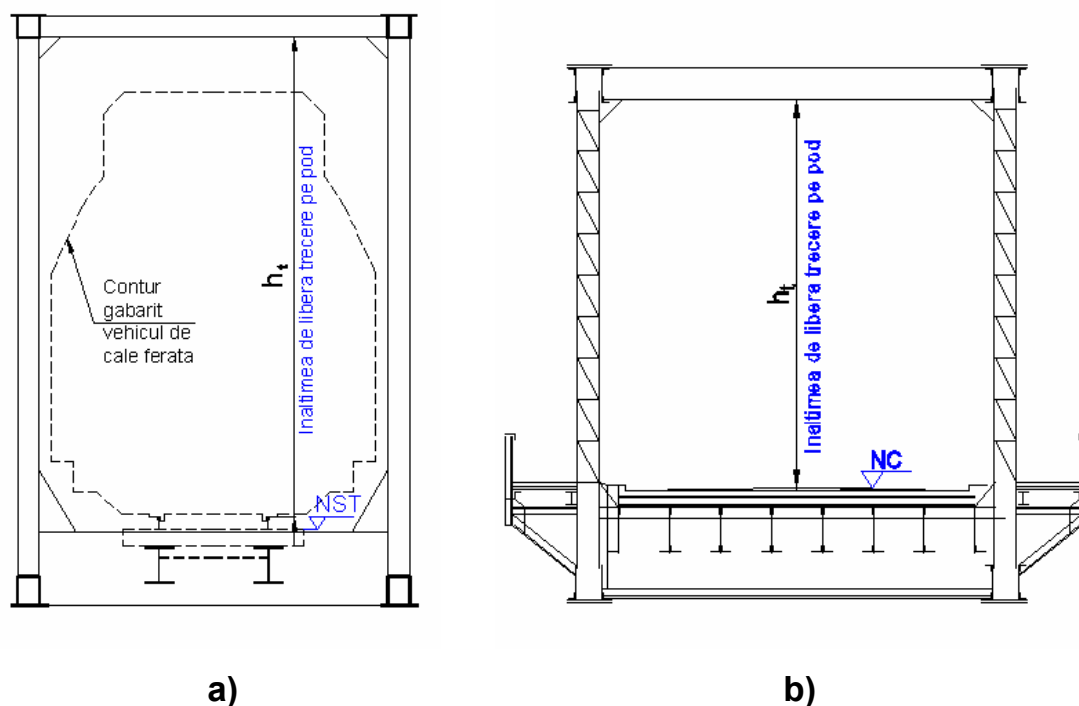


Fig. 2.2 Înălțimea de liberă trecere pe poduri cu grinzi cu zăbrele
a) Pod de cale ferată
b) Pod de șosea

Elementele de nomenclatură sunt specifice fiecărui tip de pod, în funcție de materialul utilizat la realizarea structurii, dar și de soluția constructivă adoptată. În cazul podurilor moderne, alegerea materialului din care va fi realizată suprastructura (oțel, respectiv beton armat sau/și precomprimat)

reprezintă o decizie importantă, ce se adoptă în faza de proiectare și care este influențată de următorii factori:

- mărimea deschiderilor;
- tehnologia și metodele de execuție
- condițiile geologice și topografice din amplasament;
- tipul fundațiilor ce trebuie realizate.

În afară de factorii precizați anterior, în vederea adoptării soluției constructive trebuie avute în vedere și aspecte legate de comportarea structurii sub încărcări, de costurile de execuție respectiv de întreținere și nu în ultimul rând de estetică și de impactul structurii asupra mediului.

În capitolele următoare se vor prezenta elementele structurale componente și alcătuirea podurilor, precum și elementele de nomenclură corespunzătoare podurilor realizate din beton armat și precomprimat, metalice (din oțel) și mixte (oțel-beton).

2.3 PODEȚE. ELEMENTE GEOMETRICE. TIPURI DE PODEȚE

Podetele sunt poduri a căror deschidere sau sumă a deschiderilor este mai mică de 5 m. Ele se utilizează pentru traversarea cursurilor de apă cu debit redus, a unor depresiuni ale terenului unde se pot acumula ape de suprafață, în vederea colectării și evacuării acestora sau a unor văi accidentate de dimensiuni mici, unde se pot forma torenți. Podetele se utilizează de asemenea și pentru descărcarea șanțurilor de colectare și evacuarea apelor din amonte, atunci când calea de comunicație urmărește un traseu de coastă, ca pasaje subterane pentru circulația pietonilor și bicicliștilor sau în cazul traversării pe sub calea de comunicație a unor trasee pentru utilități (conducte de apă, de gaze sau cabluri electrice).

Podetele se pot realiza în mai multe soluții constructive. Alegerea soluției se face în funcție de lumina și debușul acestuia, de natura și

caracteristicile fizico-mecanice ale terenului de fundare în amplasament, de elementele geometrice ale căii de comunicație în plan de situație, profil în lung și profil transversal, de posibilitatea de întreținere, de posibilitățile de execuție și nu în ultimul rând de aspectul estetic.

În cazul în care înălțimea terasamentului căii de comunicație este mică, *podețul susține direct calea*, în caz contrar el rămâne la cota impusă de asigurarea scurgerii apelor de suprafață, calea fiind în acest caz susținută de o umplutură. Umplutura îmbunătățește repartizarea încărcărilor concentrate date de vehicule și în același timp reduce efectul dinamic al acestora. Grosimea stratului de umplutură este determinată din condiții de rezistență, dar și pe criterii economice, în anumite condiții, alte tipuri de podețe putând conduce la costuri mai reduse ale lucrării.

În prezent, elementele structurale ale podețelor se execută din beton simplu și din beton armat, cele mai utilizate tipuri de podețe fiind: *podețele tubulare, podețele ovoidale, podețele dalate și podețele din cadre prefabricate* (deschise sau închise).

Din punct de vedere al alcătuirii, părțile componente ale unui podeț sunt ca și în cazul podurilor, *suprastructura, infrastructura și fundația*. Totuși, există situații în care suprastructura și infrastructura nu apar ca elemente distincte ci formează o structură unitară. Așa se întâmplă în cazul podețelor tubulare și al celor executate din elemente prefabricate de tip cadru închis. În cazul podețelor dalate însă, suprastructura este constituită dintr-o dală de beton armat monolită sau prefabricată, iar infrastructura este formată din două culee.

Racordarea podețelor cu terasamentele se face cu *aripi*, în cazul în care înălțimile terasamentelor sunt mari, spațiul pentru racordare este limitat sau dacă oblicitatea podețului este mare.. Racordarea se realizează cu *sferturi de con* dacă înălțimea terasamentelor nu depășește 3.00-4.00 m.

În general, pe traseul unei căi de comunicație pot exista multe podețe al căror cost influențează costul total al lucrării și din acest motiv proiectarea și execuția podețelor trebuie realizate cu deosebită atenție.

În continuare vor fi prezentate pe scurt, tipurile de podețe cel mai frecvent utilizate în prezent pe traseele căilor de comunicație.

a) *Podetele tubulare* sunt de regulă înecate în terasament și au structura de rezistență constituită din tuburi din beton armat care pot avea diferite forme, cele mai utilizate fiind cele circulare (Fig. 2.5) și ovoidale. În cazul acestor tipuri de podețe tubul propriu-zis reazemă direct pe fundație. Dimensiunile tuburilor se aleg astfel încât să se asigure în bune condiții scurgerea apelor prin podeț și în același timp să se poată face întreținerea acestora. Sub fundația podețelor tubulare se execută un strat de egalizare realizat din balast *pilonat (compactat)*.

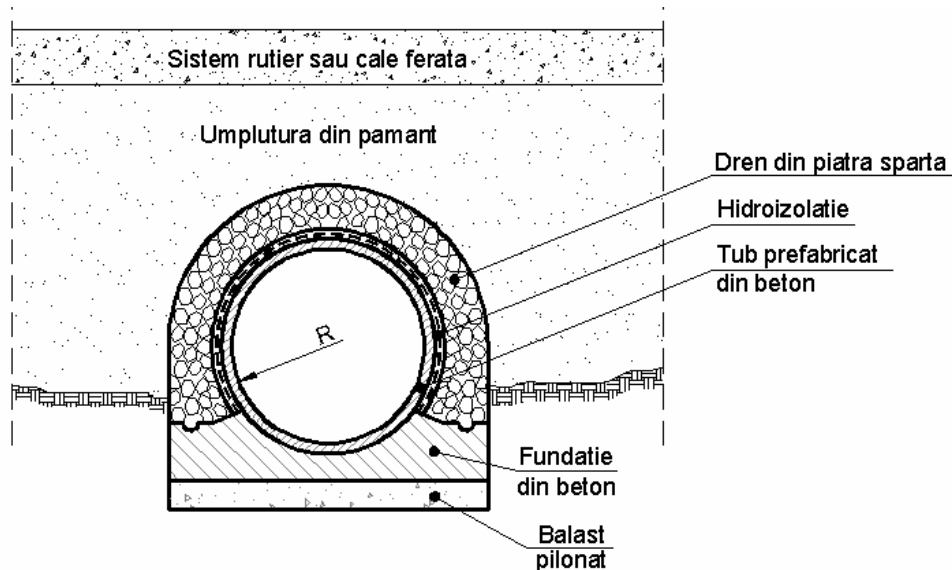


Fig. 2.5 Podeț tubular circular

b) *Podetele ovoidale* au forma elementului de rezistență (bolta) stabilită astfel încât, din acțiunea încărcărilor permanente și utile, să rezulte în orice secțiune a bolții sollicitări de compresiune centrică sau compresiune excentrică cu excentricitate mică. Dacă forma ovoidală reprezintă forma de coincidență

pentru încărcările ce trebuie preluate, bolta poate fi realizată din beton simplu, în caz contrar ea realizându-se din beton armat. Efectul încărcărilor date de convoaie depinde de grosimea stratului de umplutură de deasupra podețului. În cazul în care grosimea stratului de umplutură este aleasă corespunzător, efectul dat de convoaie asupra bolții este mic, putându-se accepta forma de coincidență stabilită numai pentru încărcările permanente. În prezent se utilizează bolți prefabricate fixate într-un cuzinet din beton armat ce reazemă pe fundație (Fig. 2.6).

Podețele ovoidale se utilizează atât pentru drumuri, cât și pentru căi ferate. Este recomandabil ca înălțimea în interiorul podețului să fie de cel puțin 1.70 m pentru a permite accesul în vederea decolmatării.

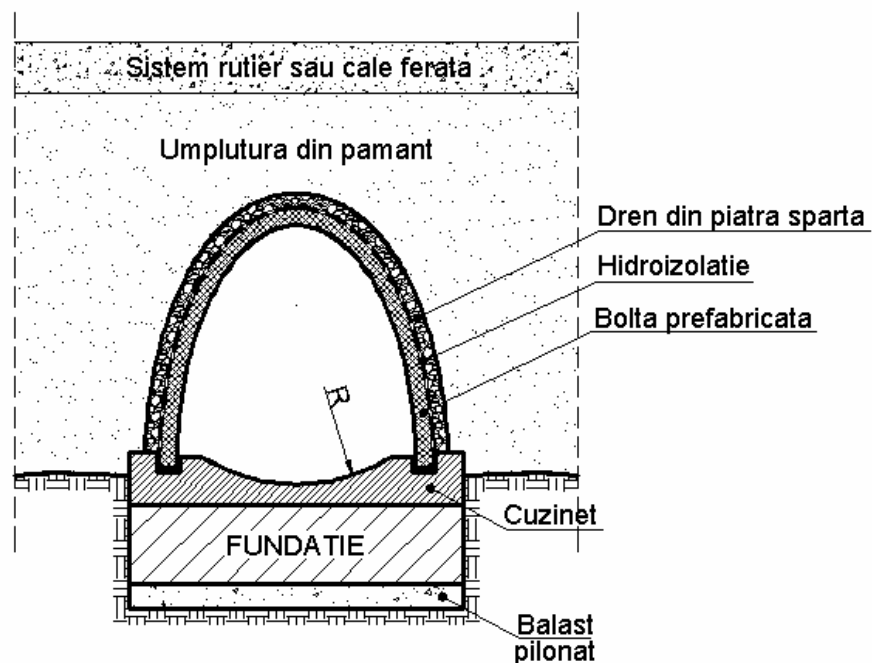


Fig. 2.6 Podeț ovoidal

c) *Podețele dalate* (Fig. 2.7) se realizează ca structuri simplu rezemate și au suprastructura realizată dintr-o dală prefabricată din beton armat, care pentru deschideri mici reazemă direct pe elementele de infrastructură, fără

aparate de reazem sau este legată de culee prin intermediul unor ancore din oțel-beton ce pot prelua încărcările orizontale.

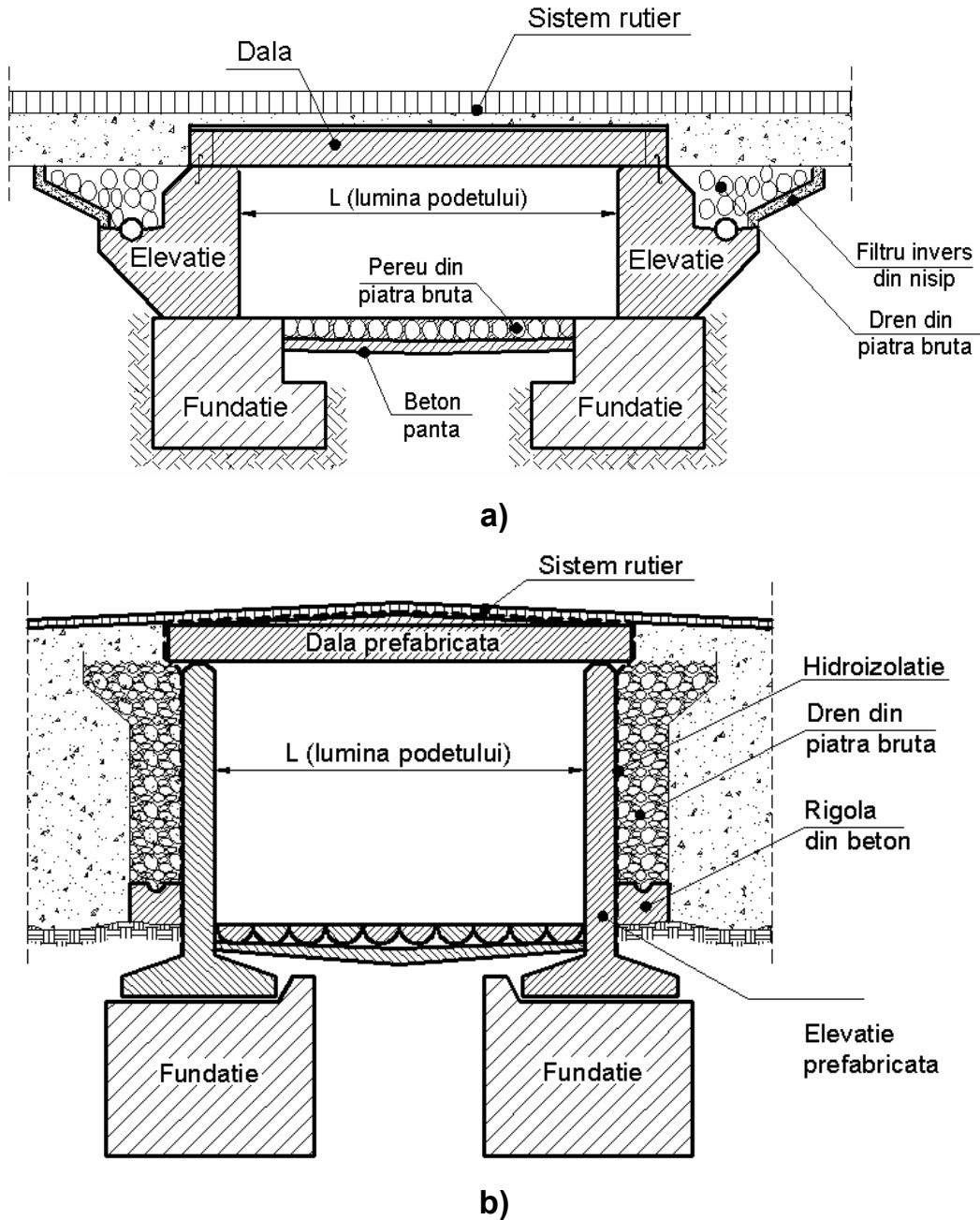


Fig. 2.7 Tipuri de podețe dalate
a) cu culee executate monolit
b) cu culee din elemente prefabricate

Dala susține fie structura rutieră, în cazul drumurilor, fie prismul de piatră spartă în cazul căilor ferate. Culeele pot fi executate monolit (turnate la fața locului) sau din elemente prefabricate din beton armat (Fig. 2.7b).

Avantajele podețelor dalate sunt că asigură o înălțime de construcție redusă, pot fi executate în amplasamente cu terenuri slabe (fiind structuri static determinate, insensibile la tasări mari) și se pretează la prefabricarea elementelor componente. Dezavantajul principal este legat de consumul mare de beton.

d) *Podetele din cadre prefabricate* (Fig. 2.8) prezintă avantajul că se execută foarte rapid, utilizând cadre din beton armat, deschise sau închise. Ca și în cazul podețelor tubulare, cadrul prefabricat este așezat direct pe blocul de fundație. Calea poate fi așezată direct pe prefabricat sau podețul poate fi înecat în terasament.

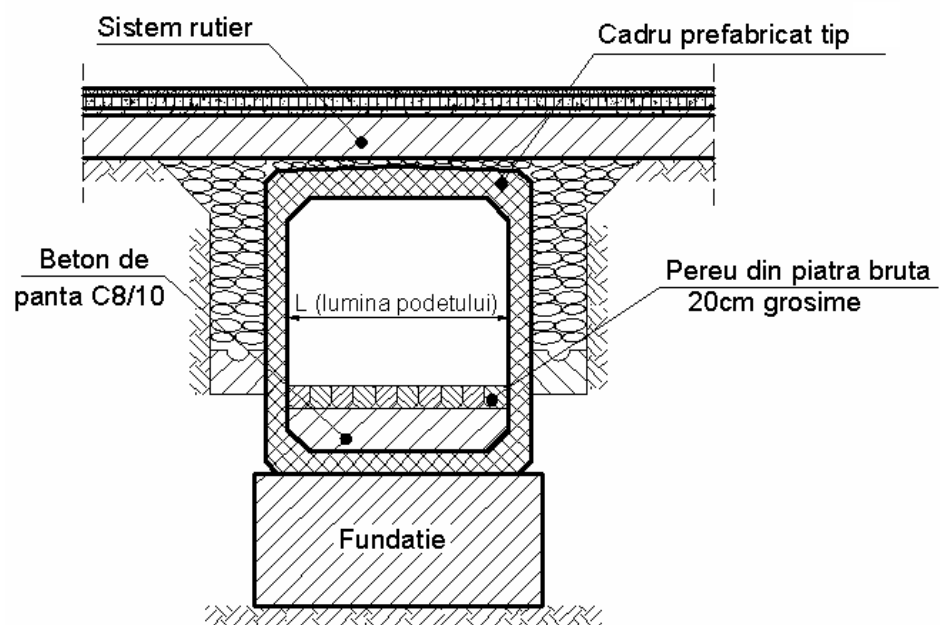


Fig. 2.8 Podeț din cadru prefabricat închis

O variantă alternativă la tipurile de podețe prezentate anterior este oferită de apariția și utilizarea *structurilor flexibile din tablă ondulantă zincată* (Fig. 2.9, 2.10).



Fig. 2.9 Podeț din tablă zincată ondulantă ce susține un drum



Fig. 2.10 Execuția unui podeț din tablă zincată ondulantă ce susține o cale ferată

Aceste structuri pot fi montate ușor și rapid și pot conduce la costuri de execuție și mai ales de întreținere scăzute. În cazul în care protecția anticorozivă a tablei este realizată corespunzător, durata de exploatare a acestor structuri se apropie de cea a podețelor din beton armat.

Unul din inconvenientele acestor structuri este determinat de faptul că trebuie asigurată o calitate corespunzătoare a umpluturii de deasupra podețului prin stabilizare și compactare, ea influențând nemijlocit capacitatea portantă a structurii. De asemenea, în special în cazul amplasării lor peste văi pe care se pot forma torenți ce pot transporta pietriș și bolovăniș, se poate distruge protecția anticorozivă și reduce semnificativ durata lor de exploatare.

CAPITOLUL 3

INFRASTRUCTURA PODURILOR

3.1 PILE. ELEMENTE GEOMETRICE. TIPURI DE PILE

În funcție de soluția constructivă adoptată pentru suprastructură, de destinația podului (de cale ferată, de șosea, paserelă pietonală etc.) și de alți parametri, pilele și culeele pot avea diverse alcătuirii și dimensiuni.

Pilele pot fi realizate atât din oțel cât și din beton, dar în cele mai multe cazuri este utilizată cea de-a doua variantă. În cazul în care înălțimea pilelor este foarte mare se poate utiliza chiar beton precomprimat pentru preluarea solicitărilor mari apărute pe secțiunea transversală a pilei și evitarea apariției fisurilor.

Părțile principale ale unei pile sunt (Fig. 3.1): *fundația*, partea situată sub nivelul terenului natural și *elevația* care reprezintă partea situată deasupra fundației.

Betonul din care este realizată *bancheta cuzineților* (și *cuzineții*) este de cea mai ridicată clasă, de regulă C25/30, cel din elevație este un beton armat de clasă C16/20, iar betonul din fundație este de regulă un beton simplu sau slab armat, de clasă C8/10 (Fig. 3.1).

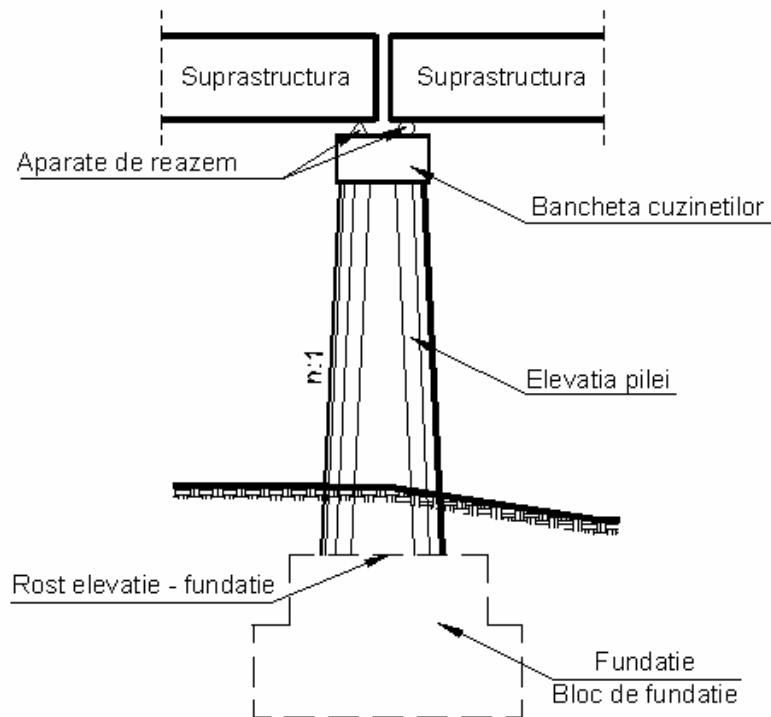


Fig. 3.1 Părțile componente ale unei pile

După tipul elevației, pilele pot fi de două tipuri :

- pile tip *coloană* sau *stâlp*, numite *pile flexibile*
- pile tip *perete* numite și *pile masive*.

Pilele de tip coloană pot avea secțiuni transversale având diferite forme în plan (Fig. 3.2) și în general, datorită supleții lor au un aspect estetic îmbunătățit.

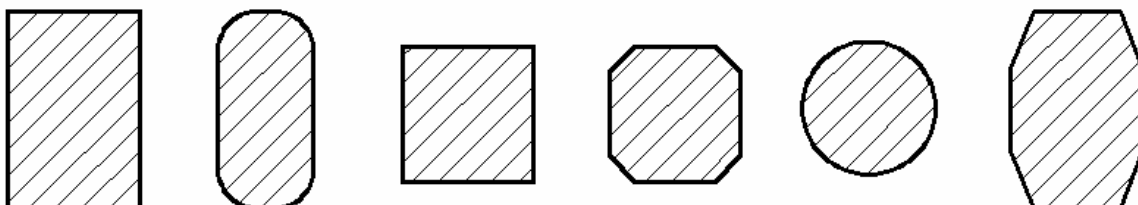


Fig. 3.2 Forme în plan ale secțiunii transversale pentru pile coloane

Aceste tipuri de pile sunt utilizate în special pentru poduri amplasate în orașe și pentru pasaje acolo, unde exigențele pentru estetica lucrării și cele legate de impactul asupra mediului înconjurător sunt mari.

Există situații în care pilele pot fi alcătuite din doi stâlpi (două coloane) și în acest caz, elevațiile acestor stâlpi împreună cu bancheta cuzineților realizează un cadru (Fig. 3.3).

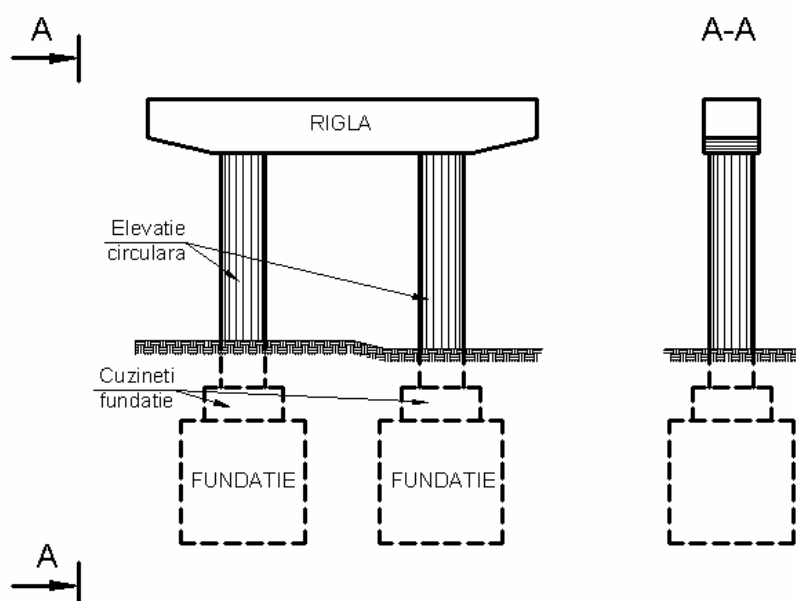


Fig. 3.3 Pilă cadru cu doi stâlpi

Pilele masive (Fig. 3.4) tip perete sunt mai puțin economice și se utilizează atunci când valorile eforturilor secționale de pe secțiunea transversală a pilei sunt mari (de exemplu în cazul podurilor de cale ferată pentru căi ferate simple sau duble) și acolo unde există situații speciale de amplasament, de exemplu pile situate în albia râurilor cu acțiune hidrodinamică importantă sau văi adânci și accidentate. În aceste cazuri se pot adopta de asemenea pile cu secțiune transversală casetată realizată din beton armat (Fig. 3.5).

Secțiunea transversală a pilelor poate avea dimensiuni constante (Fig. 3.5) sau variabile (Fig. 3.4). Prima variantă este adoptată la pilele de înălțimi mici și

medii ($< 10 - 12$ m), iar cea de-a doua la pilele cu înălțimi mari ($> 15-20$ m) unde cel puțin una din dimensiunile secțiunii transversale variază ca valoare pe înălțimea pilei. În acest caz, planurile înclinate față de verticală ce delimitează elevația pilei pot avea înclinări cuprinse între $20:1 \div 15:1$ ($n:1$ în figura 3.1), iar înclinarea se numește uzual *fruct*.

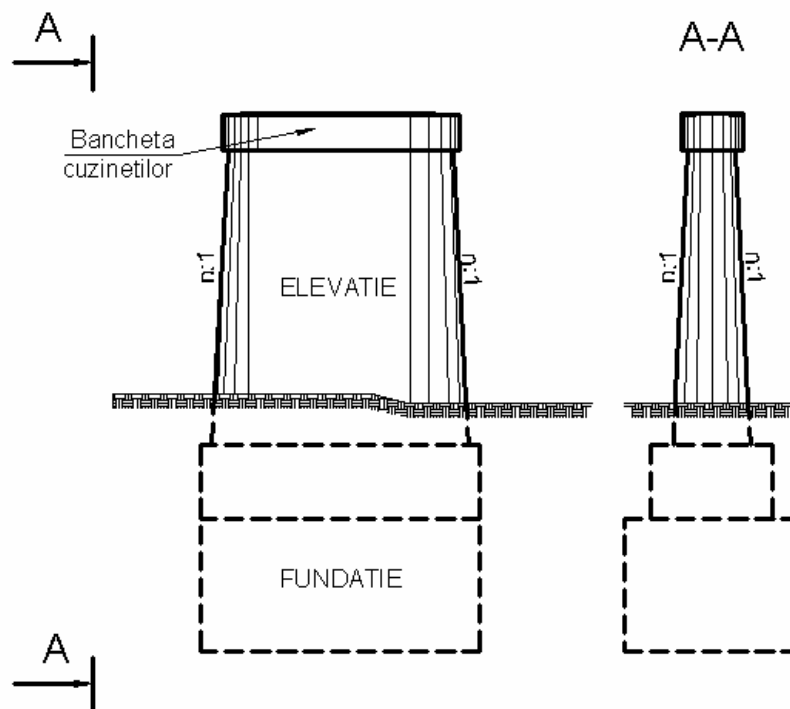


Fig. 3.4 Pilă masivă pentru poduri de cale ferată

De regulă, pentru a evita complicații legate de cofrare, forma în plan a pilelor masive este un dreptunghi. Totuși, dacă pilele sunt amplasate în albia râurilor este necesar să se îmbunătățească condițiile de scurgere a apei în zona pilelor, asigurându-se o formă hidrodinamică reducând astfel riscul producerii de vârtejuri și al erodării albiei râului. În amonte se prevede o formă de *ogivă* numită *avantbec*, iar în aval forma este realizată cu o racordare semicirculară numită *arierbec* (Fig. 3.6).

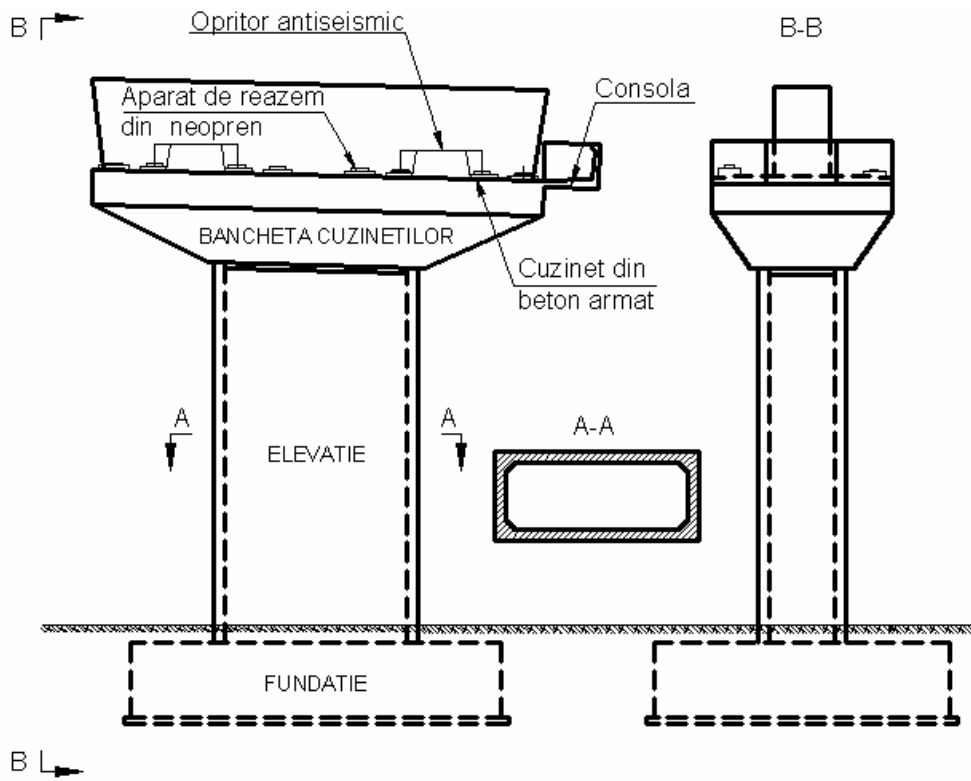


Fig. 3.5 Pilă cu secțiune transversală casetată

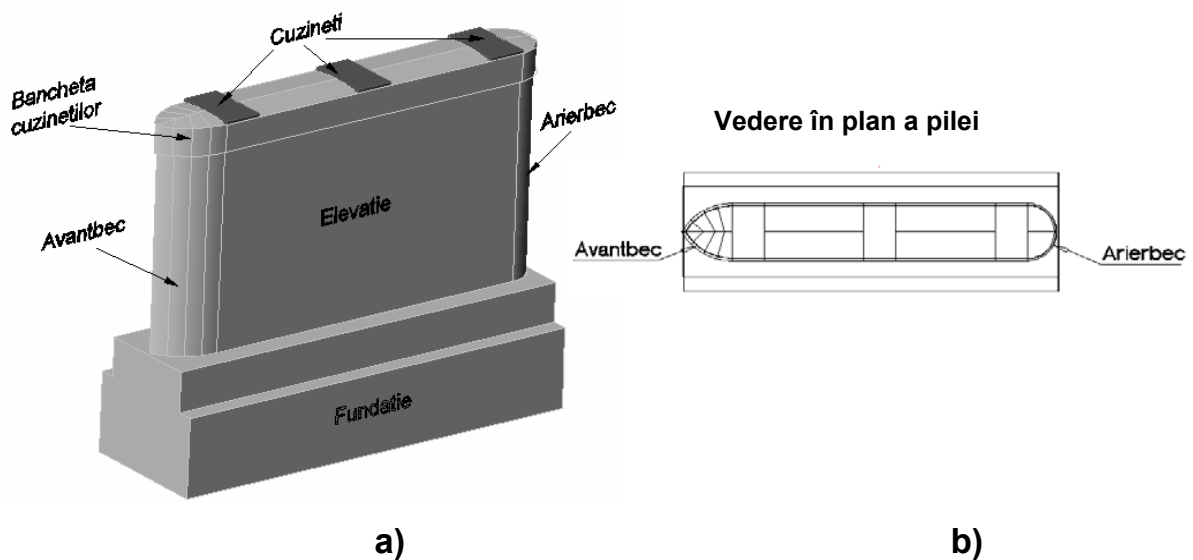


Fig. 3.6 Vedere a unei pile cu avantbec și arierbec
 a) Vedere tridimensională
 b) Vedere în plan

În centrele urbane cu rețele stradale dense și cu aglomerări importante de vehicule se impune în multe situații realizarea de poduri, pentru eliminarea intersecțiilor la nivel de pe arterele principale. În lume au fost construite astfel de viaducte atât pentru susținerea căilor de metrou sau de tramvai, cât și pentru susținerea altor artere rutiere. De regulă se recomandă realizarea unor astfel de traversări aeriene prin viaducte acolo unde există suficient spațiu în raport cu clădirile învecinate, de exemplu în piețe largi, cu suprafețe în plan mari.

Pentru încadrarea unui astfel de pod într-un peisaj urban, trebuie acordată o mare importanță formei constructive și dimensiunilor geometrice ale elementelor structurale componente vizibile. Astfel trebuie reduse atât dimensiunile elementelor structurale ce compun suprastructura podului, dar și cele ce formează infrastructura, în special pilele, dat fiind faptul că spațiul de sub pod este destinat fie circulației sau staționării vehiculelor, fie circulației pietonilor.

Reducerea dimensiunilor geometrice se traduce prin realizarea unor pile zvelte, cu forme estetice îmbunătățite. Adoptarea unor pile prea înalte sau cu aspect masiv ar diminua semnificativ vederea de ansamblu în zona podului și ar reduce luminozitatea, mai ales în zile cu cer acoperit. Evident adoptarea unor pile suple are drept consecință realizarea unor deschideri moderate ca valoare, pentru a nu genera încărcări prea mari pe reazeme provenind de la suprastructură.

Există numeroase forme posibil a fi adoptate pentru viaductele urbane: pile de tip coloană, cu secțiuni circulară sau octogonală, pile tip cadru cu stâlpi, pile având forma literei „Y” etc. Realizarea unor astfel de forme constructive pentru elevațiile pilelor conduce la dificultăți de execuție, legate în special de utilizarea unor cofraje speciale, a unor betoane speciale de față văzută, a unor utilaje performante dar având un gabarit nu prea mare etc.

Având în vedere toate aceste aspecte și costurile de execuție ale unor astfel de poduri cresc semnificativ.

În continuare (Fig. 3.7-3.11) se prezintă câteva forme constructive ale pililor, care au fost utilizate în lume pentru realizarea infrastructurii podurilor amplasate în zone urbane.



Fig. 3.7 Pile tip cadru cu doi stâlpi înclinați



Fig. 3.8 Pile având forma literei “Y”



Fig. 3.9 Pile având forma literelor “X” și “V” la viaductul Prater din Viena



Fig. 3.10 Pile cu secțiune octogonală la viaductul Namedy, Germania



Fig. 3.11 Pilă cu formă specială la un pod de încrucișare

3.2 CULEE. ELEMENTE GEOMETRICE. TIPURI DE CULEE

Culeele sunt elemente ale infrastructurii amplasate la capetele podurilor și asigură racordarea podului și terasamentele (ramblee), acestea din urmă fiind realizate odată cu calea de comunicație pe care o susține podul. Materialul din care sunt executate culeele este betonul armat. Culeele sunt proiectate să preia atât încărcările transmise de suprastructură prin intermediul reazemelor, cât și împingerea pământului din corpul terasamentului situat în partea lor din spate.

În general, părțile componente ale unei culee sunt aceleași cu cele ale unei pile, însă mai apar o serie de elemente structurale suplimentare care pot fi observate în figura 3.12.

La marginea dinspre terasament a banchetei cuzineților se realizează un perete vertical numit *zid de gardă* (Fig. 3.12) pentru a împiedica materialul din umplutura terasamentului să cadă spre albie și spre bancheta cuzineților. În zidul de gardă, la podurile de cale ferată se realizează un gol (o nișă) în care se montează *opritorul de piatră spartă* (de regulă un profil cornier sau un profil metalic realizat din tablă sudată sub formă de "L") (Fig. 3.12).

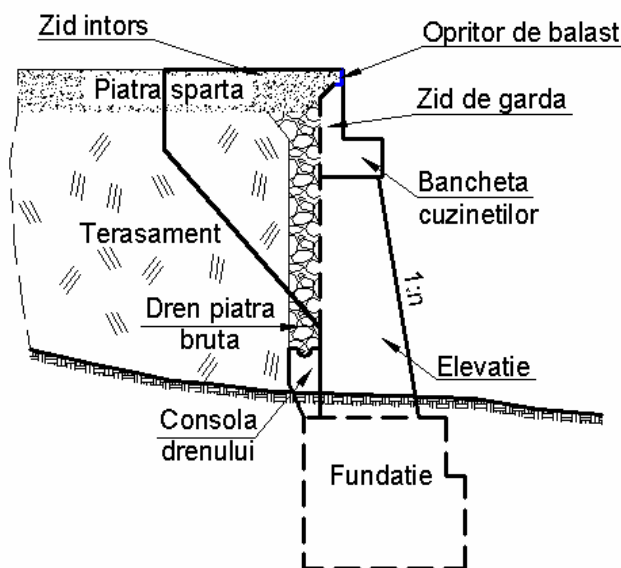


Fig. 3.12 Părțile componente ale unei culee

Dimensiunile opritorului și poziția sa pe zidul de gardă în nișa special amenajată trebuie să fie astfel încât să susțină balastul (sau piatra spartă) să nu cadă pe bancheta cuzinetilor și în același timp să permită așezarea primei traverse de pe terasament cât mai aproape de prima traversă de pe suprastructura podului. Distanța maximă dintre traverse nu trebuie să depășească 600 mm și în acest scop odată cu realizarea proiectului pentru suprastructura oricărui pod de cale ferată se stabilește și poziția traverselor.

De o parte și de alta a elevației culeei se găsesc *zidurile întoarse* (Fig. 3.12) în număr de două, executate în consolă și având dimensiune variabilă. Aceste elemente de beton au rolul de a împiedica materialul din terasament să cadă în lateral și permit realizarea racordărilor înainte de planul definit de paramentul înclinat al culeei. În acest scop, pe lângă zidurile întoarse se execută și o racordare a culeei cu terasamentele din spatele ei. Există două posibilități pentru a realiza această racordare și anume:

- a) racordare cu sferturi de con (Fig. 3.13)
- b) racordare cu aripi (Fig. 3.14)

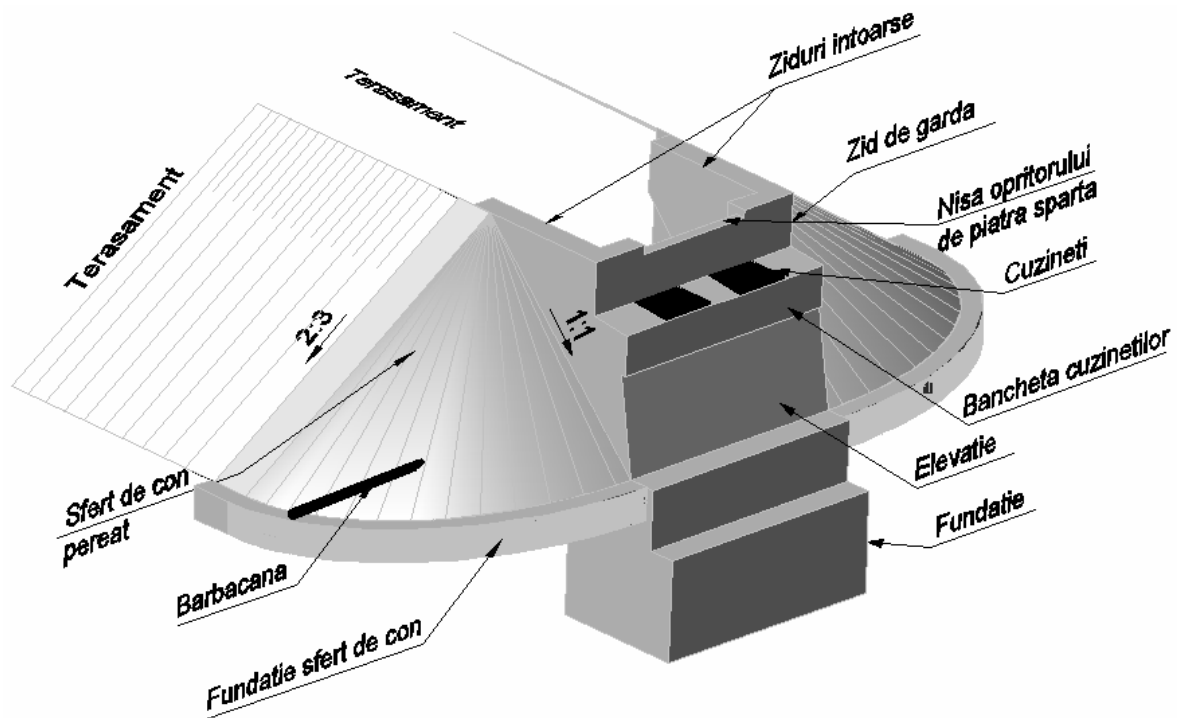
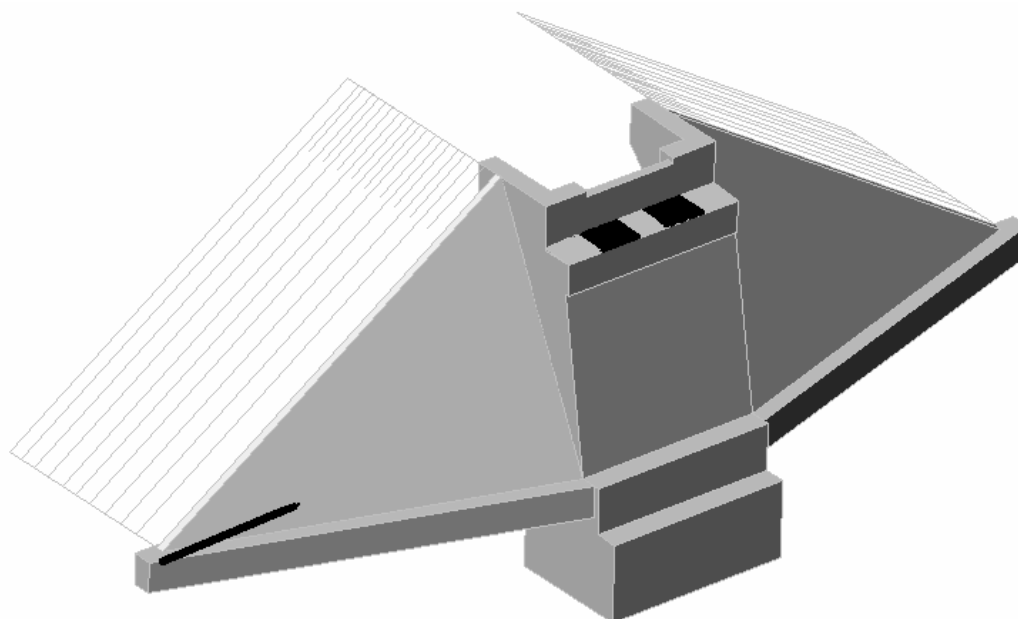


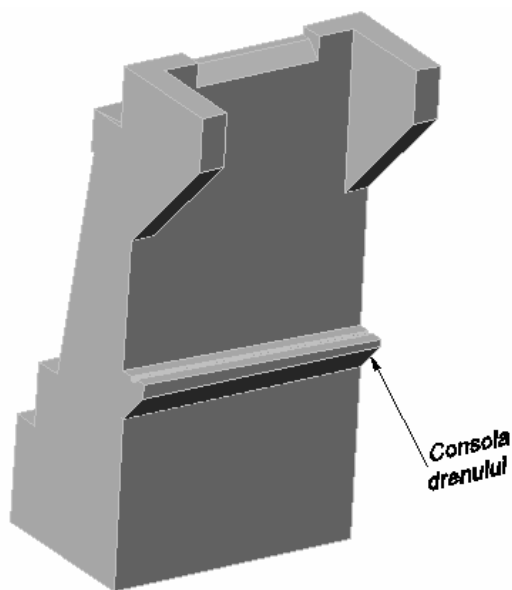
Fig. 3.13 Culee de pod având racordare cu sfert de con

a) Racordarea cu sfert de con se realizează prevăzând în dreptul taluzelor terasamentelor de la capetele podului, sferturi de con care au de fapt ca proiecție în plan un sfert de elipsă datorită pantelor diferite pe cele două generatoare ale conului (Fig. 3.13). Dacă înclinarea generatoarei dinspre obstacolul traversat este mai mare decât cea a generatoarei de pe terasament atunci sfertul de con se perează obligatoriu, adică se acoperă cu o îmbrăcăminte executată din piatră brută sau din dale de beton numită *pereu* (Fig. 3.13).

b) Dacă înălțimea elevației culeei este mare, chiar adoptând o pantă corespunzătoare a sfertului de con spre obstacolul traversat, lungimea zidurilor întoarse crește, situație care conduce atât la dificultăți de execuție (cofraje de dimensiuni mari), dar și la costuri ridicate. Această situație poate fi evitată prin realizarea racordărilor cu aripi (Fig. 3.14).



a)



b)

Fig. 3.14 Culee de pod având racordare cu aripi
 a) Vedere din față b) Vedere din spate (fără aripi)

Aripile sunt elemente de racordare executate din beton simplu sau armat, au înălțime variabilă în funcție de înălțimea terasamentului. Forma în plan a aripii este de regulă un patrulater ascuțit care urmărește cele două

planuri de racordare cu terasamentul. Panta spre obstacolul traversat a aripii este în general de maxim 3:1.

Atât în cazul racordării cu sfert de con cât și al racordării cu aripi, sferturile de con, respectiv aripile au fundații proprii.

Înclinarea elevației culeei spre obstacolul traversat n:1 (*fructul*) (Fig. 3.12) variază între 10:1, pentru înălțimi mari ale elevației (peste 10 m) și 5:1 în cazurile uzuale.

Evacuarea apelor infiltrate din terasament în spatele culeei se face prin executarea unui *dren* realizat din bolovani de râu (piatră brută). Lățimea drenului variază între 80 – 100 cm. Drenul se sprijină pe consola drenului (Fig. 3.14b) care face corp comun cu elevația culeei și este armată corespunzător. Evacuarea apelor se face numai într-o parte, în sensul curgerii râului, printr-un tub numit *barbacană* ce este prelungit prin sfertul de con sau prin aripa culeei până la ieșirea din acestea (Fig. 3.13 și 3.14), unde tubul trebuie să se situeze deasupra nivelului terenului natural. De regulă, înclinarea consolei drenului în sensul de scurgere a apei este de 3%.

Lungimea zidurilor întoarse variază între 3.50 m la podurile de cale ferată și 5.00 m la podurile de șosea. Dacă din situațiile din teren rezultă valori mai mari, racordările cu sfert de con se vor înlocui cu racordări cu aripi.

În cazul în care înălțimea terasamentelor din spatele culeei nu este foarte mare (sub 9.00 m), culeele se pot executa având elevația realizată sub forma mai multor pereți încastrați în blocul de fundație (Fig. 3.15) și se numesc *culee deschise*. În aceste cazuri, umplutura cu pământ se face până aproape de nivelul banchetei cuzineților. Au un aspect estetic îmbunătățit și se utilizează cu precădere la podurile și pasajele executate în localități.

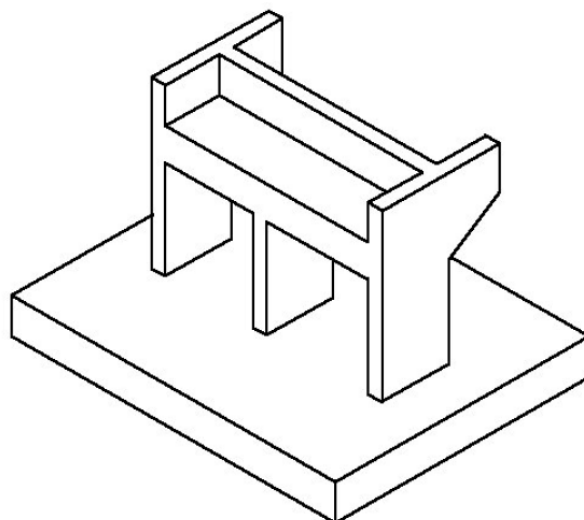


Fig. 3.15 Culee deschisă [7]

În funcție de stratificația terenului din amplasament se poate adopta soluția realizării fundației culeelor pe coloane, caz în care blocul de fundație (radierul) poate lipsi. În aceste situații coloanele sunt încastrate direct în bancheta cuzineților, iar zidurile întoarse lipsesc (fig. 3.16).

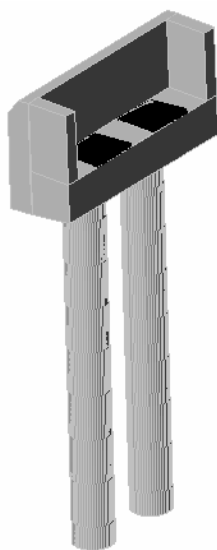


Fig. 3.16 Culee fără elevație și radierul fundației

Există cazuri în care înălțimea elevației culeei este foarte mică și în aceste situații elevația este aproape în totalitate (exceptând bancheta cuzineților) înglobată în terasament. Culeea se numește "înecată" în acest caz.

În cazul podurilor de șosea, trecerea de pe pod pe terasament se realizează imediat după culee, printr-o *dală de tranziție* (*placă de racordare*) (Fig. 3.17) dispusă sub partea carosabilă. Rolul dalei de tranziție este de a atenua denivelările care apar din cauza tasării pământului din umplutură.

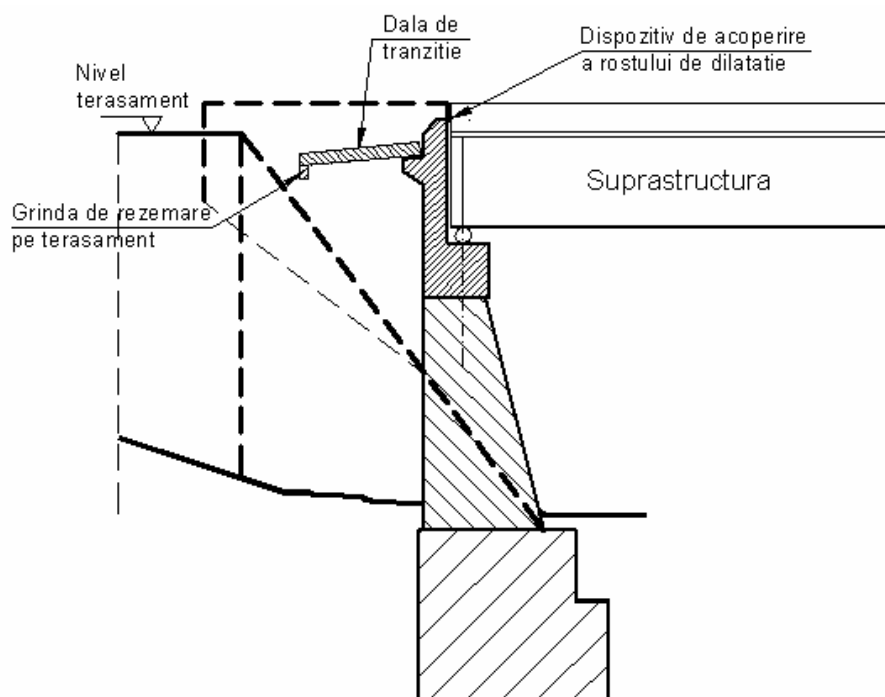


Fig. 3.17 Trecerea de pe pod pe terasament cu dală de tranziție

3.3 PODURI CU INFRASTRUCTURĂ INTEGRATĂ

Evoluția continuă a traficului din ultima perioadă de timp a determinat, în special în zonele urbane, proiectarea și execuția unor poduri având deschideri mici și medii care să susțină căi de comunicații în cazul intersecțiilor denivelate. În astfel de amplasamente inginerii proiectanți se confruntă cu o serie de probleme dificile și anume: respectarea unor dimensiuni fixe ale structurii podului impuse de spațiul limitat din intersecțiile urbane sau dintre clădirile învecinate, respectarea criteriilor de siguranță, proiectarea unor detalii de execuție simple pentru un montaj rapid în vederea reducerii costurilor lucrării, precum și asigurarea unei bune comportări în exploatare, dublată de

costuri de întreținere scăzute. Îndeplinirea acestor cerințe poate conduce în multe situații la adoptarea unor soluții constructive inestetice, care devin inacceptabile în noile condiții privind integrarea construcțiilor în mediul înconjurător.

O alternativă la sistemele clasice de poduri utilizate în prezent pe scară largă, o reprezintă *podurile cu infrastructură integrată*.

Podurile cu infrastructură integrată pot fi definite ca poduri cu una sau mai multe deschideri a căror suprastructură formează un element unitar cu infrastructura, fiind realizate monolit (Fig. 3.18).

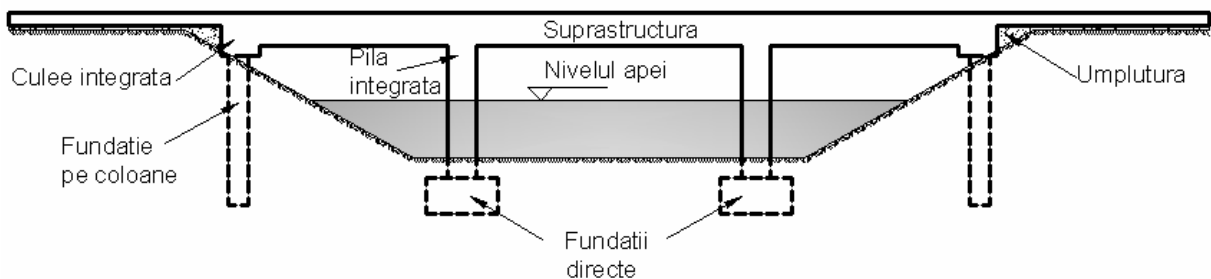


Fig. 3.18 Schemă a unui pod cu infrastructură integrată

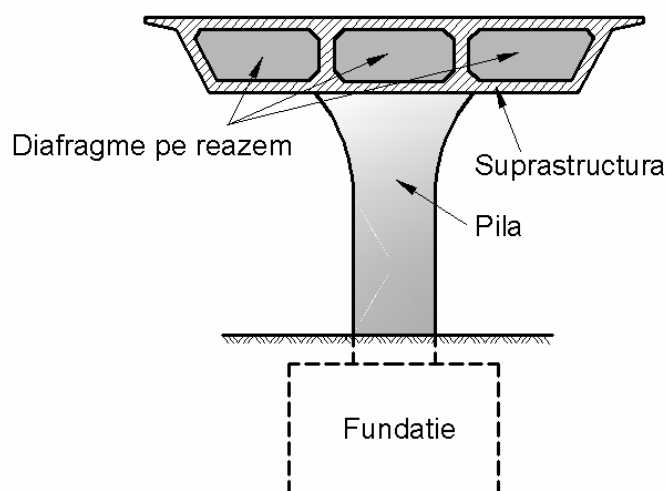


Fig. 3.19 Secțiune transversală a unui pod cu infrastructură integrată

Principala caracteristică a *podurilor cu infrastructură integrată* o reprezintă faptul că suprastructura este realizată fără rosturi de dilatație. Deoarece suprastructura și infrastructura sunt conectate rigid prin *zone de monolitizare* (Fig. 3.20), deplasările determinate de variațiile de temperatură precum și din încărcările orizontale și verticale ce solicită structura pot fi preluate prin pile suuple corespunzător proiectate.

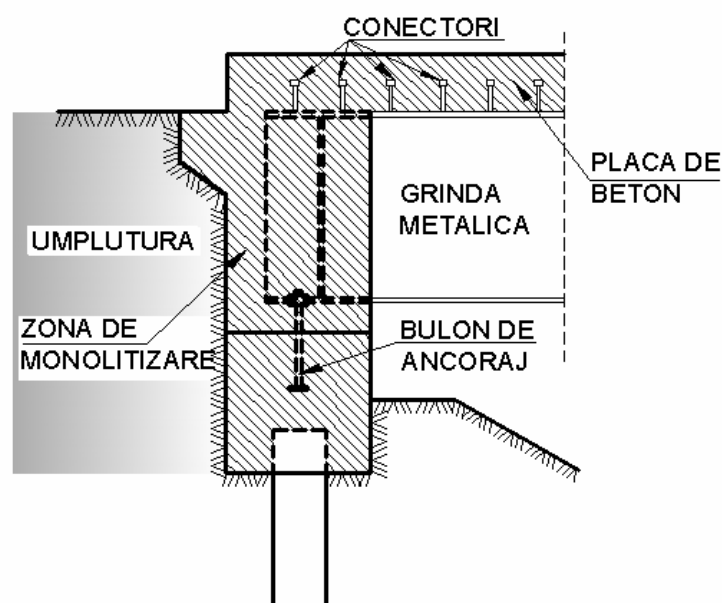


Fig. 3.20 Schemă a rezemării grinzilor pe culee în cazul podurilor cu infrastructură integrată

Întrucât culeele de la capete sunt masive prin comparație cu pilele, se poate spune că la capete elementele de infrastructură pot fi asimilate cu corpuri rigide. Prin prezența zonelor de monolitizare a grinzilor (metalice sau din beton) în zona rezemărilor pe culee, translațiile și rotirile apărute ca urmare a încărcărilor exterioare sunt transferate direct sistemului de fundare al culeelor, care trebuie proiectat în consecință.

Există și situații în care se poate asigura, prin soluția constructivă adoptată, un anumit grad de rotire al suprastructurii la capetele podului, pe culee, în acest caz podurile având *culee semi-integrate* (Fig. 3.21).

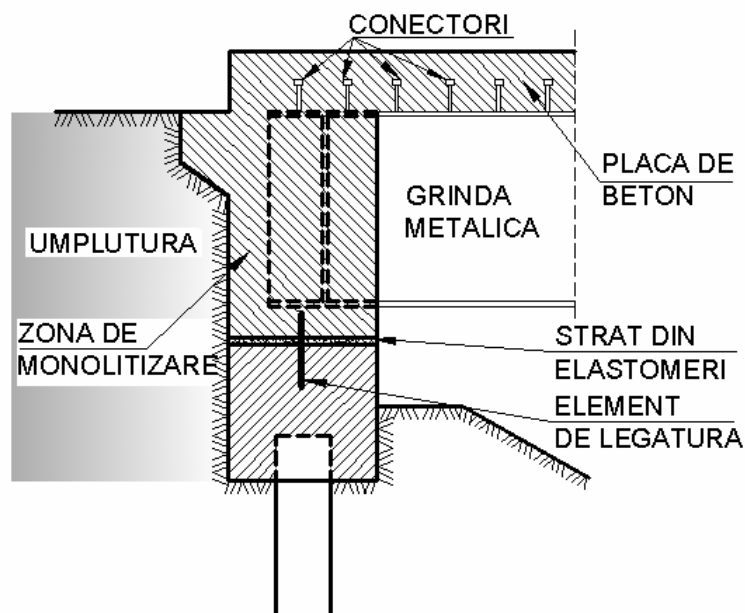


Fig. 3.21 Schemă a rezemării grinzilor pe culee în cazul podurilor cu culee semi-integrate

În literatura de specialitate [29], [30], [31], [32] se precizează că din punct de vedere al calculului, suprastructura acestor poduri poate fi considerată ca un cadru, la capete rotirile fiind permise. Prin comparație cu podurile cu *culee integrate*, cele cu *culee semi-integrate* prezintă avantajul că suprastructura este independentă de tipul de fundație utilizat.

Principalele *avantaje* oferite de utilizarea *podurilor cu infrastructură integrată* sunt:

- lipsa rosturilor de dilatație pentru suprastructură conduce la eliminarea problemelor generate la podurile cu alcătuire clasică de prezența acestor rosturi. Este știut faptul că prezența rosturilor de dilatație în cazul podurilor cu structuri tradiționale conduce la sporirea costurilor atât în faza de execuție, dar mai ales pe perioada de exploatare, datorită deteriorării lor. Prin deteriorarea rosturilor au de suferit și celelalte elemente structurale componente ale podului, deoarece prin infiltrarea apei și a altor substanțe chimice de la nivelul

-
- căii de comunicație de pe pod, se produce atât corodarea armăturii, cât și a betonului. De asemenea, lipsa rosturilor de dilatație conduce la realizarea unei căi de comunicație fără denivelări și deci la reducerea efectului dinamic al vehiculelor asupra podului;
- eliminarea aparatelor de reazem și prin aceasta reducerea costurilor determinate de necesitatea înlocuirii aparatelor și întreținerii acestora în timp. Aparatele de reazem din oțel turnat, se pot deteriora în timp, datorită unei întrețineri necorespunzătoare și lipsei agentului de lubrefiere. Similar, la aparatele de reazem din neopren pot apărea deformații excesive care conduc la lunecarea și desprinderea straturilor ce le compun;
 - urmărind comportarea în timp a acestor poduri s-a constatat că ele au rezerve în ceea ce privește capacitatea portantă și redistribuirea eforturilor, ca urmare a unor situații accidentale de încărcare apărute în exploatare;
 - prin realizarea *culeelor integrate* se reduce riscul apariției fenomenelor de instabilitate la aceste elemente de infrastructură, încărcările fiind uniform distribuite în spatele culeei, pe toată înălțimea și lățimea ei;
 - întrucât suprastructura și infrastructura acestor poduri se realizează monolit, ele se execută într-un timp scurt;
 - pentru fazele de proiectare și verificare, podurile cu infrastructură integrată se pot considera, în mod simplificat, ca și cadre alcătuite dintr-un element orizontal (rigla) și două sau mai multe elemente verticale (pilele);
 - aceste soluții pot fi utilizate pentru proiectarea unor poduri noi drepte și oblice, dar și pentru consolidarea unor poduri existente. Prin realizarea unor astfel de poduri se pot aplica ulterior sporuri de lățime ale părții carosabile fără dificultățile care apar în mod obișnuit la podurile clasice.

În ciuda numeroaselor avantaje prezentate mai sus, *podurile cu infrastructură integrată* prezintă și dezavantaje. Acestea sunt:

- ca urmare a translațiilor și rotirilor induse în structura podului de variațiile de temperatură și încărcările din trafic, pot apărea tasări ale umpluturilor din spatele culeelor, cu influență negativă asupra căii de comunicație susținute de pod. Efectul mișcării laterale al culeelor din variații de temperatură reprezintă o problemă importantă, deoarece umplutura din pământ nu se comportă perfect elastic. Totuși deplasările din temperatură la podurile cu o singură deschidere cu *culee integrate* este mai redus, datorită simetriei, în comparație cu efectul produs asupra unui pod clasic cu suprastructură simplu rezemată (Fig. 3.22);



Fig. 3.22 Deplasări din variații de temperatură
a) Pod clasic cu o deschidere
b) Pod cu culee integrate

- eliminarea rosturilor de dilatație în cazul podurilor cu mai multe deschideri conduce la realizarea unei continuități structurale care induce eforturi suplimentare în structura podului. Eforturile din contracția și curgerea lentă a betonului, din *gradient de temperatură* (variația de temperatură pe înălțimea suprastructurii), din tasări diferențiate ale elementelor de infrastructură și din împingerea pământului pot conduce la fisurarea betonului culeelor și aripilor acestora, dacă racordarea cu terasamentele se realizează cu aripi;

- pentru realizarea podurilor oblice cu infrastructură integrată trebuie să se țină seama, în faza de proiectare, de efectele de torsiune induse în structură atât de încărcările excentrice produse de trafic, dar și de modificările ciclice ale împingerii pământului din spatele culeelor, care au tendința de a produce rotiri ale podului;
- prezența apei subterane în umplutura din spatele culeelor poate conduce la tasări;
- coloanele pe care sunt fundate culeele și pilele la *podurile cu infrastructură integrată*, pot fi suprasolicitate datorită alungirilor și contracțiilor ciclice ale podului. Există riscul formării unor articulații plastice în coloane, ceea ce reduce considerabil capacitatea lor portantă;
- pentru podurile cu infrastructură integrată umplutura din spatele culeelor nu poate fi realizată din material moale, afânat;
- aceste structuri nu se pot utiliza decât până la anumite valori ale deschiderilor, mici și medii.

În figurile 3.23 – 3.27 se prezintă câteva poduri cu infrastructură integrată realizate pe plan mondial.



Fig. 3.23 Pile integrate ale pasajului Tropicana, Las Vegas, SUA



Fig. 3.24 Pile integrate la un pod pe o autostradă în Carolina de Nord



Fig. 3.25 Pod peste râul Big East, SUA, având culeele integrate

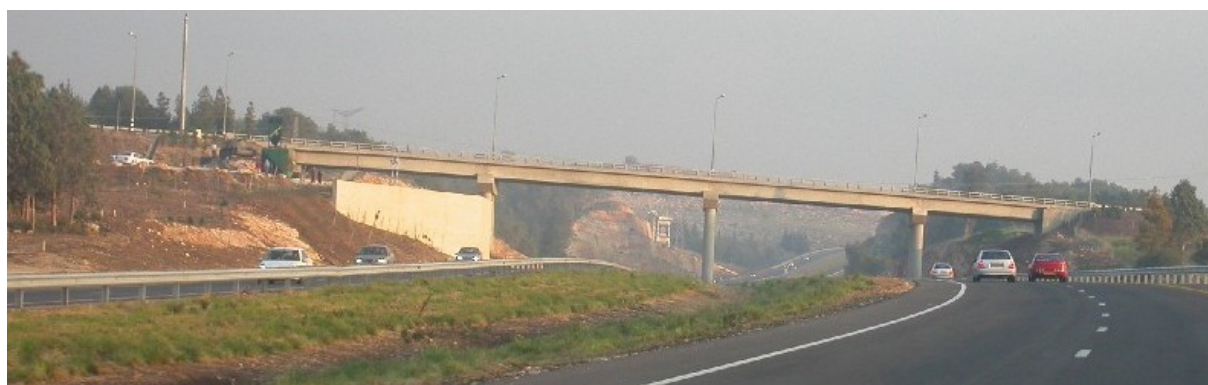


Fig. 3.26 Pasaj peste autostradă în Israel având culeele integrate



Fig. 3.27 Pod în Suedia având culeele integrate

CAPITOLUL 4

APARATE DE REAZEM UTILIZATE LA PODURI

4.1 GENERALITĂȚI

Aparatele de reazem sunt dispozitivele care fac legătura între suprastructura și infrastructura unui pod. Ele au rolul de a prelua forțele verticale și orizontale provenind de la suprastructură și de a le transmite elementelor de infrastructură (culee și pile) sub formă de *reacțiuni*. În același timp, *aparatele de reazem* trebuie să permită deplasări și rotații ale suprastructurii pe infrastructură, corespunzător schemei statice utilizate în calcul, deoarece în caz contrar pot fi induse în structura podului eforturi mai mari decât cele considerate în faza de proiectare, care pot duce la depășirea capacității portante a unora dintre elementele structurale.

În funcție de gradele de libertate asigurate pentru suprastructură, aparatele de reazem sunt:

- *aparate de reazem fixe* (Fig. 4.1a), care asigură numai rotirea suprastructurii în plan vertical, ele preluând forțe orizontale dirijate după orice direcție și forțe verticale;
- *aparate de reazem mobile pe o direcție* (Fig. 4.1b), care asigură translația suprastructurii după direcția respectivă, preluând forțe orizontale de pe direcția perpendiculară pe direcția de mișcare și forțe verticale. Aceste aparate asigură de asemenea și rotații ale suprastructurii în plan vertical;

- aparate de reazem mobile pe orice direcție, care asigură translații după orice direcție în plan și rotații în plan vertical, preluând numai forțele verticale.



Fig. 4.1 Schematizări ale aparatelor de reazem în elevație

Există însă și aparate speciale de reazem care permit translații după orice direcție în plan, dar și rotații în orice plan vertical și în plan orizontal.

4.2 DISPUNEREA APARATELOR DE REAZEM

Dispunerea aparatelor de reazem în cazul unei structuri de pod depinde de schema statică a suprastructurii, de numărul și mărimea deschiderilor și de lățimea suprastructurii.

În cazul podurilor cu grinzi simplu rezemate cu o singură deschidere, având lățime mică și numai două grinzi principale în secțiune transversală, dispunerea aparatelor de reazem se face ca în figura 4.2a. Dacă lățimea este mică, dar există mai multe grinzi în secțiune transversală, aparatele de reazem se dispun ca în figura 4.2b.

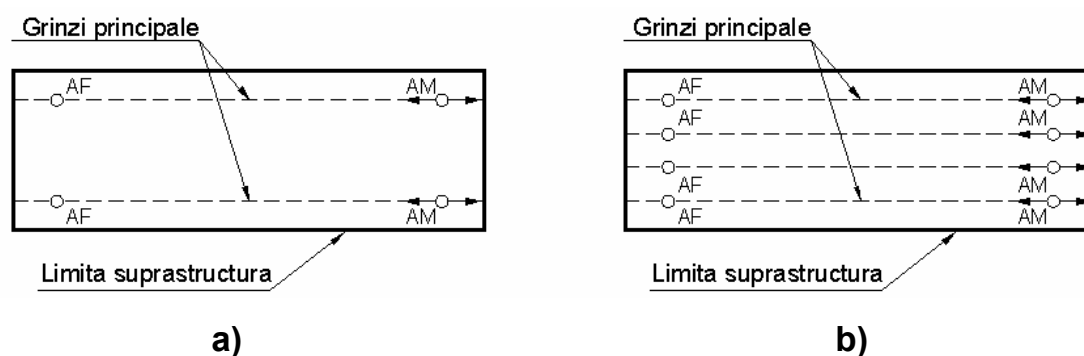


Fig. 4.2 Dispunerea aparatelor de reazem la poduri cu o singură deschidere și suprastructură de lățime mică

Dacă suprastructura podului are lățime mare, deplasările pe direcție transversală sunt semnificative și trebuie prevăzute aparate de reazem care să asigure atât translații în sens longitudinal, cât și în sens transversal. În plus, la podurile cu suprastructuri late, rotirile suprastructurii în plan vertical sunt de asemenea importante, fapt pentru care aparatele de reazem trebuie să permită și aceste rotiri (Fig. 4.3a și b).

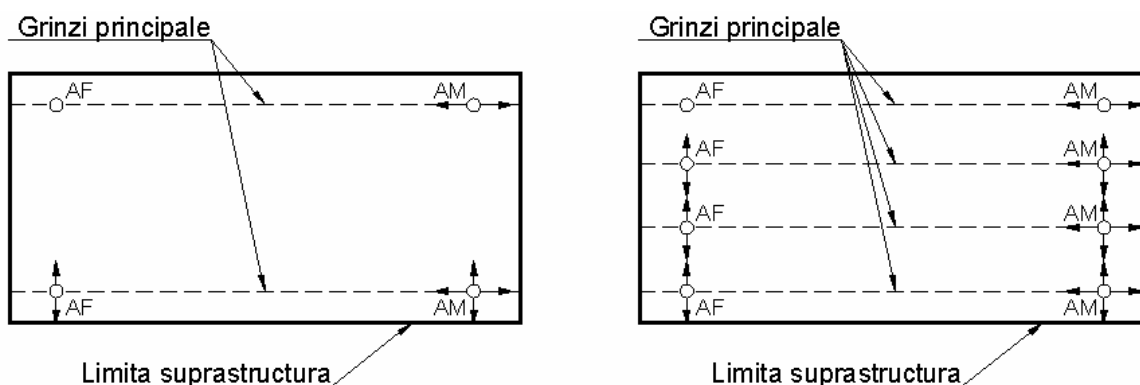


Fig. 4.3 Dispunerea aparatelor de reazem la poduri cu o singură deschidere și suprastructură de lățime mare

Simbolurile AF, AM din figurile de mai sus reprezintă aparate de reazem fixe, respectiv mobile, iar săgețile indică direcția și sensul gradelor de libertate.

În cazul podurilor cu mai multe deschideri, dispunerea aparatelor de reazem se face conform precizărilor de mai sus, dar având în vedere și alte cerințe de ordin tehnic și economic cum ar fi: realizarea unui număr minim de rosturi de dilatație pe lungimea podului, apariția unor deplasări cât mai reduse la nivelul rosturilor de dilatație și reducerea solicitărilor în elementele de infrastructură. De exemplu, în cazul pilelor cu înălțimi mari sau a căror fundație se execută în terenuri slabe, se va evita dispunerea aparatelor de reazem fixe, care ar conduce la apariția unor forțe orizontale mari și respectiv a unor momente mari la baza pilei.

La podurile amplasate în declivitate, aparatele de reazem fixe se dispun la baza declivității, iar la podurile de cale ferată simplă la care circulația se desfășoară cu preponderență într-un singur sens, aparatele de reazem se

vor dispune astfel încât circulația să se facă de la reazemele mobile către cele fixe.

Există situații în cazul podurilor cu mai multe deschideri în care reazemarea pe pile se face oblic din anumite motive. Pot apărea astfel momente de torsiune semnificative pentru suprastructură și în aceste situații se recomandă dispunerea unor aparate de reazem care să asigure rotirea suprastructurii în sens transversal (Fig. 4.4).

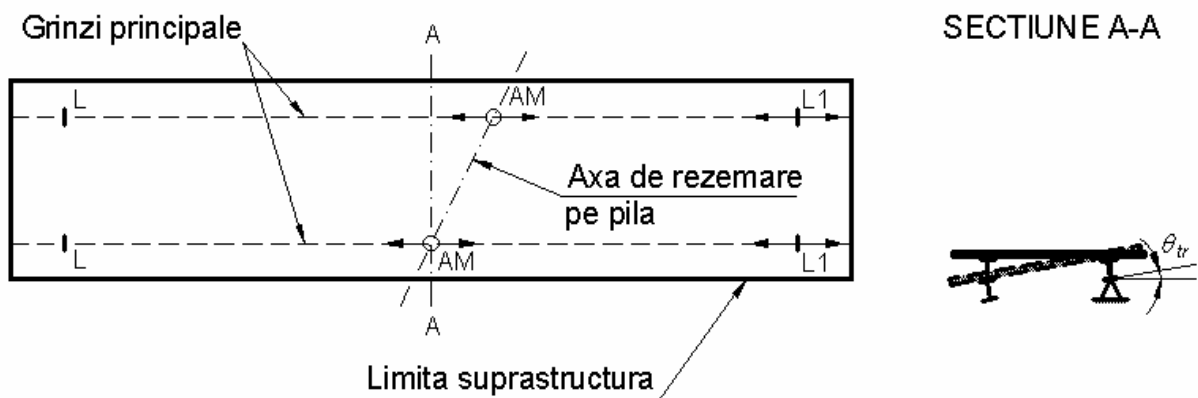


Fig. 4.4 Dispunerea aparatelor de reazem la poduri cu mai multe deschideri, cu pile dispuse oblic

În figura 4.4 cu L au fost notate aparatele de reazem fixe care blochează translațiile după toate axele și permit rotiri numai în sens transversal și în plan orizontal, iar cu L1 aparate de reazem fixe care permit translația în lungul podului și aceleași rotiri ca aparatele notate cu L. Unghiul θ_{tr} este cel cu care suprastructura se rotește în sens transversal datorită momentelor de torsiune.

4.3 TIPURI DE APARATE DE REAZEM

În prezent la poduri se utilizează aparate de reazem din *oțel turnat*, din *neopren* și aparate de reazem cu alcătuire specială de tip *calotă* sau de tip *oală*.

După modul de lucru, aparatele de reazem sunt *fixe* și *mobile*. Dintre acestea, aparatele de reazem mobile pot fi fără rulouri (de tip I) și cu rulouri (tip II...IX).

a) Aparatele de reazem din oțel turnat tip I (Fig. 4.5) pot fi folosite atât ca reazeme fixe, cât și ca reazeme mobile. Ele sunt alcătuite din două plăci metalice suprapuse, placa superioară având ambele fețe plane, iar cea inferioară, numită *balansier*, având suprafața de contact curbă. Placa superioară se fixează de suprastructura podului, iar balansierul de infrastructură (de bancheta cuzineților pilelor sau culeelor), după montarea în prealabil a unor plăci de plumb.

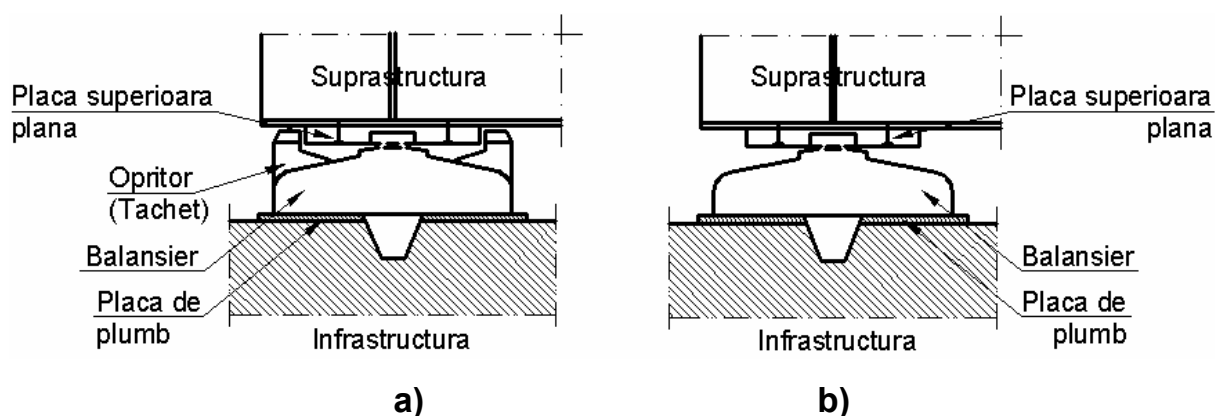


Fig. 4.5 Aparate de reazem din oțel turnat de tip I
 a) fix
 b) mobil

În cazul reazemului fix, pentru a împiedica deplasarea pe orizontală, placa inferioară (balansierul) este prevăzută cu opritori sau *tacheți*. La aparatul de reazem mobil acești opritori lipsesc.

Aparatele de reazem mobile de tip I se folosesc atunci când valorile reacțiunilor nu depășesc 60 tf, deoarece altfel s-ar putea dezvolta forțe de frecare mari între cele două plăci metalice care ar produce degradarea aparatului. Aparatele de reazem fixe de tip I se pot utiliza și pentru reacțiuni cu valori mai mari, deoarece aici nu intervine frecarea.

b) Aparatele de reazem din oțel turnat tipurile II și III, *fixe și mobile cu rulouri* sunt prezentate în figura 4.6.

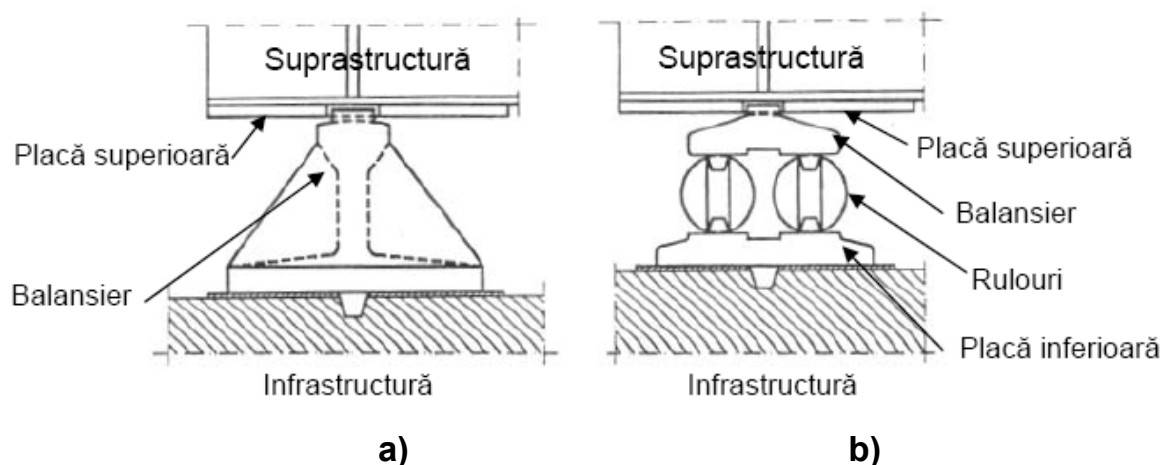


Fig.4.6 Aparate de reazem din oțel turnat

a) fix

b) mobil, cu rulouri

Aparatele de reazem fixe de tip II și III (Fig. 4.6a) din oțel turnat sunt alcătuite dintr-o placă superioară fixată de suprastructură, și un *balansier*. Rotirea este asigurată prin forma cilindrică rotunjită a părții superioare a balansierului. Împiedicarea deplasărilor pe orizontală este asigurată printr-un “pinten” care pătrunde într-un locaș din bancheta cuzineților infrastructurii.

Aparatele de reazem mobile de tip II și III din oțel turnat (Fig. 4.6b) sunt formate dintr-o placă superioară fixată de suprastructură, dintr-un *balansier superior*, un set de *rulouri* (două sau trei) și o placă inferioară. Ca și în cazul aparatelor de reazem fixe, rotirea este asigurată de forma cilindrică rotunjită a părții de sus a balansierului, iar translațiile sunt asigurate prin rostogolirea rulourilor. Limitarea deplasărilor pe orizontală se face cu ajutorul unor “dini” care pătrund în tăieturile existente pe rulouri, pe diametrul secțiunii acestora (Fig. 4.6b).

În STAS 4031-77 sunt standardizate 9 tipuri de aparate de reazem (I...IX) din oțel turnat utilizate atât pentru podurile din beton, cât și pentru podurile metalice. Dintre acestea tipurile III și IV sunt realizate în două variante constructive. Pentru tipurile de aparate de reazem de la IV la IX sunt valabile, în principiu, aceleași alcătuiți ca la tipurile II și III.

Aparatele de reazem mobile prezentate anterior permit deplasări pe o direcție, dar și mici deplasări în sens transversal podului în limita mișcărilor permise de opritori (tacheți). Pentru asigurarea unor deplasări mai mari în sens transversal se pot utiliza aparate de reazem cu alcătuire specială, formate din rulouri suprapuse, însă utilizarea acestora necesită condiții speciale de montaj și dificultăți în întreținere.

c) O altă categorie de aparate de reazem, utilizate pe scară largă mai ales la poduri din beton, o reprezintă *aparatele de reazem din neopren* (Fig. 4.7). Acestea sunt alcătuite sub forma unor pachete compacte din straturi de neopren dispuse între plăci subțiri din oțel. Grosimea straturilor de neopren variază între 8 și 12 mm, în timp ce grosimea minimă a plăcilor de oțel este de 2 mm. Plăcile din oțel sunt realizate de regulă din oțel OL37. Rolul plăcilor de oțel, numite și *armături* sau *frete*, este de a reduce deformarea neoprenului. Straturile de neopren se lipesc prin vulcanizare de plăcile metalice.

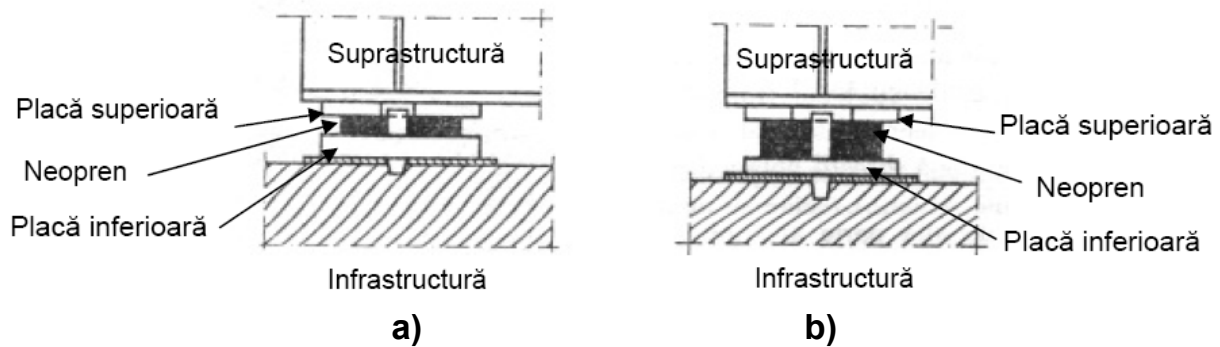


Fig. 4.7 Aparate de reazem din neopren
a) fix
b) mobil

Diferența între aparatele de reazem din neopren fixe și mobile constă în grosimea acestora, care este mai mare în cazul celor mobile (Fig. 4.7b), asigurând deformarea acestora odată cu cea a suprastructurii.

Aparatele de reazem din neopren se montează între două plăci metalice, una superioară fixată de suprastructura podului și cealaltă inferioară montată pe cuzinetul elementului de infrastructură (culee sau pilă). Pentru împiedicarea deplasării pe o anumită direcție, plăcile metalice sunt prevăzute cu opritori (tacheți). Alcătuirea acestor aparate de reazem permite ca acestea să poată prelua forțe orizontale, din acest motiv la suprastructurile de poduri cu mici pante longitudinale, respectiv transversale, nefiind necesare măsuri speciale pentru împiedicarea deplasărilor.

Avantajele utilizării aparatelor de reazem de neopren sunt determinate de economia de oțel și de montajul ușor.

d) Aparatele de reazem de tip “oală” (Fig. 4.8) fac parte din categoria aparatelor de reazem speciale, cu alcătuire mixtă, fiind formate atât din piese metalice, cât și din neopren.

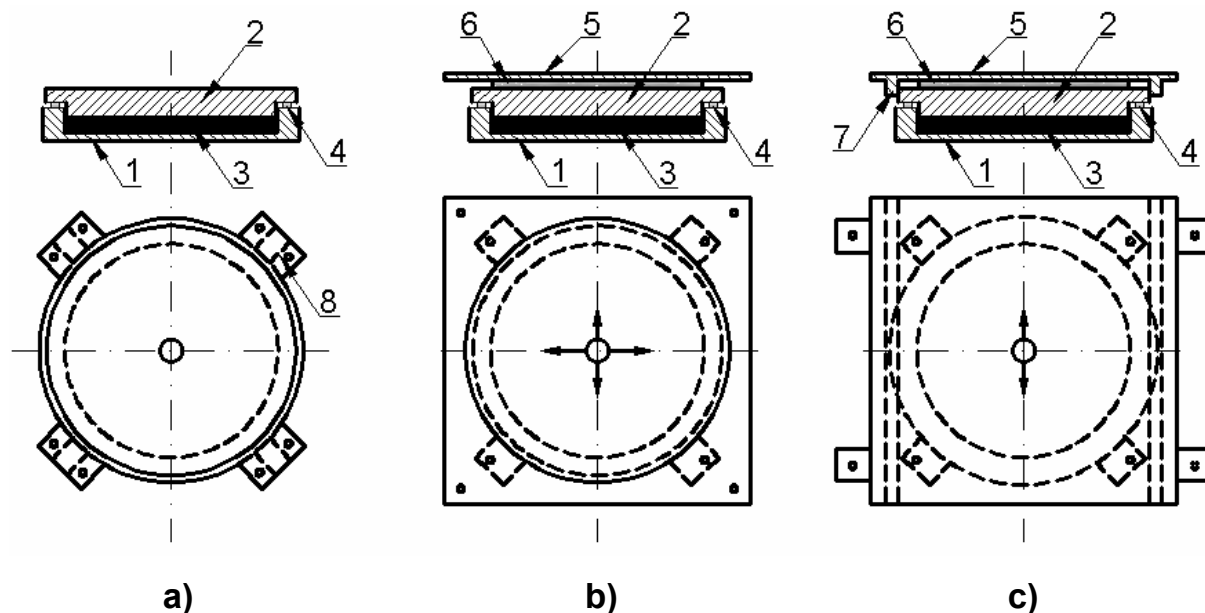


Fig. 4.8 Aparate de reazem tip “oală”

- a) fix
- b) mobil pe toate direcțiile
- c) mobil pe o direcție

Aparatul de reazem fix (Fig. 4.8a) este format din “oala” metalică (1), capacul (2), între aceste piese fiind introdus un strat de neopren (3). Sub acțiunea unor presiuni mari, capacul pătrunde în oală împiedicând orice deplasare de tip translație, însă neoprenul se deformează și asigură posibilitatea de rotire a aparatului. Între capac și oală, pe margini, se prevăd garnituri de etanșare (4) pentru a împiedica pătrunderea impurităților în interior.

Aparatele de reazem mobile (Fig. 4.8b și c) au aceeași alcătuire ca cel fix, existând în plus o placă metalică (5) care se fixează de suprastructura podului. Această placă este așezată pe capac (2) prin intermediul unui strat de teflon (6). Neoprenul (3) asigură rotirea (pe orice direcție), iar teflonul (6) translația (pe orice direcție). Stratul de teflon este găurit din loc în loc, în găuri fiind introdusă vaselină ce înlesnește alunecarea. Dacă este necesară împiedicarea translațiilor după anumite direcții, atunci placa superioară (5) se

prevede cu opritori laterali (tacheți) (7). Fixarea oalei de elementul de infrastructură (culee, pilă) se face prin urechile de fixare (8).

Aceste aparate de reazem au avantajul că pot prelua reacțiuni cu valori mari (până la 5000 tf), pot asigura deplasări mari (în sens longitudinal podului până la 250-300 mm, iar în sens transversal până la 50 mm) și prin utilizarea lor se realizează o înălțime pe reazem mai mică.

e) Un alt tip special de aparate de reazem îl reprezintă cele de tip *calotă* (Fig. 4.9).

Aparatul de reazem fix tip *calotă* (Fig. 4.9a) asigură rotirea datorită alunecării calotei sferice (3) pe placa inferioară de rezemare (1) prin intermediul unei folii de teflon (4). Translațiile sunt împiedicate datorită faptului că placa superioară (2) este prevăzută cu niște reborduri.

Calota sferică este realizată din oțel înalt aliat cu crom. Piesa este șlefuită fin atât pe suprafața sferică, cât și pe cea plană. Rotirile sunt asigurate de frecările foarte scăzute pe foliile de teflon.

La aparatele de reazem mobile pe toate direcțiile (Fig. 4.9b) lipsesc rebordurile, deplasările pe orice direcție fiind asigurate de alunecarea plăcii superioare (2) pe calota (3), prin intermediul unei alte folii de teflon (4).

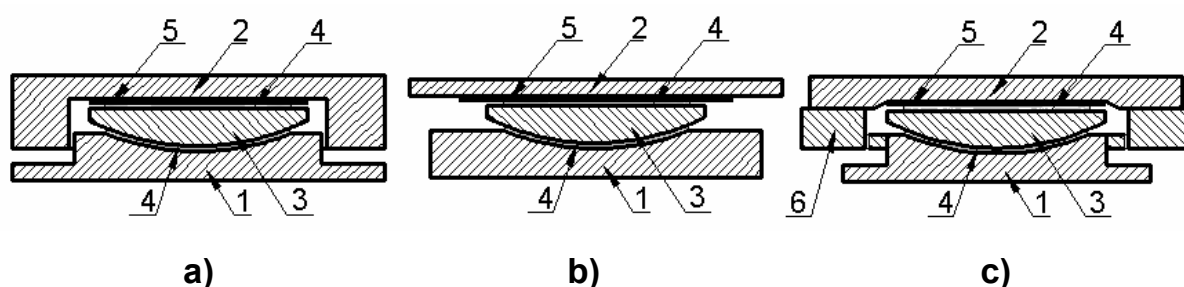


Fig. 4.9 Aparate de reazem tip *calotă*

a) fix

b) mobil pe toate direcțiile

c) mobil pe o direcție

Aparatele de reazem mobile pe o singură direcție (Fig. 4.9c) au la placa superioară (2) rebordurile (6) paralele cu direcția pe care este permisă translația. Distanța dintre rebordurile plăcii superioare (2) și marginile plăcii inferioare (1) este bine calibrată, astfel încât rebordurile lucrează ca niște ghidaje.

Aceste aparate de reazem de tip calotă pot prelua reacțiuni verticale cu valori de până la 3000 tf. Au însă dezavantajul că se execută destul de greu, ca urmare a formei perfecte ce trebuie realizată pentru calotă și a faptului că suprafețele calotei trebuie foarte bine prelucrate pentru asigurarea mișcărilor pe foliile de teflon.

f) În cazul podurilor din beton armat intervin de foarte multe ori scheme statice care implică realizarea unor *articulații*. Acestea pot fi întâlnite la podurile cu bolți, cu cadre, la pilele de susținere ale podurilor cu grinzi. Articulațiile se pot realiza modificând secțiunea transversală a elementului din beton armat și dispunând armăturile astfel încât să se creeze posibilitatea de rotire în secțiunea dorită (Fig. 4.10).

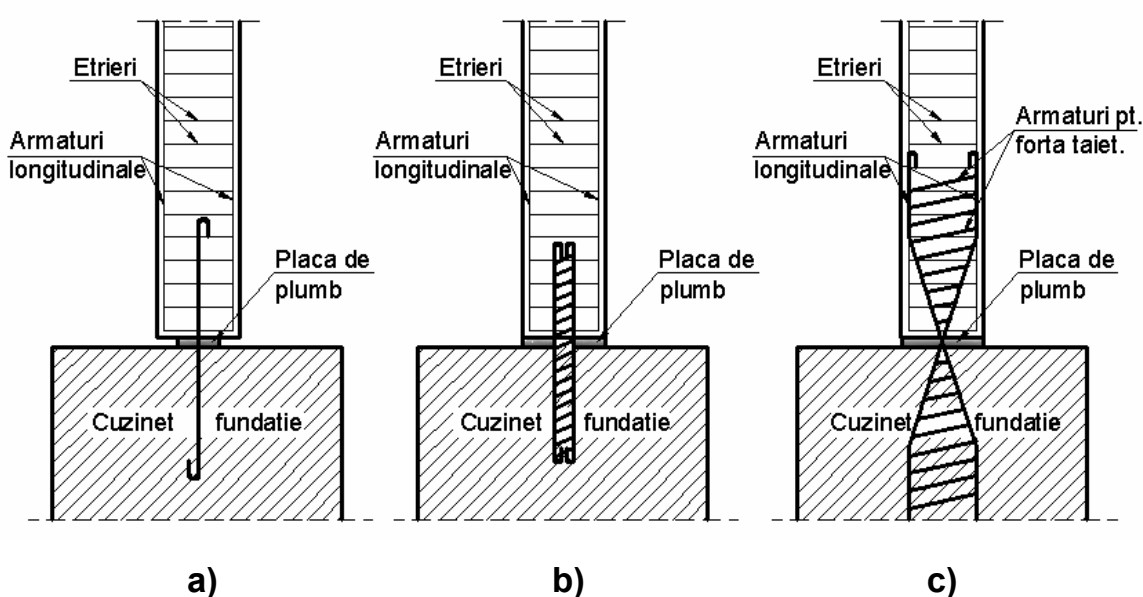


Fig. 4.10 Realizarea articulațiilor la podurile din beton armat

Modificarea secțiunii din beton armat în zona articulației se face prin reducerea secțiunii efective din beton, aceasta având doar o înălțime de aproximativ $1/3$ din cea inițială. Articulația se realizează prin introducerea unor armături suplimentare care trec alternativ de-o parte și de alta a secțiunii formând un X (Fig. 3.37c). Pentru preluarea forțelor tăietoare în zona articulației se prevăd și armături transversale (de forță tăietoare).

Astfel de articulații se pot realiza și înlocuind barele de armătură dispuse în formă de X cu armături simple (Fig. 3.37a) sau cu frete (Fig. 3.37b).

Articulații de forma celor prezentate mai sus se pot utiliza atât în cazul solicitărilor de compresiune, cât și în cazul celor de întindere.

Totuși realizarea acestor articulații implică respectarea prevederilor constructive, referitoare în special la acoperirea armăturii și la lungimile de ancoraj ale barelor.

CAPITOLUL 5

SUPRASTRUCTURA PODURILOR

5.1 GENERALITĂȚI

Suprastructura este partea podului care preia direct încărcările exterioare de pe durata de exploatare (încărcări permanente, mobile etc.) și le transmite elementelor infrastructurii.

Alegerea unui anumit tip de suprastructură pentru un pod în faza de proiectare, depinde de mai mulți factori, între care cei mai importanți sunt:

- mărimea și natura obstacolului traversat;
- tipul traficului ce trebuie preluat de structura de rezistență a podului și evoluția în timp a încărcărilor;
- forma și dimensiunile ce trebuie asigurate pentru spațiile libere (*gabarite*) pe pod și sub pod;
- topografia amplasamentului, natura terenului de fundare;
- aspecte estetice și legate de mediul înconjurător.

Alegerea tipului de material din care va fi executată suprastructura (beton, oțel sau structură compusă oțel-beton) trebuie să se bazeze pe studii privind comportarea acestor materiale în condițiile cerute de schema statică adoptată pentru pod.

În terminologia comună podurilor se vorbește de regulă despre alcătuirea *suprastructurii* în sens *longitudinal* podului (în elevație) și respectiv în sens *transversal* podului (în secțiune transversală).

Din punct de vedere al alcătuirii suprastructurii podurilor în sens longitudinal se disting următoarele categorii de sisteme structurale:

- a) Poduri *dalate*
- b) Poduri *cu grinzi*
- c) Poduri *cu grinzi cu zăbrele*
- d) Poduri *pe cadre*
- e) Poduri *pe arce*
- f) Poduri *cu cabluri (hobanate și suspendate)*.

5.2 PODURI DALATE

Podurile dalate au fost foarte utilizate pentru deschideri mici și medii atât pentru susținerea unor căi de comunicație rutiere, cât și feroviare. Deschiderea podurilor dalate rutiere are valori cuprinse între 10-22 m, iar în cazul celor feroviare, deschiderile se încadrează în domeniul 5-12 m.

Podurile dalate au o alcătuire simplă determinată de faptul că sunt structuri simplu rezemate, cu o singură deschidere. De aceea nici suprastructura lor nu conduce la complicații în calcul și nici de ordin constructiv.

Din punct de vedere al alcătuirii, suprastructura *podurilor dalate* este alcătuită dintr-o dală de beton armat sau precomprimat, care poate fi realizată din beton monolit sau din elemente prefabricate. Deoarece deschiderea podurilor dalate este mai mare decât cea a podețelor, pentru reducerea consumului de beton și a greutateii proprii a suprastructurii se utilizează dale cu goluri având diferite forme. În figura 5.1 sunt prezentate câteva forme uzuale de secțiunii transversale prin suprastructura podurilor cu dale monolite care au fost utilizate în special la podurile de șosea.

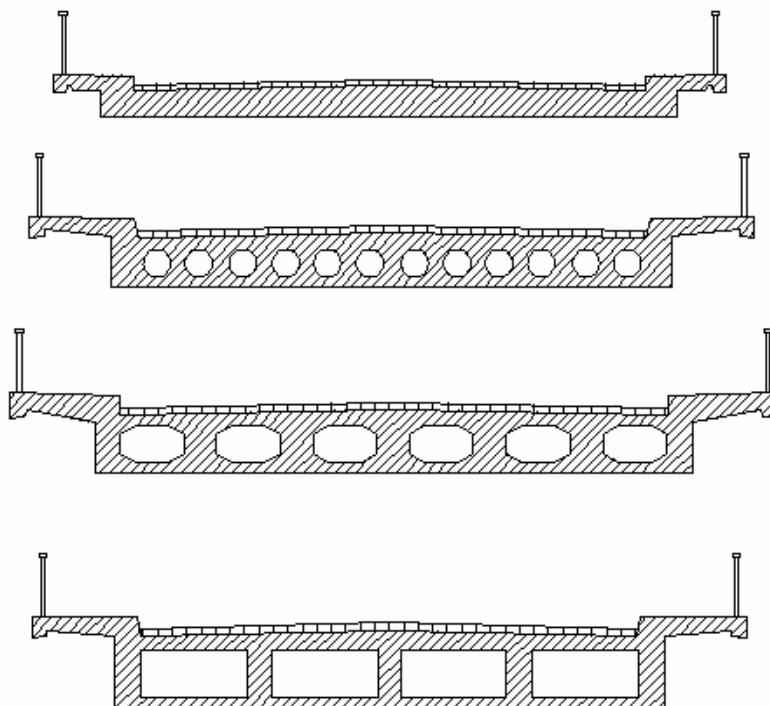


Fig. 5.1 Secțiuni transversale prin dale

Pentru reducerea costurilor legate de cofraje, dar și de manoperă, la realizarea suprastructurii podurilor dalate au început să se utilizeze elemente prefabricate. Dalele realizate astfel au forma unor fâșii longitudinale, cu lungimea egală cu cea a dalei și lățime variabilă stabilită pe criterii de rezistență și constructive.

Pentru podurile dalate de șosea în special, în țara noastră suprastructurile au fost realizate cu elemente prefabricate tip fâșii cu goluri, solidarizate între ele (Fig. 5.2).

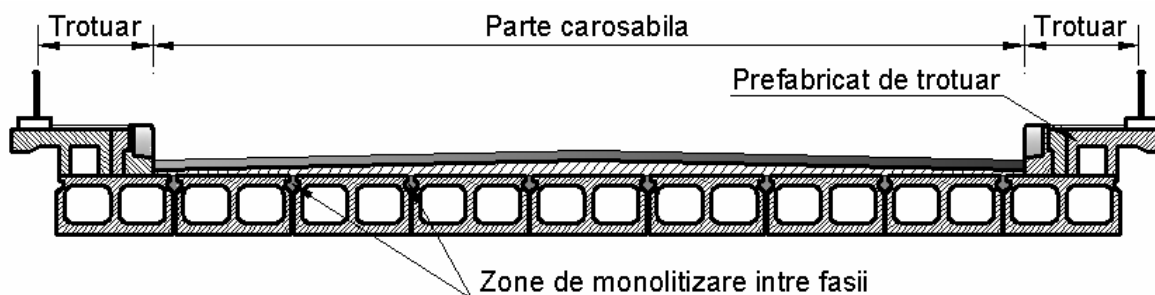


Fig. 5.2 Secțiune transversală prin suprastructura unui pod dalat cu fâșii cu goluri

În prezent, pentru suprastructurile podurilor rutiere se utilizează grinzi prefabricate din beton precomprimat, tip *T* întors, înglobate în beton. Avantajul principal al acestei soluții constă în faptul că grinzile prefabricate sunt autoportante pe perioada turnării betonului din dală și în același timp joacă și rol de cofraj. Totodată se reduce numărul cofrajelor și prin aceasta apar reduceri de costuri semnificative.

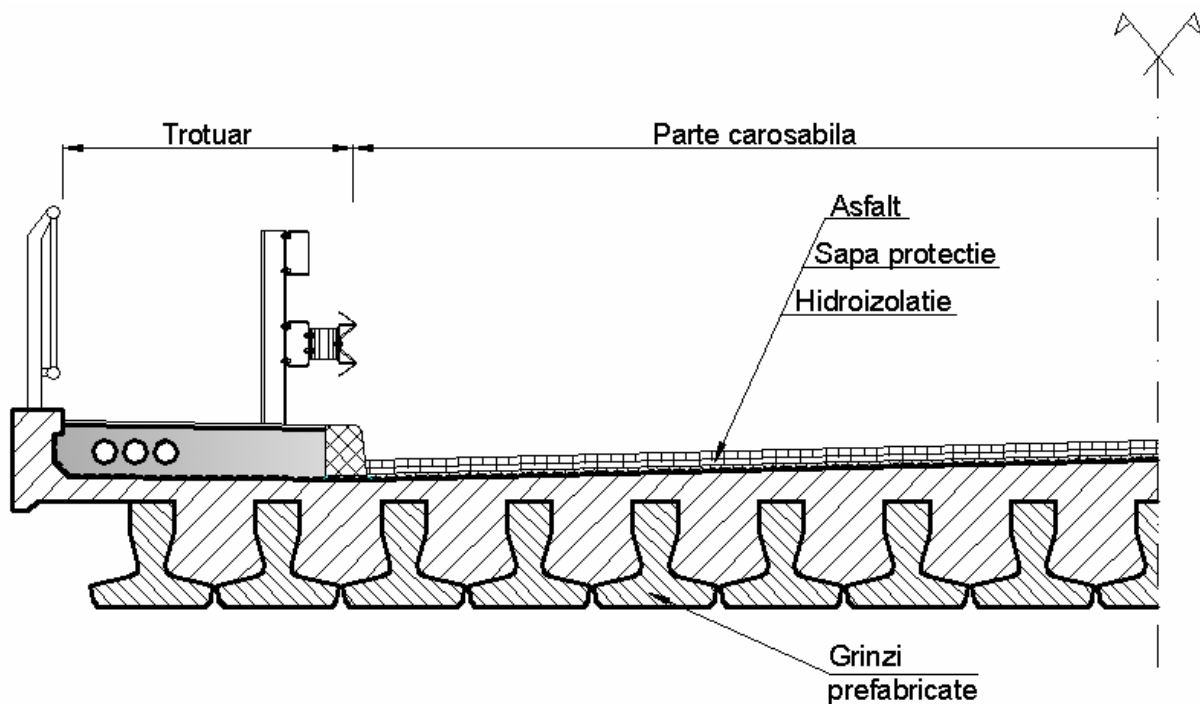


Fig. 5.3 Secțiune transversală prin suprastructura unui pod dalat cu grinzi prefabricate tip *T* întors

În cazul podurilor dalate de cale ferată, secțiunea transversală a suprastructurii se realizează astfel încât să fie asigurată susținerea căii și a prismului de piatră spartă, dala fiind prevăzută cu niște timpane care formează o *cuvă* (Fig. 5.4, 5.5). Grosimea dalei se stabilește din condiții de rezistență, alegându-se grosimea minimă pentru care dala poate prelua atât încărcările permanente (greutatea proprie, greutatea căii, a trotuarelor etc.), cât și cele mobile din trafic. Lățimea dalei se stabilește din condiții de asigurare a gabaritului de liberă trecere pe pod. Trotuarele se execută în consolă.

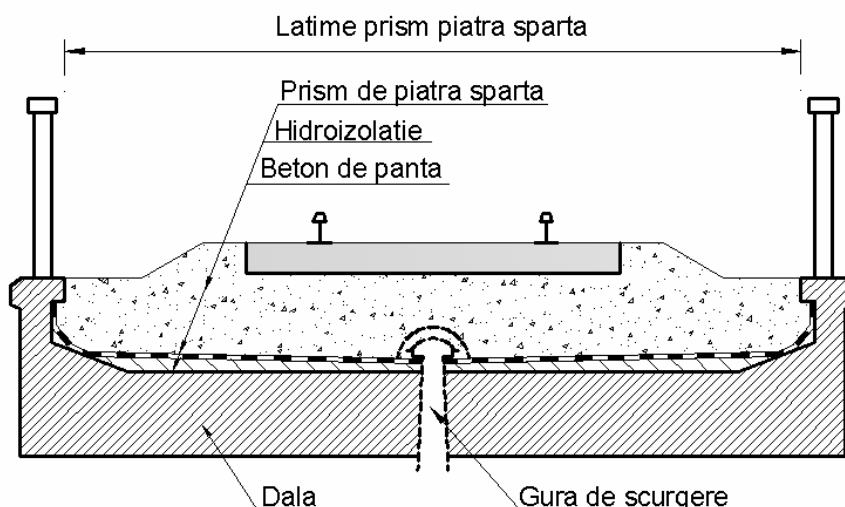


Fig. 5.4 Secțiune transversală prin suprastructura unui pod de cale ferată simplă, cu dală monolită

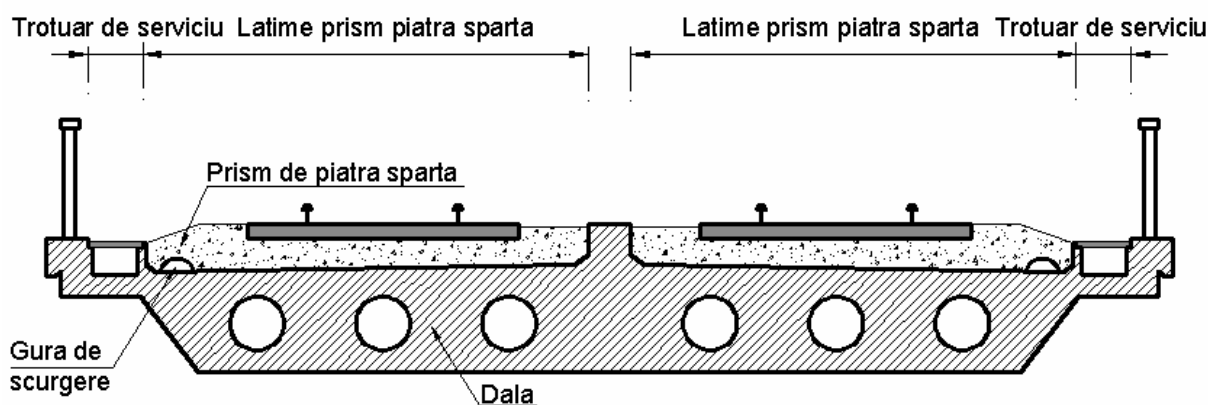


Fig. 5.5 Secțiune transversală prin suprastructura unui pod cu dală monolită cu goluri pentru cale ferată dublă

În figurile 5.4 și 5.5 sunt prezentate două moduri de realizare a secțiunilor transversale la podurile dalate de cale ferată, cu dale executate monolit, iar în figura 5.6 utilizând fâșii cu goluri prefabricate.

În vederea realizării lucrărilor de întreținere a căii ferate, în cazul podurilor dalate se urmărește păstrarea lățimii prismului de piatră spartă din linie curentă (4.40 m) și o grosime a balastului sub talpa traversei de minim 30 cm.

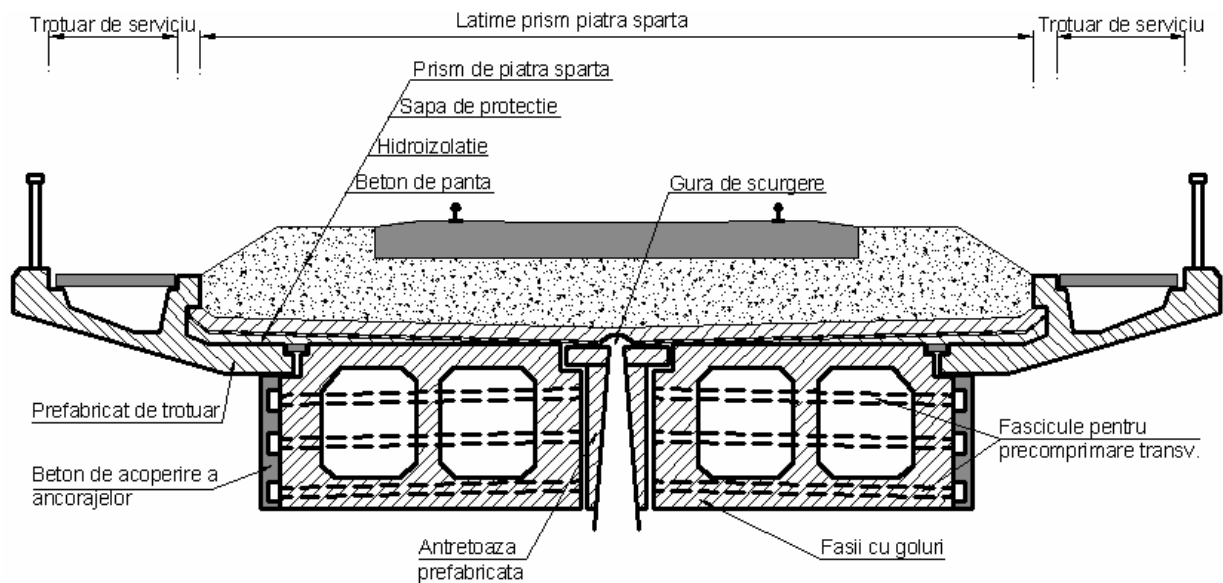


Fig. 5.6 Secțiune transversală prin suprastructura unui pod de cale ferată simplă cu dală din fâșii cu goluri

În acest mod, lucrările de întreținere executate mecanizat (schimbarea traverselor, burarea pietrei sparte), nu sunt îngreunate de alcătuirea suprastructurii. Nivelul trotuarelor este mai coborât decât cel al părții superioare a prismului de piatră spartă tocmai pentru a permite utilajelor de schimbare a traverselor să poată pătrunde de-o parte și de alta a traversei.

Utilizarea podurilor dalate conduce la o serie de *avantaje*, dintre care cele mai importante sunt următoarele:

- înălțime de construcție redusă a suprastructurii;
- posibilități de prefabricare a elementelor de beton ce compun secțiunea transversală;
- lucrările legate de realizarea armăturii pentru suprastructură sunt simple;
- cofrajele sunt simplu de executat, consumul de material pentru cofraje fiind mai scăzut decât în cazul podurilor cu grinzi;
- lucrările de betonare a suprastructurii se execută mai ușor, spațiile fiind mai mari;

Principalele *dezavantaje* al podurilor dalate sunt determinate de consumul mare de beton și de valoarea ridicată a greutății permanente a suprastructurii.

5.3 PODURI CU GRINZI

Podurile cu grinzi reprezintă cea mai răspândită și simplă formă de suprastructură, fiind realizate atât din beton (armat, precomprimat sau ambele) și din metal, dar pot avea și secțiuni compusă oțel-beton.

Din punct de vedere al schemei statice în profil longitudinal, suprastructurile pot fi cu grinzi *static determinate (simplu rezemate*, Fig. 5.7 sau *grinzi cu console și articulații tip GERBER*, Fig. 5.8) sau *static nedeterminate (grinzi continue*, Fig. 5.9). Grinzile *simplu rezemate* se utilizează în general pentru deschideri mici ($L < 25$ m). *Grinzile continue* sunt foarte utilizate în prezent și acoperă deschideri medii și mari ($20 \text{ m} < L < 100\text{m}$). Utilizarea grinzilor continue conduce la avantaje economice importante atât prin reducerea dimensiunilor suprastructurii (solicitări mai mici în raport cu grinzile simplu rezemate), dar și în ceea ce privește infrastructura, prin reducerea numărului de pile (deschiderile acoperite sunt mai mari decât la grinzile simplu rezemate).

În funcție de valoarea încărcărilor exterioare de pe suprastructură, de mărimea deschiderilor și de spațiile libere ce trebuie asigurate sub pod, grinzile pot fi cu *înălțime constantă* (Fig. 5.7) sau *variabilă* (Fig. 5.7b și c) a secțiunii transversale. Această caracteristică îmbunătățește atât comportarea sub sarcini, dar conduce și la economii financiare și cantități mai reduse de materiale utilizate, precum și la aspecte estetice îmbunătățite. Variația înălțimii grinzilor poate fi *liniară* (Fig. 5.7b, 5.8b, 5.9b) sau *parabolică* (Fig. 5.7c, 5.8c, 5.9c).

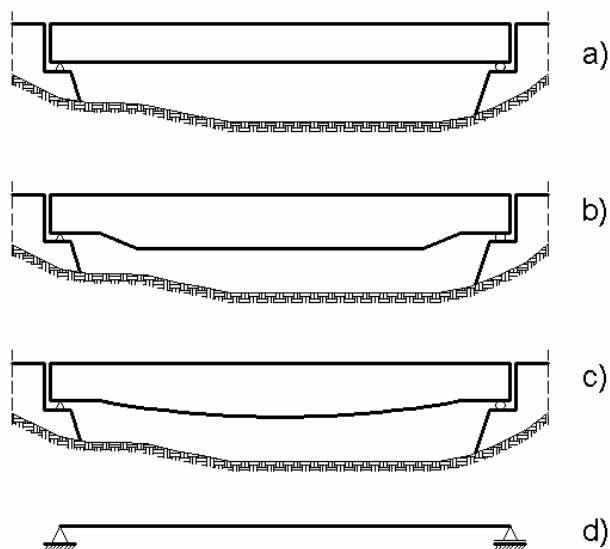


Fig. 5.7 Scheme ale podurilor cu grinzi simplu rezemate

- a) cu înălțime constantă
- b) cu înălțime variabilă, variație liniară
- c) cu înălțime variabilă, variație parabolică
- d) schema statică

Grinzile cu console și articulații (Gerber) (Fig. 5.8) constau în grinzi de dimensiuni mai mari cu console numite *grinzi purtătoare* și grinzi de dimensiuni mai mici, rezemate pe grinzile cu console numite *grinzi purtate*. Adoptarea acestui tip de schemă statică prezintă avantaj în special în domeniul deschiderilor mari, deoarece se poate alege, în funcție de necesități, poziția unde se vor amplasa articulațiile, obținându-se o distribuție rațională a solicitărilor, în special a momentelor încovoietoare din încărcări permanente (Fig. 5.8e). Datorită schemei statice static determinată, eventualele tasări ale infrastructurilor nu induc în suprastructură eforturi suplimentare, așa cum se întâmplă în cazul grinzilor continue.

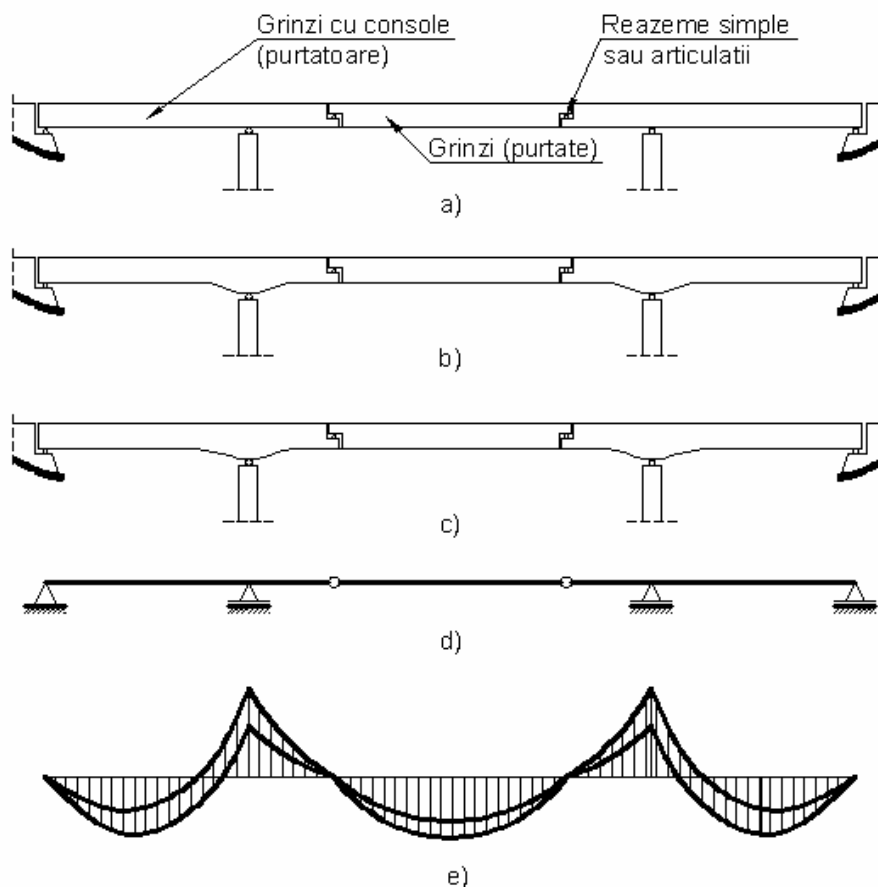


Fig. 5.8 Schemate ale podurilor cu grinzi Gerber
 a) cu înălțime constantă
 b) cu înălțime variabilă, variație liniară
 c) cu înălțime variabilă, variație parabolică
 d) schema statică
 e) diagrama înfășurătoare de momente încovoietoare

Suprastructurile de poduri cu *grinzi continue* (Fig. 5.9) prezintă avantaje și dezavantaje caracteristice structurilor static nedeterminate. Avantajele sunt legate în special de posibilitatea variației înălțimii și formei grinzilor în funcție de valorile rapoartelor dintre momentele încovoietoare negative de pe reazeme și cele pozitive din deschidere.

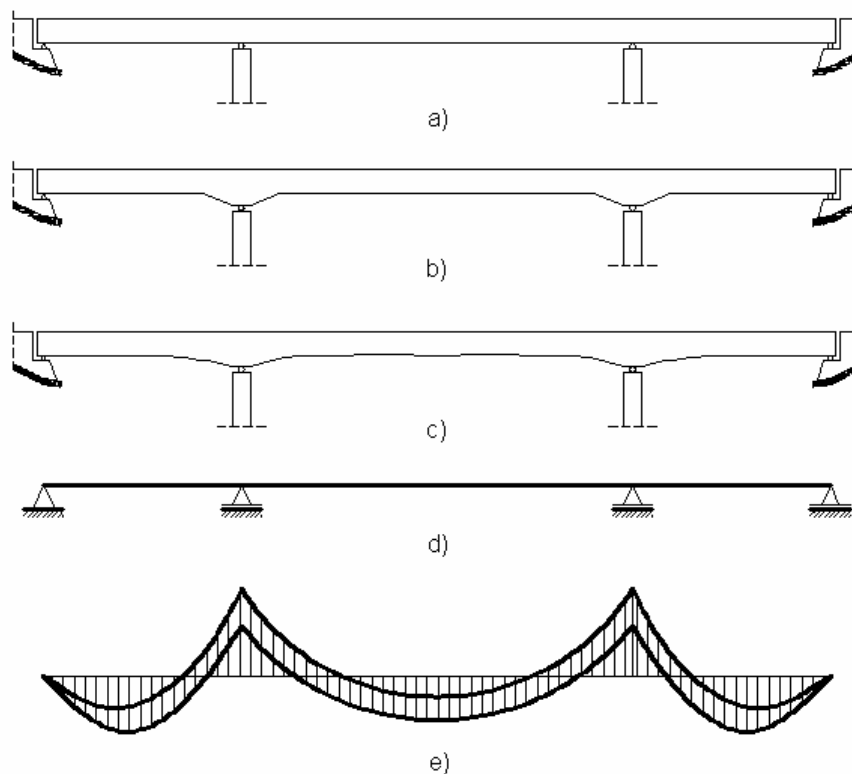


Fig. 5.9 Scheme ale podurilor cu grinzi continue
a) cu înălțime constantă
b) cu înălțime variabilă, variație liniară
c) cu înălțime variabilă, variație parabolică
d) schema statică
e) diagrama înfășurătoare de momente încovoietoare

Creșterea momentelor de pe reazeme conduce la reducerea momentelor în câmp și prin aceasta la reducerea înălțimii secțiunilor transversale ale suprastructurii în deschidere. De asemenea, dimensiunile pilelor la partea superioară scad deoarece pe pile se dispune câte un singur aparat de reazem sub fiecare grindă.

Principalul dezavantaj al podurilor cu grinzi continue este acela că, fiind structuri static nedeterminate sunt sensibile la cedări de reazeme (tasări, respectiv rotiri).

În figura 5.10 este prezentat un pod cu grinzi simplu rezemate cu înălțime constantă, iar în figura 5.11 viaductele Avignon, a căror suprastructură este realizată cu grinzi continue cu înălțime variabilă.



Fig. 5.10 Pod cu suprastructura cu grinzi simplu rezemate cu înălțime constantă



Fig. 5.11 Viaductele Avignon. Suprastructuri cu grinzi continue cu înălțime variabilă

5.3.1 Poduri metalice cu grinzi cu inimă plină

Suprastructura podurilor metalice cu grinzi cu inimă plină se compune dintr-o rețea de grinzi metalice formată din *grinzile căii (platelajul căii)* care susțin calea și din *grinzile principale*.

În cazul podurilor de cale ferată, calea de rulare poate rezema direct pe elementele structurii de rezistență sau indirect, când ansamblul șine-traverse este înglobat într-un prism de piatră spartă, susținut fie de o cuvă din beton armat, fie de o cuvă metalică.

La podurile de șosea, calea alcatuită din sistemul rutier, reazemă pe elementele structurii de rezistență prin intermediul unei plăci din beton sau poate fi dispusă direct pe platelajul metalic, în cazul podurilor metalice cu *platelaj ortotrop*.

Structura de rezistență a podurilor metalice cu grinzi se poate realiza într-o mare diversitate de forme și alcătuirii, ce trebuie să confere podului capacitatea portantă necesară preluării încărcărilor exterioare, să-i asigure deformabilitatea numai în limitele admise de norme și să-l facă funcțional din punct de vedere al exploatarei.

Podurile metalice cu *grinzi cu inimă plină* se utilizează până la deschideri de 30-50 m la poduri de cale ferată, respectiv până la deschideri de 80-90 m la podurile de șosea cu structură mixtă oțel-beton. Elementul principal de rezistență îl constituie grinzile metalice a căror secțiune este realizată sub forma unui dublu T, *tălpile* fiind unite între ele printr-un perete plin numit *inimă*. Ele pot fi executate sub forma unor *profile laminate* (Fig. 5.12a) sau pot fi alcătuite ca *secțiuni compuse*, platbandele ce compun secțiunea fiind îmbinate cu nituri sau prin sudare (Fig. 5.12 b,c).

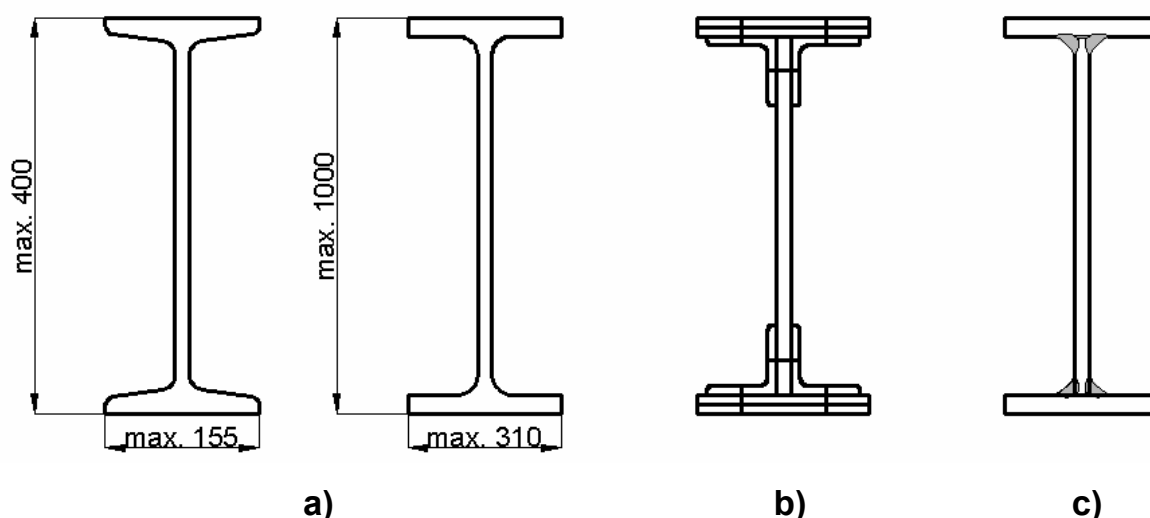


Fig. 5.12 Tipuri de grinzi cu inimă plină

Pentru poduri se utilizează în mod uzual două grinzi principale cu inimă plină, dispuse de-o parte și de alta a axei longitudinale a podului. Numărul de grinzi este determinat în principal de valorile încărcărilor ce trebuie preluate și de realizarea unei lățimi a suprastructurii care să asigure spațiul necesar circulației vehiculelor rutiere sau feroviare. Dimensiunile grinzilor și distanțele la care acestea se dispun în plan sunt stabilite prin calcul, din condiții de rezistență și stabilitate la răsturnare a suprastructurii.

Din punct de vedere al poziționării căii, podurile cu grinzi cu inimă plină pot fi *cu cale sus* (Fig. 5.13, 5.14, 5.15) sau *cu cale jos* (Fig. 5.16). Podurile cu calea sus se utilizează atât la calea ferată, cât și pentru suținerea căilor de comunicație rutiere, acolo unde nu este limitată înălțimea de construcție. În cazul podurilor rutiere, soluția cu calea sus se adoptă mai ales acolo unde circulația de desfășoară în ambele sensuri și trebuie respectate condiții de vizibilitate.

În cazul podurilor de cale ferată cu cale sus (Fig. 5.13), calea formată din traverse din lemn și sine este așezată direct pe grinzile principale metalice, transmiterea încărcărilor făcându-se direct la elementele principale de rezistență.

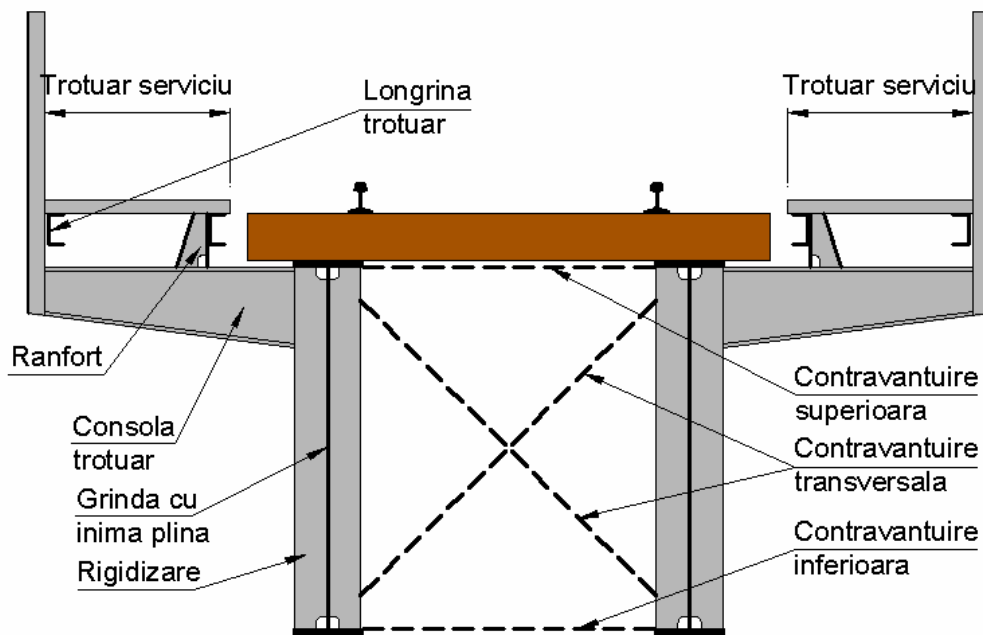


Fig. 5.13 Secțiune transversală a unui pod de cale ferată cu grinzi cu inimă plină cale sus

În cazul dispunerii căii la partea inferioară, ansamblul format din traverse și șine este susținut de platelajul căii, format din lonjeroni, antretoaze și contravântuirea lonjeronilor (Fig. 5.14).

Lonjeronii și antretoazele sunt grinzi ale căii și fac parte din categoria elementelor principale de rezistență.

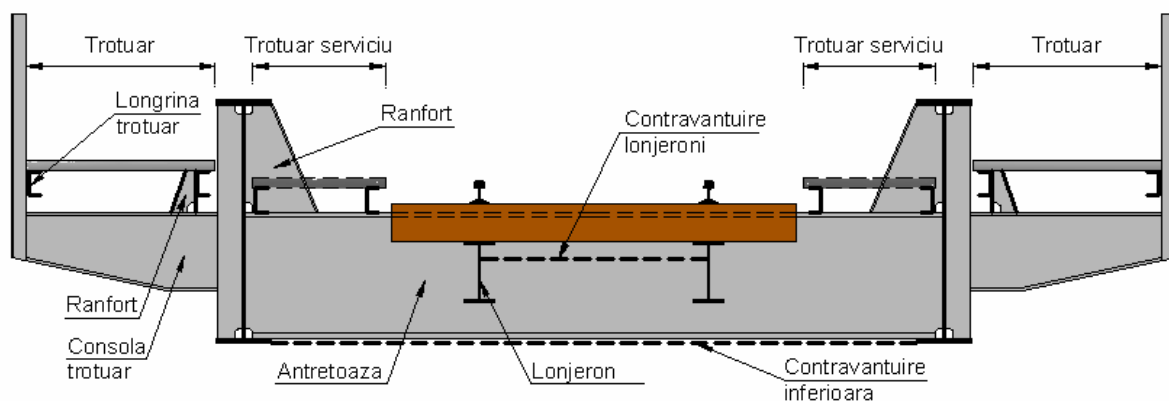


Fig. 5.14 Secțiune transversală a unui pod de cale ferată cu grinzi cu inimă plină cale jos

Lonjeronii sunt dispuși longitudinal podului, iar *antretoazele* sunt dispuse transversal, din loc în loc la anumite distanțe. Secțiunile transversale ale lonjeronilor și antretoazelor sunt asemănătoare cu cele ale grinzilor principale, având de regulă formă de dublu T și fiind alcătuite cel mai adesea ca secțiuni compuse cu elemente îmbinate cu nituri sau prin sudură.

Pentru preluarea forțelor orizontale ce acționează asupra lonjeronilor, determinate de șerpuirea vehiculelor de cale ferată și de acțiunea directă a vântului, dar și pentru asigurarea tălpii comprimate superioare a lonjeronilor împotriva fenomenului de flambaj lateral, între aceștia se prevede un sistem de bare, dispus în plan orizontal sub talpa superioară a lonjeronilor, ce formează *contravântuirea lonjeronilor* (Fig. 5.14).

Sistemul plan de elemente structurale format din grinzile principale cu inimă plină, lonjeroni și antretoaze (Fig. 5.15) se asigură împotriva deformării determinate de forțele orizontale ce acționează longitudinal și transversal podului prin introducerea unor bare suplimentare, care formează *contravântuirea principală*. Se formează astfel o grindă cu zăbrele în plan orizontal (Fig. 5.15) ce asigură rigiditate necesară suprastructurii pentru preluarea încărcărilor orizontale.

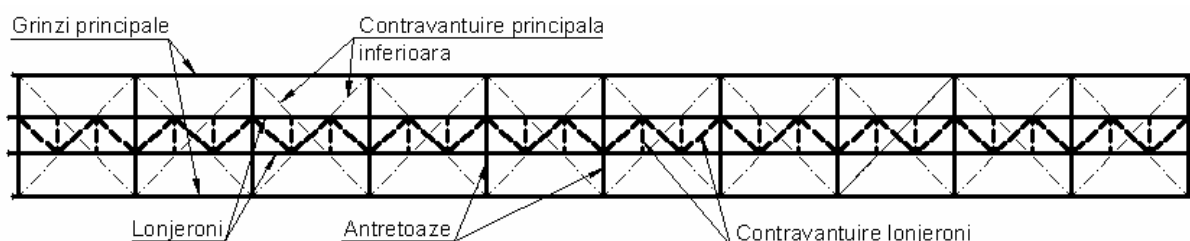


Fig. 5.15 Schema în plan a unui pod metalic cu grinzi cu inimă plină

Pentru asigurarea indeformabilității structurii de rezistență în sens transversal se prevede o *contravântuire transversală*, între grinzile principale, (Fig.5.13), acest lucru fiind însă posibil numai pentru podurile cu calea sus,

deoarece la cele cu calea jos ar obstrucționa circulația pe pod. În acest caz, pentru podurile cu calea jos, rigidizarea grinzilor principale în sens transversal se face prin introducerea unor *ranforți* (Fig. 5.14) în secțiunile unde sunt dispuse antretoazele. Ranforții asigură conlucrarea dintre grinzile principale și antretoaze în sens transversal, formând un cadru rigid, închis sau deschis la partea superioară.

Atât podurile metalice de cale ferată cu grinzi cu inimă plină cale jos, cât și cele cu grinzi cu inimă plină cale sus sunt prevăzute cu *trotuare de serviciu*, destinate personalului de întreținere. Aceste trotuare pot fi executate în exteriorul grinzilor principale fiind susținute de console (Fig. 5.13), dar pot fi executate și între grinzile principale. Trotuarele sunt alcătuite din dulapi metalici fixați cu șuruburi sau prin sudură de elemente longitudinale, în general profile U laminate, numite *longrine* (Fig. 5.13, 5.14) și au la margine parapete de siguranță.

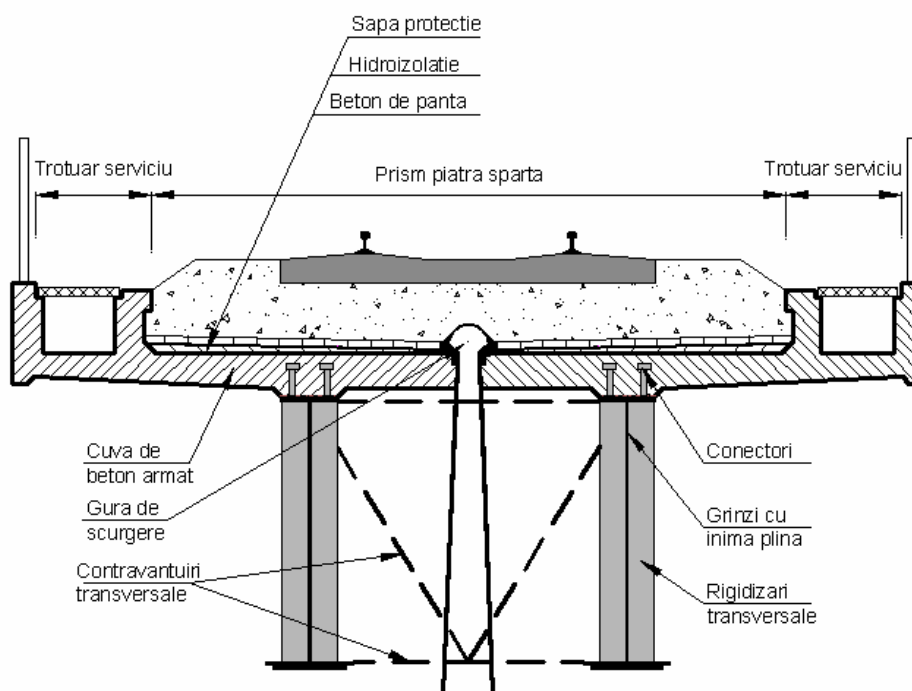


Fig. 5.16 Secțiune transversală a unui pod de cale ferată cu secțiune mixtă oțel-beton

La multe dintre structurile de poduri atât feroviare, cât și rutiere, realizate cu grinzi cu inimă plină, calea este dispusă la partea superioară și susținută de o *placă din beton armat*, respectiv *precomprimat* în zona reazemelor intermediare la grinzile continue (Fig. 5.16, 5.17, 5.18).

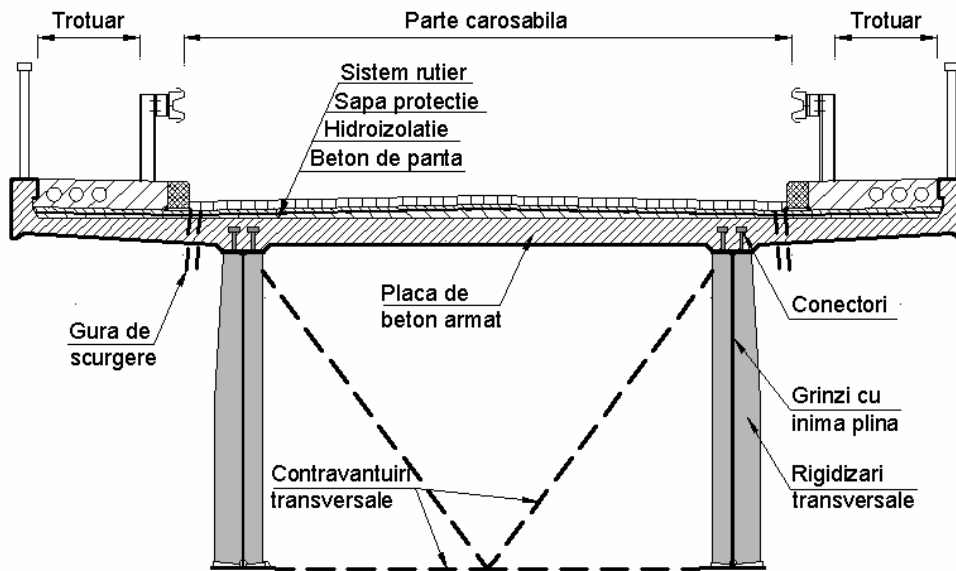


Fig. 5.17 Secțiune transversală a unui pod de șosea cu secțiune mixtă oțel-beton

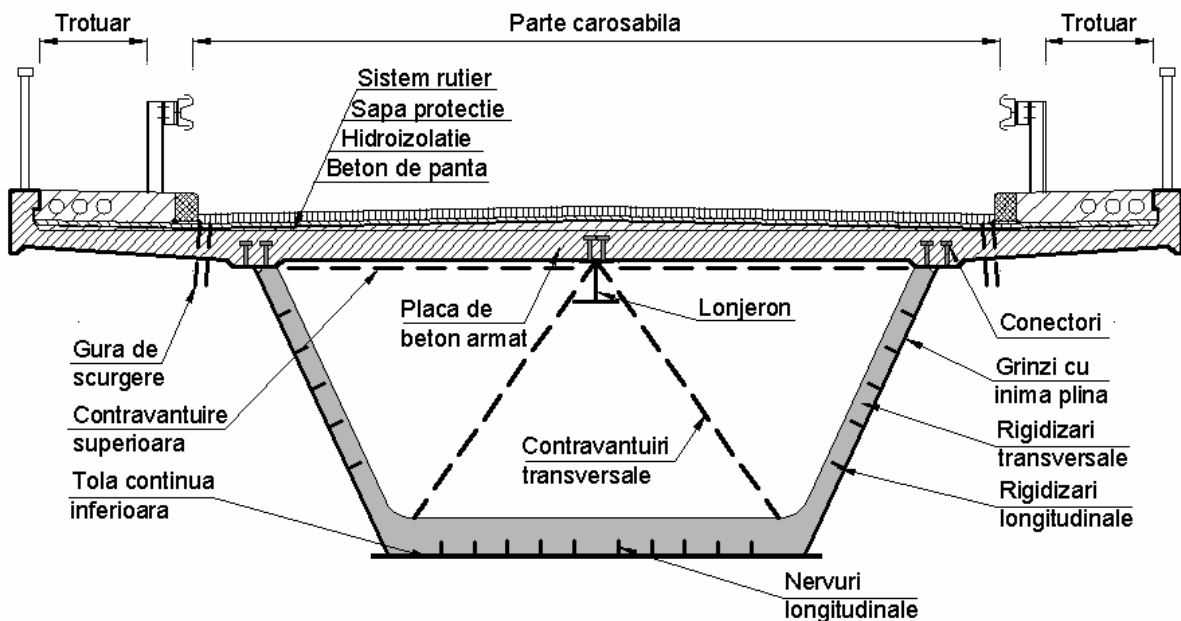


Fig. 5.18 Secțiune transversală casetată cu pereți înclinați a unui pod de șosea cu secțiune mixtă oțel-beton

Pentru sporirea capacității portante a structurii de rezistență, pe talpa superioară a grinzilor metalice cu inimă plină se sudează *conectori*, rigizi sau flexibili, cu diferite forme, care asigură conlucrarea între grinzi și placa de beton. Astfel, deplasările relative între placa de beton și grinzile principale metalice sunt împiedicate, secțiunea podului va avea caracteristici geometrice sporite și se va comporta optim, mai ales la grinzile simplu rezemate, betonul fiind în zonă comprimată, în câmpul grinzilor, iar oțelul în zonă întinsă. Utilizând aceste soluții, se realizează economii importante de oțel.

În cazul acestor structuri, calea ferată este dispusă pe un *prism de piatră spartă*, placa de beton fiind realizată ca o *cuvă* (Fig. 5.16) pentru susținerea acestui prism. La podurile rutiere, structura rutieră este dispusă pe placa de beton.

Domeniul de utilizare al podurilor cu secțiune compusă oțel-beton acoperă deschideri de până la 30-40 m la poduri de cale ferată cu calea pe prism de piatră spartă, deoarece sporește mult greutatea căii și de până la 50-60 m în cazul în care calea este rezemată direct pe placa de beton, pe *longrine*. La podurile rutiere deschiderile ajung la 100-120 m, fiind în general utilizate grinzi continue.

Înălțimea grinzilor principale cu inimă plină se stabilește în funcție de deschiderea L și are valorile: $L/10$ pentru grinzi simplu rezemate la podurile de cale ferată și $L/12$ în cazul grinzilor continue, în timp ce la podurile de șosea cu grinzi simplu rezemate înălțimea acestora este în domeniul $L/16 \div L/10$, iar la grinzile continue $L/30 \div L/12$.

Ca și la podurile de cale ferată cu grinzi cu inimă plină integral metalice prezentate anterior și în cazul podurilor mixte se prevăd atât contravântuirea principală orizontală (superioară, respectiv inferioară), cât și contravântuirea transversală. Contravântuirea principală orizontală superioară se poate prevedea numai pe perioada montajului, pentru a împiedica deformațiile grinzilor principale metalice în sens transversal, pe durata betonării plăcii,

când grinzile preiau singure întreaga greutate permanentă a structurii. Placa de beton are rol și de contravântuire superioară, fiind suficient de rigidă în plan orizontal pentru acțiunile ce solicită structura podului, atât longitudinal cât și transversal. Dimensiunile tălpilor superioare a grinzilor metalice pot fi reduse, deoarece sporul de rigiditate necesar prevenirii fenomenelor de flambaj lateral al tălpilor comprimate este asigurat de prezența plăcii de beton. Grinzile metalice cu inimă plină sunt în aceste situații simetrice numai în raport cu axa verticală (Fig. 5.17).

Podurile cu secțiuni compusă prezintă dezavantajul că au o înălțime de construcție mare, iar greutatea permanentă a structurii de rezistență crește din cauza prezenței plăcii de beton. În plus, calculul acestor structuri în faza de proiectare este mai complex datorită în special fenomenelor ce se dezvoltă în timp în structura betonului (contractie și curgere lentă).

La podurile mixte, partea inimii situată în zona comprimată, trebuie asigurată împotriva fenomenelor de pierdere locală a stabilității (voalare) prin introducerea unor *rigidizări transversale și longitudinale* (dacă este cazul), sudate de inimă (Fig. 5.16, 5.17, 5.18). Dacă deschiderea plăcii între grinzile principale este mare, se pot introduce rezemări suplimentare, prin prevederea unor lonjeroni legați de celelalte elemente ale secțiunii transversale (Fig. 5.18). De asemenea, la podurile mixte de deschideri mari, la cele situate în curbă și la cele cu distanțe mari între grinzile metalice principale, pentru asigurarea rigidității la torsiune a structurii și pentru o mai bună repartiție a încărcărilor în sens transversal podului, secțiunea podului se poate închide la partea inferioară, prin prevederea unor rigle rigide sau a unei *tole continue* rigidizate cu *nervuri longitudinale și transversale*. Se spune că în acest caz secțiunea podului este *casetată*.

Podurile rutiere sunt prevăzute cu trotuare destinate circulației pietonilor, nemaifiind trotuare de serviciu ca în cazul podurilor de cale ferată. Lățimea

trotuarelor este mai mare fapt care duce la creșterea dimensiunilor consolelor plăcii de beton ce suține calea.

În domeniul deschiderilor de până la 25 m se utilizează, în special pentru podurile de cale ferată, podurile cu grinzi metalice *înglobate în beton* (Fig. 5.19). Acestea pot fi considerate tot structuri compuse oțel-beton, deoarece cele două materiale conferă împreună capacitatea portantă necesară structurii podului. Maniera de calcul a podurilor cu grinzi înglobate în beton este însă total diferită de cea a podurilor mixte cu grinzi în conlucrare cu placă de beton.

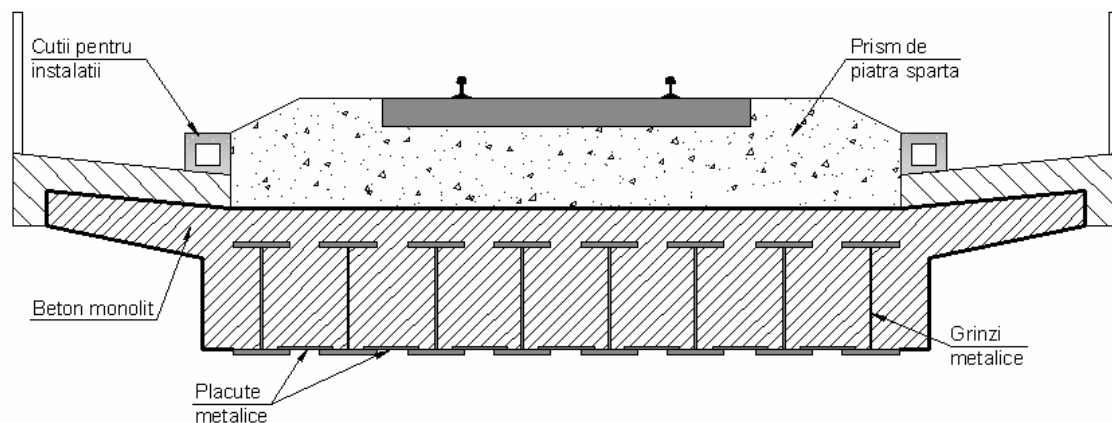


Fig. 5.19 Secțiune transversală a unui pod de cale ferată cu grinzi metalice înglobate în beton

La aceste poduri, structura de rezistență este formată din grinzi metalice cu inimă plină sudate sau laminate și o dală de beton care le înglobează. Pe timpul betonării dalei, între grinzile metalice, la partea inferioară, sunt dispuse plăcuțe metalice (sau de azbociment), formându-se astfel un contur închis cu rol de cofraj.

Calea este realizată tot cu prism de piatră spartă, iar trotuarele de serviciu se execută de regulă în consolă.

Poduri de acest fel se pot realiza și pentru deschideri mai mici, de până la 5 m, grinzile metalice utilizate fiind obținute prin solidarizarea unor jumătăți

tăiate de grinzi cu inimă plină, laminate sau sudate. Se pot realiza astfel secțiuni în forma literei π întors (Fig. 5.20).

Podurile cu grinzi metalice înglobate în beton oferă o serie de avantaje importante între care sunt menționate următoarele: asigurarea unei înălțimi de construcție reduse, un montaj ușor și rapid, o protecție sporită a grinzilor metalice împotriva coroziunii datorită înglobării acestora în beton și o utilizare judicioasă a materialelor, datorită modului de dispunere pe secțiunea transversală.

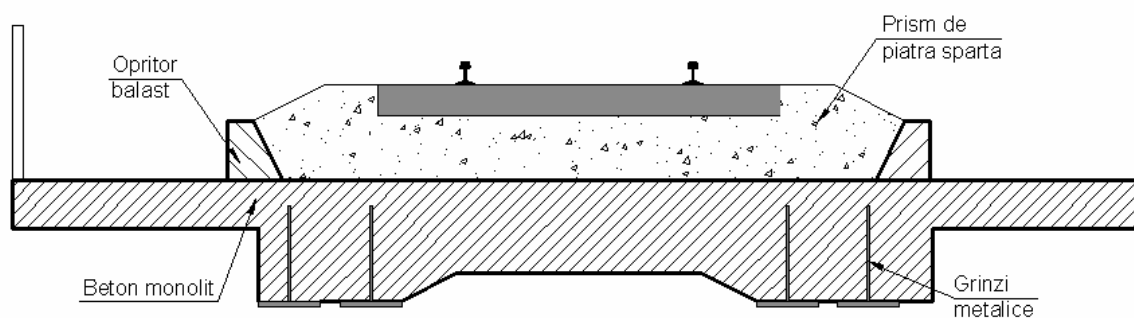


Fig. 5.20 Secțiune transversală a unui pod de cale ferată cu grinzi metalice înglobate în beton de forma literei π întors

Principalul dezavantaj al acestor structuri este determinat, ca și în cazul podurilor dalate de greutatea proprie mare, prin prezența dalei de beton.

Reducerea greutății permanente a structurii de rezistență a podurilor metalice cu grinzi cu inimă plină cu secțiune compusă oțel-beton se poate face înlocuind placa de beton cu un platelaj metalic. Acesta este format dintr-o tolă metalică cu grosimi cuprinse între 10-20 mm numită *tolă continuă*, rigidizată pe ambele direcții, longitudinal și transversal cu nervuri dese, cele longitudinale având rolul lonjeronilor, iar cele transversale rolul antretoazelor de la podurile clasice. Structura astfel obținută poartă numele de *platelaj ortotrop*, Fig. 5.22, 5.23, 5.24, 5.25.

Ortotropia este determinată de faptul că lonjeronii și antretoazele au dimensiuni diferite și în plus, distanțele la care sunt dispuși lonjeronii diferă de

cele la care sunt dispuse antretoazele. Rezultă astfel rigidități diferite ale ansamblului format din tolă și nervuri pe cele două direcții ortogonale în plan.

Distanțele la care sunt dispuse nervurile rezultă prin calcul fiind determinate în principal de deformabilitatea tolei continue între două nervuri sub influența încărcărilor aplicate.

În cazul acestor tipuri de poduri cu grinzi cu inimă plină, tola îndeplinește funcțiuni multiple, fiind în același timp și talpă superioară pentru grinzi principale cu inimă plină, pentru nervurile longitudinale și transversale.

Nervurile de rigidizare a tolei pot avea diferite forme, fiind realizate cu secțiuni deschisă, fără rigiditate la torsiune (Fig. 5.21a) sau cu secțiuni închisă, cel mai adesea trapezoidale (Fig. 5.21b).

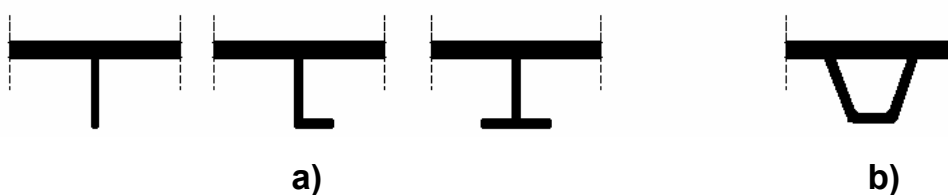


Fig. 5.21 Tipuri de nervuri utilizate în mod uzual la poduri cu platelaj ortotrop

Secțiunea podurilor metalice cu grinzi cu inimă plină cu platelaj ortotrop poate fi deschisă la partea inferioară (Fig. 5.22, 5.23) sau închisă, casetată (Fig. 5.24, 5.25).

Podurile de cale ferată realizate în soluția cu platelaj ortotrop au, în mod uzual, calea dispusă la partea superioară ca în figura 5.22, dar pot fi și cu calea jos. Susținerea prismului de piatră spartă se face în aceste cazuri printr-o cuvă integral metalică, formată din tola continuă și opritorii de piatră spartă. La podurile cu secțiunea deschisă, în secțiunile unde sunt dispuse nervuri transversale (antretoaze) se dispun la partea inferioară rigle inferioare (Fig. 5.22) pentru a spori rigiditatea la torsiune a structurii.

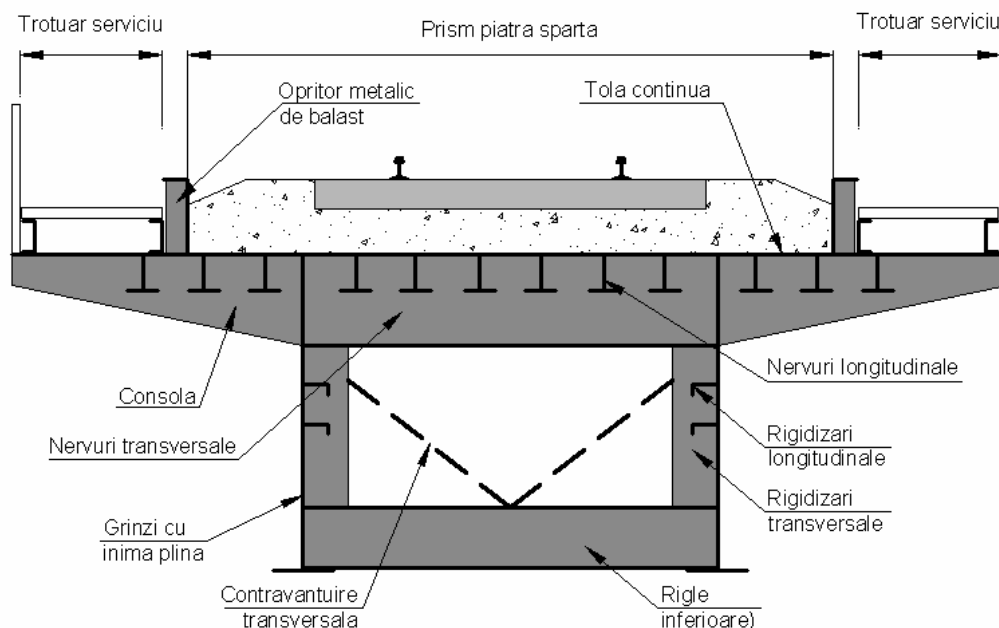


Fig. 5.22 Secțiune transversală a unui pod de cale ferată cu grinzi cu inimă plină și platelaj ortotrop, cale sus

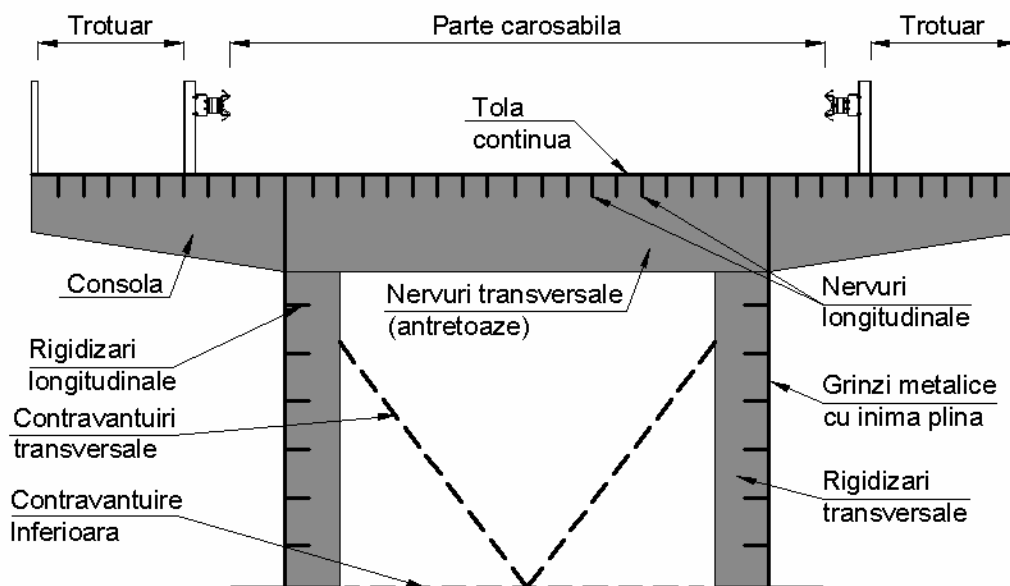


Fig. 5.23 Secțiune transversală a unui pod de șosea cu grinzi cu inimă plină și platelaj ortotrop

Ca și în cazul structurilor de poduri cu grinzi cu inimă plină prezentate până acum și la podurile cu grinzi cu inimă plină cu platelaj ortotrop se dispun

atât contravântuiri orizontale, cât și transversale. Datorită prezenței tolei continue la partea superioară, podurile cu platelaj ortotrop sunt prevăzute numai cu contravântuire orizontală inferioară și transversală, cu excepția cazurilor când secțiunea este închisă la partea inferioară, când lipsește și contravântuirea inferioară.

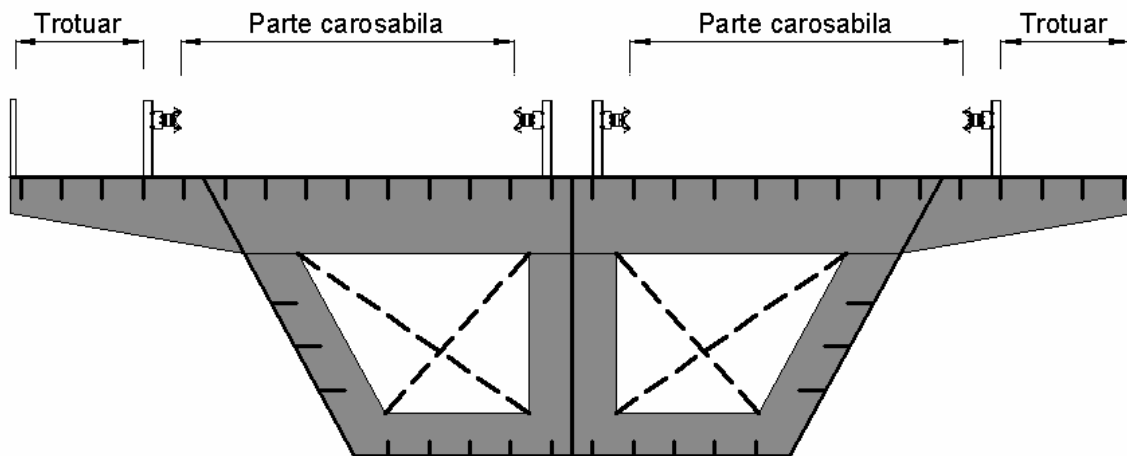


Fig. 5.24 Secțiune transversală a unui pod pe autostradă cu grinzi cu inimă plină cu pereți înclinați și platelaj ortotrop

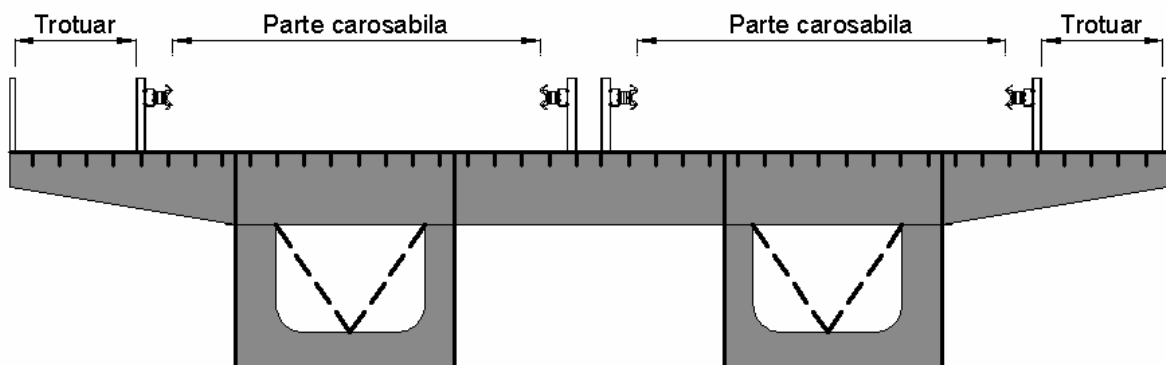


Fig. 5.25 Secțiune transversală a unui pod pe autostradă cu grinzi cu inimă plină cu platelaj ortotrop și casete separate

În cazul podurilor de șosea cu platelaj ortotrop (Fig. 5.23), calea reazemă direct pe tola metalică continuă. Complicațiile care apar la realizarea

hidroizolației la podurile clasice sunt aici eliminate, pe tola continuă aplicându-se direct un strat de protecție anticorozivă, realizat cu materiale speciale.

Trotuarele la podurile metalice cu platelaj ortotrop sunt realizate în consolă, tola continuă fiind prelungită până la marginea suprastructurii.

Dacă lățimea părții carosabile este mare, așa cum se întâmplă în cazul podurilor ce deservește autostrăzi, numărul grinzilor cu inimă plină se mărește, iar pentru sporirea rigidității la torsiune suprastructurile se execută sub formă de casete metalice închise (Fig. 5.24, 5.25). Pereții casetelor pot fi înclinați (Fig. 5.24) sau verticali (Fig. 5.25). Cadrele transversale ce conferă structurii rigiditate la încărcări transversale sunt realizate prin dispunerea contravântuirilor verticale transversale.

Utilizarea platelajelor ortotrope la poduri conduce la avantaje importante cum sunt:

- reducerea înălțimii grinzilor principale la valori cuprinse între $(L/25 \div L/20)$ și prin aceasta reducerea înălțimii de construcție;
- eliminarea sistemelor de contravântuire la partea superioară, iar în cazul secțiunilor casetate și a celor de la partea inferioară;
- se reduc costurile de transport datorită greutatei mici a subansamblelor.

Dezavantajele utilizării podurilor metalice cu grinzi cu inimă plină și platelaj ortotrop sunt:

- complexitatea metodelor de calcul, datorită conlucrării multiple între toate elementele ce compun suprastructura podului;
- tehnologii complicate de îmbinare a elementelor prin sudură.

5.3.2 Poduri cu grinzi din beton

Alcătuirea podurilor cu grinzi din beton este similară cu cea a podurilor metalice cu grinzi cu inimă plină, elementele de nomenclatură fiind comune.

Suprastructura podurilor cu grinzi din beton are însă forme și dimensiuni diferite față de podurile metalice cu grinzi cu inimă plină, datorită caracteristicilor materialului și comportării acestuia. Prin utilizarea unor betoane de clase ridicate și a armăturilor de înaltă rezistență, prin adoptarea unor secțiuni economice, a unor scheme static adecvate și a unor tehnologii moderne de execuție, podurile cu grinzi din beton pot deveni competitive în raport cu podurile metalice sau mixte.

Structura de rezistență a podurilor cu grinzi din beton este formată, ca și în cazul podurilor metalice, dintr-o rețea de grinzi, compusă din grinzile principale dispuse longitudinal, antretoaze dispuse transversal, peste care se toarnă o placă de beton care susține calea și în consolă, trotuarele. Antretoazele și placa de beton formează împreună *platelajul căii*.

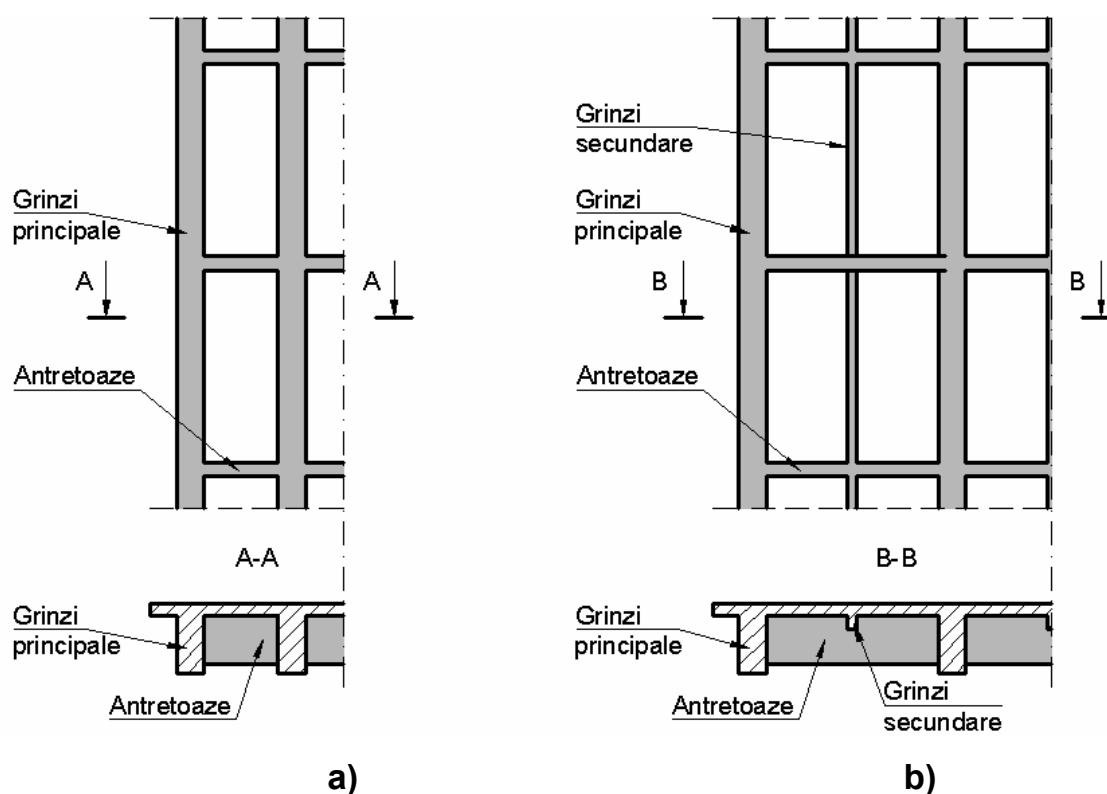


Fig. 5.26 Scheme în plan ale podurilor cu grinzi din beton

Secțiunile transversale ale podurilor cu grinzi din beton pot fi *deschise* (Fig. 5.26, 5.27a, 5.28, 5.29) sau *casetate* (Fig. 5.29b).

În cazul secțiunilor deschise, rețeaua de grinzi este alcătuită din grinzi principale și antretoaze (Fig. 5.26a), dar există și rețele mai complexe la care, pe lângă grinzi principale și antretoaze se dispun și grinzi longitudinale secundare (Fig. 5.26b). Numărul de grinzi principale, dimensiunile acestora, distanța dintre grinzi precum și grosimea plăcii de la partea superioară se stabilesc, ca și în cazul podurilor metalice, în funcție de următorii parametri: deschiderea și lățimea podului, schema statică adoptată, înălțimea de construcție și materialele utilizate (beton armat sau precomprimat).

Pentru podurile de cale ferată se utilizează atât suprastructuri deschise, realizate din *grinzi T* (Fig. 5.27) sau *cu bulb* (Fig. 5.28), simplu rezemate, în domeniul de deschideri 10-30 m cât și grinzi continue cu secțiuni casetate până la deschideri de 50 m. Calea este susținută de placa de beton, care este prevăzută cu niște timpane laterale pentru a permite așezarea prismului de piatră spartă.

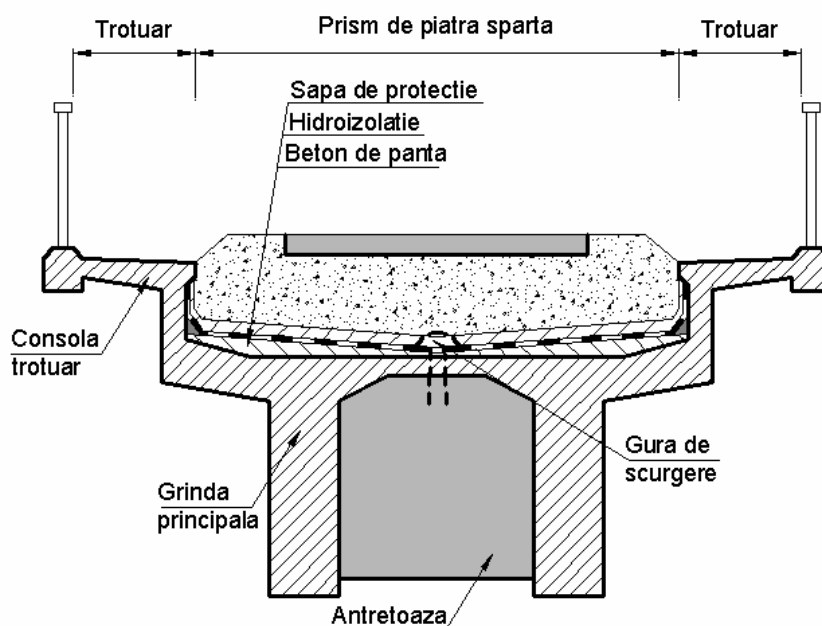


Fig. 5.27 Secțiune transversală printr-un pod de cale ferată cu două grinzi principale în formă de T

Ca și în cazul podurilor metalice, trotuarele de serviciu sunt realizate în consolă. Pentru asigurarea conlucrării între grinzile principale se introduc din loc în loc antretoaze care pot avea înălțimea egală cu a grinzilor principale sau înălțime mai redusă.

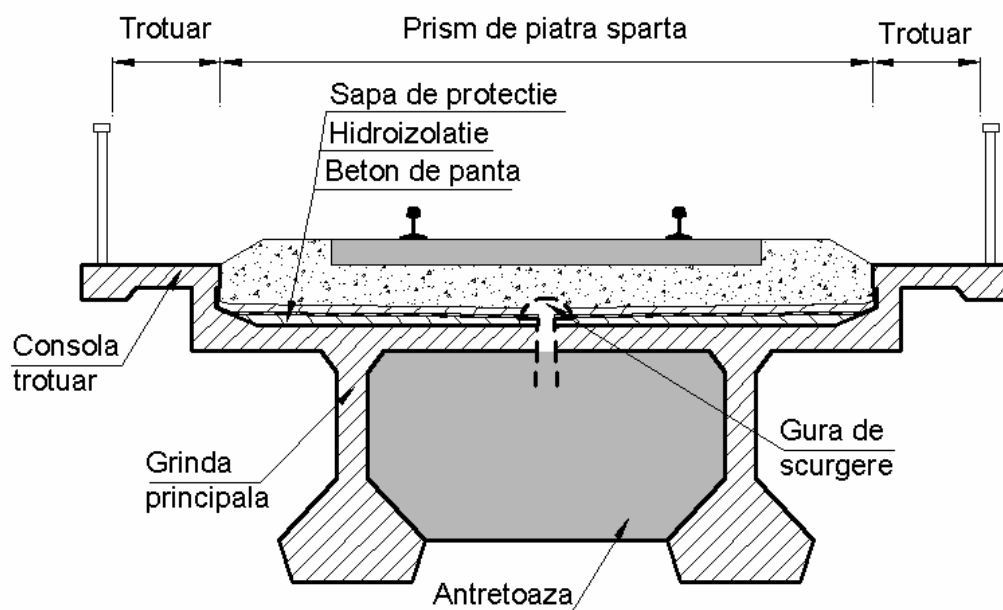


Fig. 5.28 Secțiune transversală printr-un pod de cale ferată cu două grinzi principale cu bulb

În cazul podurilor rutiere, se respectă aceleași principii de alcătuire ca în cazul podurilor de cale ferată. Domeniul de utilizare al secțiunilor deschise (Fig. 5.29 a) este ceva mai mare, până la 80 m, în timp ce secțiunile casetate (fig. 5.29b) la care înălțimea grinzilor este variabilă, conduc la acoperirea unor deschideri de peste 100 m, utilizând ca schemă statică, grinzile continue.

În prezent, se utilizează în special la podurile de șosea, în domeniul de deschideri 10-24 m, grinzi din beton armat prefabricate cu armături pre- și post-întinse. Numărul de grinzi utilizate depinde de lățimea ce trebuie asigurată pentru suprastructură și de capacitatea portantă ce trebuie asigurată.

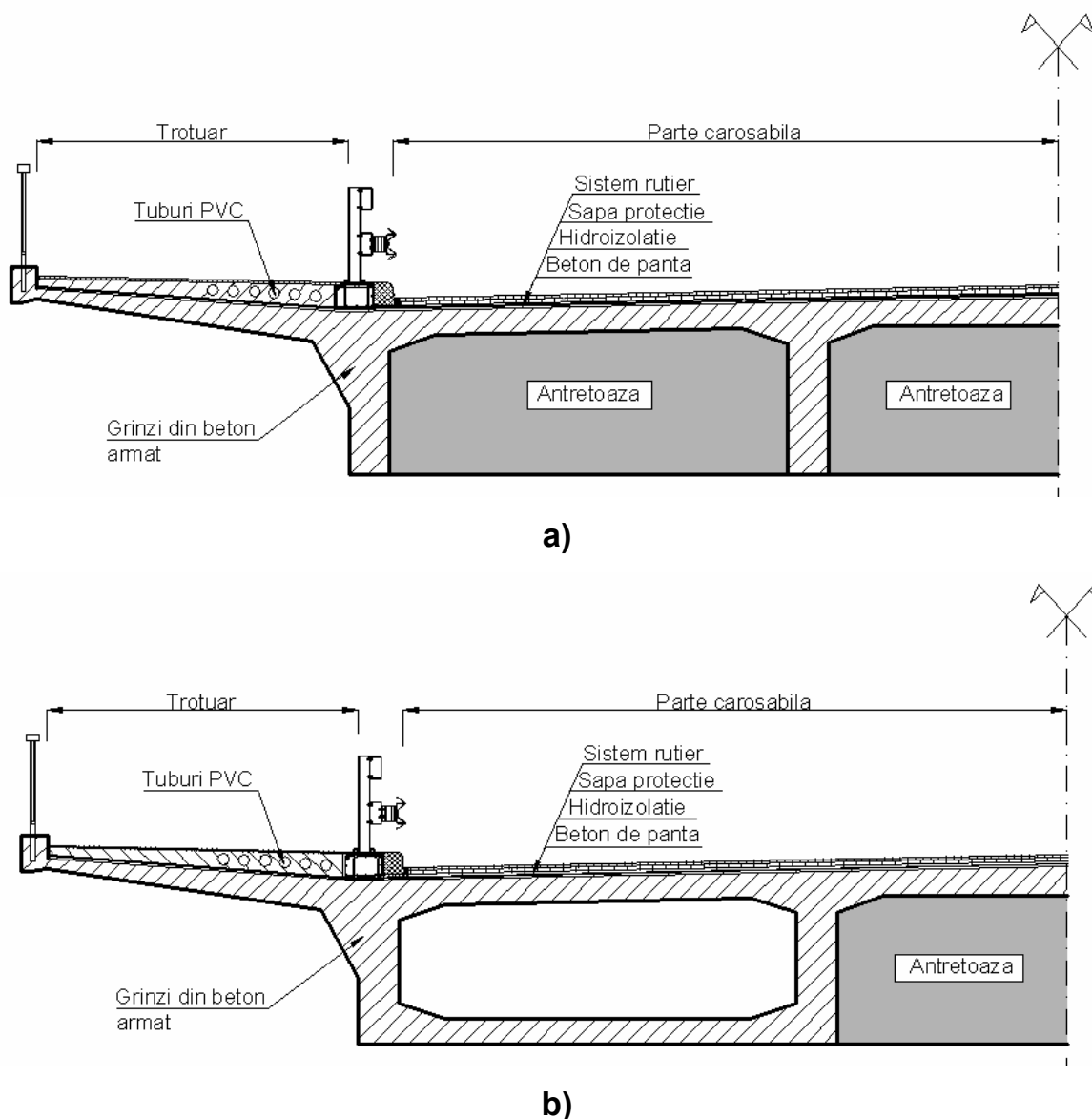


Fig. 5.29 Secțiune transversală printr-un pod de șosea
a) cu secțiune deschisă
b) cu secțiune casetată

Grinzile pot fi *juxtapuse* (Fig. 5.30, 5.32), dispuse una lângă alta sau pot exista mici porțiuni de placă între grinzi (fig. 5.31, 5.33). În cazul adoptării soluției cu grinzi juxtapuse, pentru îmbunătățirea repartiției transversale, peste grinzi se toarnă o placă de suprabetonare. Pentru asigurarea conlucrării între placa de suprabetonare și grinzi se prevăd armături care ies din grinzi la

partea superioară fiind înglobate în placă după betonarea acesteia. Aceste armături au același rol ca și conectorii metalici la podurile mixte oțel-beton.

Antretoazele lipsesc dacă grinziile sunt juxtapuse sau dacă distanța între grinzi este mică, dar sunt prezente dacă numărul de grinzi principale este redus și dacă distanța dintre grinzi este mare sau dacă înălțimea grinzilor este mare.

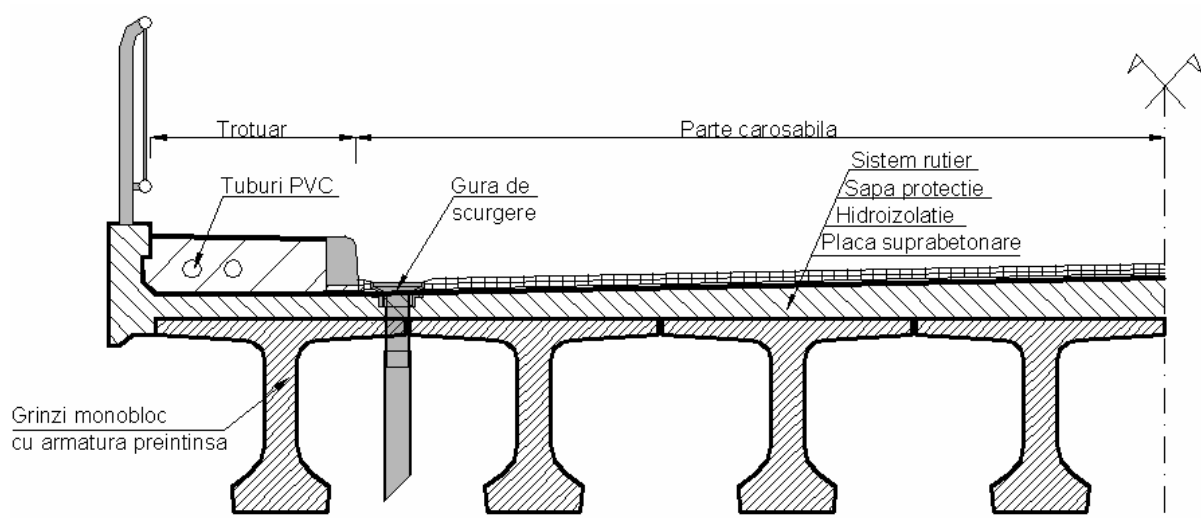


Fig. 5.30 Secțiune transversală printr-un pod de șosea cu grinzi cu armătură preîntinsă juxtapuse

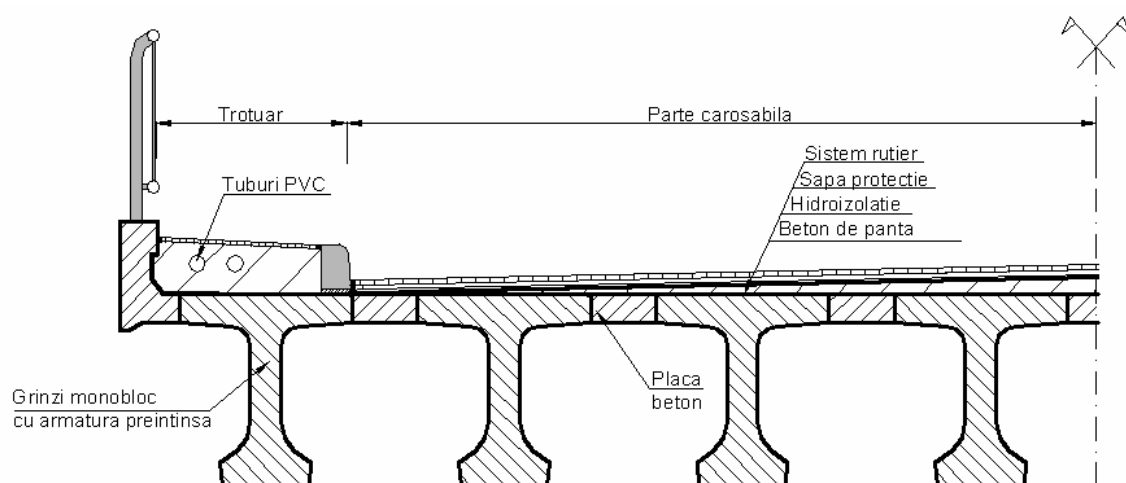


Fig. 5.31 Secțiune transversală printr-un pod de șosea cu grinzi cu armătură preîntinsă cu porțiuni de placă

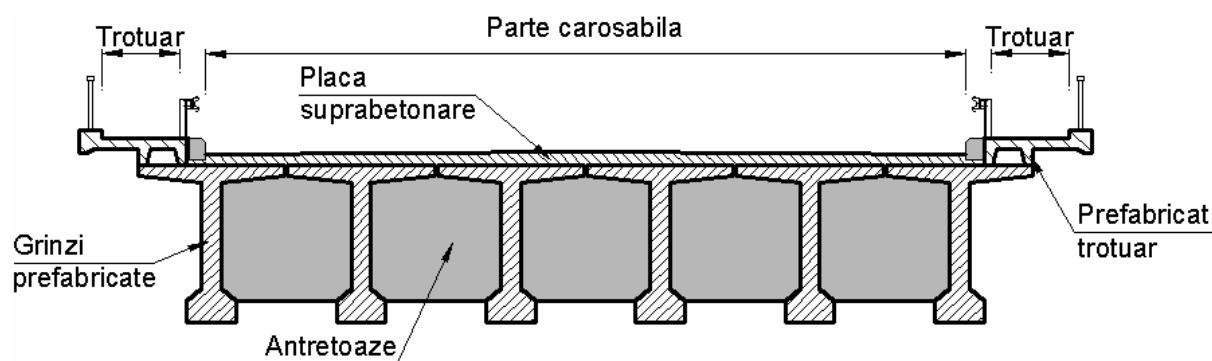


Fig. 5.32 Secțiune transversală printr-un pod de șosea cu grinzi cu armătură postîntinsă juxtapuse

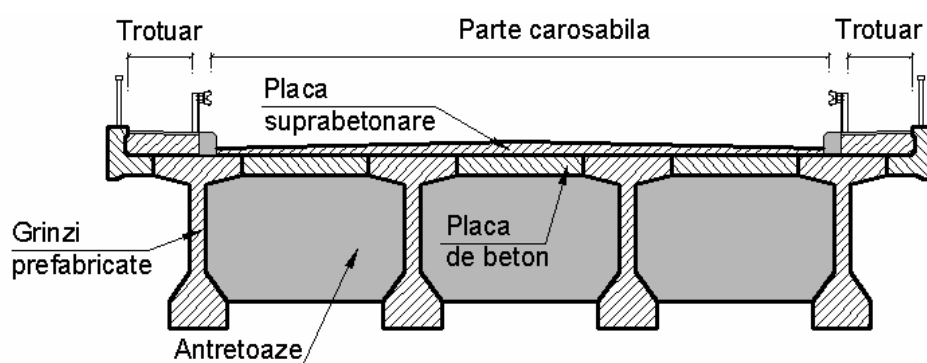


Fig. 5.33 Secțiune transversală printr-un pod de șosea cu grinzi cu armătură postîntinsă cu porțiuni de placă

În prezent, pentru podurile cu grinzi prefabricate în România se utilizează grinzi cu deschideri de 15, 18, 21 și 24 m.

Pentru realizarea unor deschideri mai mari se utilizează suprastructuri simplu rezemate realizate cu grinzi de tip U și placă de sprabetonare (Fig. 5.34). Deschiderile pot ajunge în acest caz la 40 m.

La aceste tipuri de suprastructuri antretoazele lipsesc, repartiția transversală a încărcărilor între grinzi făcându-se exclusiv prin intermediul plăcii de suprabetonare.

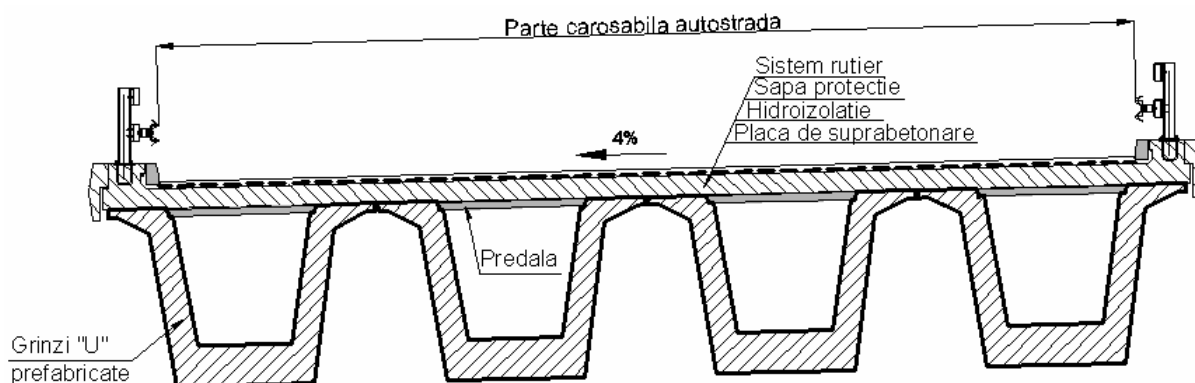


Fig. 5.34 Secțiune transversală printr-un pod de șosea cu grinzi U prefabricate

Grinzile U au o rigiditate mai mare la torsiune și o capacitate portantă sporită și sunt realizate din beton precomprimat. Rolul predalei de la partea superioară a grinzilor principale este de a forma un cofrag pe durata turnării plăcii de suprabetonare.

Utilizarea grinzilor prefabricate din beton precomprimat la poduri asigură o rapiditate mai mare în execuție și conduce la realizarea unor deschideri superioare în comparație cu podurile mai vechi, realizate din beton armat.

În comparație cu podurile metalice însă, deschiderile acoperite sunt mult mai mici, iar greutatea structurii de rezistență este mult mai mare.

5.4 PODURI CU GRINZI CU ZĂBRELE

Podurile cu grinzi cu zăbrele se utilizează pe scară largă atât în cazul podurilor de cale ferată, cât și în cazul podurilor rutiere, deoarece se pot realiza deschideri mari în comparație cu cele realizate cu grinzi metalice cu inimă plină sau cu grinzi din beton. Deschiderile pot varia între 40 m și 300 m, putând fi chiar mai mari atunci când pentru grinzi se adoptă forme speciale. Pentru suprastructura acestor poduri se utilizează ca material de construcție oțelul, întrucât elementele structurale pot fi întinse, iar betonul nu poate prelua solicitări de întindere.

Ca și în cazul podurilor cu grinzi, înălțimea grinzilor principale poate fi constantă sau variabilă și se stabilește prin calcul. Există o mare diversitate de forme constructive care se adoptă pentru grinzile cu zăbrele: cu înălțime constantă și tălpi paralele, având formă *trapezoidală* (Fig. 5.35a,b,f,h), *dreptunghiulară* (Fig. 5.35c,d), *parabolică* sau *poligonală* (Fig. 5.35e și g).

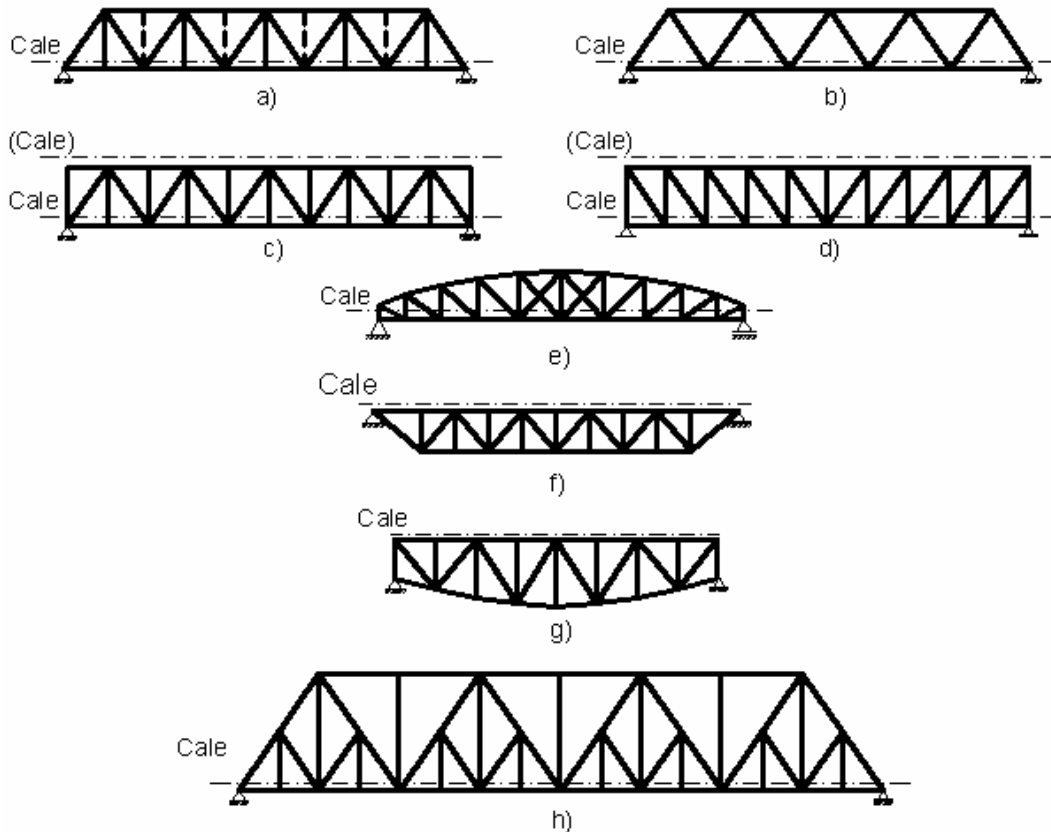


Fig. 5.35 Forme ale grinzilor cu zăbrele utilizate la poduri

În elevație grinzile cu zăbrele sunt realizate din elemente conectate între ele la noduri. Barele dispuse pe orizontală formează *tălpile superioară*, respectiv *inferioară* ale grinzii, cele verticale se numesc *montanți*, iar cele înclinate *diagonale*. Prinderile barelor la noduri se realizau în trecut cu nituri, dar în prezent se utilizează ca mijloace de îmbinare șuruburile de înaltă rezistență, respectiv sudura. Sistemul de bare este de cele mai multe ori triunghiular. La deschideri mari (peste 90 m), pentru a menține lungimea panoului de lonjeroni în limite rezonabile,

se introduce un sistem suplimentar de zăbrele ca cel din figura 5.35h. Sistemele statice utilizate sunt aceleași cu cele de la podurile cu grinzi cu inimă plină: grinzi simplu rezemate, grinzi continue, respectiv grinzi cu console și articulații (Gerber). Înălțimea grinzilor principale rezultă din criterii economice și constructive, în cazul grinzilor simplu rezemate cu tălpi paralele fiind cuprinsă între $L/10$ și $L/6$, L fiind deschiderea podului, iar în cazul grinzilor continue, între $L_{max}/18$ și $L_{max}/15$, L_{max} fiind deschiderea maximă a podului. Corespunzător înălțimii grinzilor principale rezultă și valoarea unghiului de înclinare al diagonalelor, valorile optime fiind cuprinse între 50° și 60° .

Distanța dintre două noduri consecutive ale grinzii se numește *panou*. Dimensiunea maximă a panoului se stabilește astfel încât să se respecte înclinarea optimă a diagonalelor și să se obțină dimensiuni economice pentru secțiunile lonjeronilor și ale tălpilor inferioare. Valorile uzuale pentru dimensiunile panourilor sunt cuprinse în intervalul 4-10 m.

Există situații în care grinzile cu zăbrele au montanți numai în nodurile impare (Fig. 5.35a), în celelalte noduri montanții (desenați cu linie punctată în Fig. 5.35a) fiind introduși numai pentru a se micșora lungimea tălpii superioare între două noduri. Grinzile principale cu zăbrele ale podurilor pot fi alcătuite însă numai cu diagonale ca în figura 5.35b.

În cazul podurilor cu grinzi cu zăbrele calea poate fi dispusă la partea inferioară (Fig. 5.35a,b,c,d,e și h), la partea superioară (Fig. 5.35d, f și g) sau la ambele. Podurile cu grinzi cu zăbrele cu calea sus reclamă o înălțime de construcție mare și de aceea se construiesc în zone cu văi adânci sau la traversarea unor cursuri importante de apă, unde există spațiul necesar. Dispunerea căii la partea inferioară a suprastructurii oferă avantaje importante din punctul de vedere al înălțimii de construcție. Calea poate fi susținută de platelajul alcătuit din lonjeroni și antretoaze, ca la podurile cu alcătuire clasică, dar și de o placă de beton în cazul podurilor cu alcătuire mixtă oțel-beton, respectiv de tola continuă și nervuri la podurile cu platelaj ortotrop.

În general structura de rezistență a podurilor cu grinzi cu zăbrele cuprinde cel puțin două grinzi principale, dar există și poduri executate cu o singură grindă principală dispusă central. La podurile de cale ferată dublă se pot dispune trei grinzi în secțiune transversală.

Secțiunile barelor grinzilor cu zăbrele sunt în general compuse din platbande îmbinate cu nituri (Fig. 5.36a) sau prin sudură (Fig. 5.36b). Tălpile și diagonalele de capăt au în mod uzual secțiuni casetate necesare pentru preluarea eforturilor mari ce iau naștere în aceste elemente, în timp ce montanții și diagonalele curente se alcătuiesc ca profile dublu T. La podurile cu înălțimi mari ale grinzilor principale, cu lățime mare a căii sau care susțin mai multe căi de comunicație, diagonalele se pot executa și cu secțiuni casetate (Fig. 5.36b).

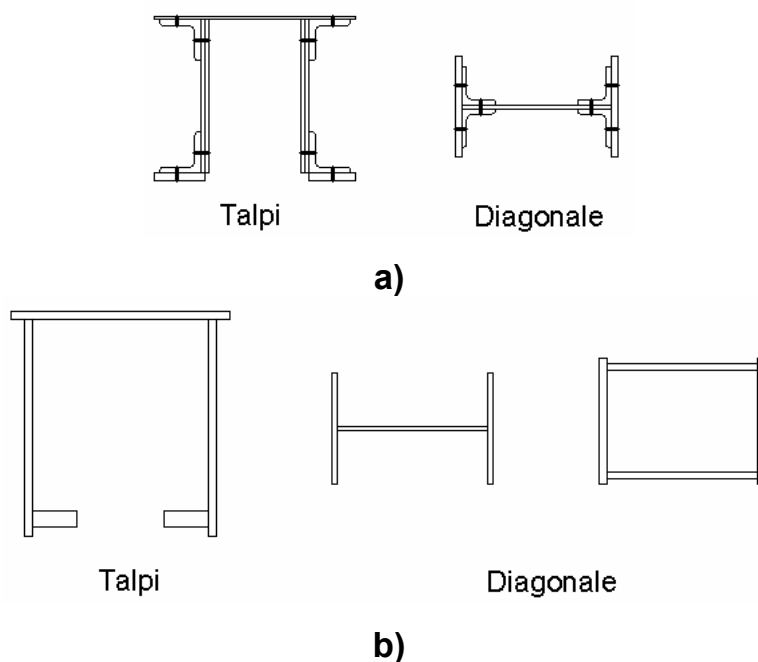


Fig. 5.36 Tipuri de secțiuni ale barelor la grinzile cu zăbrele

Și în cazul podurilor cu grinzi cu zăbrele se utilizează sisteme de contravântuire orizontală, pentru lonjeroni, respectiv pentru grinzile principale (Fig. 5.37a), contravântuirea transversală fiind utilizată numai la podurile cu calea sus (Fig. 5.37b). În cazul podurilor cu calea jos, contravântuirea

orizontală se dispune la partea inferioară a suprastructurii podului, dar și la partea superioară, dacă gabaritul de liberă trecere pe pod este asigurat.

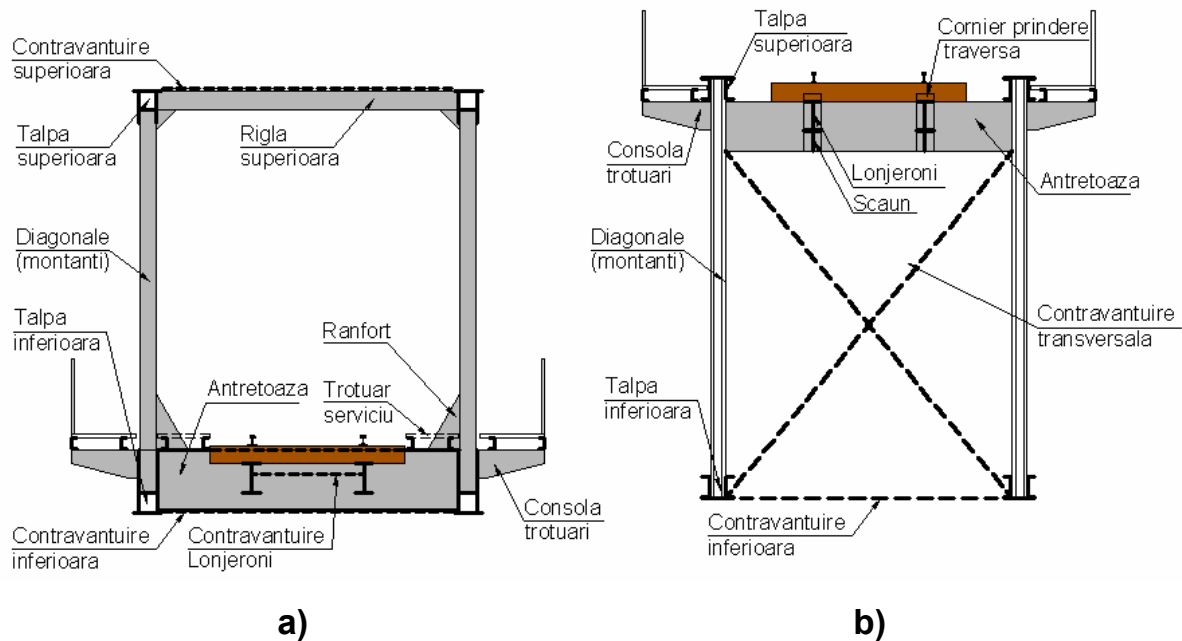


Fig. 5.37 Secțiuni transversale prin suprastructura unor poduri cu grinzi cu zăbrele
a) cu cale jos
b) cu cale sus

Pentru asigurarea indeformabilității în sens transversal a cadrelor formate din montanți și antretoaze și evitarea pericolului de flambaj lateral a tălpii superioare comprimate, la partea superioară a grinzilor cu zăbrele se introduc rigle transversale, atunci când se poate asigura gabaritul de circulație pe pod. În cazul podurilor deschise, ce nu au rigle superioare, prin introducerea unor ranforți în nodurile de legătură dintre antretoaze și montanți se crează semicadre. Se pot prevedea ranforți și între montanți și riglele superioare (Fig. 5.37a), în aceste cazuri realizându-se cadre rigide.

Ca și în cazul podurilor cu grinzi metalice cu inimă plină, trotuarele podurilor cu grinzi cu zăbrele se execută de cele mai multe ori în consolă, în exteriorul grinzilor principale, dar se pot executa și între grinzi, în imediata vecinătate a căii, ca trotuare de serviciu la podurile de cale ferată.

În prezent, alcătuirea clasică a podurilor cu grinzi cu zăbrele având calea așezată pe traverse de lemn și susținută de platelajul format din lonjeroni și antretoaze a fost înlocuită cu noi sisteme constructive: podurile cu grinzi cu zăbrele cu structură compusă oțel-beton și podurile cu platelaj ortotrop.

Principiile constructive în cazul podurilor cu grinzi cu zăbrele cu secțiune mixtă oțel-beton sunt aceleași ca în cazul podurilor cu grinzi cu inimă plină. La aceste structuri, placa de beton se află în conlucrare cu lonjeronii metalici, dar se utilizează frecvent și soluții în care lonjeronii lipsesc, placa fiind în conlucrare numai cu antretoazele dispuse la distanțe mici una de alta. Conlucrarea dintre elementele structurii metalice și placa de beton se realizează prin conectori, utilizându-se cel mai adesea conectori flexibili (vezi Fig. 5.17, 5.18), de tip *gujoane* (dornuri). Conectorii se dispun pe tălpile superioare ale lonjeronilor și antretoazelor, dar și pe pereții interiori ai tălpilor inferioare.

În cazul podurilor de cale ferată, placa de beton îndeplinește rolul de cuvă pentru susținerea prismului de piatră spartă. Se pot realiza în alcătuire mixtă oțel-beton poduri cu grinzi cu zăbrele de cale dublă (Fig. 5.38), în acest caz, din cauza greutății permanente mari a structurii, utilizându-se trei grinzi în secțiune transversală.

Podurile de șosea au aceeași alcătuire ca a celor de cale ferată, structura rutieră fiind realizată direct pe placa de beton armat.

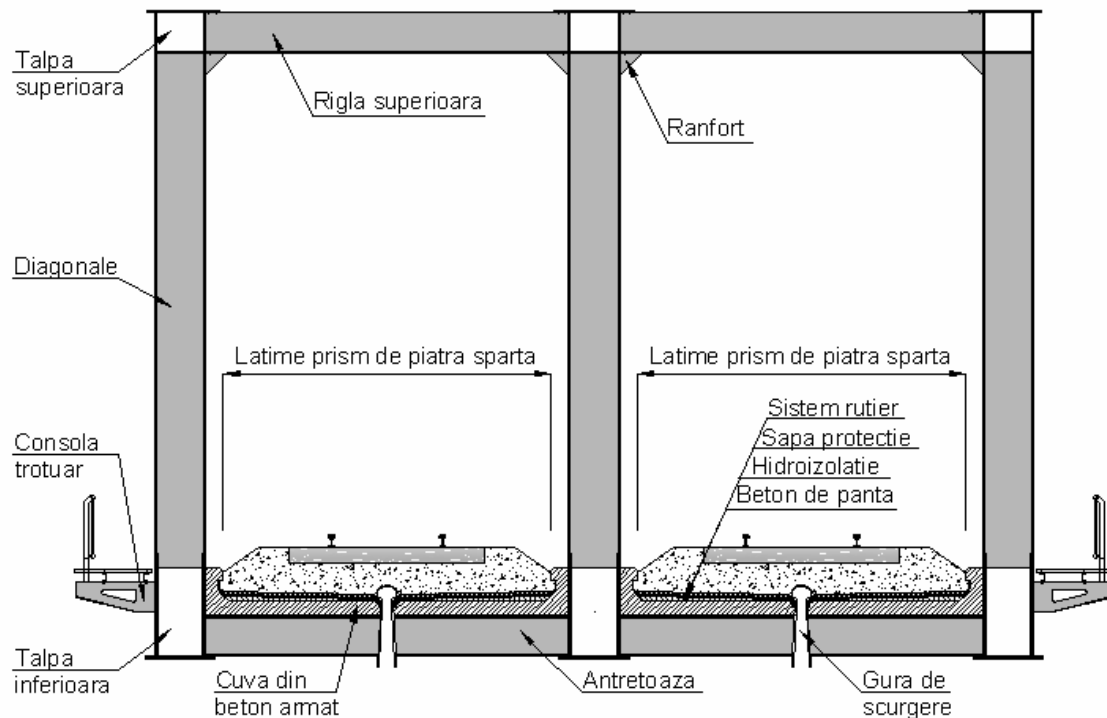


Fig. 5.38 Secțiune transversală prin suprastructura unui pod de cale ferată dublă cu alcătuire mixtă oțel-beton

Platelajele ortotrope sunt utilizate și la podurile cu grinzi cu zăbrele, la nivelul căii realizându-se un platelaj metalic format din tola continuă, nervurile longitudinale și nervurile transversale. Grosimea tolei și distanța dintre nervuri se stabilesc, ca și în cazul podurilor cu grinzi cu inimă plină și platelaj ortotrop, din condiții de deformabilitate a tolei între nervuri.

Pentru susținerea prismului de piatră spartă în cazul podurilor de cale ferată se realizează o cuvă metalică care este formată din tola continuă și din opritori, care sunt situați de ambele părți ale căii.

Îmbinările elementelor structurale, atât la podurile cu grinzi cu zăbrele cu alcătuire mixtă, cât și la cele cu platelaj ortotrop se realizează în prezent cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate sau utilizând sudura.

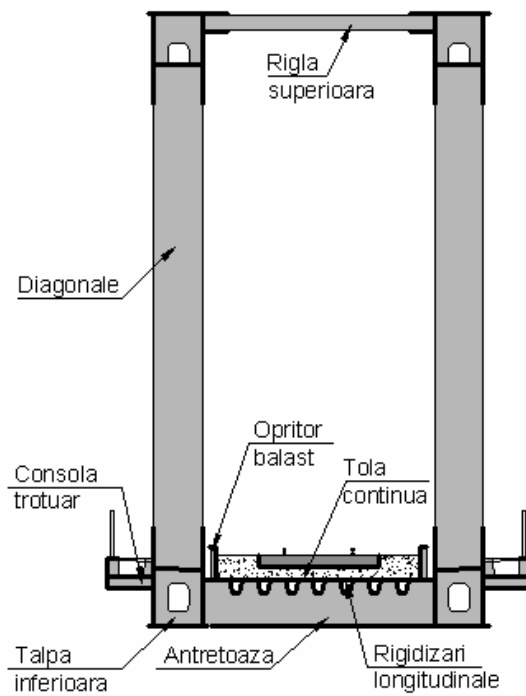


Fig. 5.39 Secțiune transversală prin suprastructura podului de la Maxau, Germania

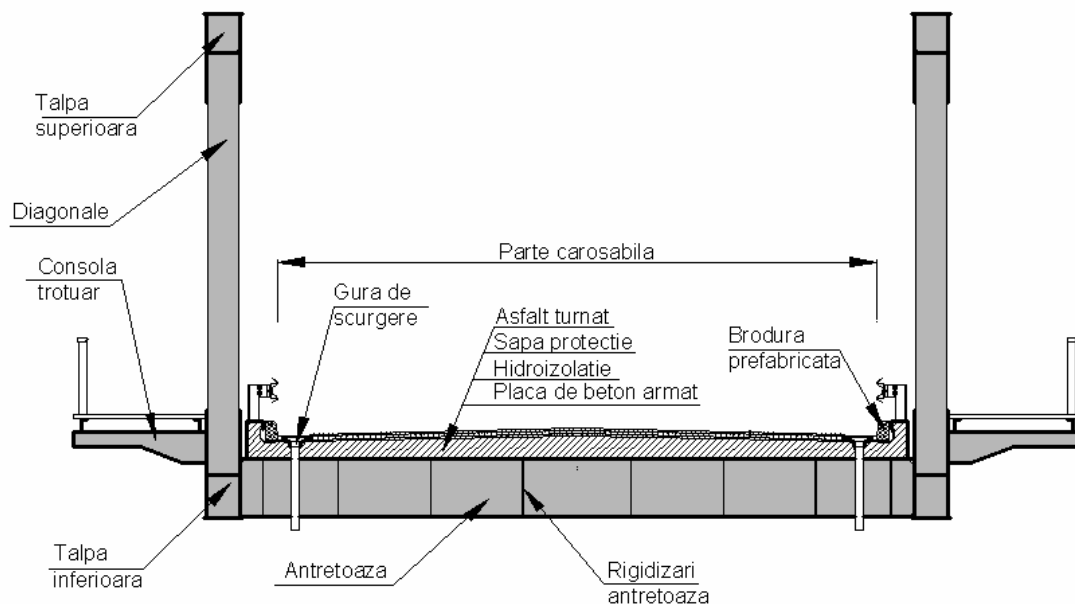


Fig. 5.40 Secțiune transversală prin suprastructura podului de la Merișani

La aceste structuri contravântuirile orizontale inferioare lipsesc, placa de beton, respectiv platelajul ortotrop având suficientă rigiditate în plan orizontal pentru preluarea încărcărilor orizontale longitudinale, respectiv transversale.

În figurile 5.39 și 5.40 sunt prezentate secțiunile transversale prin suprastructurile a două poduri cu grinzi cu zăbrele și platelaj ortotrop: podul de cale ferată simplă peste Rin la Maxau, Germania și podul de șosea peste râul Argeș la Merișani.

5.5 PODURI PE CADRE

Podurile pe cadre reprezintă o alternativă la podurile cu grinzi continue. Se utilizează de regulă acolo unde obstacolul traversat are dimensiuni mari atât în sens longitudinal, dar și pe adâncime și ar necesita realizarea unor infrastructuri de dimensiuni mari atât ca înălțime, cât și în secțiune transversală.

De regulă podurile pe cadre sunt structuri static nedeterminate, ceea ce le face sensibile la variații de temperatură, dar și la deplasări ale reazemelor (tasări și rotiri ale fundațiilor), putând apărea în structura de rezistență eforturi suplimentare. Din aceste motive adoptarea unor soluții cu poduri pe cadre implică analiza foarte atentă a terenului de fundare în amplasament. Se recomandă utilizarea acestor structuri în zone unde straturile incompresibile bune de fundare se află la adâncimi mici sau unde stratificația terenului este cât mai uniformă, astfel încât dacă există pericolul apariției tasărilor la fundații, acestea să aibă valori cât mai apropiate.

Utilizarea podurilor pe cadre devine necesară în cazul în care trebuie respectată o anumită valoare pentru înălțimea de construcție, ca de exemplu în cazul pasajelor denivelate sau pasajelor din orașe, când modificarea profilelor căilor de comunicație ce se intersectează este dificilă.

Deschiderea podurilor pe cadre poate ajunge la valori de 150-200 m.

Aceste sisteme structurale prezintă avantaje în ceea ce privește preluarea încărcărilor exterioare orizontale provenite de exemplu din acțiuni seismice, din frânare etc. dar și din punct de vedere estetic.

Stâlpii cadrelor sunt încastrați în riglă, nu există deci aparate de reazem la punctele de intersecție și astfel se formează noduri rigide în aceste puncte (noduri de cadru). Cu cât stâlpii cadrelor au secțiunea mai puternică, cu atât rigla va fi mai zveltă, eforturile de încovoierie fiind transferate stâlpilor.

Stâlpii pot fi verticali (Fig. 5.41), în special la pasajele denivelate de la intersecția căilor de comunicație sau înclinați (Fig. 5.42, 5.43, 5.44, 5.45), a doua soluție oferind avantaje de ordin economic în cazul traversării unor văi adânci, deoarece se reduce semnificativ lungimea stâlpilor.

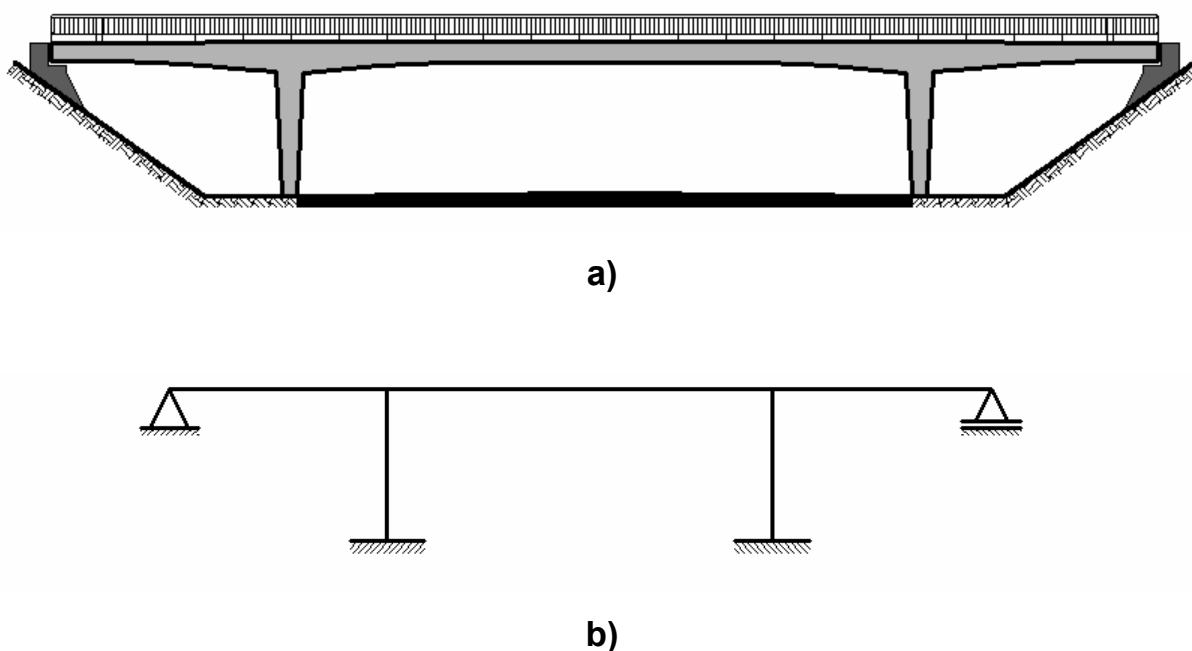


Fig. 5.41 Pod pe cadre cu stâlpi verticali
a) Vedere generală
b) Schema statică

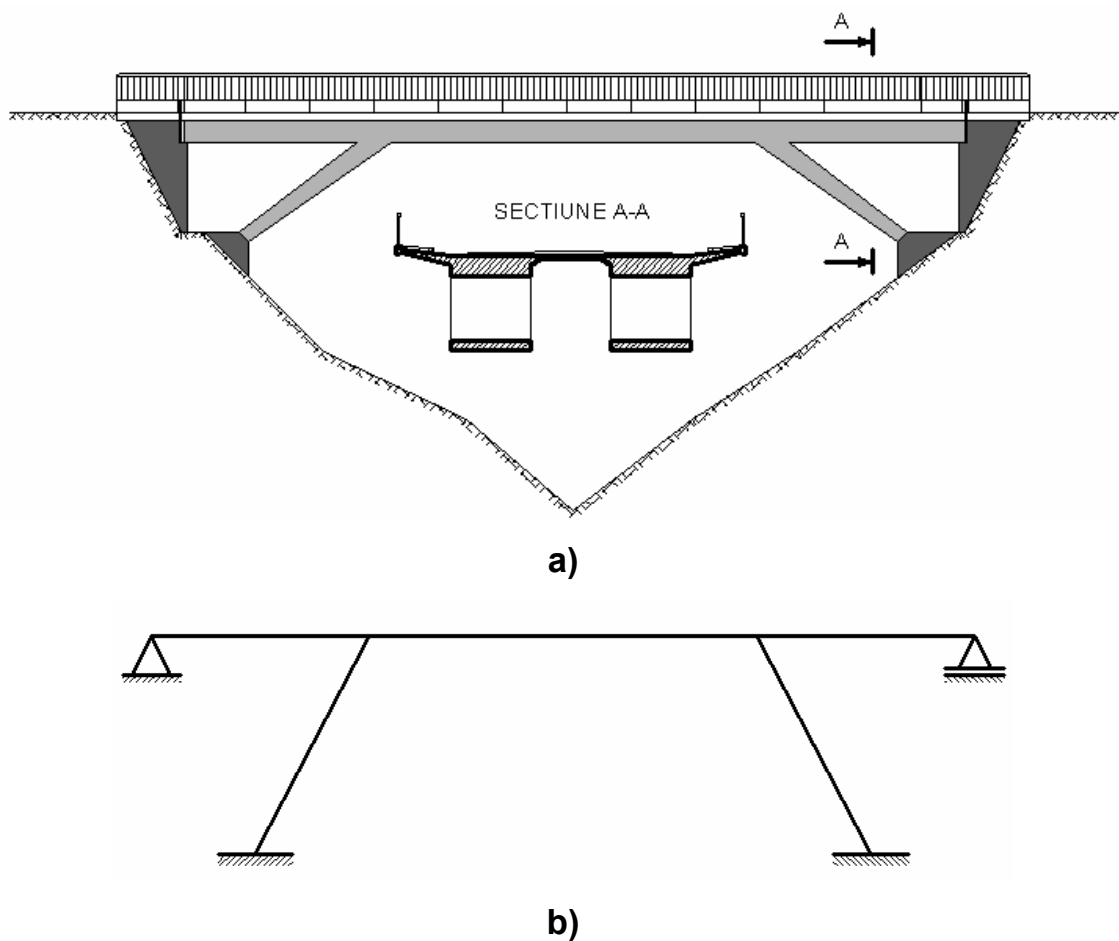


Fig. 5.42 Pod pe cadre cu stâlpi înclinați
a) Vedere generală
b) Schema statică

Podurile pe cadre pot fi realizate din beton, din oțel sau se pot utiliza ambele tipuri de materiale în cazul podurilor mixte oțel-beton. Pot fi utilizate atât pentru susținerea căilor ferate (Fig. 5.43), pentru căi de comunicație rutiere (Fig. 5.42, 5.44), dar aceste tipuri de poduri pot fi utilizate și în cazul paserelor pietonale.

Din punct de vedere al alcătuirii constructive, suprastructura podurilor pe cadre poate utiliza dale din beton armat (Fig. 5.42a), grinzi de beton T sau casetate (Fig. 5.43), grinzi cu inimă plină în conlucrare cu plăci din beton armat, dar și grinzi metalice cu platelaje ortotrope deschise la partea inferioară sau casetate (Fig. 5.44). În cazul utilizării structurilor mixte oțel-beton, placa de

beton trebuie precomprimată în zona stâlpilor unde apar momente negative importante.

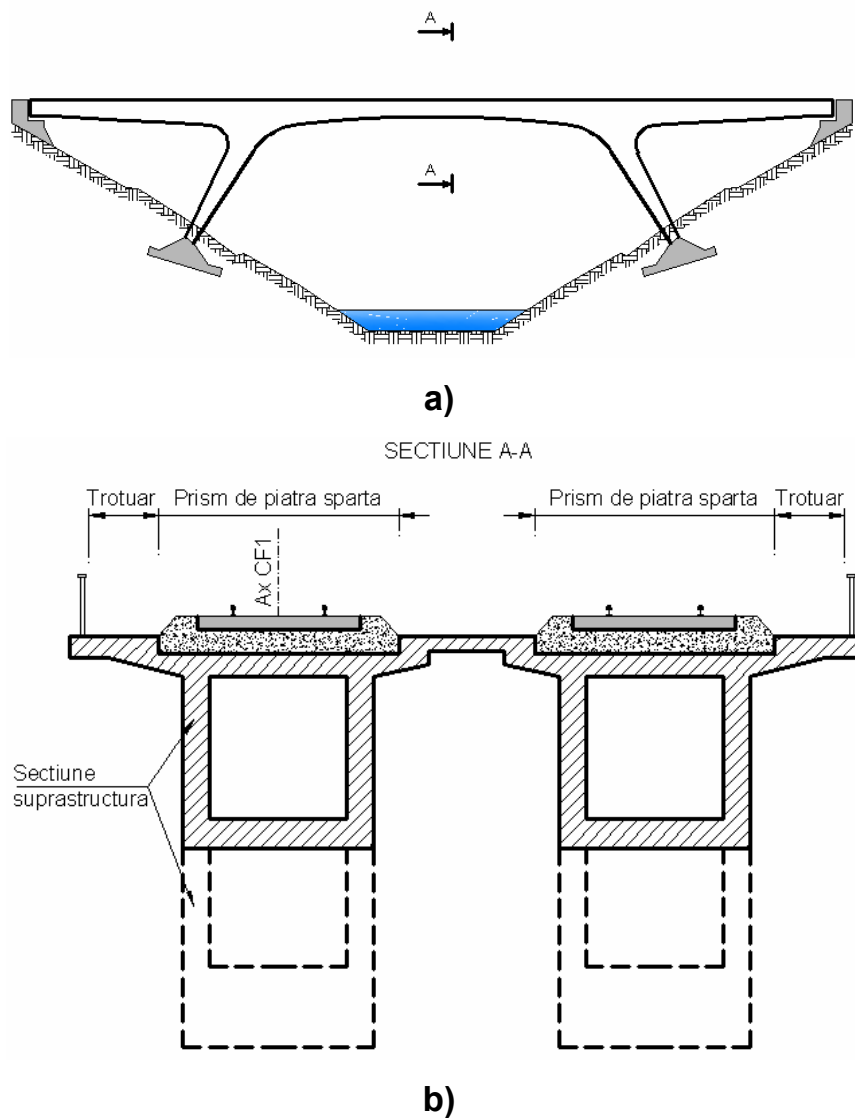


Fig. 5.43 Pod pe cadre cu stâlpi înclinați pe linia Köln-Aachen, Germania

Înălțimea riglei poate fi constantă, însă de cele mai multe ori este cu înălțime variabilă, cu valori mai mari în dreptul stâlpilor.

În cazul podurilor pe cadre, în majoritatea cazurilor trotuarele sunt executate în consolă, atât la podurile din beton, cât și la cele metalice sau mixte.

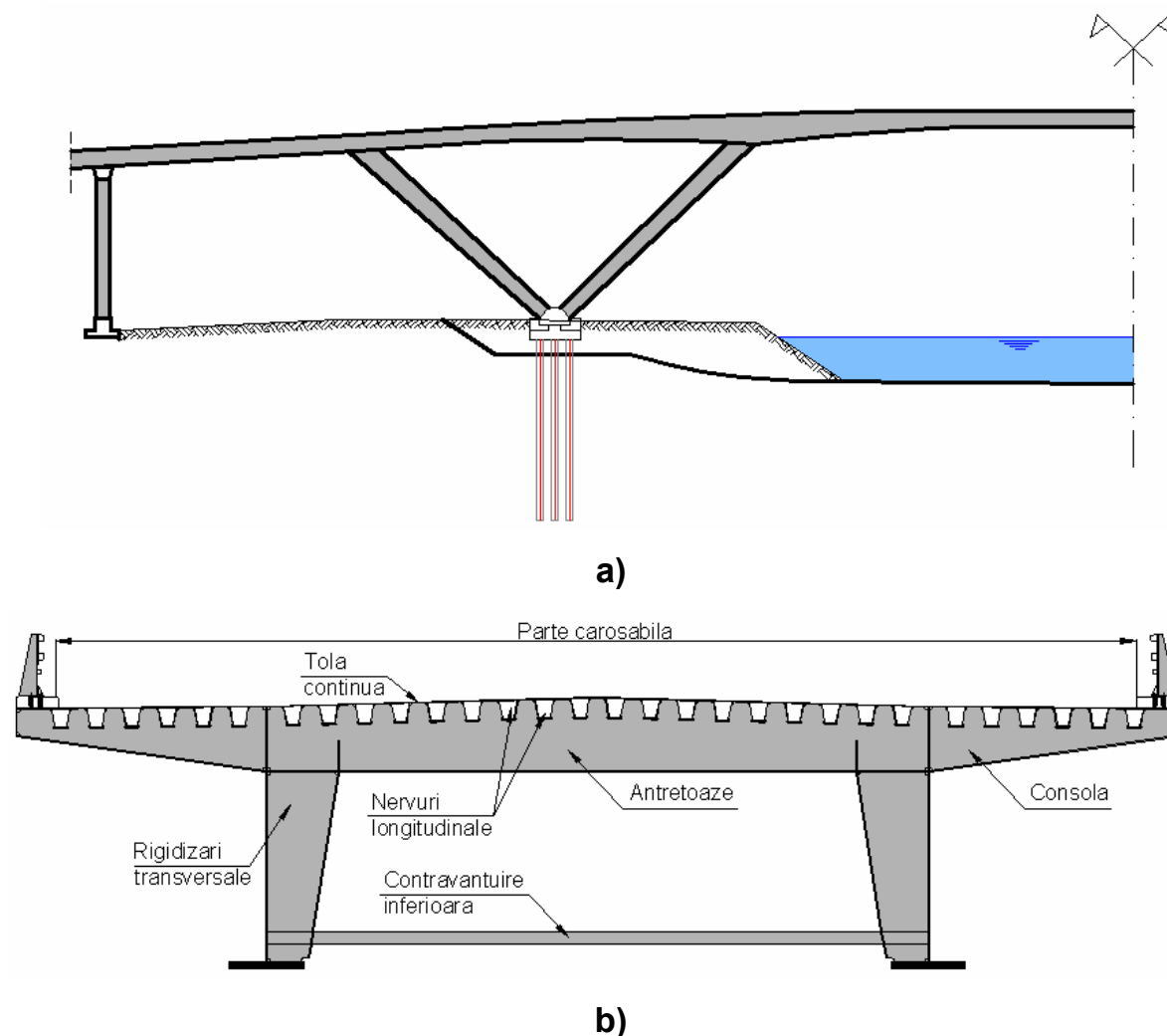


Fig. 5.44 Viaducte pe traseul autostrăzii spre podul Normandie, Franța
a) Vedere generală
b) Secțiune transversală

În figura 5.44a este prezentată în elevație schema viaductelor situate pe șoseaua care face legătura cu podul hobanat Normandie, în Franța. Stâlpii cadrului sunt dispuși înclinat, în forma literei V, asigură spațiul liber sub pod și totodată conferă structurii un aspect estetic deosebit. Deoarece există câte doi stâlpi pentru fiecare element de infrastructură, dimensiunile acestora au putut fi reduse, momentele încovoietoare și forțele axiale fiind mai reduse decât în cazul utilizării unui singur stâlp. Dimensiunile secțiunii suprastructurii au rezultat de asemenea cu valori mai mici. Deschiderea centrală are valoarea de

180 m, cea marginală de 60 m, iar distanța între axele de rezemare ale stâlpilor este de aproximativ 95 m.

În figura 5.45 este prezentat podul prințesa Charlotte din Luxemburg, finalizat în anul 1963.



Fig. 5.45 Podul pe cadre Prințesa Charlotte, Luxemburg

5.6 PODURI PE ARCE

Podurile pe arce ocupă un loc important în istoria podurilor. Așa cum s-a precizat în *Capitolul 1*, de-a lungul timpului au fost construite poduri remarcabile ce aveau ca structură principală de rezistență *bolta*, începând cu podurile pe bolți din piatră realizate de romani pentru apeducte, până la podurile moderne cu arce realizate în prezent, având o mare diversitate de forme și dimensiuni.

Ca și în cazul tipurilor de poduri prezentate anterior, suprastructura podurilor pe arce poate fi realizată din beton, din oțel sau poate fi mixtă oțel-beton. În funcție de materialul din care este alcătuită suprastructura podurilor pe arce, dar și de amplasament, de natura terenului, de posibilitățile de montaj, deschiderile ce pot fi acoperite de această categorie de structuri ajung la valori de

300 de m, pentru podurile pe arce din beton, respectiv de 550-600 m în cazul podurilor pe arce metalice.

Din punct de vedere al schemei statice, respectiv al gradului de nedeterminare statică, podurile pe arce pot fi dublu încastrate (Fig. 5.46a) și articulate, cu una (fig. 5.46b), două (fig. 5.46c) sau trei articulații (Fig. 5.46d).

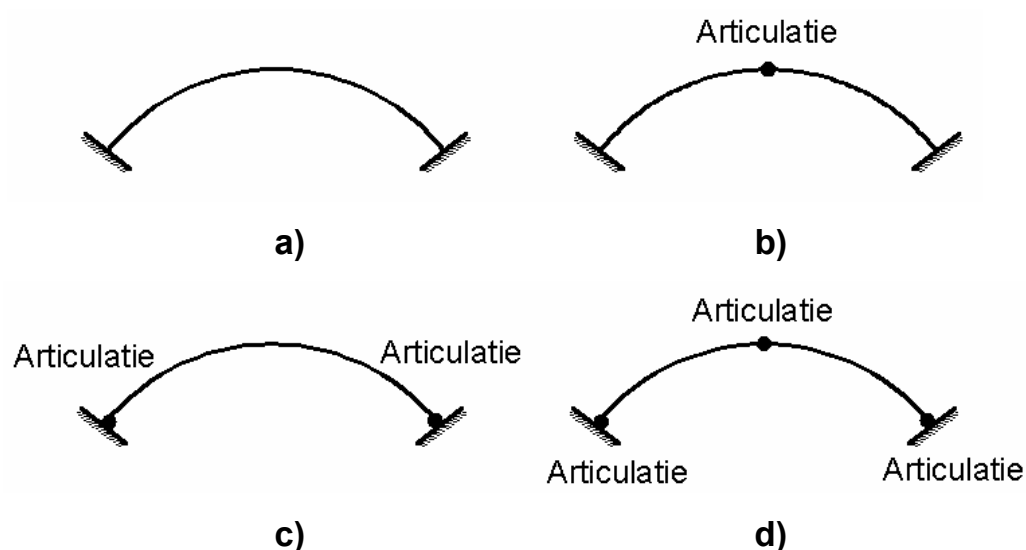


Fig. 5.46 Scheme statice utilizate la podurile pe arce

În funcție de poziția căii podurile pe arce pot fi clasificate astfel:

- *poduri pe arce cu calea sus* (Fig. 5.47a), în general realizate din beton, calea fiind susținută prin intermediul unor stâlpi sau pereți;
- *poduri pe arce cu calea jos* (Fig. 5.47b,c,d), realizate din beton sau oțel, la care calea este susținută printr-un sistem de tiranți din beton sau metalici. În general aceste tipuri de poduri sunt realizate integral din oțel, atât arcele, tablierul (sistemul de grinzi ce susține calea) cât și tiranții.
- *poduri pe arce cu calea la mijloc* (Fig. 5.47e). Pentru susținerea căii în această situație se utilizează atât stâlpi sau pereți din beton, cât și tiranți.

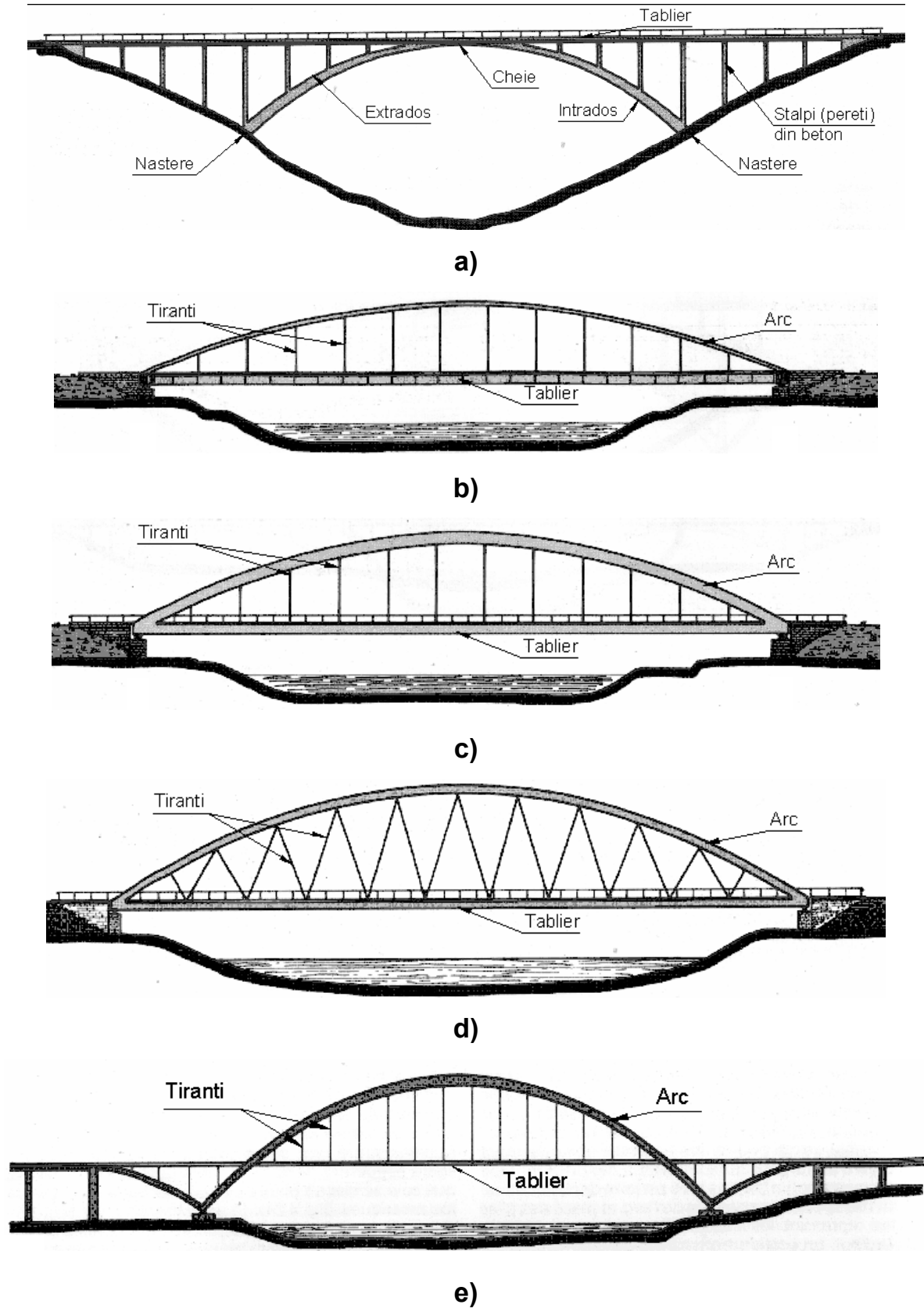


Fig. 5.47 Poziția căii la podurile pe arce

În cazul podurilor pe arce intervin câteva elemente noi de nomenclatură, față de elementele generale prezentate la început și anume: *cheia arcului* reprezintă punctul cel mai de sus al arcului, situat în axa sa neutră (fig. 5.47a) și *nașterile arcului* care sunt punctele situate la ambele capete ale arcului (Fig. 5.47a). Punctele situate sub secțiunea arcului definesc *intradusul*, iar cele situate deasupra secțiunii sale, *extradosul* arcului (Fig. 5.47a). Forma în elevație a arcelor de beton se stabilește astfel încât, din încărcări permanente să nu rezulte în arc eforturi de întindere, situație ce presupune că rezultanta eforturilor trebuie să rămână în sâmburele central al secțiunii transversale a arcului. În acest caz forma arcului este dată de *curba de presiune*. Pentru trasarea formei arcelor de beton și metal se pot utiliza însă parabole, arce de cerc etc.

Deschiderea L în cazul podurilor pe arce reprezintă distanța măsurată pe orizontală între nașteri, iar *înălțimea* sau *săgeata f* a arcului este definită ca distanța măsurată pe verticală între punctul de la cheie, de pe axa arcului și linia orizontală ce unește punctele teoretice de definesc nașterile. Raportul f/L poartă denumirea de *pleoștire* a arcului.

Există mai multe sisteme de tiranți ce se utilizează la podurile pe arce și anume: sistemul Langer (Fig. 5.47b,c,e), tiranții fiind verticali, sistemul Nielsen (Fig. 5.47d și Fig.1.42, Capitolul 1).

Structura de rezistență a podurilor pe arce este formată din *arce*, rețeaua de grinzi de la nivelul căii numită și *tablier* și *pereții* sau *stâlpii* de suținere, în cazul podurilor cu calea sus, respectiv *tiranții*, în cazul podurilor cu calea jos. Există poduri la care tablierul este susținut de un singur arc, dispus central, calea și trotuarele fiind dispuse de-o parte și de alta a arcului.

Forma secțiunii transversale a arcelor este foarte diversificată, dar cel mai des se utilizează secțiuni din beton dreptunghiulare sau dublu T (Fig. 5.48), secțiuni dublu T sau casetate metalice (Fig. 5.49) sau secțiuni tubulare, realizate din țevi rotunde sau pătrate. În trecut au fost însă realizate și arce cu zăbrele cum este podul din portul Sydney (Fig. 5.50).

Tablierul podurilor pe arce poate fi realizat în oricare din formele constructive prezentate la podurile cu grinzi: grinzi T sau cu bulb din beton armat și precomprimat, grinzi casetate din beton armat și precomprimat, grinzi cu inimă plină metalice în conclucrare cu plăci din beton armat, platelaje ortotrope.

Tiranții de susținere pot fi realizați din fier rotund sau în soluții moderne, din cabluri speciale cu rezistență înaltă și cu protecție sporită împotriva agenților atmosferici, care le conferă durabilitate în timp.

Pentru asigurarea stabilității arcelor în sens transeversal, se realizează sisteme de contravântuire la partea superioară a arcelor sau arcele sunt unite prin rigle superioare, ca în cazul podurilor cu grinzi cu zăbrele. Dispunerea acestor rigle se face cu respectarea spațiului de liberă trecere pe pod.

În figura 5.48 este prezentată secțiunea transversală a podului de pe DN66A, la km 2+178 peste Jiu la Aninoasa.

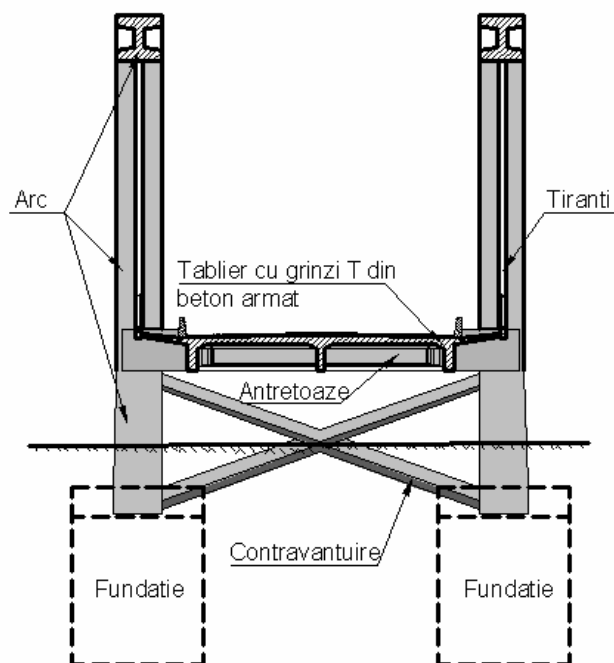


Fig. 5.48 Secțiune transversală a podului peste Jiu la Aninoasa

Podul a fost realizat în soluția pe arce cu calea la mijloc și are o deschidere de aproximativ 70 m. Arcele sunt realizate din beton armat și au formă dublu T, cu excepția zonei de la nașteri unde secțiunea are formă dreptunghiulară. La acest pod tiranții sunt verticali realizați din beton armat. Tablierul este realizat cu grinzi din beton armat T, iar între grinzi, la distanțe de aproximativ 4.70 m există antretoaze din beton precomprimat.

În figura 5.49 este prezentată secțiunea transversală a podului peste Dunăre la Cernavodă, realizat cu două arce paralele din oțel cu secțiune casetată închisă, tablierele fiind metalice, realizate în soluția cu platelaj ortotrop. O imagine a acestui pod a fost prezentată în Capitolul 1, figura 1.42. Deschiderea podului este de 171.83 m. Tiranții au fost realizați în sistem combinat și se intersectează.

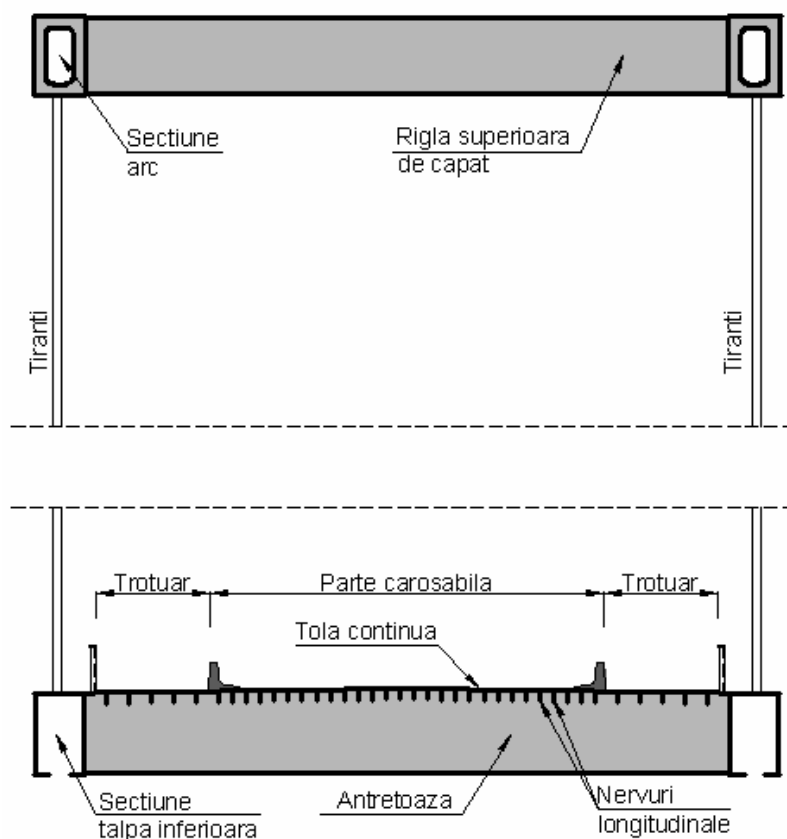


Fig. 5.49 Secțiune transversală a podului peste Dunăre la Cernavodă



Fig. 5.50 Podul pe arce cu zăbrele din portul Sydney



Fig. 5.51 Podul cu arce metalice Lupu, din Shanghai

Principalele avantaje ale podurilor pe arce sunt:

- permit realizarea unor deschideri mari, prin aceasta reducându-se numărul pilelor și obținându-se economii de material;
- de asemenea, neexistând pile în albie, ele nu sunt periclitate de pericolul afuierilor și de coliziuni cu ambarcațiuni;

- arcele sunt elemente solicitate preponderent la compresiune. De aceea podurile cu arce din beton au o durabilitate sporită, situațiile în care apar fisuri în betonul arcelor fiind rare;
- au un aspect estetic plăcut.

Dezavantajele podurilor pe arce sunt determinate în principal de dificultatea proiectării și execuției. În general, pentru execuția arcelor din beton sunt necesare cintre sau eșafodaje pentru suținerea cofrajelor pe durata betonării arcelor.

5.7 PODURI CU CABLURI

Podurile cu cabluri au apărut din necesitatea de a acoperi cu costuri minime deschideri foarte mari. Ele se caracterizează prin faptul că au o greutate a structurii de rezistență redusă în comparație cu toate celelalte tipuri de structuri prezentate anterior. Caracteristic pentru podurile cu cabluri este și faptul că sunt foarte flexibile, din acest motiv studii speciale fiind necesare pentru asigurarea stabilității acestor poduri la acțiuni dinamice (în special la acțiunea vântului).

Podurile cu cabluri pot fi împărțite în două categorii: *poduri cu hobane* și *poduri suspendate*.

a) *Podurile cu hobane* se caracterizează prin faptul că tablierul este susținut de mai multe cabluri a căror formă se apropie de cea rectilinie după darea în exploatare a podului. Pe perioada execuției structurii, când cablurile sunt detensionate, ele pot fi curbe sub acțiunea greutății proprii.

Cablurile sunt ancorate la partea superioară în piloni, iar la partea inferioară sunt ancorate în tablier, asigurând o multiplă rezemare elastică tablierului, din acest motiv podurile hobanate fiind foarte flexibile.

Domeniul de utilizare al podurilor cu hobane se extinde până în jur de 900 m, existând șanse ca în viitorul apropiat să se depășească distanța de 1000 de m între piloni.

Există o multitudine de posibilități de dispunere a hobanelor, atât în sens transversal podului, cât și în elevație.

Din punct de vedere al dispunerii hobanelor în sens transversal structurii, sistemele de hobanaj pot fi: cu dispunere a hobanelor în două planuri paralele (Fig. 5.52a), cu dispunere în planuri înclinate (fig. 5.52b), cu dispunere centrală a hobanelor (fig. 5.52c) sau excentric (fig. 5.52d), într-un singur plan, tablierul fiind așezat numai de o singură parte.

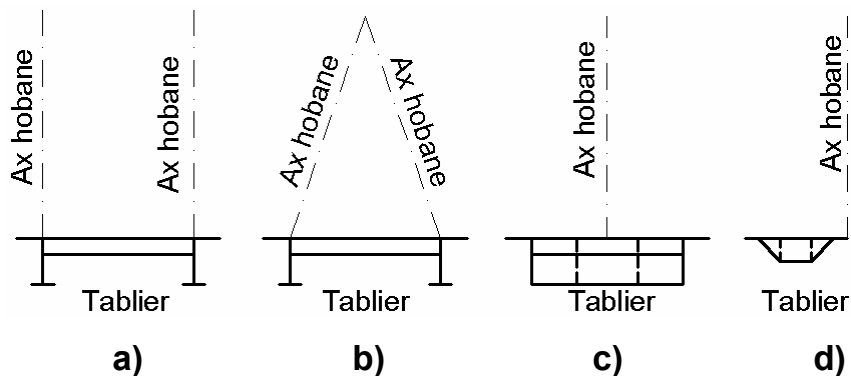


Fig. 5.52 Moduri de dispunere a hobanelor în sens transversal

Numărul de planuri de hobanaj adoptate și de înclinarea acestora vor determina proiectarea în consecință atât a tablierului, cât și a pilonilor podului.

Dispunerea longitudinală a hobanelor se face în funcție de mai mulți parametri și anume: forma și dimensiunile obstacolului traversat, de încărcările ce trebuie preluate de suprastructura podului, de posibilitățile de execuție și nu în ultimul rând de estetica podului.

Cele mai utilizate sisteme longitudinale de hobanaj sunt prezentate în figura 5.53.

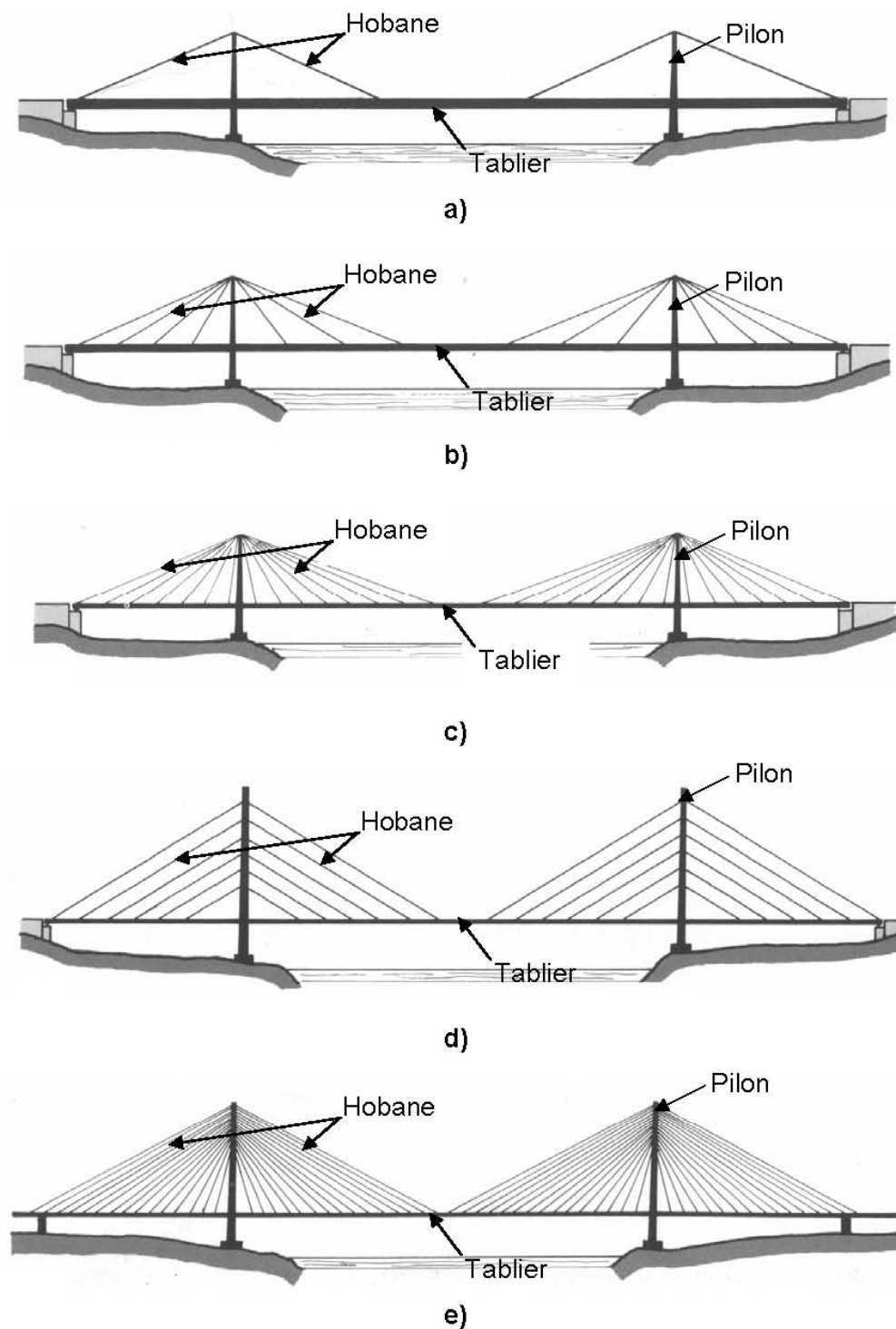


Fig. 5.53 Moduri de dispunere a hobanelor în sens longitudinal

În figura 5.53a, b și c hobanele sunt dispuse în *fascicul*, în figura 5.53 d sunt dispuse în *harpă*, iar în figura 5.53e cablurile sunt dispuse în *evantai*.

Cablurile se mai pot dispune în *stea*, fiecare hobană fiind ancorată în pilon în puncte diferite, iar în tablier aproape în același punct.

În general pilonii la podurile hobanate se execută din beton, dar pot fi executați și din oțel. Forma, dimensiunile și rezemarea pilonului la bază depind în primul rând de sistemul de hobanaj adoptat.

Pentru hobanajul în două plane paralele (Fig. 5.52a) se poate adopta o formă de cadru a pilonului (Fig. 5.54a), în care stâlpii sunt articulați sau încastrați în fundație. Se poate însă renunța la rigla superioară a pilonului, dar în acest caz este obligatorie încastrarea pilonului în radierul fundației (Fig. 5.54b). Această formă a pilonului se poate utiliza în cazul hobanajului în harpă, la care încărcările se transmit progresiv pilonului pe înălțimea sa.

Adoptarea unei forme a pilonului în forma literei A (Fig. 5.54c) conduce la economii importante de material, deoarece se renunță la rigla superioară. În această variantă pilonul este articulat la bază. Soluția conduce totuși la mărirea dimensiunilor în plan ale blocului de fundație. Acest inconvenient poate fi depășit adoptând o formă a pilonului ca cea din figura 5.54d.

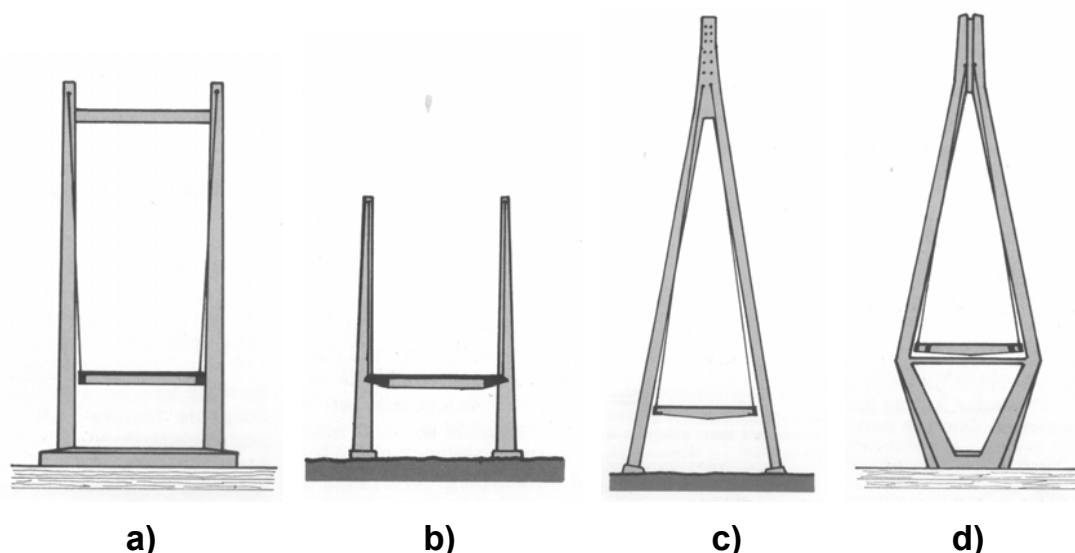


Fig. 5.54 Forme ale pilonilor utilizate la podurile hobanate [5]

Înălțimea pilonului se alege de regulă cu valori cuprinse între $1/5$ și $1/2$ din deschiderea maximă a podului.

Podurile hobanate pot fi nesimetrice (Fig. 5.55), cu deschideri inegale. Acest lucru se datorează faptului că pilonul trebuie dispus în afara albiei, deoarece este știut faptul că nu se recomandă dispunerea pilelor podurilor în albie, acolo unde pot fi lovite de ambarcațiuni sau de alte corpuri plutitoare (ghețuri, trunchiuri de copaci etc.).

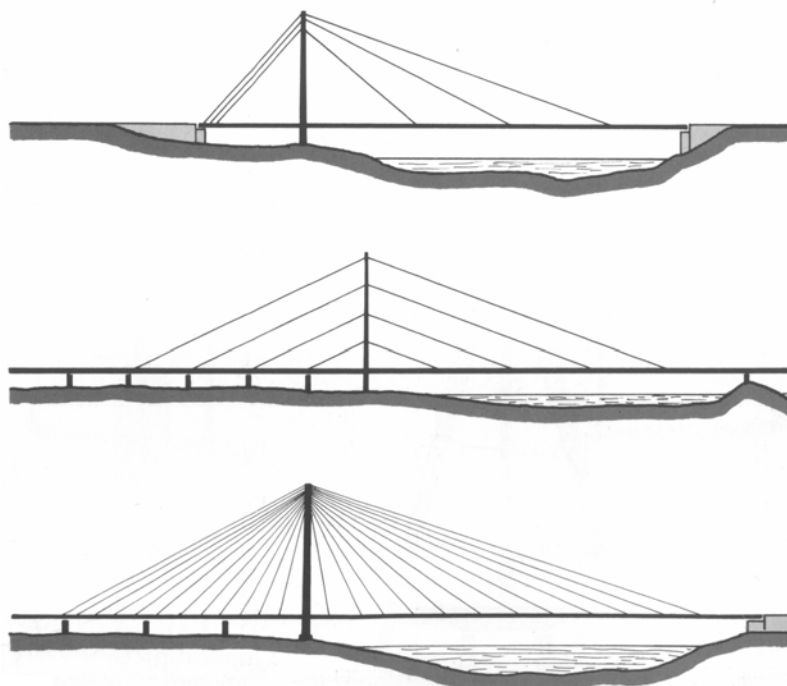


Fig. 5.55 Poduri cu hobane cu deschideri inegale [5]

Un astfel de pod cu hobane cu deschideri inegale este cel realizat în România peste canalul Dunăre-Marea Neagră, la Agigea (Fig. 1.41, Capitolul1).

Cablurile podurilor hobanate se execută după tehnologii speciale și necesită tratamente speciale în vederea asigurării împotriva acțiunii agenților atmosferici. Fiecare hobană este compusă dintr-un număr mare de fire, cu formă circulară și diametre cuprinse între 5 și 7 mm sau având forme speciale care să confere un caracter compact secțiunii cablului și o suprafață densă. În cazul cablurilor cu secțiune închisă (Fig. 5.56a) straturile exterioare sunt

realizate din fire în forma literei Z și sunt puternic presate. Firele interioare au formă cilindrică. Straturile de fire sunt dispuse elicoidal, direcția de înfășurare schimbându-se de la un strat la altul.

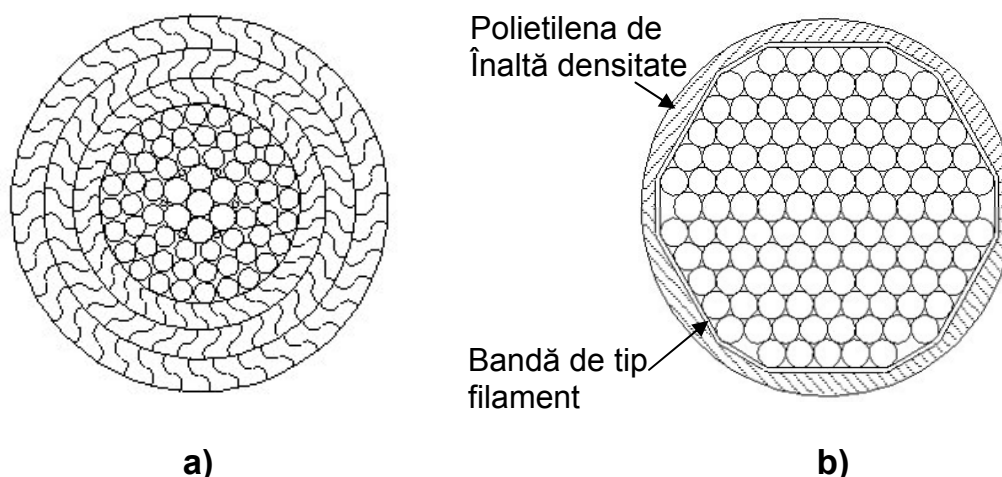


Fig. 5.56 Tipuri de cabluri utilizate la poduri hobanate [7]

În figura 5.56b este prezentată secțiunea transversală a unui cablu cu fire paralele sau toroane. La aceste cabluri firele interioare sunt de formă circulară, sunt galvanizate și introduse într-un tub de polietilenă, în care se injectează o substanță de protecție împotriva coroziunii.

Pentru ancorarea hobanelor în pilon și tablier se realizează zone speciale de ancoraj, de regulă metalice.

Din punct de vedere al alcătuirii secțiunii transversale a tablierului, la podurile hobanate se pot utiliza tipurile de tabliere prezentate în capitolele anterioare la podurile pe grinzi. Deoarece se urmărește realizarea unei greutate permanente mai reduse a tablierului sunt utilizate cu precădere tabliere metalice cu grinzi cu inimă plină sau castetate, în alcătuire clasică sau cu platelaj ortotrop sau tabliere mixte oțel-beton.

Pentru asigurarea stabilității generale a podurilor hobanate și îmbunătățirea comportării la acțiunea vântului, forma tablierului se proiectează cu ajutorul studiilor în tunele aerodinamice, rezultând forme care să asigure

scurgerea fără fenomene de turbulență a curenților de aer. Majoritatea podurilor hobanate executate în ultima perioadă de timp au secțiuni transversale aerodinamice.

În figurile 5.58, 5.59, 5.60 și 5.61 se prezintă câteva tipuri de secțiuni transversale adoptate în prezent pentru podurile hobanate.

În cazul podului Normandie, deschiderea maximă $L_{\max}=856$ m, (Fig. 5.57) au fost utilizate pentru tabliere atât tronsoane din beton, pentru deschiderile marginale ale podului (Fig. 5.58), acestea având și rol de contragreutăți, dar și tronsoane metalice cu platelaj ortotrop în deschiderea centrală (Fig. 5.59). Tablierele au formă casetată aerodinamică pentru sporirea portanței la vânt.

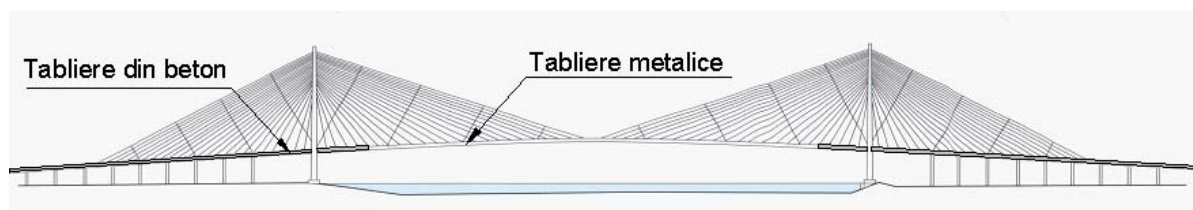


Fig. 5.57 Vedere generală a podului Normandie, Franța

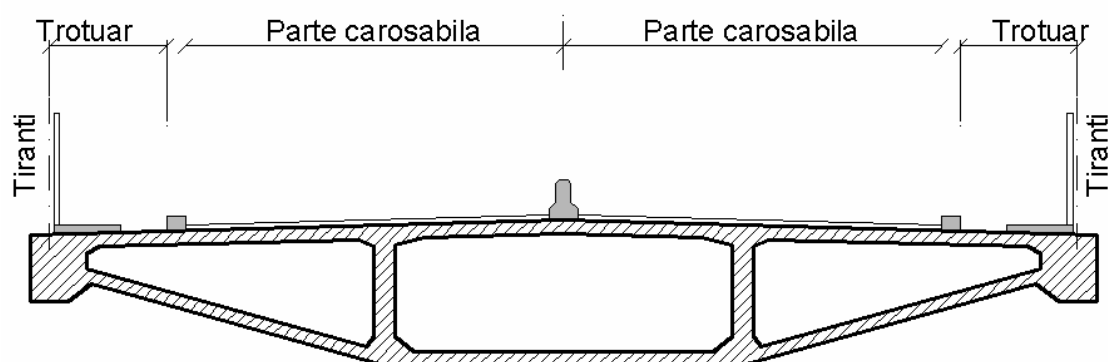


Fig. 5.58 Secțiune transversală prin tablierul din beton al podului Normandie

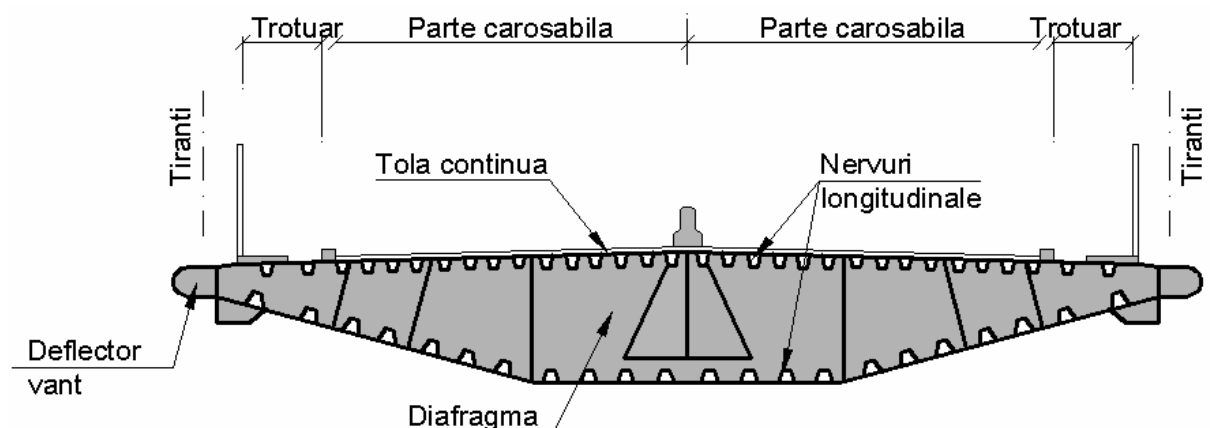
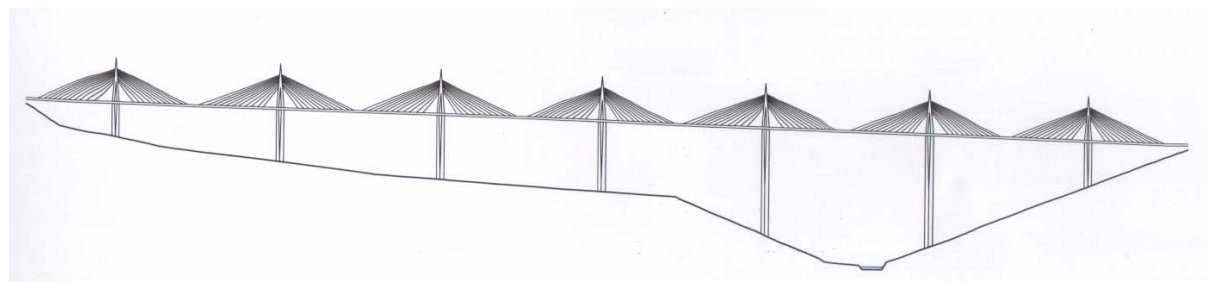
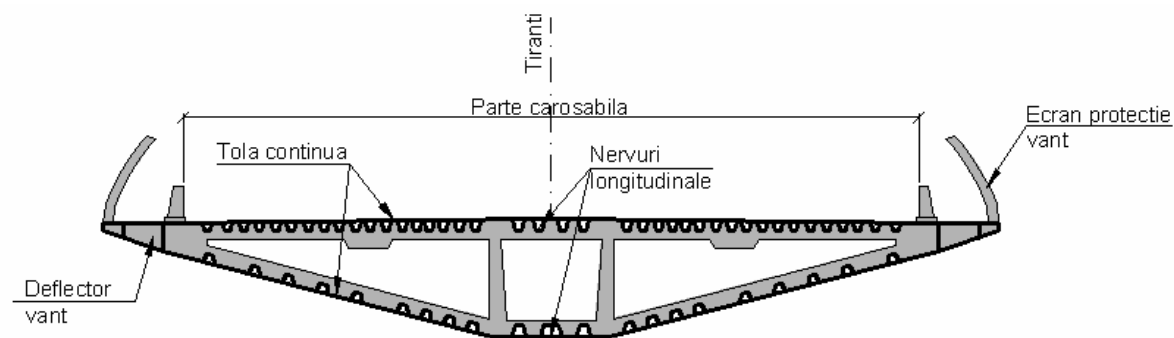


Fig. 5.59 Secțiune transversală prin tablierul metalic al podului Normandie

În figura 5.60a este prezentată o schemă a viaductului Millau, Franța iar în figura 5.60b forma secțiunii transversale a tablierului metalic.



a)



b)

Fig. 5.60 Viaductul Millau
a) Elevație
b) Secțiune transversală prin tablier

Acest pod (Fig. 1.33, Capitolul 1) prezintă particularitatea că pentru reducerea momentelor încovoietoare pilonii sunt încastrați în tablier, acesta rezemând pe pile. Deoarece pilele au înălțimi de peste 200 m, calea este prevăzută cu ecrane de protecție împotriva vântului. Tablierul a fost realizat tot în soluția cu platelaj ortotrop, caseta fiind rigidizată prin introducerea unor stâlpi intermediari.

În cazul podului Rion-Antirion din Grecia (Fig. 1.32, Capitolul 1), pilonii au o formă particulară alcătuită din 4 stâlpi care se unesc la partea superioară. Tablierele sunt realizate din grinzi cu inimă plină în conlucrare cu o placă din beton armat. Între grinzile principale au fost prevăzute antretoaze dese pentru asigurarea rigidității necesare tablierului. În figura 5.61a este prezentată o schemă generală a podului, iar în figura 5.61b o secțiune transversală prin tablierul metalic.

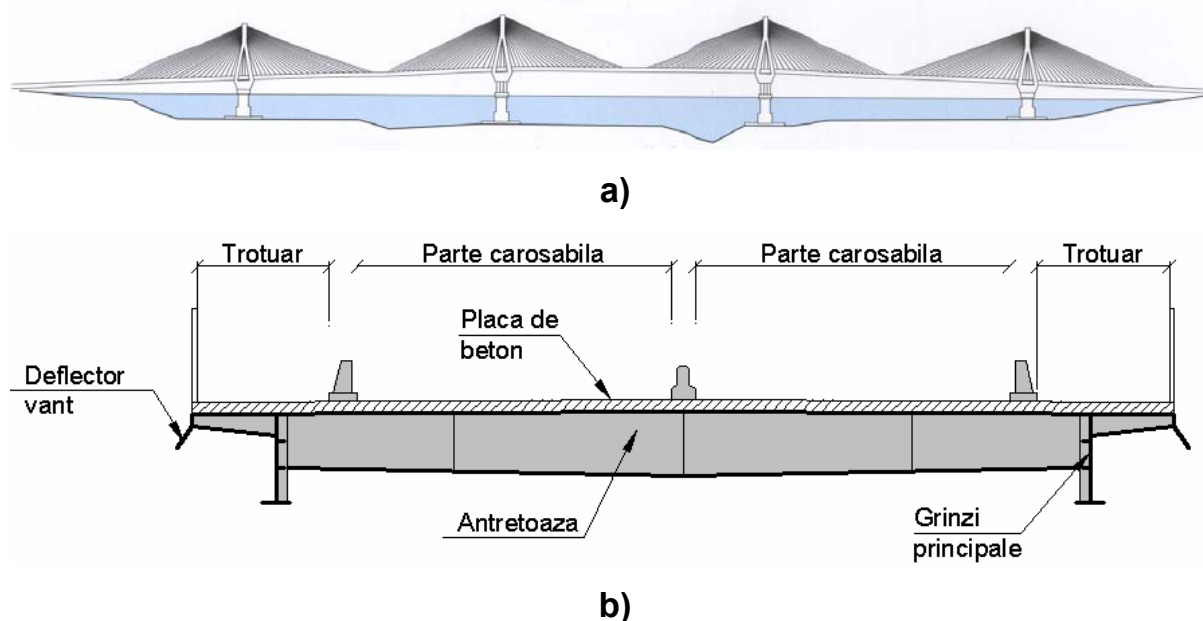


Fig. 5.61 Podul Rion-Antirion
a) Elevație
b) Secțiune transversală prin tablier

b) *Podurile suspendate* se deosebesc de cele hobanate atât prin forma cablurilor, cât și prin faptul că utilizează *cabluri principale* portante și o serie de alte cabluri, *tiranții*, prin intermediul cărora tablierul este suspendat de cablurile principale. Forma cablurilor principale este curbă (Fig. 5.62a,b).

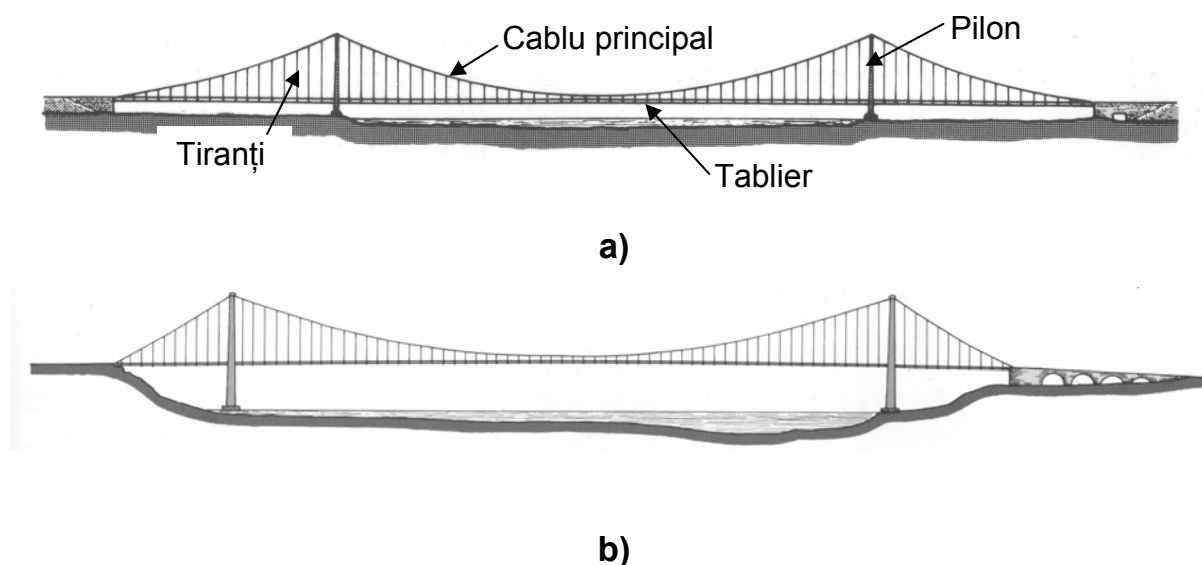


Fig. 5.62 Scheme ale podurilor suspendate

Domeniul de deschideri acoperit de podurile suspendate este mult mai mare decât al podurilor hobanate și este cuprins între 1000 și 2000 m.

Aceste poduri se caracterizează printr-o suplețe foarte mare a tablierului, suspendarea de cablurile principale prin intermediul tiranților asigurând o rezemare elastică aproape continuă.

Forma cablurilor principale este stabilită din condiția ca sub efectul încărcărilor permanente tablierul să nu aibă solicitări de încovoiere. Din acest motiv cablul reazemă la partea superioară a pilonilor și în două puncte de ancoraj la capetele podului.

Există mai multe modalități de realizare a ancorajelor cablurilor principale la capetele podului. Cea mai utilizată formă este cea conform căreia la capetele podului se realizează niște blocuri masive de ancoraj din beton armat, în această soluție efortul axial din cabluri fiind transmis direct terenului

de fundație. În funcție de mărimea deschiderilor marginale, acestea se suspendă de cablurile principale cu ajutorul tiranților sau tiranții pot lipsi, rezemarea făcându-se pe pilon și la capete pe culee. O altă soluție prevede ancorarea cablurilor în tablierul podului, foarte aproape de capete, caz în care tablierul trebuie să aibă capacitatea de a prelua forțele axiale din cabluri. Ultima posibilitate o reprezintă întreruperea continuității cablurilor principale, acestea fiind ancorate în elemente de infrastructură (pile-culee) situate la mijlocul podului. Această soluție, utilizată în cazul podului Oakland Bay din San Francisco, prezintă dezavantajul că plasează pila-culee în albie și aceasta poate fi avariata de ambarcațiuni.

În marea majoritate a cazurilor, la podurile suspendate, cablurile principale sunt dispuse în două planuri paralele, iar tiranții sunt dispuși vertical. Pentru îmbunătățirea stabilității aerodinamice cablurile principale se pot dispune înclinat, ca în cazul podurilor cu hobane, iar tiranții sunt de asemenea înclinați.



Fig. 5.63 Podul Oakland Bay din San Francisco

Săgeata cablurilor principale se definește ca distanța măsurată pe verticală de la punctul cel mai de sus al cablului (în deschiderea centrală), până la punctul cel mai de jos al cablului.

Materialul din care sunt realizați pilonii poate fi betonul, dar și oțelul, ca de exemplu în cazul podului Golden Gate din San Francisco (Fig. 1.18, Capitolul 1). Pilonii pot fi articulați la bază, în cazul podurilor suspendate pietonale sau care susțin căi de comunicație, dar care au deschideri mici sau încastrați în blocul de fundație la deschideri mari. Forma și dimensiunile pilonilor trebuie să asigure acestora suficientă rigiditate pentru a avea deformații mici din încărcările transmise de cablurile principale, dar în același timp să aibă un aspect estetic plăcut. Formele pilonilor utilizate cel mai des la podurile suspendate sunt prezentate în figura 5.64.

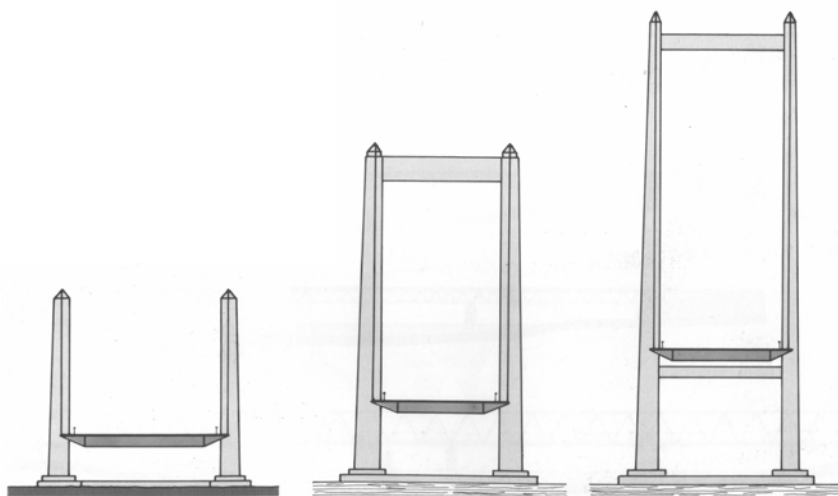


Fig. 5.64 Forme ale pilonilor utilizate la poduri suspendate

Pentru asigurarea rigidității în sens transversal, pe lângă riglele dispuse la partea superioară se poate prevedea un sistem de contravântuire (Fig. 5.64).

Cablurile principale au în general aceeași alcătuire cu cea a cablurilor închise de la podurile cu hobane, numai că diametrul cablurilor principale este mult mai mare decât al hobanelor. Tiranții de susținere ai tablierului se executau în trecut din profile metalice laminate sau din oțel rotund, dar în

prezent ei se realizează din cabluri cu secțiune închisă. Tiranții sunt prevăzuți cu dispozitive de reglare a lungimii, astfel încât, în timpul execuției podului să se poată controla deformațiile verticale ale acestuia.

Distanțele pe orizontală dintre doi tiranți consecutivi trebuie să se situeze în domeniul $(L/100 \div L/20)$, L fiind valoarea deschiderii în care se dispun tiranții.

În majoritatea cazurilor materialul utilizat la realizarea tablierelor este oțelul, datorită greutății proprii mai reduse. Forma secțiunilor transversale la podurile suspendate se alcătuiește pe baza aceluiași criterii ca în cazul podurilor hobanate. Trebuie avut însă în vedere faptul că, datorită deschiderilor mai mari, flexibilitatea podurilor suspendate este superioară celor hobanate și de aceea tablierul trebuie să aibă suficientă rigiditate în plan orizontal pentru preluarea încărcărilor orizontale transversale.

La primele poduri suspendate construite s-au utilizat la realizarea tablierelor grinzi cu inimă plină, de care erau ancorate cablurile. Calea era susținută de o placă de beton rezemată pe o rețea de grinzi formată din lonjeroni și antretoaze. (Fig. 5.65).

În anul 1940 podul Tacoma s-a prăbușit sub efectul rafalelor de vânt deoarece grinzile principale cu inimă plină ale tablierului aveau zveltețe mare și erau insuficient depărtate una de cealaltă, astfel încât deformațiile din torsiune ale tablierului au fost foarte mari, conducând în final la cedarea structurii.

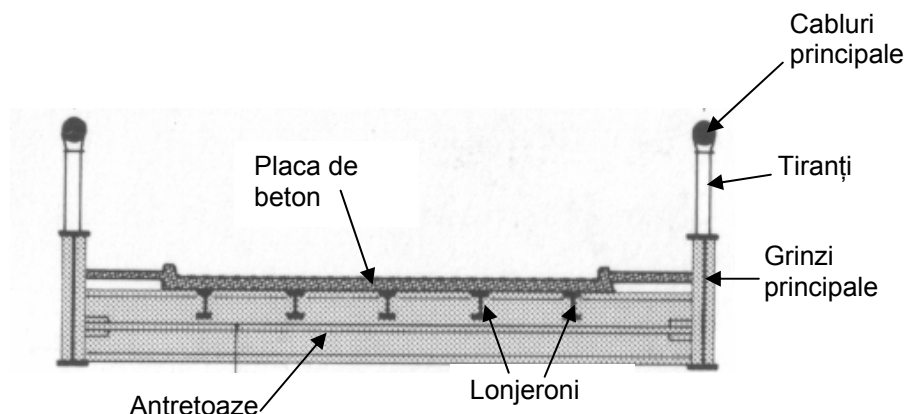


Fig. 5.65 Secțiune transversală prin tablier cu grinzi cu inimă plină la poduri suspendate. Podul Tacoma

Pentru sporirea rigidității tablierului se utilizează la podurile suspendate grinzi cu zăbrele (Fig. 5.66). Acestea au lățimi și înălțimi mai mari ceea ce conferă rigiditate tablierului, atât în plan vertical și în plan orizontal, dar și la torsiune.

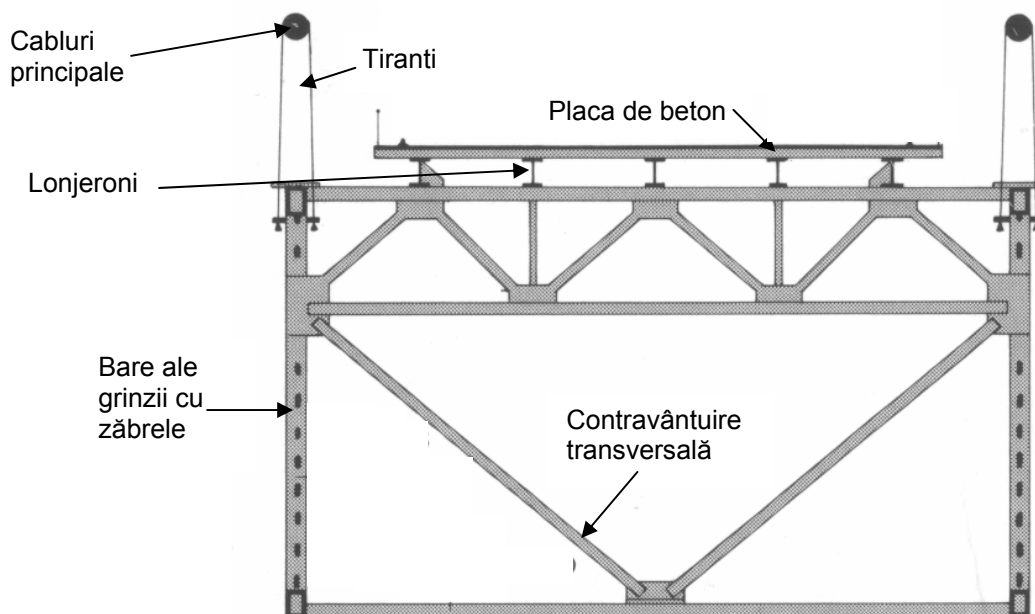


Fig. 5.66 Secțiune transversală prin tablier cu grinzi cu zăbrele la poduri suspendate

În epoca modernă a podurilor suspendate, în urma unor studii amănunțite în tunele aerodinamice, tablierele unor poduri suspendate au forme casetate și sunt realizate cu platelaje ortotrope. Tablierele sunt prevăzute cu deflectoare de vânt. În plus cablurile principale se realizează în planuri înclinate, iar tiranții nu mai sunt verticali, ci înclinați.

Unul dintre primele poduri suspendate la care tablierul are în secțiune transversală o formă aerodinamică, de forma unei aripi de avion a fost podul Humber (Fig. 5.67), cu deschiderea de 1410 m. Podul susține 4 benzi de șosea, iar platelajul ortotrop a fost realizat cu nervuri închise. Trotuarele sunt susținute de console metalice. Înălțimea casetei tablierului în ax este de 3.50 m.

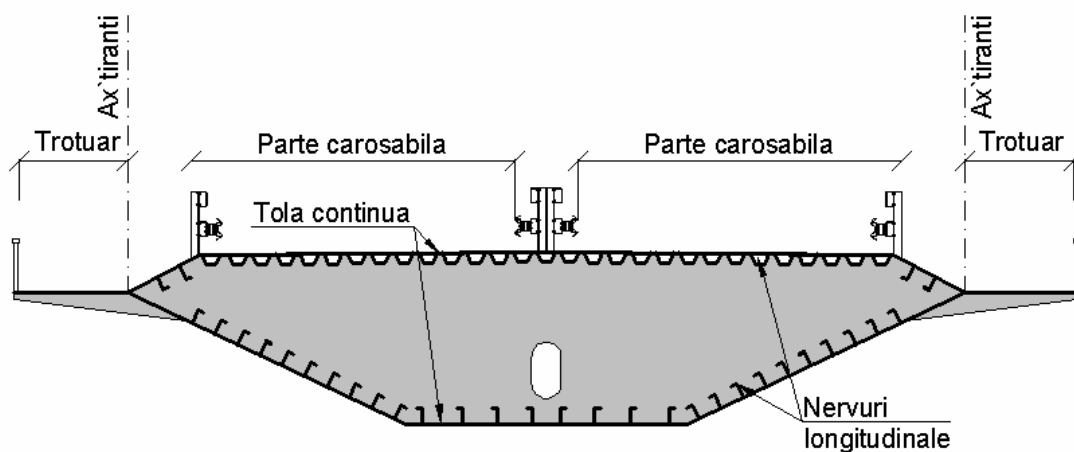


Fig. 5.67 Secțiune transversală prin tablierul podului Humber, Anglia

În figura 5.68 este prezentată secțiunea transversală a podului Great Belt din Danemarca. Acest pod are o deschidere principală de 1624 m, iar cele două deschideri marginale au câte 535 m. Tablierul este tot metalic, cu platelaj ortotrop și nervuri longitudinale trapezoidale. Suplimentar în interiorul casetei a fost realizat un sistem de contravântuire sub forma unei grinzi cu zăbrele. Tablierul susține 6 benzi de circulație, câte 3 pe fiecare sens de mers.

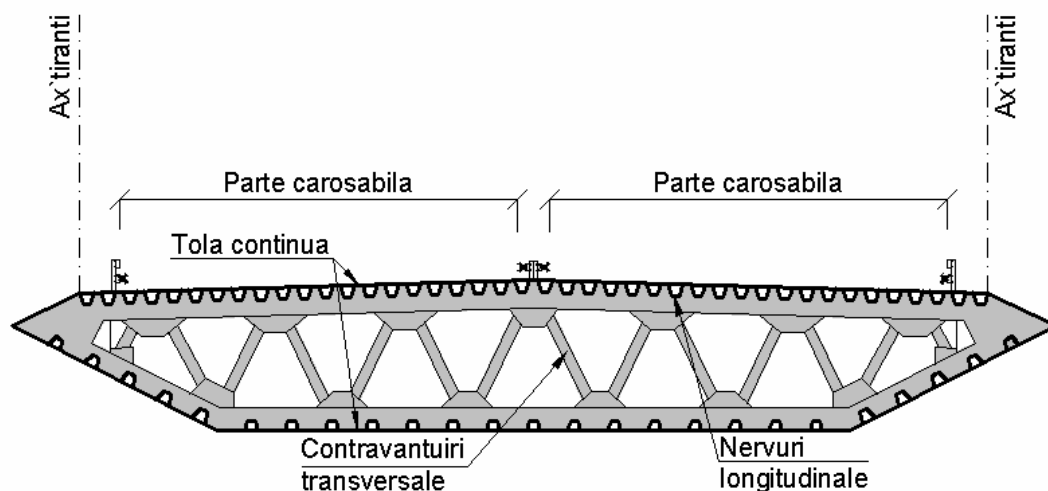


Fig. 5.68 Secțiune transversală prin tablierul podului Great Belt, Danemarca

Elementele structurale ale podurilor suspendate sunt supuse unor solicitări complexe. Pilonii sunt solicitați atât la compresiune cât și la încovoiere, cablurile sunt soliciate la întindere, iar tablierul este solicitat la forțe axiale, la încovoiere și forțe tăietoare. Datorită conlucrării spațiale între toate elementele componente ale acestor poduri și mai ales sensibilității acestora la solicitări dinamice, în special la acțiunea vântului, calculul acestor structuri este foarte dificil de efectuat. În prezent, datorită dezvoltării tot mai rapide a metodelor numerice și programelor de calcul automat, se pot realiza calcule amănunțite, care conduc la adoptarea unor structuri zvelte, estetice, dar care pot fi exploatare în deplină siguranță.

CAPITOLUL 6

TIPURI SPECIALE DE PODURI

În acest capitol sunt prezentate pe scurt podurile ce au alcătuiți speciale și deserveșc căi de comunicație cu o destinație specială. În această categorie se pot încadra podurile combinate de cale ferată și șosea, pasajele și podurile de încrucișare, podurile auxiliare (provizorii), podurile pietonale (paserelele), podurile mobile și podurile pentru utilități (conducte, cabluri electrice etc.).

6.1 PODURI COMBINATE

În capitolele precedente au fost prezentate tipuri de suprastructuri de poduri din beton din oțel sau mixte care pot susține fie căi ferate, fie drumuri sau autostrăzi. Există însă situații în care, în funcție de necesități, podurile pot deservi simultan două tipuri de căi de comunicație, atât cale ferată cât și șosea. În acest caz podurile se numesc *poduri combinate*.

Este evident că în cazul acestor tipuri de structuri încărcările exterioare produse de sarcinile mobile (convoaiele de cale ferată și șosea) vor avea valori mai mari față de cele întâlnite în cazul podurilor obișnuite ce deserveșc numai un tip de cale de comunicație. Din acest motiv, proiectarea și execuția unor astfel de suprastructuri ridică probleme deosebite și trebuie realizate în condiții speciale.

Combinarea podurilor poate fi parțială (Fig. 6.1) sau totală (Fig. 6.2-6.5). În prima situație infrastructura este unică însă există două suprastructuri, câte una pentru fiecare cale de comunicație deservită de pod.

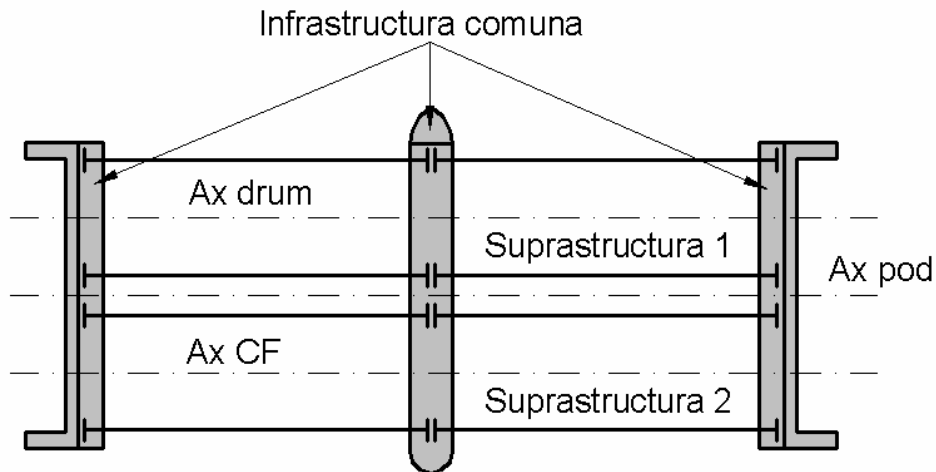
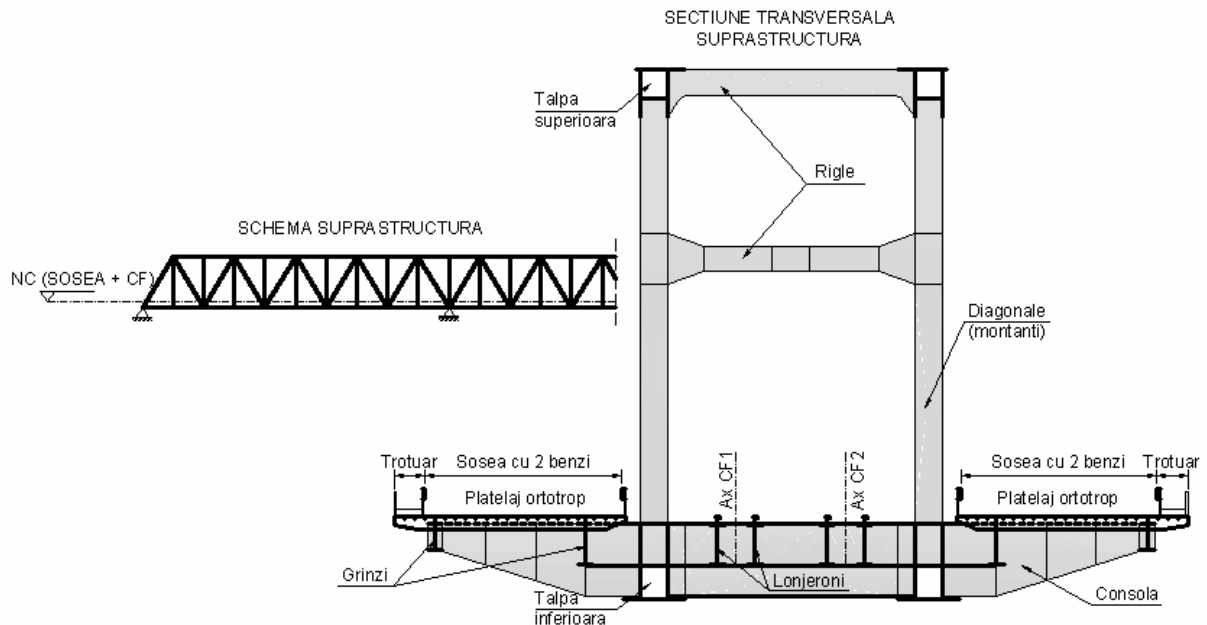


Fig. 6.1 Exemplu de pod cu combinare parțială

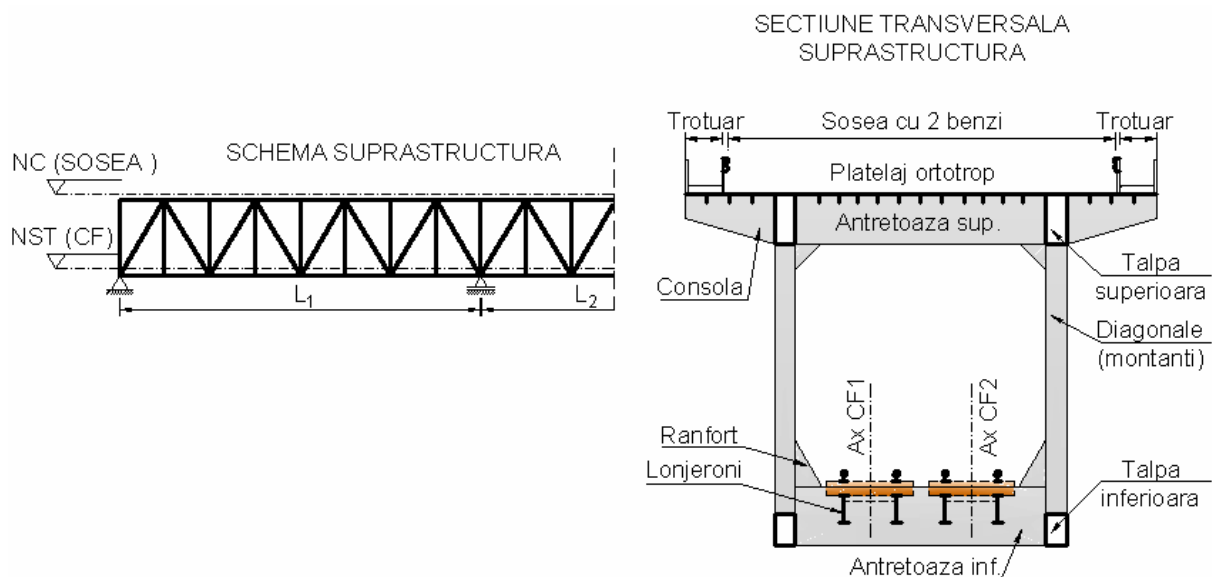
În cazul combinării totale infrastructura și suprastructura podului sunt comune. Cele două căi de comunicație pot fi juxtapuse (dispuse una lângă cealaltă) sau suprapuse (la niveluri diferite). Dispunerea alăturată a celor două căi de comunicație (Fig. 6.2) reduce costurile totale ale podului. Amplasarea căilor la cote de nivel diferite (prin suprapunere) permite realizarea unor elemente de infrastructură cu lățimi mai reduse și printr-o dimensionare judicioasă a suprastructurii, chiar reduceri semnificative de cost și în ceea ce privește realizarea infrastructurii (Fig. 6.3).

În general, în cazul podurilor combinate cu căi suprapuse șoseaua se dispune la partea superioară (Fig. 6.3), deoarece încărcările vehiculelor au valori mai mici și pot fi susținute în consolă (în exteriorul structurii).

Cele mai multe poduri combinate au fost executate utilizând ca structură de rezistență grinzi cu zăbrele, întrucât acest sistem constructiv oferă, cu consum minim de material, capacitate portantă suficientă pentru preluarea încărcărilor cu valori mari.



**Fig. 6.2 Podul peste Dunăre la Cernavodă.
Pod cu combinare totală și căi juxtapuse**



**Fig. 6.3 Podul peste Ecluză la Cernavodă.
Pod cu combinare totală și căi suprapuse**

Există însă la nivel mondial și structuri de poduri combinate realizate utilizând alte sisteme constructive.

În figura 6.4 este prezentat podul pe arce Fehmarnsund din Germania, care este un pod cu combinare totală cu căi juxtapuse. Podul, care este realizat în soluția cu platelaj ortotrop, susține o șosea cu 2 benzi de circulație și o linie de cale ferată, are o deschidere (L) de 248.40 m și o săgeată (f) de 43.00 m. Arcele sunt înclinate, la fel și planurile unde sunt plasați tiranții.

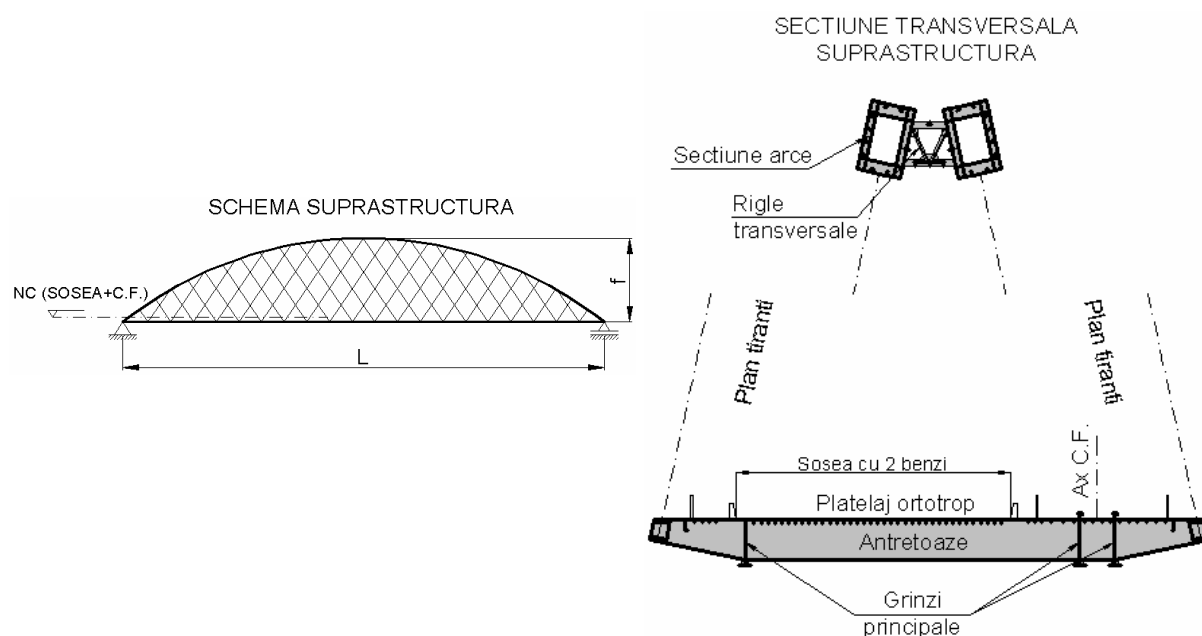


Fig. 6.4 Podul Fehmarnsund din Germania. Pod pe arce cu combinare totală și căi juxtapuse

Printr-o proiectare corectă, chiar structuri foarte flexibile cum sunt podurile suspendate pot susține două tipuri de căi de comunicație. În figurile 6.5, 6.6 și 6.7 este prezentat podul suspendat combinat Minami Bisan-seto de pe ruta Kojima-Sakaide din Japonia, cu căi suprapuse, șoseaua fiind dispusă la partea superioară și căile ferate la partea inferioară. Șoseaua este susținută de un platelaj ortotrop, iar la nivelul căilor ferate există lonjeroni rigidizați cu sisteme de contravântuire.

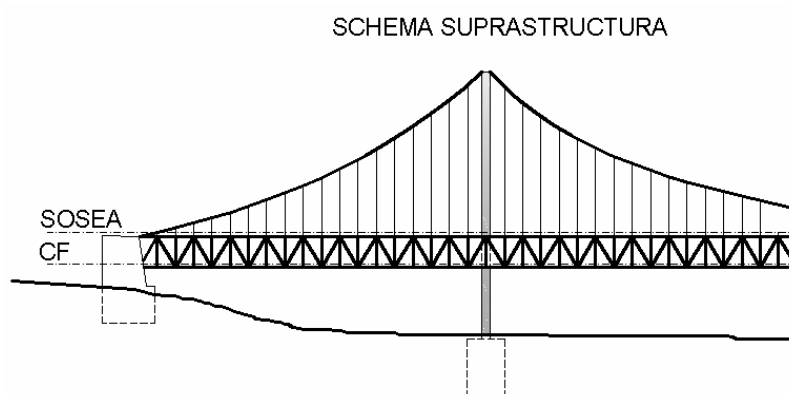


Fig. 6.5 Elevație a podului suspendat combinat Minami Bisan-seto

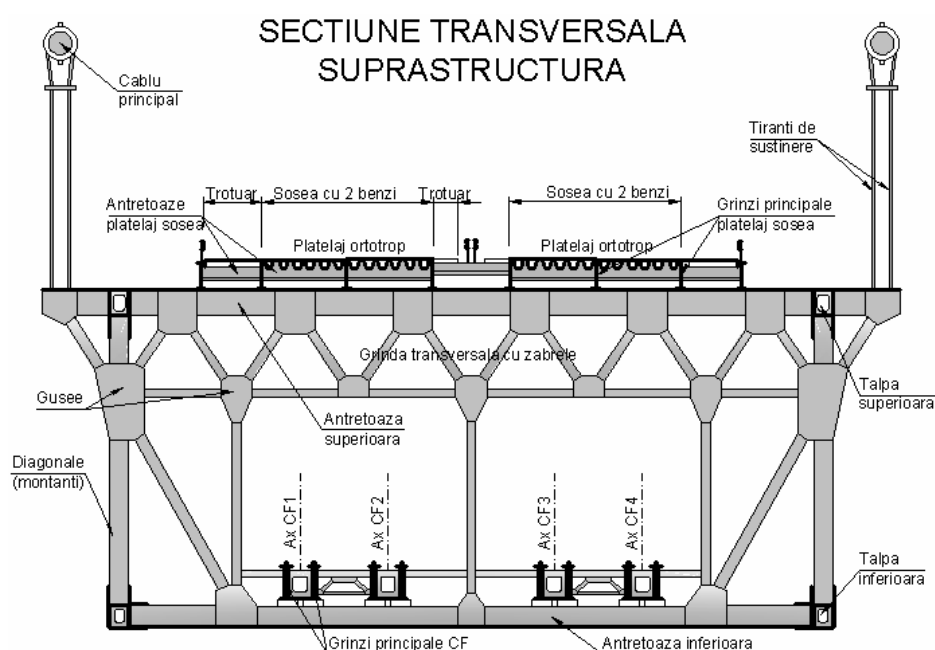


Fig. 6.6 Secțiune transversală a podului suspendat combinat Minami Bisan-seto



Fig. 6.7 Podul suspendat combinat Minami Bisan-seto de pe ruta Kojima-Sakaide, Japonia

Podurile combinate prezintă o serie de *avantaje* legate atât de modul de amplasare al celor două căi cât și de costurile legate de execuție, dar și o serie de *dezavantaje* determinate mai ales de aducerea la cotele de nivel dorite ale celor două căi de comunicație.

Avantajele podurilor combinate sunt:

- în ceea ce privește amplasamentul, avantajele sunt evidente mai ales în cazul traversării cursurilor de apă, deoarece se vor realiza o singură dată lucrări hidrotehnice, precum și lucrări de protecție și consolidare a malurilor;
- economii semnificative se realizează și în cazul lucrărilor la elementele de infrastructură, realizându-se numai câte un rând de pile și culee, eliminându-se de asemenea dificultățile de realizare a formelor speciale ale pilelor (se realizează o singură dată la pile arierbec și avantbec, respectiv la culee aripi sau sferturi de con);

-
- se reduc de asemenea costurile legate de fundații, întrucât este știut faptul că execuția fundațiilor pentru două poduri separate este mult mai costisitoare prin comparație cu realizarea lucrărilor numai o singură dată în cazul unui pod combinat.

Dezavantajele podurilor combinate sunt legate de necesitatea realizării unor rampe de acces cu dimensiuni mari ceea ce conduce la ramblee înalte, lucrări de sprijinire mari sau la realizarea unor viaducte de acces costisitoare;

6.2 PASAJE ȘI PODURI DE ÎNCRUCIȘARE

Pasajele și podurile de încrucișare asigură continuitatea unei căi de comunicație în zona de intersecție cu o altă cale de comunicație pe care o traversează denivelat. În cazul în care căile de comunicație sunt diferite podul se numește *pasaj*. Denumirea pasajului este dată de *poziția drumului* astfel că, dacă drumul se găsește la partea superioară avem de-a face cu un *pasaj superior* (Fig. 6.8), în sens contrar podul numindu-se *pasaj inferior* (Fig. 6.9).

În situația în care cele două căi de comunicație care se intersectează sunt de același fel podurile poartă denumirea de *poduri de încrucișare*. Lucrări de acest tip se realizează de regulă în cazul construcției de autostrăzi unde intersecția celor două drumuri este foarte frecventă.

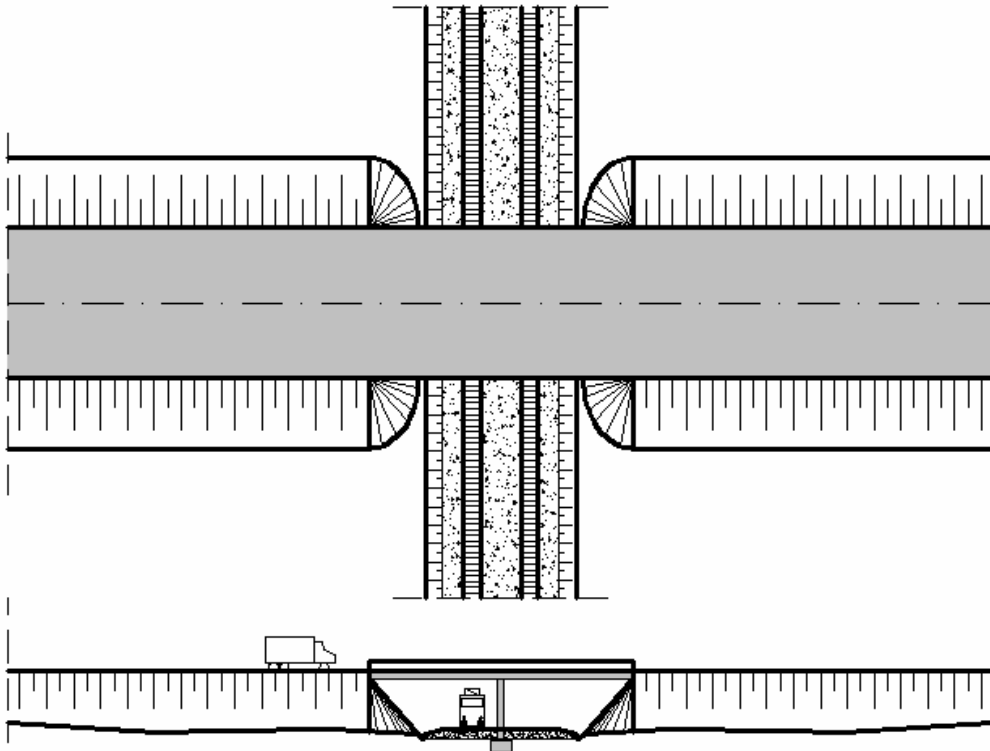


Fig. 6.8 Vedere în plan și în elevație a unui pasaj superior

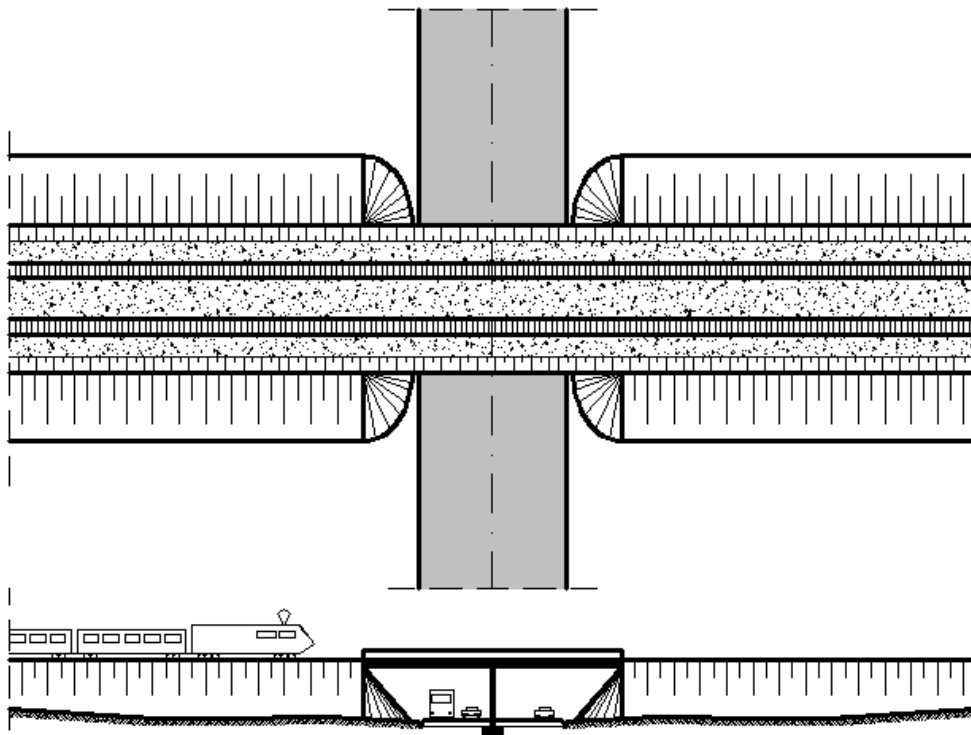


Fig. 6.9 Vedere în plan și în elevație a unui pasaj inferior

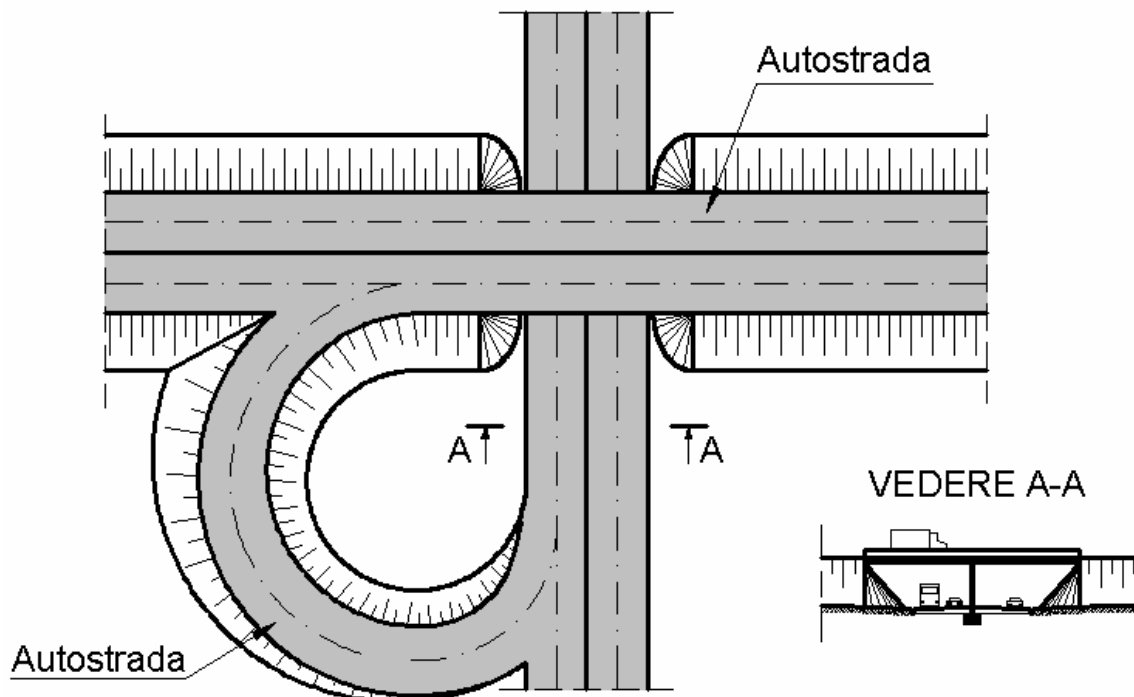


Fig. 6.10 Pod de încrucișare și exemplu de racordare cu buclă de acces

În astfel de cazuri pentru accesul de pe un drum pe celălalt se realizează bucle de racordare (Fig. 6.10). Pentru a realiza astfel de bucle de racordare trebuie să se dispună de spațiul necesar, lucru realizabil prin exproprierii de terenuri etc.

6.3 PODURI AUXILIARE (PROVIZORII)

Aceste poduri servesc construcției unor poduri definitive și au un caracter provizoriu întrucât durata lor de existență este legată strict de perioada de construcție sau de refacere (în cazul unor avarii) a podului definitiv.

Podurile provizorii sunt de mai multe tipuri și anume:

- *eșafodaje și palei* (Fig. 6.11), realizate de regulă din lemn, sunt necesare pentru execuția peste obstacole a unor poduri definitive din metal sau beton;

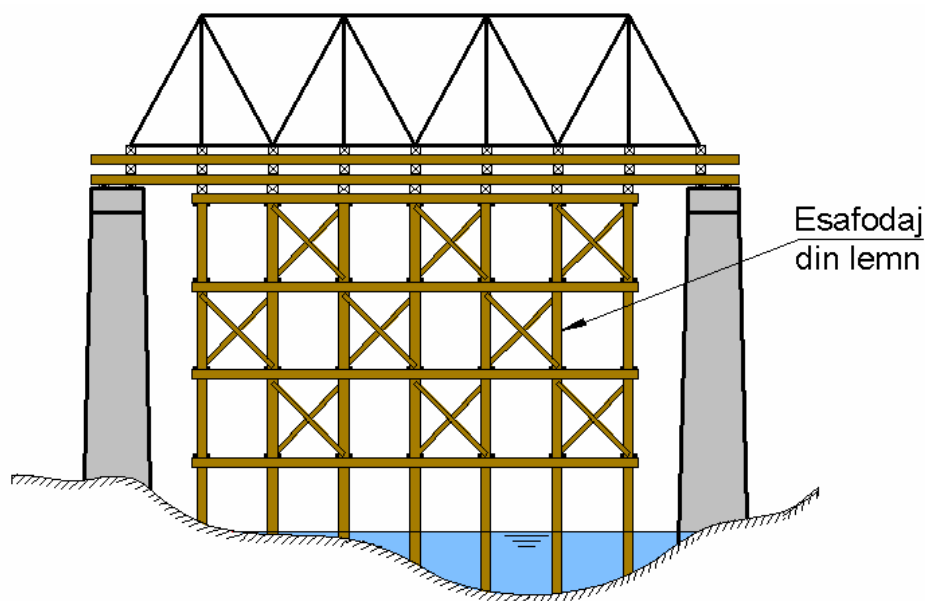


Fig. 6.11 Eșafodaj din lemn

- *cintre* (Fig. 6.12) executate în trecut din lemn și în prezent din elemente metalice de inventar, care servesc la executarea podurilor cu arce din beton armat.

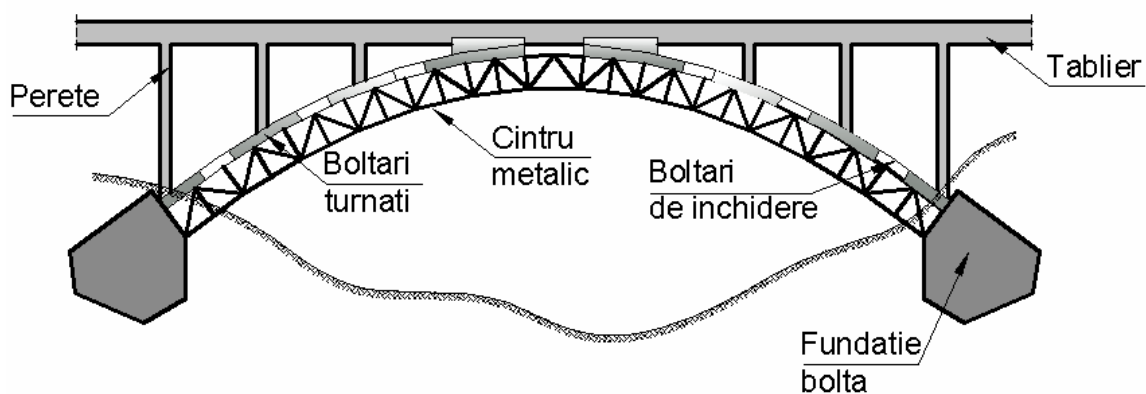


Fig. 6.12 Cintru flexibil metalic

Cintrele se pot executa ca fiind nedeformabile pe verticală, caz în care se numesc *cintre rigide*, și este necesar un număr mare de sprijiniri

intermediare. În cazul în care nu există sprijiniri intermediare sau dacă numărul acestora este mic, cintrele au deformații mari în timpul turnării elementelor din beton și poartă denumirea de *cintre flexibile*. În prezent tendința este de a utiliza cintre metalice, ușoare, care prezintă avantaje legate de transport, manipulare și timpul de montaj.

6.4 PODURI PIETONALE (PASERELE)

Podurile care deservește numai circulația pietonilor se numesc *paserele*. Construcția acestora este necesară acolo unde fluxul circulației pietonilor intersectează căi de comunicație a căror circulație nu poate fi întreruptă (căi ferate, drumuri cu trafic auto intens) sau în zone de agrement unde există mari aglomerări de oameni.

Paserelele sunt în general poduri ale căror elemente structurale au dimensiuni mult mai mici decât cele ale podurilor de șosea sau de cale ferată, întrucât încărcările verticale fiind produse doar de oameni, au valori mult inferioare celor produse de vehiculele feroviare sau rutiere.

În funcție de amplasament, spațiul liber ce trebuie asigurat sub paserele implică de multe ori realizarea unor deschideri mari și în aceste cazuri rigiditatea de ansamblu a structurii devine importantă, mai ales în cazul efectelor dinamice produse de acțiunea vântului.

Întrucât sunt construite de cele mai multe ori în zone intens circulate, aceste poduri trebuie să aibă un aspect estetic plăcut și să aibă un impact minim asupra mediului înconjurător. Din acest punct de vedere soluțiile oferite de structurile din oțel, beton sau compuse oțel-beton reprezintă variante de proiectare bune, de luat în considerare.

Ca orice alt pod, paserelele trebuie să aibă o deschidere suficient de mare pentru traversarea obstacolului peste care au fost construite și de asemenea să permită realizarea unui spațiu liber sub pod în așa fel încât să nu fie perturbată

eventuala circulație a altor vehicule pe dedesubt. Totuși accesul pe podurile pietonale nu implică studii la fel de amănunțite ca în cazul podurilor de șosea sau de cale ferată, unde trebuie respectate anumite raze de racordare în plan orizontal și vertical și anumite declivități.

În general accesul pe paserele se face prin intermediul unor scări sau rampe care să permită accesul și persoanelor cu handicap. Din acest punct de vedere accesele trebuie să respecte anumite alcătuirii, dispuneri în raport cu podul și bineînțeles anumite dimensiuni.

Lățimea paserelelor se stabilește în faza de proiectare în așa fel încât circulația pietonilor să se facă în ambele sensuri fără a fi stânjenită. Există situații în care pe aceste poduri sunt amplasate și piste pentru cicliști, cazuri în care lățimea suprastructurii paserelelor trebuie să fie mai mare.

Pentru protecția pietonilor care circulă pe paserele, ca și în cazul celorlalte tipuri de poduri, se prevăd parapete, iar în cazul în care obstacolul traversat este o cale ferată, înălțimea parapetelor este semnificativ mai mare și suplimentar sunt prevăzute și panouri de protecție.

În figura 6.13 sunt prezentate câteva tipuri de accese pe poduri pietonale (paserele), iar în figura 6.14 câteva dintre sistemele structurale utilizate.

Se poate observa că aceleași sisteme structurale utilizate în cazul podurilor rutiere și feroviare (poduri în cadru, cu arce sau cu cabluri) se utilizează și în cazul paserelelor.

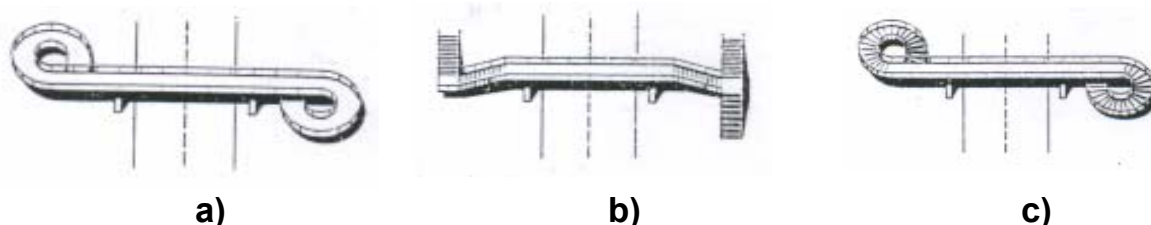


Fig. 6.13 Tipuri de accese pe podurile pietonale [33]
 a) Rampe de acces circulare
 b) Scări amplasate lateral
 c) Scări circulare



Fig. 6.14 Sisteme structurale utilizate pentru poduri pietonale [33]

În figura 6.15 este prezentat podul pentru pietoni Gateshead Millenium Bridge din Londra, iar în figura 6.16 Sundial Bridge din Sacramento, California, cu o lungime de aproximativ 280 m.



Fig. 6.15 Gateshead Millenium Bridge



Fig. 6.16 Sundial Bridge

Un exemplu de utilizare a podurilor pietonale (paserelor) în zone urbane cu trafic intens este cel prezentat în figura 6.17, paserela Les Glories din Barcelona. Podul finalizat în anul 1976 reprezintă o soluție inginerescă deosebită, având un singur pilon central de care sunt ancorate cabluri (hobane) ce susțin tablierul care se bifurcă, asigurând accesul pietonilor către diferite zone, după traversarea drumurilor cu trafic foarte intens.

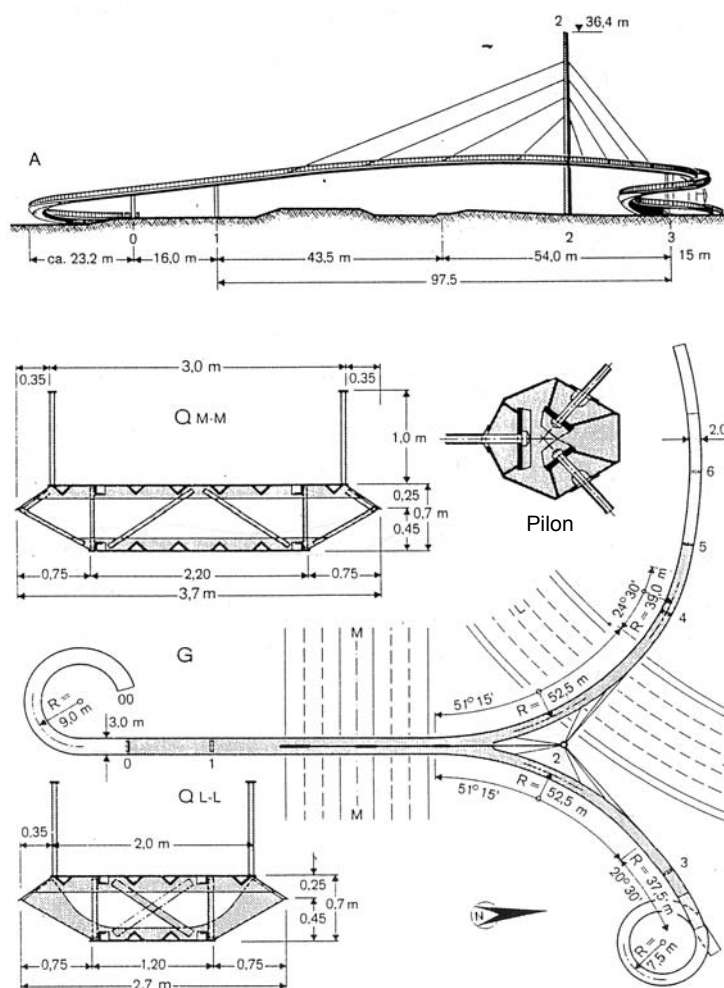


Fig. 6.17 Paserela Les Glories în Barcelona, Spania [33]

6.5 PODURI MOBILE

În zonele plate, cu înălțimi reduse ale terenului, construirea podurilor rutiere și de cale ferată care traversează cursuri de apă implică realizarea unor lucrări auxiliare importante, în special lucrări de terasamente. Pentru poduri amplasate pe autostrăzi unde declivitățile în sens longitudinal sunt limitate de regulă la maximum 4% sunt necesare terasamente cu lungimi de 750 m de fiecare parte a obstacolului traversat pentru a asigura o deschidere de numai 30 m. Dacă valorile pantelor longitudinale sunt și mai mici evident vor exista lungimi de racordare cu podul construit mai mari.

Atât în cazul podurilor construite peste alte căi de comunicație, dar în special al celor peste cursuri de apă navigabile, trebuie asigurat gabaritul de liberă trecere pe sub pod, lucru ce are implicații directe asupra stabilirii înălțimii de construcție și deci a soluției de proiectare.

O alternativă la aceste probleme o reprezintă *podurile mobile*, care pot fi menținute în poziția ce asigură traversarea obstacolului și făcute să se deschidă prin diverse soluții (ridicare, rotire, basculare) astfel încât să permită circulația pe cealaltă cale de comunicație pe care o traversează. Un prim *avantaj* al acestor poduri mobile este cel al costurilor care sunt mult reduse față de cele ale unui pod fix obișnuit cu înălțimi mari ale infrastructurilor sau față de realizarea unei subtraversări printr-un tunel. În special în țările de jos, cu cote ale terenului scăzute, execuția unui pod cu infrastructuri înalte ar deranja din punct de vedere estetic.

Dezavantajele podurilor mobile sunt legate de întârzierile produse în circulația pe cele două căi de comunicație (cea susținută de pod respectiv cea traversată) datorată operației de schimbare a poziției structurii, dar și costurilor de întreținere ale sistemului care asigură mobilitatea structurii.

În situația în care căile de comunicație care se intersectează au un trafic intens și deci dacă întârzierile sunt importante, desigur nu se recomandă realizarea podurilor mobile indiferent cât de costisitoare ar fi soluțiile legate de realizarea unor structuri obișnuite. Numeroase poduri mobile au fost realizate și sunt în serviciu în țări ca Olanda, Marea Britanie și Rusia (în special în orașul Sankt Petersburg).

Proiectarea și execuția podurilor mobile reprezintă subiecte de strictă specialitate care nu pot fi decât pe scurt prezentate aici. Podurile mobile moderne sunt în general de trei tipuri: poduri basculante, poduri rotitoare și poduri ridicătoare.

6.5.1 Poduri basculante

Podurile basculante constau din unul sau două brațe care fie pivotează în jurul unei axe orizontale situată pe culee (Fig. 6.18a și b), fie se ridică rotindu-se în plan vertical pe o cale dispusă în spatele culeelor (Fig. 6.19). Dacă aceste poduri sunt amplasate pe căi de comunicație principale, cu încărcări mari transmise de vehicule, în mod uzual ele se realizează cu un singur braț, structura comportându-se când este închisă ca o grindă simplu rezemată, rezemând la ambele capete pe culee. În cazul în care sunt realizate cu două brațe, dimensiunile acestor poduri devin mai mari, deoarece fiecare braț se comportă ca o consolă ce reazemă la un capăt pe o culee iar la celălalt pe dispozitivul de legătură dintre brațe care nu poate fi considerat un reazem rigid.

Principalul *avantaj* al podurilor basculante este eficiența cu care acestea operează, putându-se ridica și coborî repede, iar în cazul trecerii unor vehicule sau vase de mici dimensiuni pe căile de comunicație traversate, nu necesită o ridicare totală.

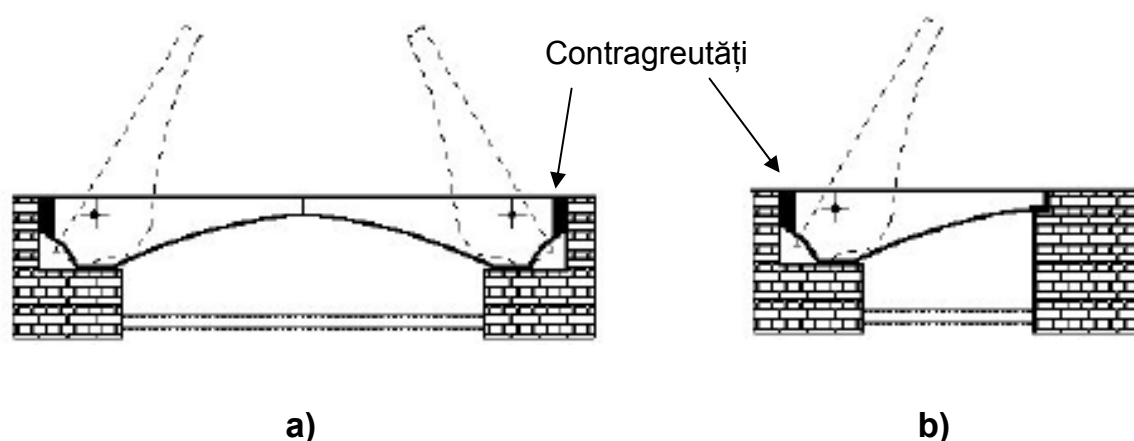


Fig. 6.18 Poduri mobile basculante cu axă de pivotare [7]

- a) Cu două brațe
- b) Cu un singur braț

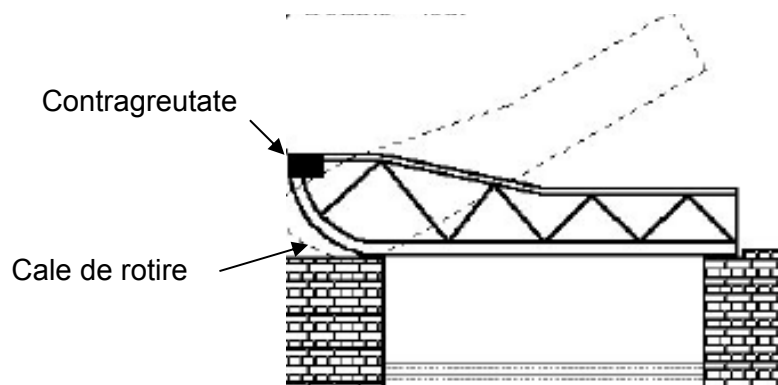


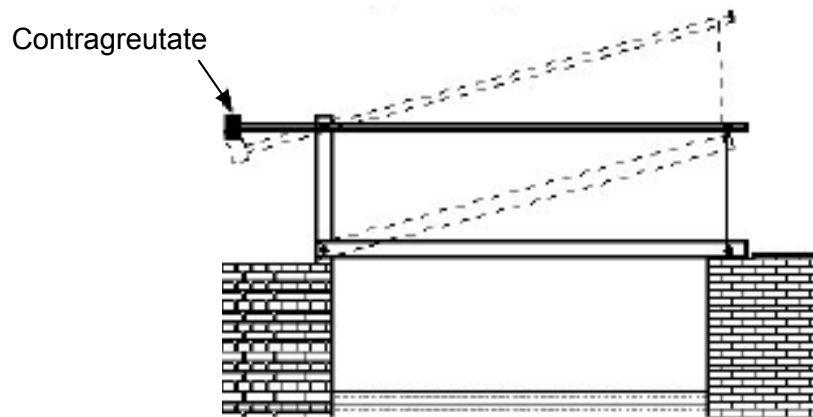
Fig. 6.19 Pod mobil basculant cu cale de rotire [7]

Principalul *dezavantaj* al podurilor basculante de tipul celor prezentate în figura 6.18a și b este acela că greutatea proprie a brațului trebuie contrabalansată printr-o contragreutate semnificativă pentru a reduce solicitările dispozitivului de ridicare, atunci când se execută operațiile de deschidere și de închidere a podului. Culeele trebuie să fie adâncite în zona de rotire a brațului pentru a permite o rotire suficientă. Acest inconvenient poate fi însă înlăturat prin realizarea sistemului din figura 6.20 în care contragreutățile sunt montate la capetele unor brațe ce susțin podul propriuzis.

De asemenea în cazul unor condiții meteo defavorabile cu vânt puternic sau depuneri de zăpadă, solicitările secționale în brațe vor crește semnificativ. Dispozitivele de ridicare trebuie să aibă sisteme de siguranță și de frânare pentru a preîntâmpina eventuale accidente determinate de prăbușirea brațelor.

Nu este recomandabilă utilizarea podurilor mobile în cazul podurilor oblice (când axele celor două căi de comunicație nu se intersectează la un unghi de 90°), deoarece brațele ar putea avea dimensiuni diferite, ceea ce ar conduce la dezechilibrarea structurii în timpul schimbării poziției.

În figurile 6.21 și 6.22 sunt prezentate două tipuri de poduri basculante în serviciu, primul având sistemul din figura 6.20, iar cel de-al doilea sistemul din figura 6.18.



**Fig. 6.20 Pod mobil basculant cu braț de susținere [7]
(pod basculant de tip olandez)**



Fig. 6.21



Fig. 6.22

6.5.2 Poduri rotitoare

Podurile rotitoare (Fig. 6.23) pivotează în jurul unei axe verticale aliniindu-se cu axul căii de comunicație traversate (de cele mai multe ori o cale navigabilă), asigurând circulația liberă a vaselor. *Avantajul* principal al acestui tip de pod mobil este că necesită cel mai redus consum auxiliar de energie dintre toate tipurile de poduri mobile.

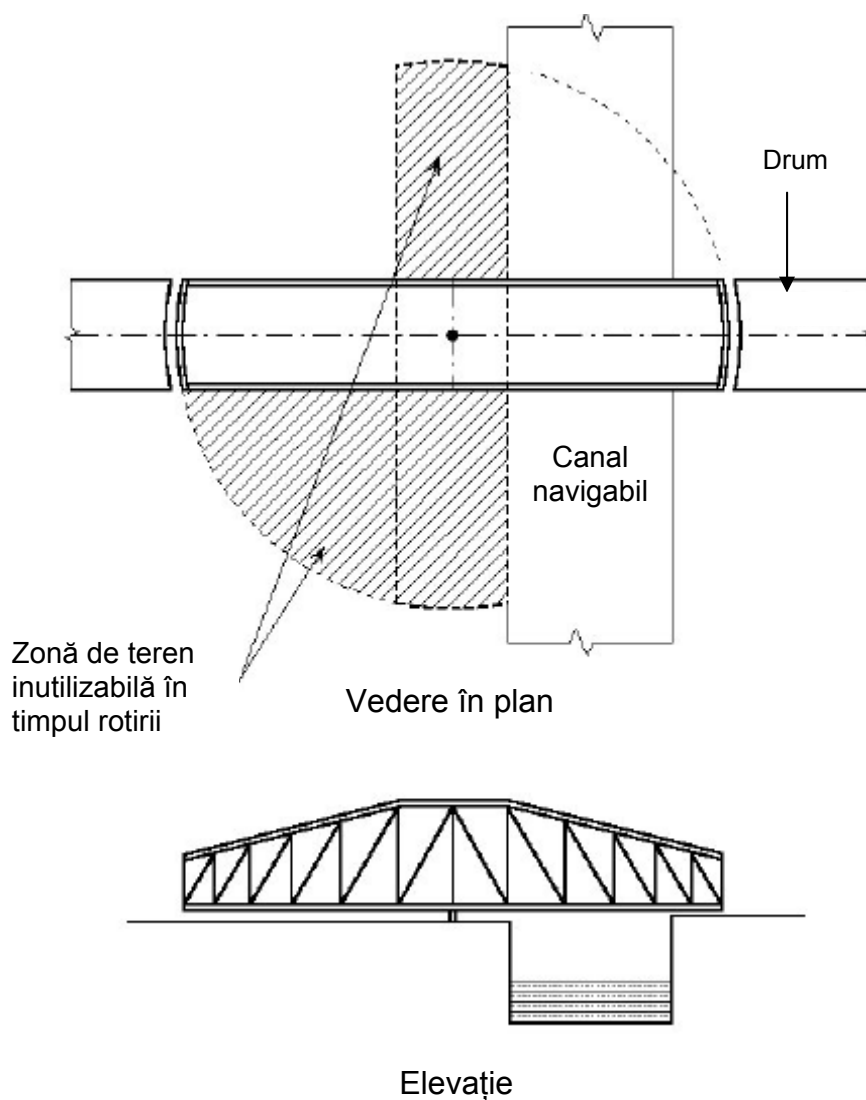


Figura 6.23 Exemplu de pod rotitor [7]

Dacă podul este simetric sunt practic eliminate efectele defavorabile ale vântului și depunerilor de zăpadă, deoarece acestea se echilibrează între cele două brațe în consolă ale structurii.

Din punct de vedere structural și al transmiterii încărcărilor un pod rotitor este eficient putând fi realizat în soluție cu grinzi cu inimă plină sau grinzi cu zăbrele (Fig. 6.23) care stau în consolă de fiecare parte a pilei în jurul căreia se produce pivotarea în timpul mișcării, dar care reazemă pe două culee formând o grindă continuă cu două deschideri atunci când podul este în poziția

de a asigura continuitatea căii de comunicație pe care o susține. În cazul în care consolele sunt mari (în timpul rotirii) structura se poate proiecta ca un pod hobanat având un pilon central dezvoltat pe înălțime în axul în jurul căruia se produce rotirea.

Un avantaj al podurilor rotitoare este acela că pot fi utilizate și în cazul traversărilor oblice, în aceste cazuri micșorându-se lungimea arcului de cerc pe care se face rotirea.

Principalele *dezavantaje* ale podurilor rotitoare sunt durata mare de timp necesară pentru eliberarea gabaritului pe calea de comunicație intersectată și suprafața mare de teren, în plan, ce nu poate fi utilizată pe timpul rotirii (Fig. 6.23). De asemenea, când aceste poduri sunt utilizate peste canale navigabile și există un singur canal pe care se circulă cea de-a doua deschidere a podului aflat în poziție de circulație nu-și mai găsește utilitatea. Acest dezavantaj ar putea fi înlăturat realizând deschideri inegale și asigurând echilibrul prin contragreutăți de partea deschiderii mai mici, însă în acest caz toate avantajele enumerate mai sus privind efectele vântului și ale zăpezii ar dispărea. O altă posibilitate ar fi aceea a realizării podului în mijlocul căii navigabile de lățime mai mare pe care se circulă în ambele sensuri (Fig. 6.24).

Sistemul de rotire al acestor poduri poate fi realizat în diverse moduri fie prin dispozitive de rotire așezate pe suprafață solidă a pilei, fie prin introducerea axului de rotire într-un piston de dimensiuni mari care plutește pe un amestec de ulei și apă introdus în pilă. În acest caz pila este realizată sub forma unui recipient uriaș. În această ultimă situație se reduce mult energia necesară rotirii, întrucât frecările în lichid sunt mult diminuate.



Fig. 6.24 Pod rotitor amplasat în mijlocul unui canal navigabil

6.5.3 Poduri ridicătoare

În cazul *podurilor ridicătoare* structura de rezistență este ridicată pentru eliberarea gabaritului de circulație de dedesubt (Fig. 6.25) prin intermediul unor dispozitive plasate în turnuri la capetele podului. Aceste poduri sunt foarte eficiente deoarece, ca schemă statică, sunt grinzi simplu rezemate atât în poziția de circulație cât și pe toată durata mișcării.

Pot fi proiectate atât în soluție grinzi cu inimă plină, dar și ca grinzi cu zăbrele și neavând nici un element în consolă, pot acoperi deschideri mai mari fără consum excesiv de material.

Dezavantajul principal al podurilor ridicătoare este faptul că înălțimea liberă asigurată sub pod depinde direct de înălțimea turnurilor (fig. 6.25, 6.26) de la capete unde se găsesc dispozitivele de ridicare. Dimensionarea

contragreutăților trebuie făcută luând în considerare încărcări adiționale produse de zăpada depusă pe structură.

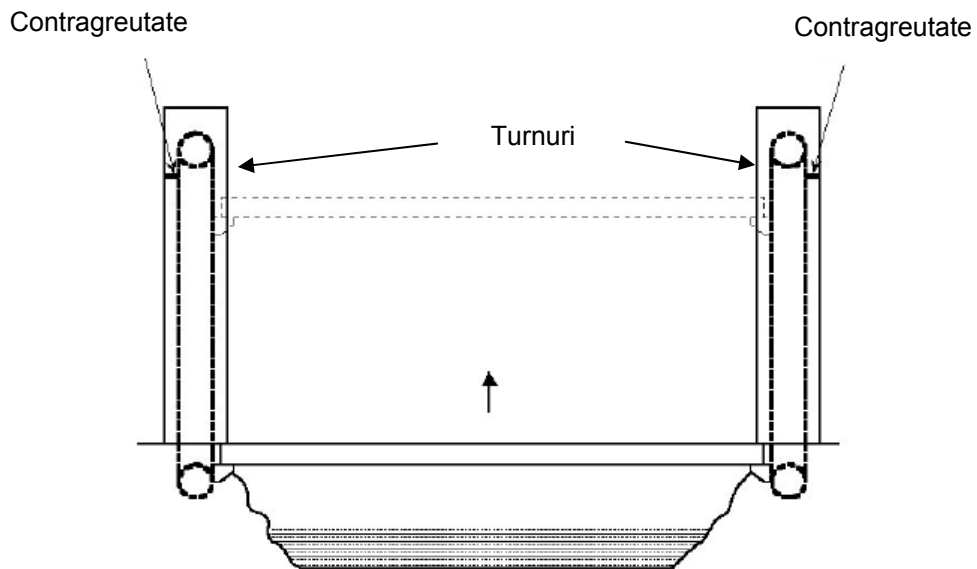


Fig. 6.25 Pod ridicător [7]



Fig. 6.26 Pod ridicător peste un canal navigabil

6.5.4 Alte tipuri de poduri mobile

Alte tipuri de poduri mobile ce au fost utilizate în trecut și ocazional sunt utilizate încă sunt:

- *poduri plutitoare* (fig. 6.27) care sunt realizate pe pontoane ce pot fi scufundate sub nivelul apei pentru a permite trecerea vaselor ;



Fig. 6.27 Pod plutitor

- *poduri de transport* (Fig. 6.28), realizate dintr-un cadru de susținere, de care este agățat printr-un sistem de cabluri podul propriuzis, realizat sub forma unei platforme pe care pot fi transportate vehicule. Podul propriuzis avansează peste obstacolul traversat cu ajutorul unui sistem de trolii;



Fig. 6.28 Pod de transport

- *poduri retractabile* (Fig. 6.29), a căror structură poate culisa în lungul axului podului eliberând gabaritul de navigație.



Fig. 6.29 Pod retractabil

6.6 PODURI PENTRU UTILITĂȚI

În general, podurile definitive rutiere sau de cale ferată asigură pe lângă funcționalitatea căii de comunicație deservite și transportul unor utilități cum sunt conductele de gaz sau de apă, cablurile electrice sau de telefonie. Aceste elemente sunt de regulă agățate prin dispozitive speciale de structura de rezistență a podurilor.

Există însă și structuri de rezistență ale unor poduri destinate numai asigurării continuității peste obstacole a unor rețele de conducte sau de cabluri. Aceste poduri sunt numite *poduri pentru utilități* și pot fi realizate în oricare dintre soluțiile constructive prezentate anterior, dar cu anumite particularități. Încărcările suportate de aceste poduri sunt considerabil mai mici decât cele caracteristice podurilor rutiere sau feroviare, însă anumite probleme de proiectare, prezente în special în cazul podurilor pietonale, pot apărea și aici (în special probleme de stabilitate la vânt când sunt realizate în soluții cu cabluri).

Structura de rezistență a podurilor pentru utilități se realizează sub forma unor grinzi cu zăbrele alcătuite din elemente tubulare (Fig. 6.30). Această alcătuire prezintă avantajul că țevile au atât rol portant, iar tălpile unei astfel de grinzi pot asigura transportul apei sau al gazului la interior. Pentru a asigura preluarea sarcinilor orizontale generate în special de acțiunea vântului, între diagonalele grinzii cu zăbrele, în plan orizontal, se prevăd diafragme.

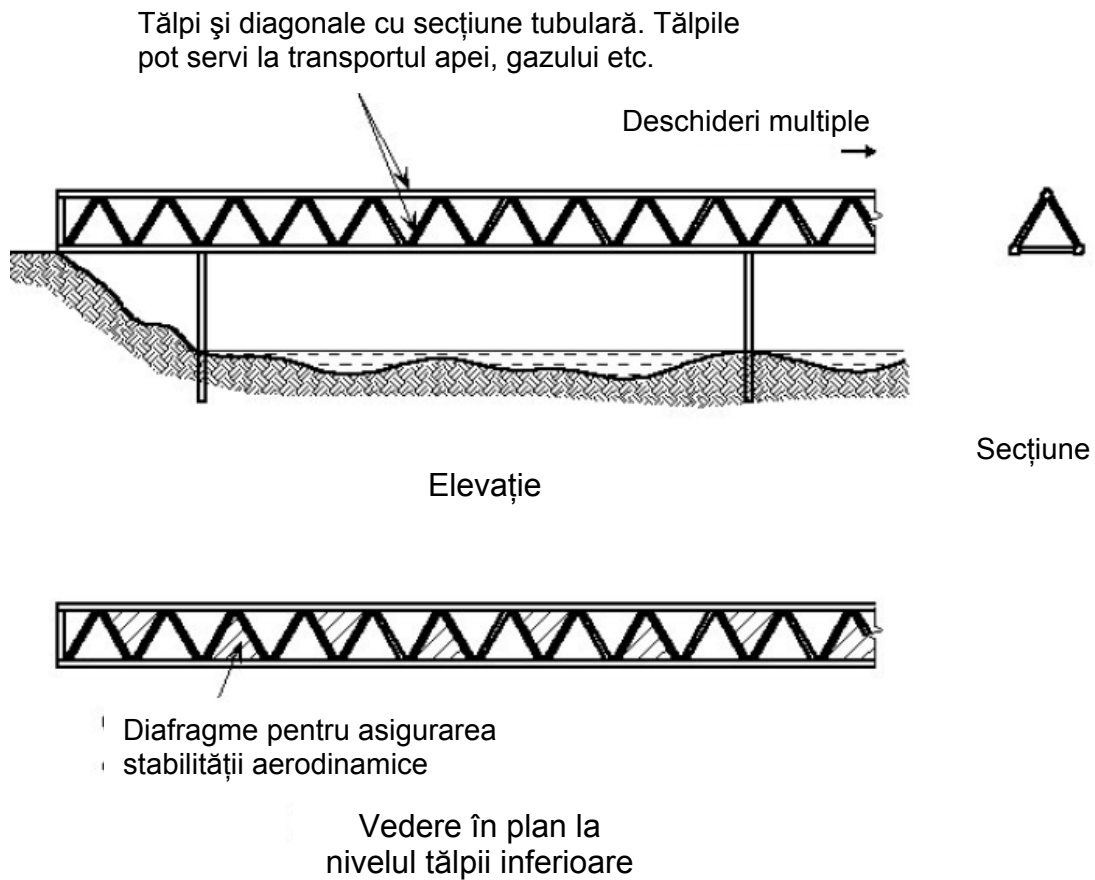


Fig. 6.30 Pod pentru utilități realizat în soluție grinzi cu zăbrele din profile tubulare [7]

Structurile cu cabluri (Fig. 6.31, 6.32) pot fi de asemenea utilizate în cazul podurilor pentru utilități care transportă pe distanțe mari cabluri electrice sau conducte, ce nu-și pot prelua singure greutatea proprie. Rolul suprastructurii podului sau al grinzii de rigidizare este îndeplinit în astfel de cazuri chiar de cablul electric sau de conducta a căror continuitate peste obstacol este asigurată.

În cazul realizării podurilor pentru utilități în soluția cu cabluri, principalul inconvenient la proiectare este legat de valorile foarte mici ale încărcărilor permanente, ceea ce face structura foarte flexibilă atât în plan vertical, dar mai ales orizontal și din acest motiv foarte expusă acțiunii vântului. În astfel de situații o soluție este introducerea unor cabluri suplimentare de-o parte și de

cealaltă a axei podului, în plane înclinate și tensionate astfel încât să se producă întinderea cablului principal de susținere (Fig. 6.31). Realizate în această soluție structurile de rezistență devin foarte avantajoase, fiind foarte ușoare, mai ales din punct de vedere al transportului și manipulării în zone greu accesibile.

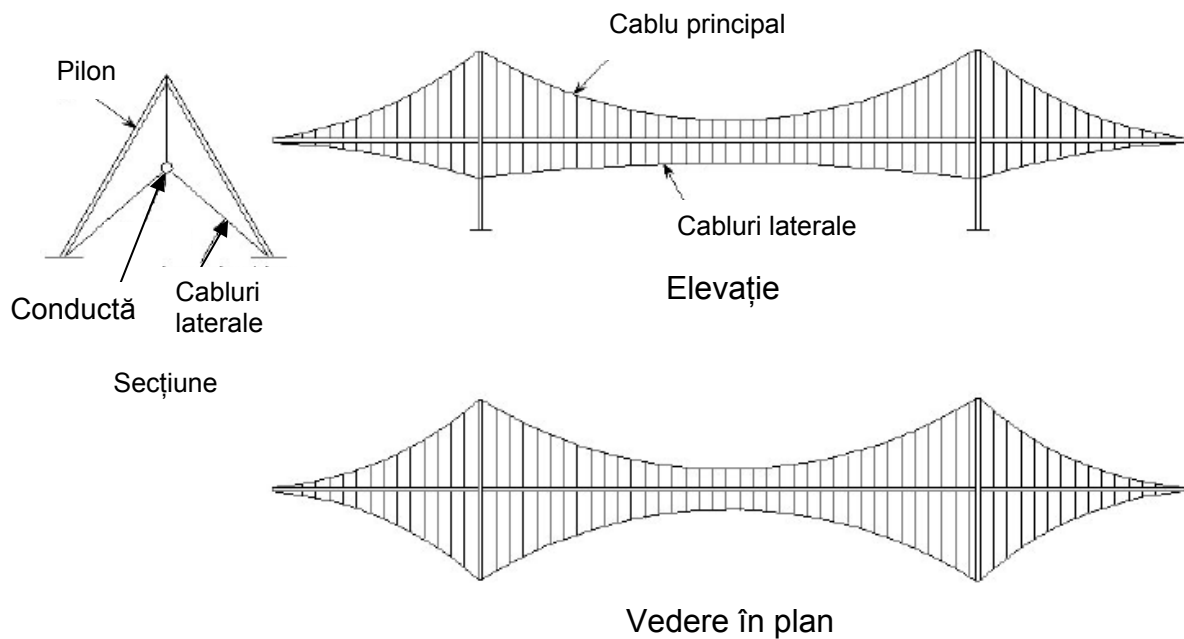


Fig. 6.31 Pod pentru utilități realizat ca pod suspendat [7]

CAPITOLUL 7

AMPLASAMENTUL PODURILOR

În faza de proiectare a unui pod trebuie realizate o serie de studii, premergătoare proiectării, în vederea stabilirii soluției finale. Aceste studii se pot grupa astfel:

- studii de teren;
- studii legate de prescripțiile de proiectare în vigoare.

În prima categorie sunt incluse *studiile topografice*, *studiile geotehnice* care oferă informații importante despre natura terenului de fundare și servesc la alegerea soluției de fundare adecvate, precum și *studiile hidrologice* în vederea stabilirii debitelor de calcul și verificare, utilizate pentru calculele hidraulice, în cazul traversării cursurilor de apă. Rezultatele acestor studii sunt importante pentru stabilirea numărului de deschideri ale podului, valorii deschiderilor și a cotelor de nivel ale suprastructurii și căii pe pod.

Conform prescripțiilor de proiectare în vigoare se stabilesc dimensiunile geometrice ale elementelor structurale componente ale podului în scopul îndeplinirii cerințelor legate de gabaritele de liberă trecere, de asigurarea transportului și montajului, de tehnologiile de uzinare ale subansamblurilor și de execuție ale îmbinărilor între elementele componente, precum și tipurile de încărcări exterioare la care podul va fi expus pe perioada de exploatare.

7.1 GENERALITĂȚI

Alegerea amplasamentului unui pod se face înaintea etapelor de proiectare pe baza studiului traseului căii de comunicație pe care podul o deservește. Așa cum se preciza în capitolele precedente, podul trebuie să asigure atât continuitatea căii de comunicație pe care o susține, cât și continuitatea obstacolului traversat. De aceea trebuie să existe o corelare între datele referitoare la alegerea traseului căii de comunicație și cele legate de amplasamentul viitorului pod.

În cazul obstacolelor de dimensiuni mici, care implică realizarea unor *podete* (deschiderea este mai mică de 5 m) sau a unor *poduri mici și mijlocii* (deschiderea este cuprinsă între 10-50 m), amplasamentul lucrării de artă se stabilește odată cu stabilirea traseului căii de comunicație. În aceste situații, amplasamentul lucrării de artă este subordonat traseului căii de comunicație proiectate.

În cazul podurilor importante ce traversează văi accidentate, ape curgătoare sau alte căi de comunicație, de cele mai multe ori amplasamentul podului fixează și traseul căii de comunicație pe care o susține, deoarece se presupune că amplasamentul ales pentru pod oferă cele mai bune condiții de traversare.

Studiile topografice (studii topo) oferă date importante privind morfologia terenului în zona unde urmează a fi amplasat podul. Cele mai dificile condiții de amplasament sunt în general legate de traversarea cursurilor de apă și în aceste cazuri studiile topografice urmăresc:

- stabilirea formei albiei în profil longitudinal și în profil transversal, utile pentru realizarea calculelor hidraulice;
- stabilirea zonelor locuite și a celor impropriei traversării (mlaștini, zone împădurite, proprietăți private);
- culegerea de date referitoare la eventuala existență în amonte sau în aval de podul proiectat a altor poduri, precum și a datelor legate de geometria acestor poduri (numărul și mărimea deschiderilor, forma infrastructurilor etc.) care pot influența podul proiectat. De asemenea, de mare importanță

În această fază de studiu sunt informațiile legate de existența în zona podului (în amonte sau în aval) a unor exploatare de materiale din albia râului, care în cazul modificărilor de debite pot influența nefast podul proiectat.

Pe baza studiilor topografice se întocmește *planul de situație* (scara 1:500-1:2000) în zona traversării, utilizat la stabilirea amplasamentului, la realizarea calculelor hidraulice și la proiectarea eventualelor lucrări pentru amenajarea cursului de apă în zona podului. Planul de situație se extinde de-a lungul cursului de apă pe o anumită lungime echivalentă cu câteva lățimi de albie minoră, în funcție de caracteristicile terenului din albie și de topografia acestuia.

Pentru fiecare variantă de amplasament studiată se întocmesc profile transversale prin albie, un profil prin axul traversării și minim câte două profile în aval și unul în amonte de pod. Distanța dintre aceste profile transversale este cuprinsă între 20 și 200 m, în funcție de configurația albiei și importanța podului.

Tot în cadrul studiilor topografice se realizează și un profil longitudinal al albiei pe linia talvegului, la scara 1:50/1:5-1:2000/1:200 pe lungimea din planul de situație. Acest profil va cuprinde și nivelul suprafeței libere a apei în momentul realizării ridicării topo, dar și nivelul maxim al apei rezultat din informații (discuții cu localnicii, informații de la institutele de hidrologie etc.).

Studiile geotehnice au drept scop stabilirea caracteristicilor terenului de fundare în amplasamentul podului. Aceste studii au la bază *foraje geotehnice, puțuri de vizitare și perforații* pe baza lor întocmindu-se *profile geotehnice* cu prezentarea stratificației terenului. Aceste studii servesc la stabilirea soluției de fundare, a nivelului afuierilor generale și locale și a eventualelor lucrări de consolidare și apărare a malurilor în zona podului, atunci când se traversează cursuri de apă.

Studiile hidrologice servesc la obținerea unor informații cu privire la:

- debitele de calcul și nivelurile corespunzătoare;
- date privind rugozitatea albiei;

-
- pantele suprafeței libere a apei corespunzătoare debitului de calcul, în vederea stabilirii nivelului apei în zona podului;
 - în cazul existenței atât a albiei majore, cât și a albiei minore, modul în care se repartizează debitele între cele două alpii;
 - identificarea elementelor necesare stabilirii gradului de stabilitate al albiei;
 - scurgerea apelor în regim de iarnă în vederea asigurării, după execuția podului, a condițiilor necesare scurgerii ghețurilor.

În vederea stabilirii amplasamentului podurilor ce traversează cursuri de apă trebuie să se țină seama și de următoarele elemente:

- traversarea să se facă pe cât posibil în zona rectilinie a cursului de apă și într-o zonă stabilă a albiei;
- traversarea să se facă în zona unde albia majoră are lățimea mai mică și maluri bine conturate;
- traversarea să se facă pe cât posibil perpendicular pe axul apei;
- evitarea amplasării podului în zona de confluență a apelor curgătoare, iar dacă acest lucru nu este posibil, podul se va amplasa în amonte de confluență.

7.2 CARACTERISTICI ALE CURSURILOR DE APĂ

În general, cursurile de apă sunt caracterizate în funcție de zona traversată, prin: *cursul superior*, *cursul mijlociu* sau *mediu* și *cursul inferior*.

Cursul superior este caracteristic zonelor de munte, unde terenul este accidentat, cu pante accentuate, iar vitezele de curgere se situează în jurul a 3-5 m/s. Albia râului este stabilă în aceste zone fiind săpată în general în rocă stâncoasă și nu există decât albie minoră (Fig. 7.1). Întrucât lățimea albiei nu este foarte mare, problemele de amplasament al podurilor pe cursul superior sunt legate în special de posibilitatea amplasării infrastructurilor pe terenul accidentat.

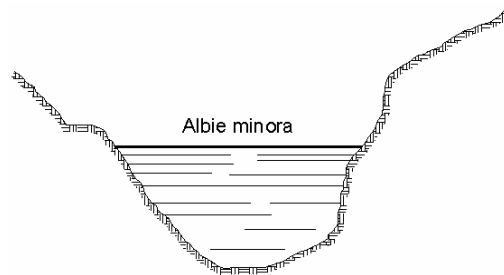


Fig. 7.1 Forma albiei pe cursul superior

Cursul mijlociu sau mediu este caracteristic zonelor de deal, cu teren mai puțin accidentat și pante mai dulci, vitezele de curgere fiind în jur de 2-3 m/s. Curgerea apei se realizează de regulă într-o albie minoră dacă debitul corespunde apelor mici, iar în cazul creșterilor de debite, curgerea se face și prin albia majoră (Fig. 7.2). Întrucât viteza apei este mai mică, depunerile de material aluvionar, în special în albia majoră, sunt semnificative și de aceea atât poziția talvegului, forma albiei majore, dar și poziția albiei minore în albia majoră se modifică continuu.

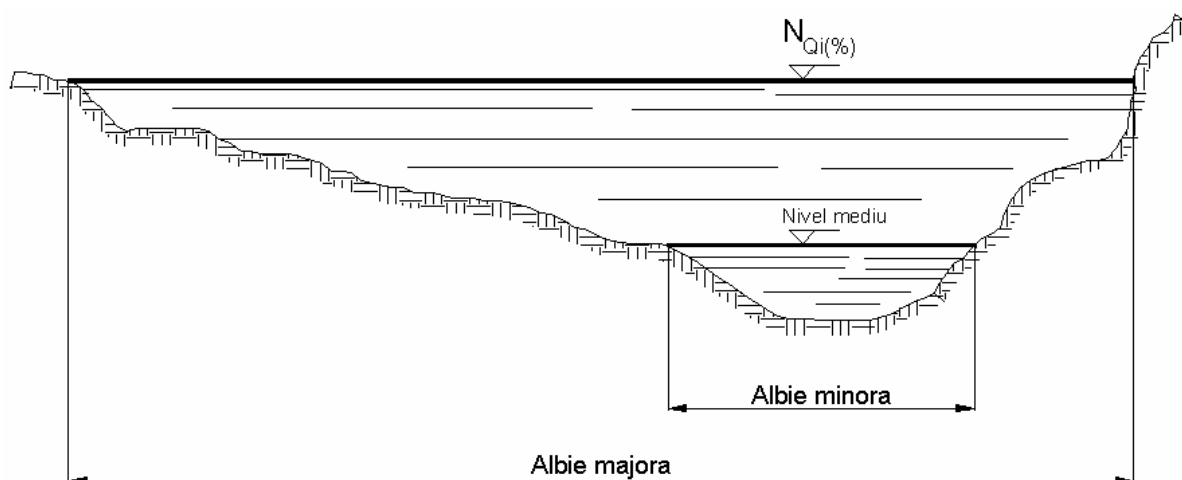


Fig. 7.2 Forma albiei pe cursul mijlociu

În aceste cazuri lungimea podului se stabilește prin calcule hidraulice din condiția de scurgere a debitului de calcul ($Q_{i\%}$) și asigurându-se înălțimea de liberă trecere sub pod h_l , (Capitolul 2, Fig. 2.1), dar trebuie să fie cel puțin egală cu lățimea albiei majore.

Apa poate produce depuneri de material în anumite zone și eroziuni în altele. În zonele cu depuneri poate crește vegetația, formându-se *ostroave*, care obturează secțiunea de scurgere și pot modifica semnificativ caracterul curgerii apei ducând la apariția unor curenți periculoși pentru podul construit. De asemenea, o lungime prea mică sau strict necesară a podului poate duce la realizarea unor *terasamente* în albia majoră (Fig. 7.3), care trebuie protejate împotriva acțiunii de eroziune a apei prin *lucrări de apărări* ale terasamentelor, respectiv prin realizarea unor lucrări în albie (praguri de fund, apărări de maluri și protecții ale infrastructurii podului).

Cursul inferior este caracterizat prin viteze reduse de curgere, aspect sinuos cu schimbări frecvente de direcție, depuneri reduse de material aluvionar și maluri drepte, verticale, relativ stabile. Pentru a evita amplasarea podului în zone dificile datorate sinuozității cursului de apă, prin rectificări ale albiei și lucrări corespunzătoare de regularizare se poate corecta traseul de curgere (Fig. 7.4).

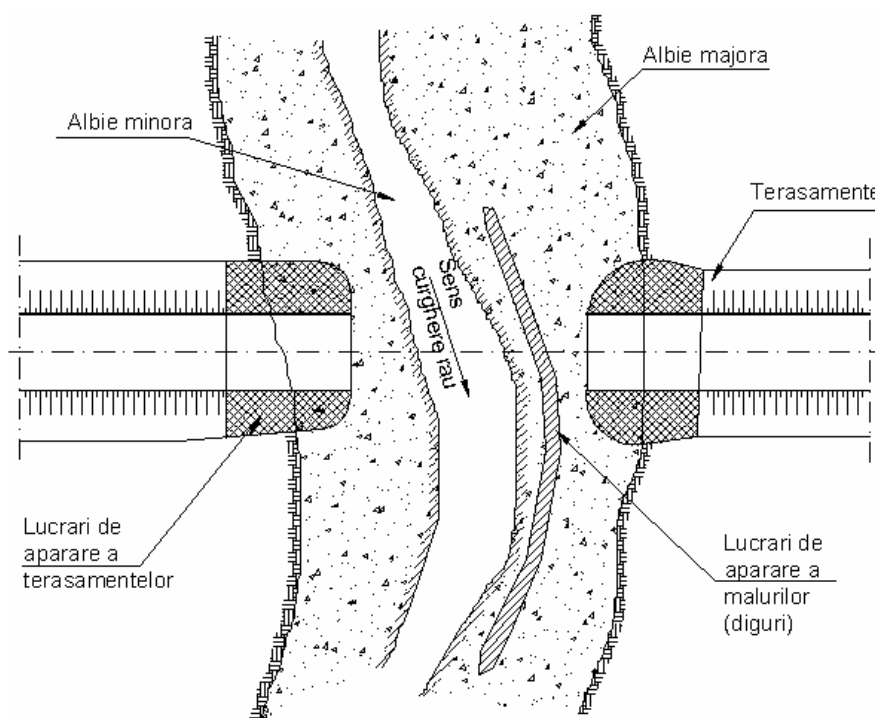


Fig. 7.3 Lucrări de protecție a terasamentelor și malurilor

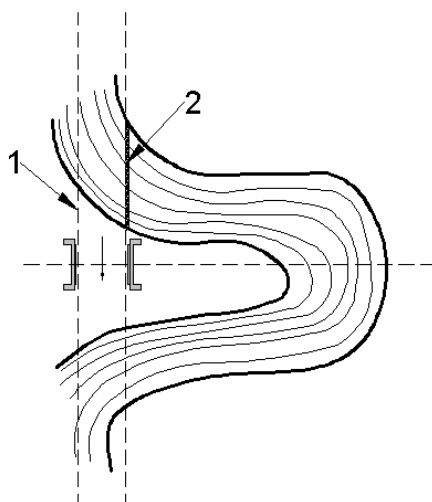


Fig. 7.4 Corectarea traseului albiei
1 – canal nou creat prin excavare
2 – dig insubmersibil (de adâncime)

Rectificarea trebuie făcută astfel încât prin scurtarea traseului de curgere al apei să nu se producă modificări pronunțate de pante, care ar putea duce la creșteri semnificative ale vitezei de curgere, având drept consecință fenomene de antrenare și eroziune puternice.

În general se recomandă evitarea amplasării podurilor în puncte de inflexiune ale cursului de apă (între două coturi ale apei) (Fig. 7.5), deoarece în astfel de puncte tendința de evoluție a albiei este greu de stabilit. Dacă podul nu poate fi amplasat în zonă de aliniament a cursului de apă, atunci este preferabil ca el să se amplaseze chiar în curbă, efectuându-se lucrări corespunzătoare de apărare a malului expus acțiunii directe a apei (Fig. 7.6).

O situație frecvent întâlnită în zona cursului inferior al apelor este cea în care râul nu are decât albie minoră bine conturată, nu are albie majoră, dar datorită faptului că înălțimea malurilor albiei minore este mică, există posibilitatea producerii inundațiilor pe zone întinse.

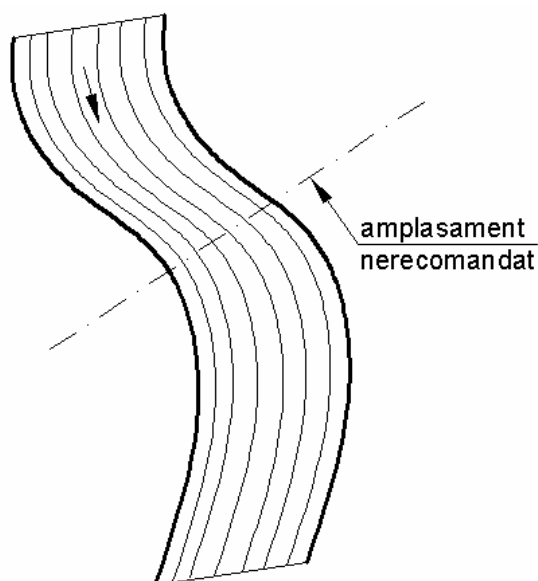


Fig. 7.5 Zonă nerecomandată pentru amplasarea podului

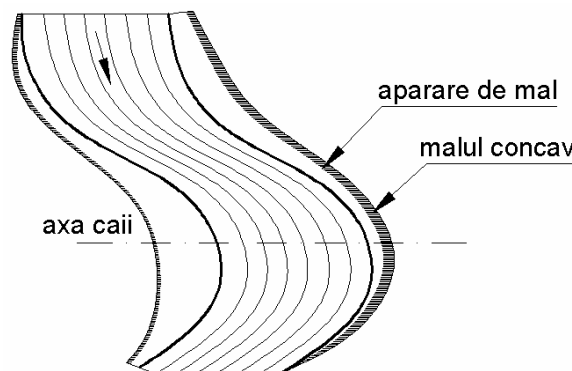


Fig. 7.6 Apărare de mal pe malul concav

Lungimea podului în astfel de cazuri trebuie stabilită considerând debitul total al cursului de apă cu probabilitatea de calcul considerată. În cazul existenței zonelor inundabile, curenții transversali podului ce iau naștere odată cu ieșirea apelor din albia minoră, dar și la retragerea apelor, sunt foarte periculoși, deoarece pot conduce la eroziuni ale terasamentelor de la capetele podului. În astfel de situații se impune realizarea unor *diguri insubmersibile* (sub nivelul apei) ce produc canalizarea cursului de apă în zona podului și practic, asigură o stabilizare a direcției de curgere a apei.

În cazul în care cursul de apă prezintă atât albie minoră, cât și albie majoră este necesar ca stabilirea lungimii podului să se facă pe baza *debușeului*, adică a debitului pentru un nivel cu o anumită probabilitate ce se poate scurge pe sub pod cu asigurarea înălțimilor libere sub pod și a spațiilor de siguranță, iar zonele ce nu sunt necesare pentru scurgerea apelor trebuie închise cu terasamente. Totuși, pentru a asigura protecția terasamentelor executate în albia majoră este necesar să se execute în amonte și în aval de pod, pe lungimi determinate, lucrări de apărare a malurilor prin diguri de dirijare, dispuse longitudinal albiei râului (Fig. 7.7).

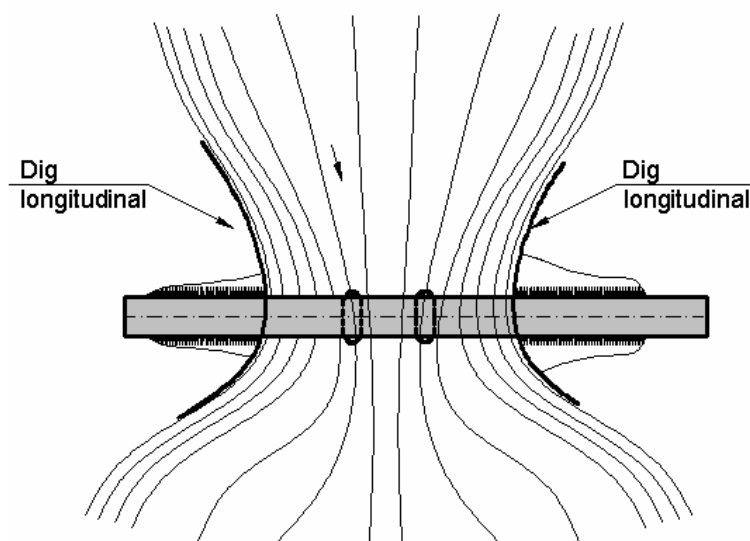


Fig. 7.7 Diguri amplasate longitudinal râului

7.3 CURSURI DE APĂ CU FORME SPECIALE ALE ALBIEI

Râurile ale căror albie au forme speciale sunt cele la care nu se conturează clar albia minoră, respectiv majoră, care prezintă mai multe albie minore sau care, pe lângă cursul principal au și brațe secundare pe care curge apă (Fig. 7.8).

În astfel de situații trebuie făcută o analiză amanunțită a posibilităților de traversare care trebuie să surprindă în principal două aspecte:

- posibilitatea traversării cursului de apă prin realizarea mai multor poduri și anume un pod principal, cu o valoare mai mare a deschiderii, peste cursul principal și mai multe poduri secundare, de descărcare peste brațele secundare. În această situație deschiderea podului peste cursul principal trebuie să fie realizată astfel încât să se poată asigura scurgerea debitului total (pe brațele secundare și pe cursul principal) prin această deschidere. În caz contrar, podurile de descărcare pot să nu corespundă din punct de vedere al debușeului și se pot produce inundații cu distrugerii ale tersamentelor căilor de comunicație, ale infrastructurii etc.;

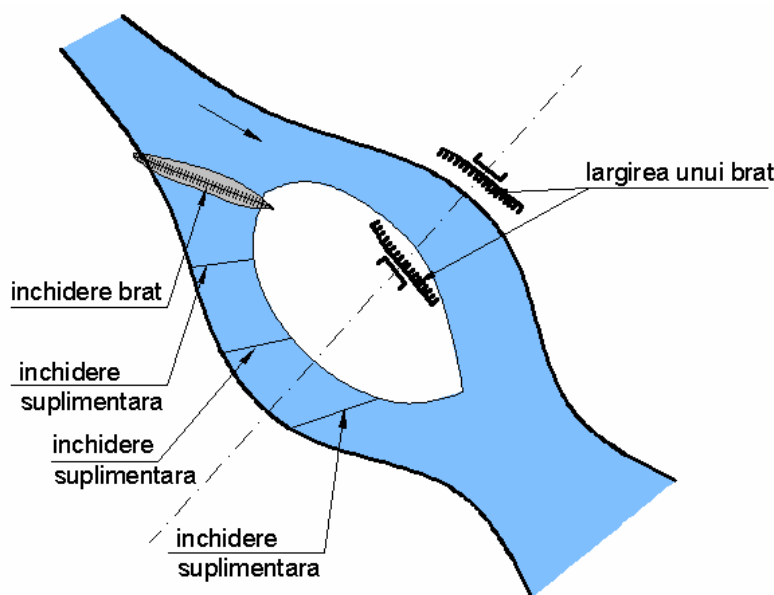


Fig. 7.8 Amenajarea râurilor cu brațe suplimentare

- o a doua variantă este aceea a închiderii brațelor secundare prin realizarea unor lucrări de regularizare și transferarea întregului debit de apă pe cursul principal (Fig. 7.8). Totuși, în astfel de cazuri s-ar putea impune ca necesară lărgirea albiei cursului principal pentru a putea asigura preluarea întregului debit de apă. Se poate realiza în acest caz un singur pod, cu o deschidere mare, care să asigure scurgerea întregului debit de apă.

În oricare dintre situațiile amintite mai sus este necesară realizarea unor lucrări hidrotehnice de regularizare a albiilor și de protecție atât a albiilor, dar și a malurilor și a infrastructurilor.

La stabilirea soluțiilor lucrărilor de apărare a malurilor, trebuie să se țină seama de următoarele elemente:

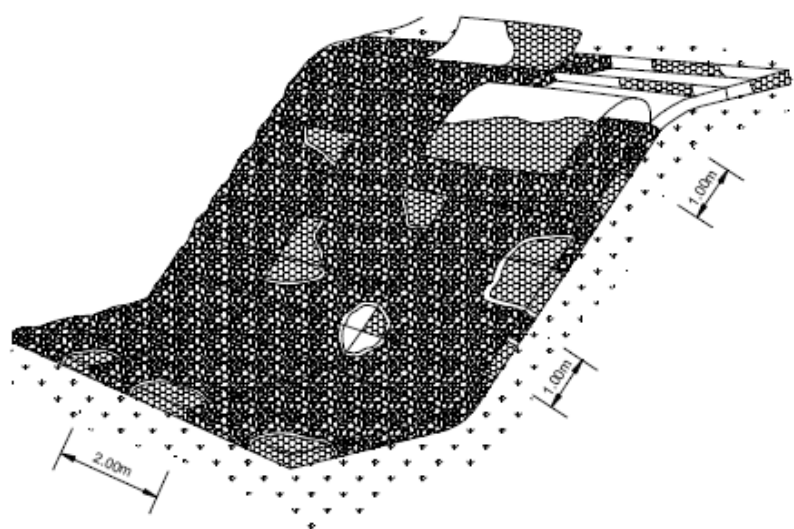
- condițiile specifice de curgere a apei: debit, viteza minimă, medie, maximă, panta hidrolică, înălțime de apă;
- configurația albiei: cu sau fără albie majoră, îngustă sau largă, limitată de construcții sau obstacole naturale etc;
- traseul albiei, sinuos sau meandrat și stabilitatea lui;

- natura terenului din albie și din maluri și morfologia albiei naturale (afuieri, colmatări);
- solicitările datorate valurilor, în special în lacurile naturale și cele artificiale;
- solicitările generate de plutitori;
- tehnologia de realizare;
- perioada de execuție, respectiv de asigurarea adoptată pentru nivelul de lucru care va fi de cel mult 90 %;
- posibilitățile de aprovizionare locală, cu materiale și utilități;
- caracterul după durata de exploatare: definitive sau provizorii;
- intensitatea și durata solicitărilor funcție de configurația albiei: pe sectoarele puternic curbate, pe malurile expuse valurilor din vânt etc;
- zonarea pe verticală funcție de nivelul apei;
- menținerea unei curgeri optime din punct de vedere hidraulic;
- costul lucrărilor.

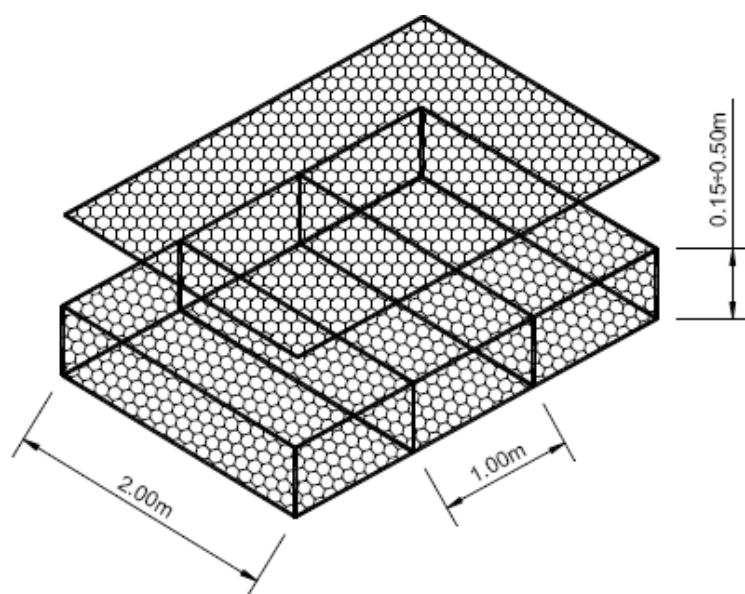
Protecția malurilor se poate realiza în foarte multe soluții constructive. În figurile 7.9-7.11 sunt prezentate, câteva soluții eficiente utilizate în prezent, în mod frecvent la protecția malurilor: *protecții cu gabioane, protecții cu elemente prefabricate din beton și protecții cu dale din beton turnate monolit.*

Gabioanele se aplică pe taluzuri, în zonele în care vitezele curentului ajung la cca.5 m/sec și aplicarea altor soluții nu este economică.

Saltelele din gabioane (Fig. 7.9a) sunt alcătuite din carcase din plasă de sârmă, cu dimensiuni în plan de 2.0÷6.0 m și grosimi de 0.15÷0.50 m, umplute cu piatră de râu sau de carieră, dimensionate în funcție de viteza apei. Dimensiunea cea mai mare a anrocamentelor este mai mică de 1.5÷2.0 ori grosimea saltelei.



a)



b)

Fig. 7.9 Plase din gabioane pentru protecția malurilor și taluzurilor
a) Saltea din gabioane
b) Gabion din saltea

Calitatea metalului trebuie aleasă în funcție de agresivitatea chimică a apei. Pentru creșterea duratei de viață a lucrării, se utilizează sârmă din oțel slab aliat, zincată.

Durata de viață a unui gabion este limitată, estimându-se pentru condiții medii la cca.10 ani până la max.20 ani. Gabioanele lucrează mai mult dacă apa este limpede, cu suspensii reduse și dacă în majoritatea timpului se află sub nivelul apei.

Modul de alcătuire al gabioanelor permite acumularea aluviunilor în masa de anrocamente, ceea ce crează condiții de creștere a plantelor, oferind astfel și o încadrare în peisaj.

Îmbrăcămințile din prefabricate de beton (Fig. 7.10) se aplică în amplasamentele în care lipsește piatra brută, dar sunt disponibile produsele de balastieră și sunt indicate în zonele foarte solicitate de curenți și valuri.

Elementele prefabricate de beton armat, au forme diferite și sunt așezate independent. Cele mai simple sunt dalele pătrate sau dreptunghiulare, cu grosimi de 6÷25 cm și dimensiuni ale laturilor cuprinse între 0.50÷2.50 m, în funcție de condițiile de manipulare și transport (Fig. 7.10a).

Elementele prefabricate se montează cu rosturi deschise, cu rol de barbacane sau închise și se așază pe un pat drenant. În dreptul rosturilor deschise, sistemul filtrant se poate realiza din material granular, geosintetic sau beton poros, monogranular.

Dalele pot avea și forme speciale, pentru a se asigura conlucrarea lor în plan sau pot avea formă de fagure, pentru a mări efectul de disipare a energiei apei și a permite dezvoltarea vegetației (Fig. 7.10b). De asemenea, pot fi realizate sub formă de blocuri poliedrice, din beton simplu, dând aspect de blocuri naturale de piatră (Fig. 7.10c).

În cazul dalelor cu suprafață mai redusă, cu latura de cca. 0.50 m, pentru a se obține o rezistență mai mare la solicitări, se pot prevedea legături articulate între elementele prefabricate, formând astfel o saltea.

Îmbrăcămințile din beton turnat monolit (Fig. 7.11), se aplică în aceleași condiții ca cele din elemente prefabricate, alegerea făcându-se în general pe considerente tehnologice.

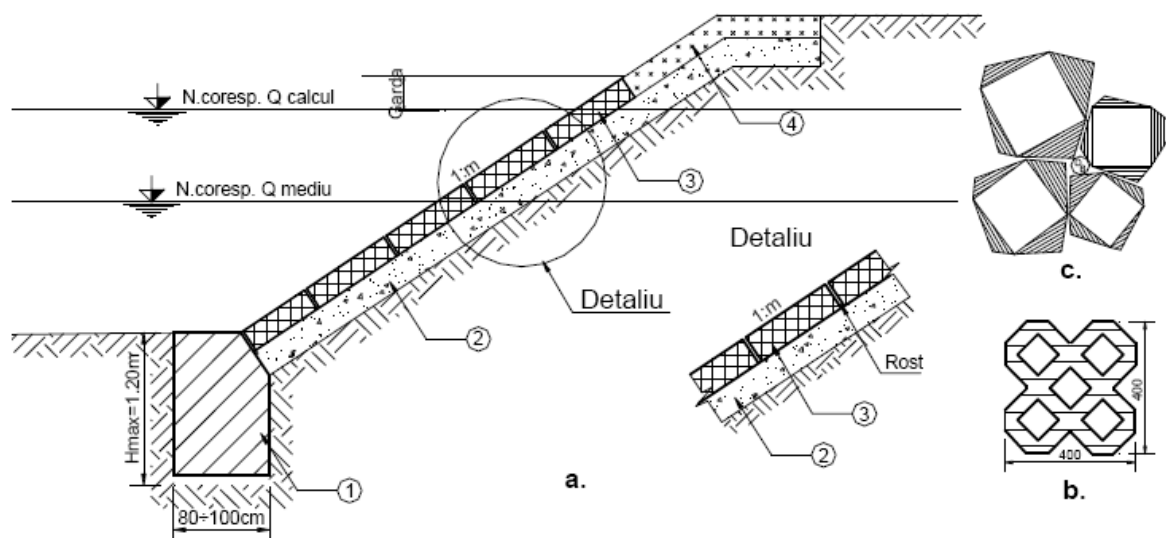


Fig. 7.10 Protecție cu elemente prefabricate de beton

a - dale prefabricate din beton

b - dale cu formă de faur

c - blocuri poliedrice

1. Fundație tip grindă din beton simplu sau ciclopian;

2. Strat drenant din piatră spartă

3. Dale prefabricate din beton

Ele se vor aplica și la racordări ale malurilor în zona confluențelor râurilor, în zona infrastructurii podurilor, unde nu se pot realiza în mod economic, elemente prefabricate.

Când sunt posibile tasări, se utilizează betonul armat cu un procent de armare de $0.3 \div 0.5$ %. Rosturile de execuție pentru dalele din betonul simplu se vor prevedea la $3 \div 5$ m, iar pentru betonul armat la $10 \div 15$ m. Rosturile de dilatație vor fi prevăzute la $20 \div 25$ m, în ambele cazuri. Grosimea îmbrăcăminții variază între $10 \div 20$ cm. În cazul dalelor armate, relativ subțiri, sub 15 cm, armătura se va așeza la mijlocul secțiunii (Fig. 7.11).

Protecția albiei în zona podului se realizează prin realizarea unor praguri de fund (Fig. 7.12). Acestea au rolul de a micșora energie apei și de a proteja fundul albiei râului în zona podului, unde curenții de apă devin mai puternici datorită prezenței infrastructurii podului.

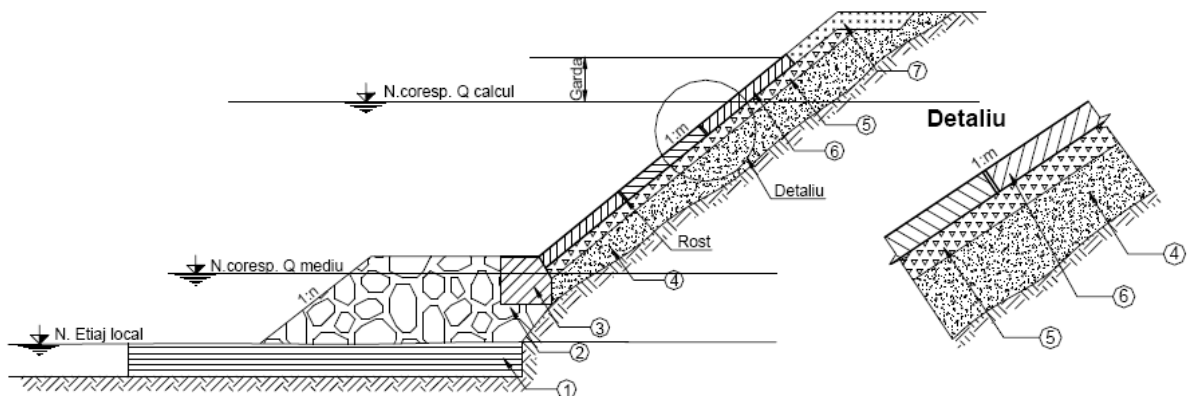


Fig. 7.11 Protecție cu dale din beton turnat monolit
1. Saltea din fascine; 2. Prism din anrocamente;
3. Grindă din beton înglobată în prismul de anrocamente;
4. Umplutură; 5. Strat drenant din piatră spartă;
6. Dale din beton; 7. Brazde

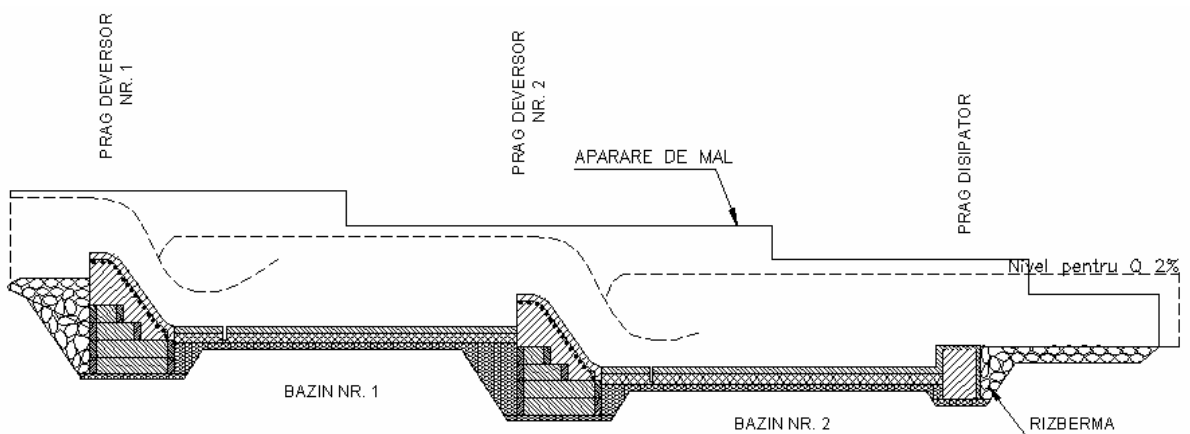


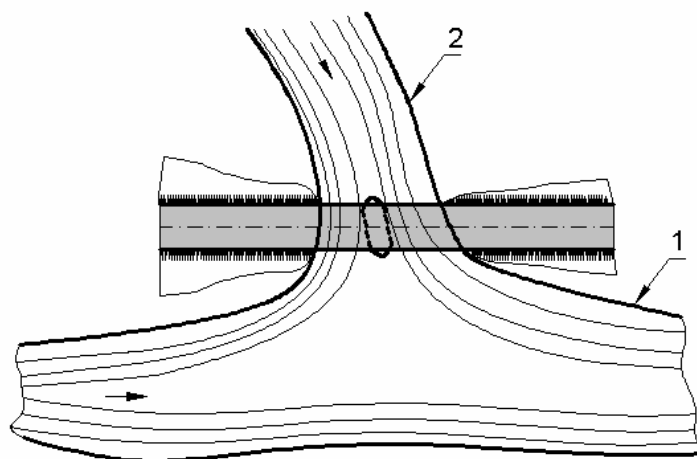
Fig. 7.12 Prag de fund pentru protecția albiei

Pragurile de fund se realizează pe anumite lungimi, înainte și după secțiunea unde este amplasat podul. Aceste lungimi se stabilesc în urma unor studii de teren și hidraulice.

7.4 PODURI AMPLASATE LA CONFLUENȚA A DOUĂ APE CURGĂTOARE

La confluența dintre două ape curgătoare, nivelurile apei pe cele două cursuri de apă sunt diferite și din acest motiv circulația apei se poate face în ambele sensuri. Există două situații posibile :

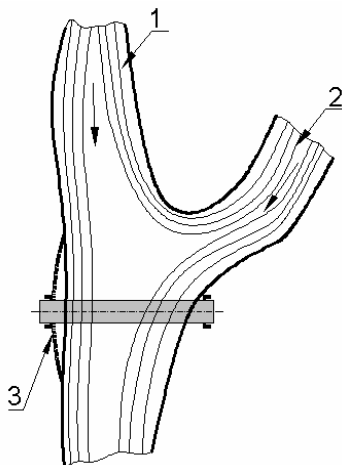
- dacă debitele cresc pe afluent și scad pe cursul principal, atunci vitezele cresc pe afluent, iar dacă podul este amplasat în amonte de confluență pe afluent (Fig. 7.13), atunci sunt periclitate infrastructura și terasamentele în zona podului;
- în situația contrară, a apelor mari pe cursul principal și reduse pe afluent, se produce o revărsare a apelor pe afluent ceea ce conduce la scăderea vitezelor de curgere pe afluent. Astfel crește posibilitatea depunerilor pe afluent care pot uneori duce până la modificarea majoră a talvegului și chiar la obturarea albiei afluentului, producându-se inundații și distrugerii ale infrastructurilor.



**Fig. 7.13 Pod amplasat în amonte de confluența apelor curgătoare
1- curs principal; 2- curs secundar**

Atunci când podurile sunt amplasate la zona de confluență, dar în aval de intersecția celor două ape curgătoare (Fig. 7.14), curentul de pe afluent

deplasează curentul de pe râul principal către culeea podului amplasată pe malul opus zonei de confluență. În această situație este necesară protejarea malurilor prin lucrări de apărare în zona infrastructurilor.



**Fig. 7.14 Pod amplasat în aval de confluența apelor curgătoare
1- curs principal; 2 - curs secundar; 3 - apărare de mal**

O importanță deosebită, în cazul podurilor amplasate la confluența râurilor, o are stabilirea cotei de fundare, pentru a evita pe cât posibil riscul apariției *afuierilor* la infrastructuri. *Afuierile* se manifestă prin erodarea de către apele curgătoare a terenului ce formează patul albiei. De asemenea, atunci când este posibilă curgerea apelor în ambele sensuri pe afluent, infrastructurile vor fi proiectate având formă de ogivă în ambele sensuri (dublu avanbec) pentru a asigura spargerea ghețurilor formate pe perioada anotimpului rece.

În prezent, în România se utilizează pentru calculul hidraulic al podurilor normativul PD-95/2002, iar pentru realizarea lucrărilor de apărări de maluri, praguri de fund și alte lucrări hidrotehnice normativul PD 161-2004.

7.5 STUDIUL TERENULUI DE FUNDAȚIE

Stabilirea amplasamentului unui pod implică pe lângă analizarea zonei din punct de vedere al amplasamentului în raport cu albia râului și realizarea de *studii*

geotehnice. Aceste studii de teren sunt de o importanță majoră întrucât dacă sunt realizate corect, pot oferi siguranță în exploatarea ulterioară a podului, evitându-se astfel apariția *tasărilor* (deformări pe verticală ale terenului de sub pile sau culee) care pot conduce la apariția fisurilor în corpul elementelor de infrastructură (pile, culee) și la eforturi suplimentare în suprastructura podurilor, în special în cazul structurilor static nedeterminate.

Prin realizarea corectă a studiilor geotehnice se pot evita supraevaluări ale costurilor determinate de alegerea greșită a soluțiilor de fundare sau de schimbarea amplasamentului, ca urmare a naturii necorespunzătoare a terenului de fundare.

Alegerea soluției corecte de fundare poate conduce la reduceri semnificative de costuri, știut fiind faptul că lucrările de fundații reprezintă cam 30-40% din costul total al unui pod.

Cele mai utilizate procedee de fundare în cazul podurilor sunt: *fundațiile directe, fundații pe chesoane deschise, pe chesoane cu aer comprimat și fundații indirecte pe piloți sau pe coloane*.

a) *Fundațiile directe* se realizează atunci când stratul portant, bun pentru fundare, ce poate prelua încărcările transmise de către elementele de infrastructură ale podului (pile și culee), se găsește la adâncime relativ mică în raport cu nivelul terenului natural. Ele se realizează sub forma unor blocuri de beton în trepte turnate într-o groapă excavată în prealabil și sprijinită corespunzător. Dacă în amplasament există ape subterane, săpăturile se execută în incinte realizate din pereți de *palplanșe* (panouri din lemn sau metalice) (Fig. 7.15) care se extrag pe măsură ce se toarnă betonul din fundație. În cazul în care există și ape de suprafață trebuie realizate incinte suplimentare de protecție a zonei de săpătură, aceste incinte numindu-se *batardouri* (Fig. 7.15).

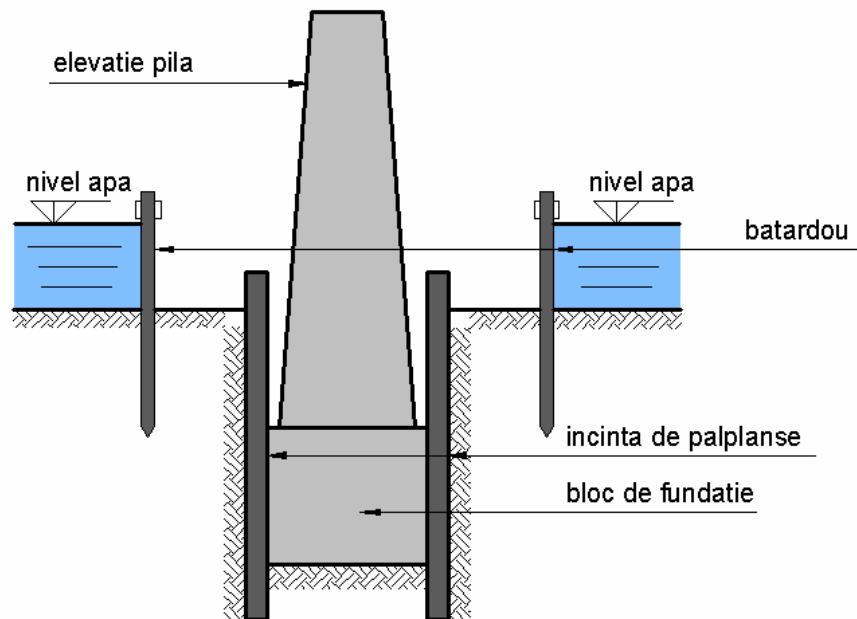


Fig.7.15 Fundație directă a cărei săpătură este protejată cu palplanșe și batardouri

b) *Fundațiile pe chesoane deschise* sunt realizate sub forma unor cutii din beton armat (*chesonul*) deschise la partea superioară (Fig. 7.16), turnate în amplasament. Partea de jos a acestei cutii este realizată ascuțit pentru a facilita penetrarea în terenul de fundare.

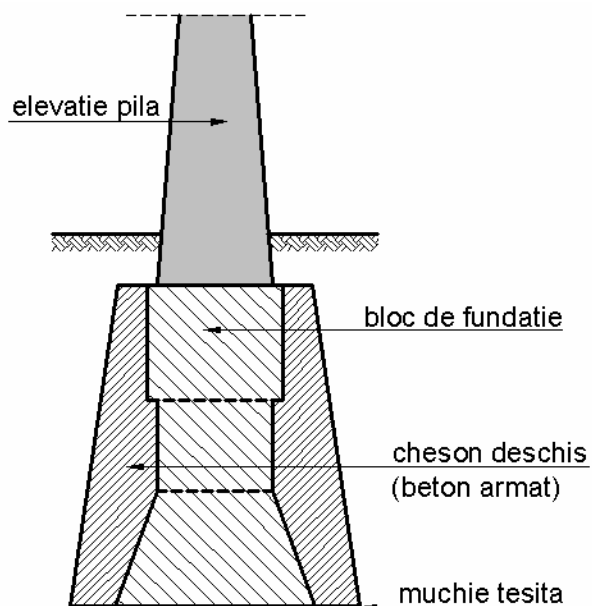


Fig 7.16 Fundație pe cheson deschis

Dacă elementul de infrastructură este amplasat în albia râului și deci există ape de suprafață, chesonul este turnat pe o insulă artificială amenajată în amplasament (Fig. 7.17). Pe măsură ce chesonul este adus la cotă prin săpare mecanizată, apa din interior este evacuată cu ajutorul unor pompe. Ajuns la cotă chesonul se umple cu beton.

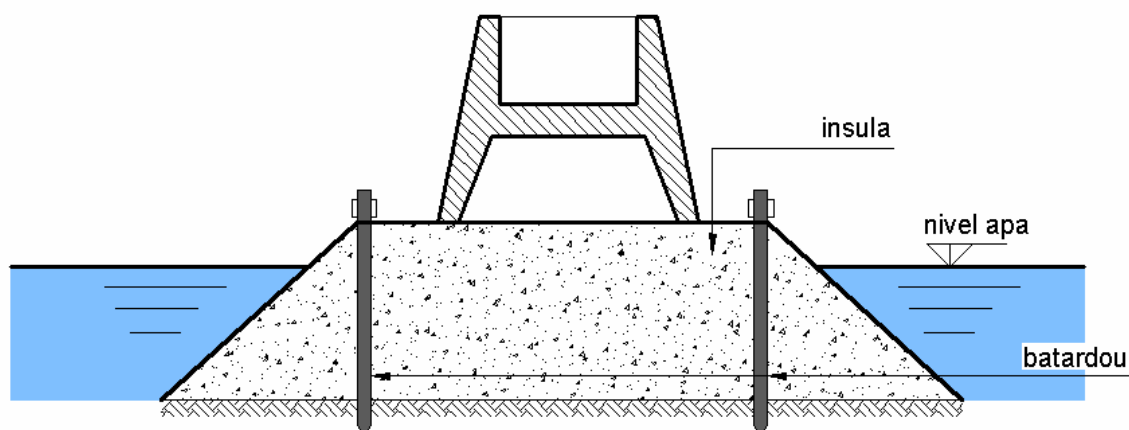


Fig. 7.17 Cheson deschis turnat pe o insulă artificială

Dacă există infiltrații puternice, săparea gropii de fundație se face mecanic sub apă, iar turnarea betonului se face de asemenea sub apă. Aceste procedee implică însă dificultăți mari în execuție.

c) *Fundațiile pe chesoane cu aer comprimat* (Fig. 7.18) sunt denumite *fundații directe de adâncime* și se utilizează la adâncimi mai mari de peste 10-12 m sub nivelul apelor de suprafață unde nu mai este posibilă utilizarea chesoanelor deschise. Chesonul are o placă din beton armat la partea superioară, care asigură un spațiu închis în care se introduce aer la o anumită presiune (aer comprimat). Intrarea oamenilor și a utilajelor cu care se efectuează săpătura, precum și evacuarea pământului excavat se face printr-un tub (coș) ce face legătura cu o cameră amplasată peste placa superioară a chesonului. Acest tub se numește *ecluză* sau *campana* (Fig. 7.18).

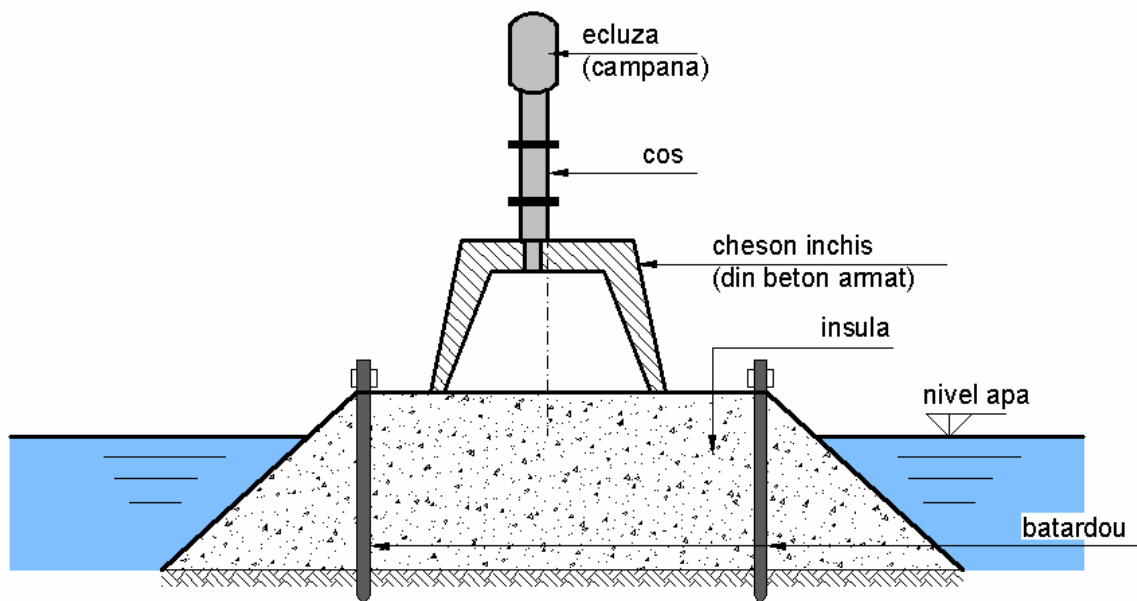


Fig.7.18 Schema unui cheson cu aer comprimat

Acest procedeu de realizare a fundațiilor implică riscuri ridicate datorită faptului că personalul lucrează la adâncimi mari, la presiuni ridicate, pentru ieșirea din cheson fiind necesar un timp suficient de egalizare a presiunilor prin intermediul campanei.

Astfel de soluții au fost utilizate la realizarea podului Carol I peste Dunăre executat de Anghel Saligny, încă din perioada 1890-1895.

d) *Fundațiile indirecte* utilizate cel mai des în prezent, acolo unde stratul portant bun de fundare se găsește la adâncime mare, folosesc sub placa de beton turnată sub elevația pilei sau culeei și numită *radier*, o serie de elemente de formă circulară sau pătrată, introduși în teren la adâncimi mari prin batere, vibrare sau forare. Dacă diametrul sau latura elementelor este redusă (până la 40 cm) ele se numesc *piloți* (Fig. 7.19), însă dacă aceste dimensiuni depășesc 60 cm, poartă denumirea de *piloți foraji de diametru mare* (Fig. 7.20) și se introduc în teren numai prin forare sau vibrare.

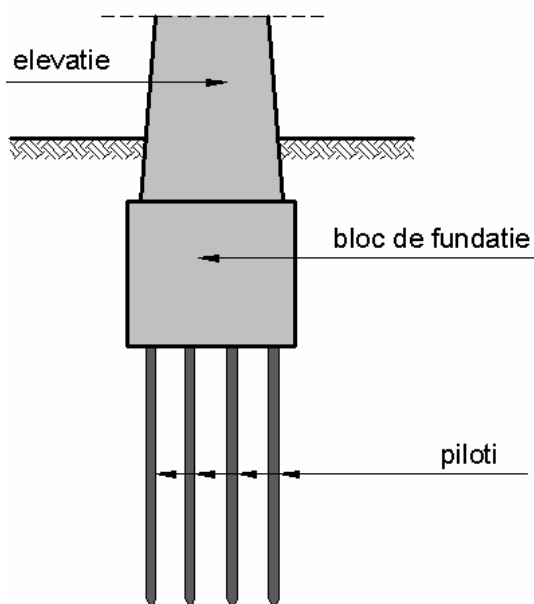


Fig. 7.19 Fundație pe piloți

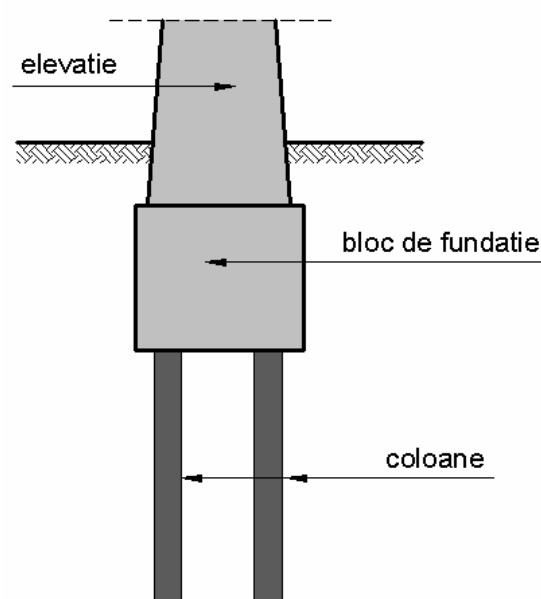


Fig. 7.20 Fundație pe piloți foraiți de diametru mare

În trecut piloții erau realizați și din lemn însă în prezent atât piloții cât și piloții foraiți de diametru mare se realizează numai din beton armat.

Fundațiile indirecte reprezintă un procedeu de execuție mai rapid decât realizarea chesoanelor și permit, ca și acestea, explorarea terenului de fundație pe adâncime pe măsura execuției lor. Cu ajutorul piloților foraiți de diametru mare se poate ajunge la adâncimi de fundare de 30-40 m, asigurându-se astfel o fixare foarte bună a elementelor de infrastructură (pile, culee) în teren și prin aceasta o bună conlucrare a podului cu terenul de fundare.

7.6 STUDIUL AXEI CĂII DE COMUNICAȚIE ȘI AL LINIEI ROȘII ÎN ZONA PODURILOR

În general se urmărește amplasarea podurilor în zonele de aliniament ale căilor de comunicație pe care le deserveșc în așa fel încât axa podului să

fie normală pe axa obstacolului traversat. Respectarea acestor reguli aduce atât avantaje în ceea ce privește siguranța circulației pe pod și pe calea de comunicație eventual traversată de pod, dar și la reducerea costurilor legate de construcția podului precum și la simplificarea proiectării și execuției.

Totuși există situații când, datorită traseului sinuos al căii de comunicație pe care se găsește podul, nu pot fi respectate regulile de mai sus. În special în zonele de munte, unde căile de comunicație au trasee sinuoase impuse de respectarea unor valori minime ale razelor curbelor și ale declivităților, apare necesitatea construirii unor poduri *oblice* sau *în curbă*.

7.6.1 Poduri oblice

Realizarea *podurilor oblice* trebuie evitată pe cât posibil întrucât astfel de structuri sunt mult mai costisitoare, atât datorită unui consum sporit de material determinat de formele speciale ale elementelor de infrastructură (pile și culee), dar și alcătuirii complicate a detaliilor de la suprastructură. În plus, pe lângă dificultățile ridicate de proiectare apar alte dificultăți în fazele de execuție.

Podurile oblice sunt mai lungi decât podurile drepte (Fig. 7.21), valoarea lungimii depinzând în mod direct de valoarea unghiului la care axa podului intersectează axa obstacolului traversat. Dacă se notează cu L lungimea podului în ipoteza în care axa sa ar fi normală pe axa obstacolului, cu L' lungimea podului oblic și cu α unghiul făcut de axele celor două căi de comunicație care se intersectează, atunci:

$$L' = \frac{L}{\sin\alpha} \quad (7.1)$$

Creșterea lungimii podului atrage după sine costuri ridicate ale suprastructurii datorită consumului mai mare de material ce intră în alcătuirea elementelor structurale.

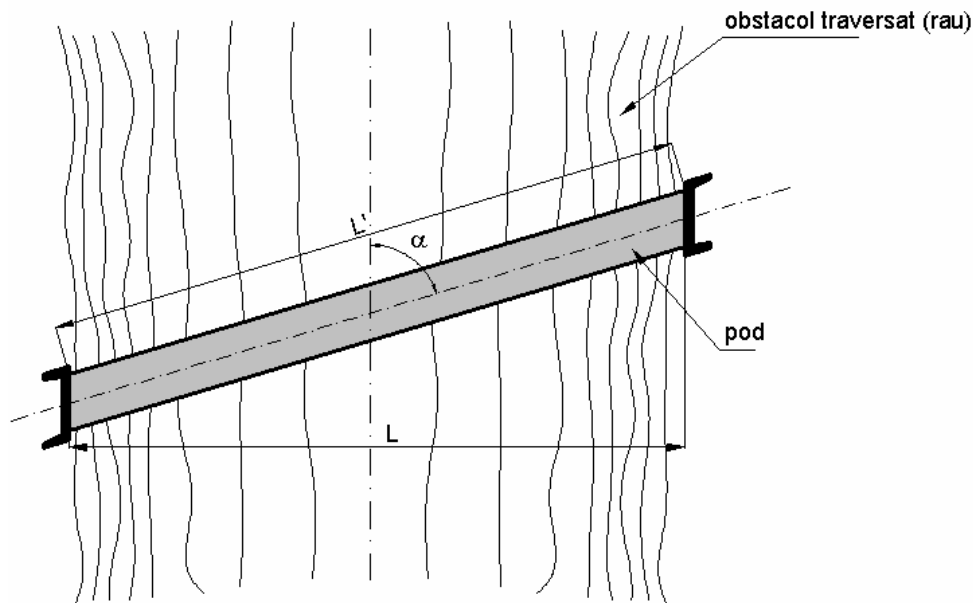


Fig. 7.21 Sporirea lungimii unui pod datorită oblicității

Alt *dezavantaj* al podurilor oblice este legat de forma și dimensiunile elementelor infrastructurii. În cazul unui pod drept (axa sa este normală pe axa obstacolului traversat), lungimea pilelor se determină în funcție de distanța dintre axele grinzilor principale ale suprastructurii în sens transversal podului. La podurile oblice, aparatele de reazem se așază oblic pe pilă ceea ce determină atât o lungire a elevației pilei, dar și o lărgire determinată de creșterea lățimii banchetei cuzineților (Fig. 7.22). Distanța dintre axele aparatelor de reazem b' , nu mai este în acest caz egală cu distanța dintre axele grinzilor principale b , ci depinde și de valoarea unghiului α conform relației:

$$b' = \frac{b}{\sin \alpha} \quad (7.2)$$

Datorită nesimetriei față de axa longitudinală a podului calculele de rezistență ale podurilor oblice sunt mult mai complicate. Principalul parametru care trebuie luat în considerare în faza de proiectare este *momentul de*

torsiune (de răsucire) ce solicită suprastructura în sens transversal, determinat de pozițiile diferite în raport cu reazemele încărcărilor utile pe deschiderea podului.

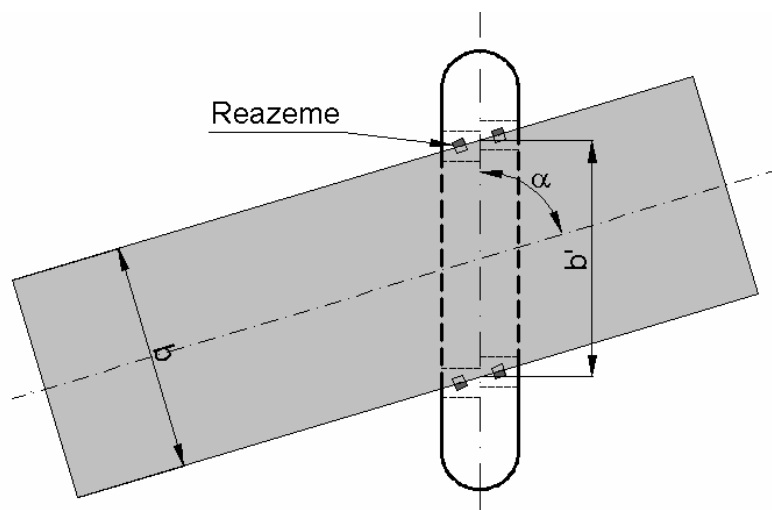


Fig. 7.22 Creșterea dimensiunilor pilelor la poduri oblice

Dificultățile de execuție apar în special în zonele de capăt ale suprastructurilor, acolo unde elementele structurale transversale, numite *antretoaze*, ce fac legătura între grinzile principale longitudinale, au dimensiuni diferite și conduc la detalii ale îmbinărilor cu celelalte elemente ale podului foarte complicate (Fig. 7.23a,b).

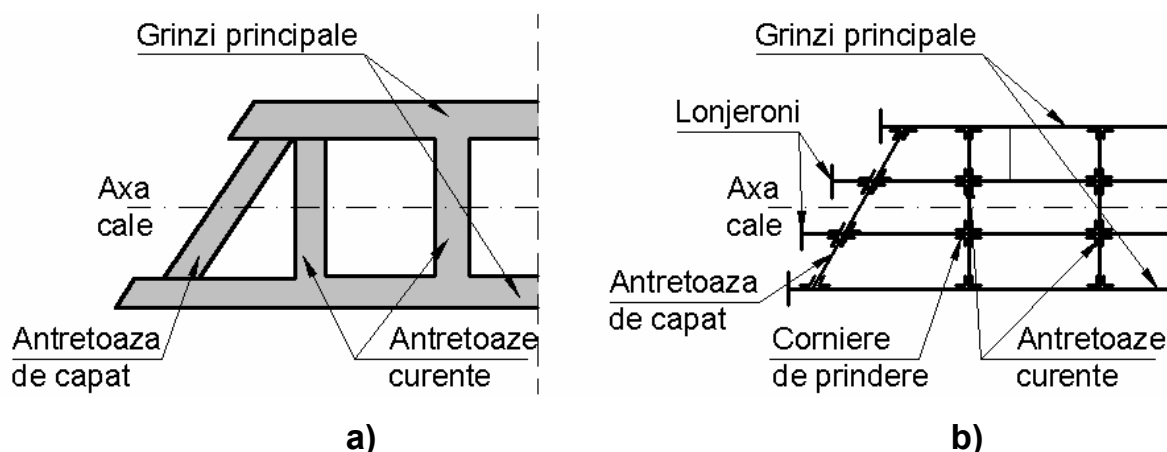


Fig. 7.23 Vedere în plan a unor poduri oblice
a) din beton
b) metalic

Având în vedere dezavantajele apărute la construirea podurilor oblice trebuie evaluate posibilitățile de evitare a oblicității podurilor sau, acolo unde nu este posibil acest lucru, posibilitățile de ameliorare a oblicității.

Evitarea construirii de poduri oblice se poate face fie prin modificarea traseului căii de comunicație susținută de pod (Fig. 7.24), fie prin modificarea cursului apei curgătoare (Fig. 7.4).

Ambele soluții însă prezintă dezavantaje din punct de vedere al costurilor. În cazul modificării traseului căii de comunicație dezavantajele sunt determinate de lungirea traseului, care implică costuri suplimentare pentru terasamente și pentru suprastructura căii de comunicație, iar în cazul devierii cursului de apă costurile suplimentare care trebuie luate în considerare sunt legate de lucrările hidrotehnice pentru amenajarea albiei râului în zona podului. Alte dezavantaje implicate de modificarea traseului căii de comunicație sunt legate de introducerea pe traseu a unor curbe suplimentare care produc reducerea vizibilității.

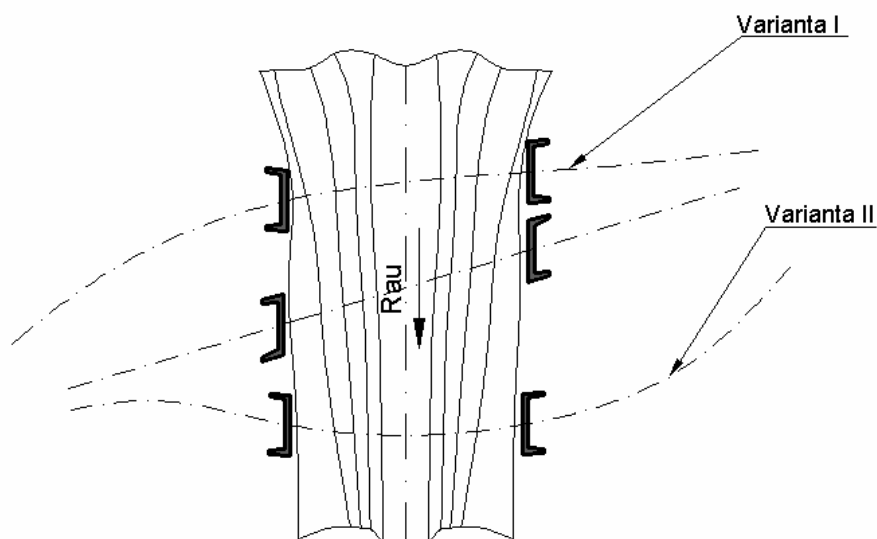


Fig. 7.24 Modificarea axei traseului căii de comunicație

Ameliorarea oblicității podurilor se poate face utilizând suprastructuri drepte. În acest caz este recomandat ca traversarea obstacolului, în special în cazul traversării unor ape curgătoare, să se facă printr-o singură deschidere,

fără a executa pile. Dacă acest lucru nu este posibil și trebuie construite pile pe parcursul lungimii podului, nu se va adopta soluția din figura 7.25a, deoarece aceasta implică alcătuirea diferită a capetelor fiecărei suprastructuri, întrucât la deschideri independente (grinzi simplu rezemate) pe culee ar trebui realizate capete normale ale suprastructurii, iar pe pile capete oblice.

Pentru a adopta totuși soluția cu o pilă intermediară de formă normală (cu avantbec și arierbec), elevația pilei trebuie să aibă dimensiunile corespunzătoare ce permit așezarea corectă a aparatelor de reazem și realizarea unor capete drepte ale suprastructurii (Fig. 7.25b). O altă soluție ar fi adoptarea unei pile cu secțiune circulară (fig. 7.25c), dar diametrul în acest caz ar fi mare și s-ar reduce mult lățimea spațiului liber de sub pod, cu implicații majore în special când podul traversează cursuri de apă cu debite importante.

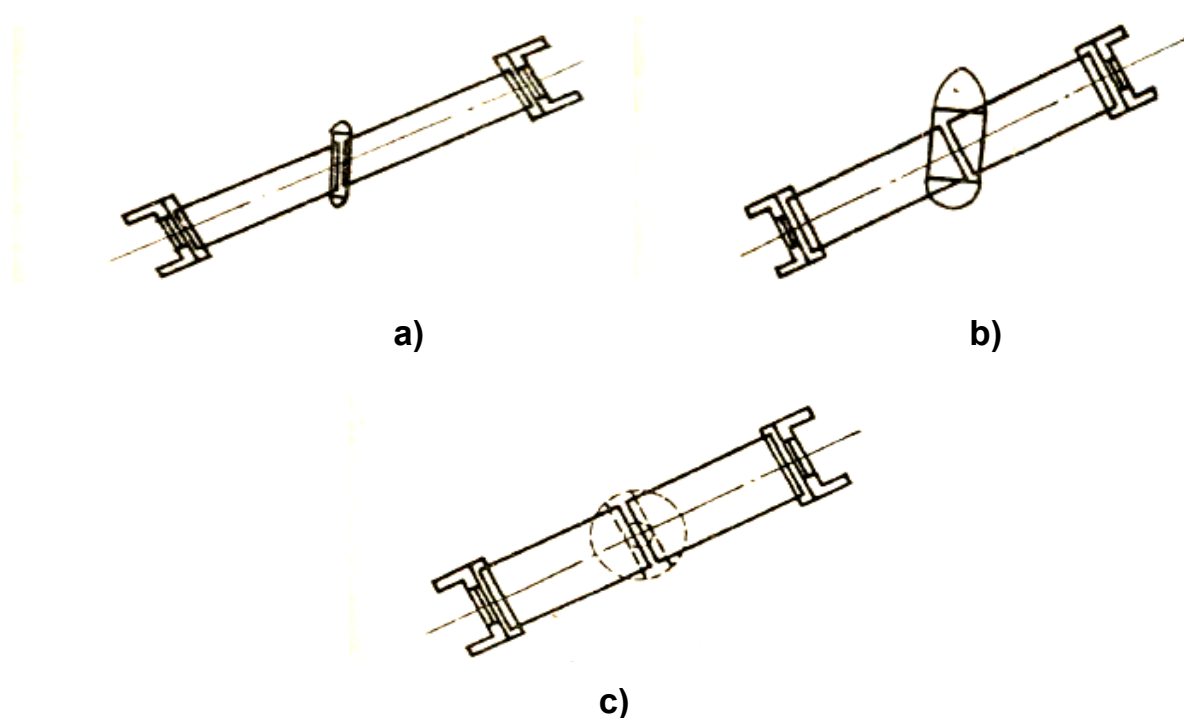


Fig. 7.25 Posibilități de dispunere a unei pile intermediare [2]

În figura 7.26 este prezentat un pod oblic peste un curs de apă. Podul susține o cale ferată, iar suprastructura este realizată din grinzi metalice cu inimă plină.



Fig. 7.26 Pod oblic peste o cale ferată

7.6.2 Poduri în curbă

Necesitatea realizării *podurilor în curbă* apare în regiunile cu teren accidentat, în special în zone de munte, dar și în zone de șes sau a traversării unor cursuri de apă unde se impune necesitatea racordării cu alte căi de comunicație prin realizarea unor curbe.

Podurile în curbă implică, ca și podurile oblice, costuri mai mari de execuție și conduc la dificultăți ale calculelor în faza de proiectare. Aceste complicații ale calculelor se datorează în principal prezenței forței centrifuge F_c , determinată de mișcarea vehiculelor pe curbe, efectul asupra elementelor suprastructurii podurilor fiind mai mare în cazul podurilor de cale ferată unde masa vehiculelor este mai mare (este știut faptul că valoarea forței centrifuge este direct proporțională cu masa vehiculului și cu pătratul vitezei cu care

acesta circulă și invers proporțională cu raza curbei, adică $F_c = \frac{mv^2}{R}$). Forța centrifugă ce se manifestă în centrul de greutate al vehiculelor se transformă la nivelul suprastructurii într-un cuplu de forțe care încarcă suplimentar grinzile exterioare ale podului și le descarcă pe cele interioare, producând un efect de răsucire a suprastructurii. Eforturile din secțiunile elementelor principale de rezistență ale suprastructurii unui pod curb trebuie determinate considerând efectele torsiunii produse ca urmare a prezentei forței centrifuge.

Pe lângă dezavantajele legate de calcul, podurile în curbă au și dezavantaje legate de execuție. Pentru asigurarea spațiului necesar înscrierii vehiculelor în curbă, în special în cazul podurilor de cale ferată, lățimea suprastructurii trebuie sporită cu valoarea f a săgeții curbei pe pod (Fig. 7.27) și suplimentar cu o cantitate determinată de realizarea supraînălțării căii pe pod (Fig. 7.28) (a se vedea precizările din Capitolul 8, referitoare la spații libere ce trebuie realizate pentru podurile în curbă).

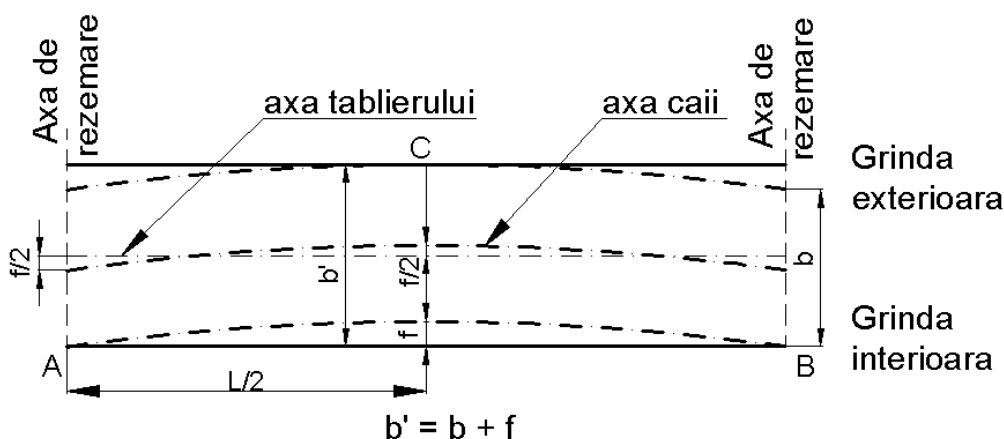


Fig. 7.27 Vedere în plan a unui pod cu tablier drept și cale în curbă

Supraînălțarea căii conduce la dificultăți de realizare a suprastructurii, în special a îmbinărilor dintre elementele structurale care constituie grinzile căii, (lonjeroni și antretoaze). De asemenea, dimensiunile grinzilor principale sunt diferite din cauza prezentei forței centrifuge și a poziției variabile a încărcărilor

utile în raport cu axa grinzilor. Datorită supraînălțării Δh în curbe, lățimea podului se mai sporește și cu cantitatea $\Delta b = b' - b$ (Fig.7.28).

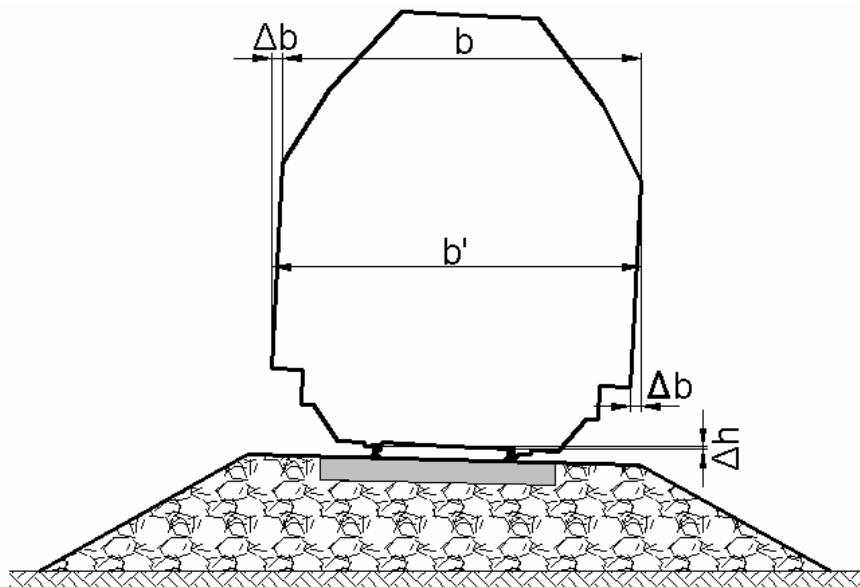


Fig. 7.28 Efectul supraînălțării căii asupra lățimii suprastructurii

În cazul podurilor mari, la care lățimea suprastructurii ar deveni foarte mare datorită existenței curbei, se poate adopta soluția realizării unui pod cu mai multe deschideri mai mici, care conduc la o formă poligonală, axele fiecărei deschideri fiind rectilinii. Axele pilelor și culeelor nu mai sunt paralele în această situație, așa cum se întâmplă la podurile în aliniament, ci sunt dispuse pe direcția unor raze care converg în centrul curbei (Fig. 7.29).

La traversarea cursurilor de apă acest mod de amplasare al pilelor ridică probleme deosebite, întrucât în special în cazul curbelor cu rază mică, se modifică semnificativ poziția fiecărei pile în raport cu curentul de curgere a apei, situație care poate duce la apariția fenomenelor de afuiere în zona pilelor.

Pentru evitarea acestor fenomene pilele se pot așeza paralel cu direcția curentului de apă, fapt ce conduce la transformarea podurilor cu calea în curbă în poduri oblice.

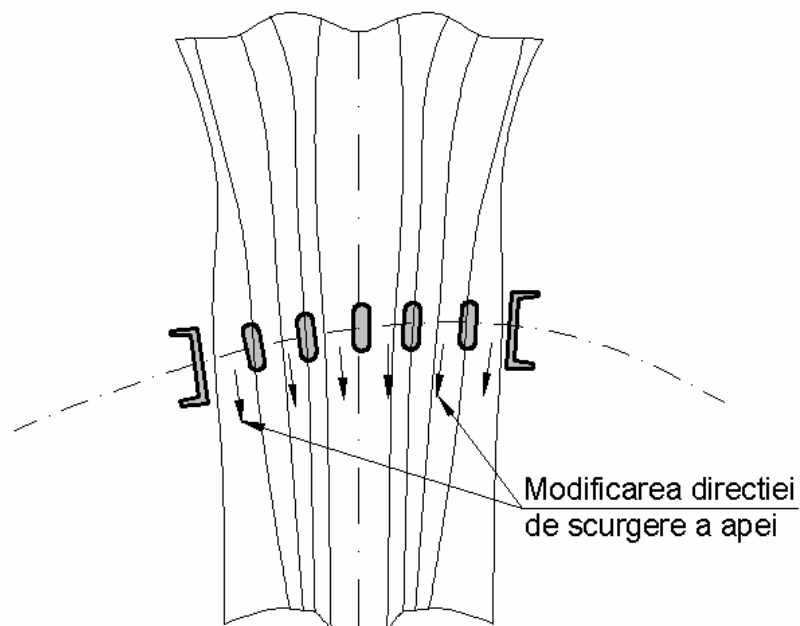


Fig. 7.29 Efectul pilelor oblice asupra scurgerii apei

Evitarea suprastructurilor oblice la podurile în curbă se poate face prin utilizarea, în cazul podurilor cu două deschideri, a unei pile de formă trapezoidală, dispusă în axa albiei râului (Fig. 7.30).

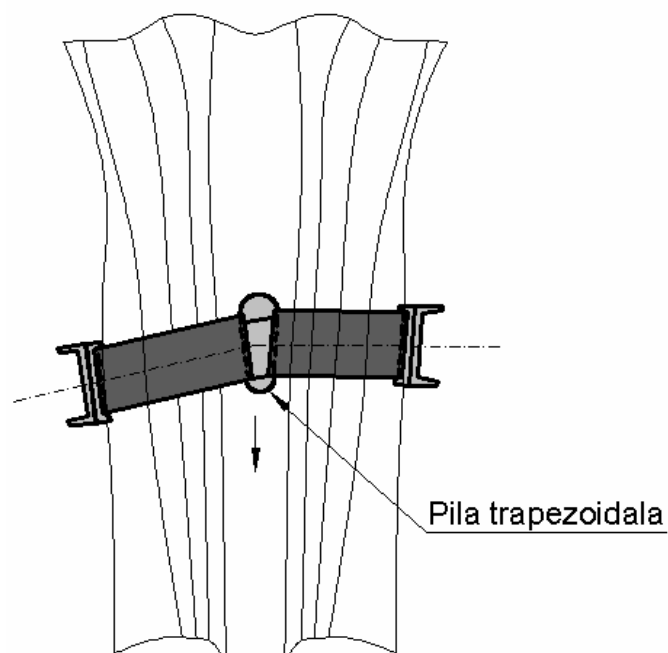


Fig. 7.30 Tabliere drepte și pilă trapezoidală pentru poduri în curbă

Chiar utilizând această soluție consumul de material necesar pentru realizarea pilei este mai mare comparativ cu cel al unei pile pentru un pod în aliniament. În plus forma pilei este specială, racordările avantbecului și arierbecului făcându-se cu raze diferite, ceea ce implică complicații de realizare și dispunere a cofrajului.

În figura 7.31 se poate vedea podul Cooper, SUA, deschis traficului în 1929, realizat în soluția cu grinzi cu zăbrele, care are către unul din capete o porțiune realizată în curbă, pe zona viaductelor de acces către podul principal. Deschiderea maximă a podului este de aproximativ 320 m.



Fig. 7.31 Podul Cooper din SUA

7.6.3 Poduri în declivitate

Podurile în declivitate sunt caracterizate de faptul că, în sens longitudinal, linia roșie a căii de comunicație pe care o suține podul are o anumită înclinare (pantă longitudinală, $p\%$). Această declivitate poate fi unică (Fig. 7.32) sau linia roșie poate avea o schimbare de declivitate chiar pe pod (Fig. 7.33).

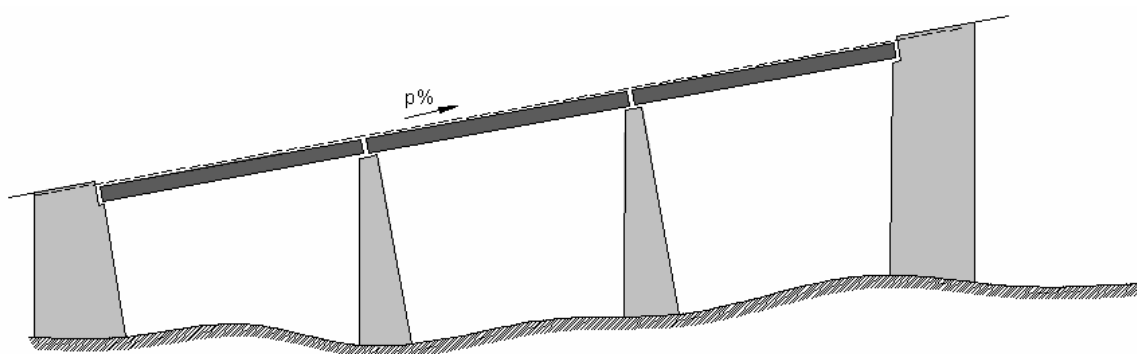


Fig. 7.32 Pod în declivitate cu pantă longitudinală unică a căii

Când declivitatea face să crească cotele căii în sensul de cerștere al kilometrajului podul se numește *pod în rampă*, în sens cotrar podul fiind numit *pod în pantă*.

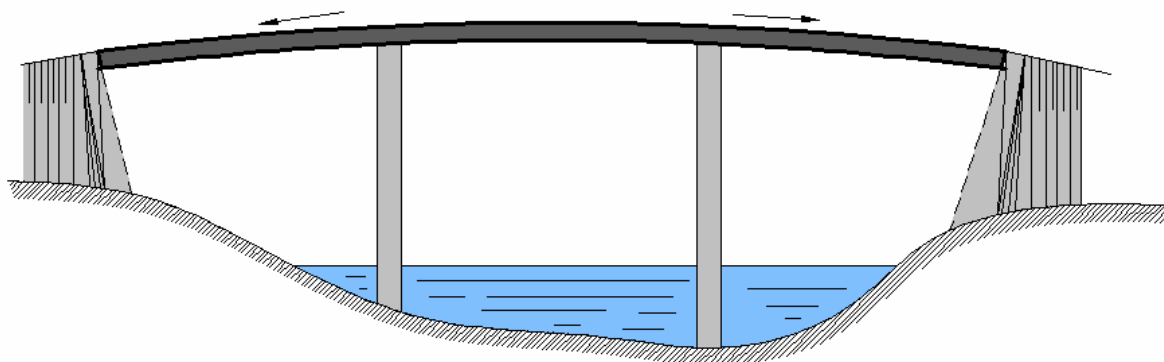


Fig. 7.33 Pod în declivitate cu punct de schimbare a declivității căii

Valorile declivităților căii pe poduri nu trebuie să depășească limitele impuse atât pentru drumuri cât și pentru căile ferate pentru a nu produce dificultăți în circulația vehiculelor, dar și pentru a nu încărca suplimentar cu forțe orizontale (provenite atât din greutatea proprie a suprastructurii, dar și din încărcările date de vehicule) elementele de infrastructură (pile și culee).

Principalul dezavantaj al podurilor în declivitate este legat de înălțimile diferite ale pililor, care conduc la calcule și detalii de execuție separate pentru fiecare pilă.

La culee, în cazul unor declivități mari ale terenului, trebuie luate măsuri speciale pentru așezarea corectă a aparatelor de reazem pe banchetele cuzineților, dar și a suprastructurii. Astfel, la culeea dispusă la baza rampei, aparatul de reazem trebuie dispus mai departe de zidul de gardă (Fig. 7.34a), ceea ce necesită o lățime mai mare a banchetei cuzineților, mai ales în cazul utilizării pentru suprastructură a unor grinzi cu înălțime mare. La culeea dinspre vârful rampei dimpotrivă, rămâne un spațiu gol mai mare între capătul suprastructurii și zidul de gardă (Fig. 7.34b) care trebuie acoperit cu dispozitive speciale pentru rosturi sau eventual prin realizarea unor console ale suprastructurii.

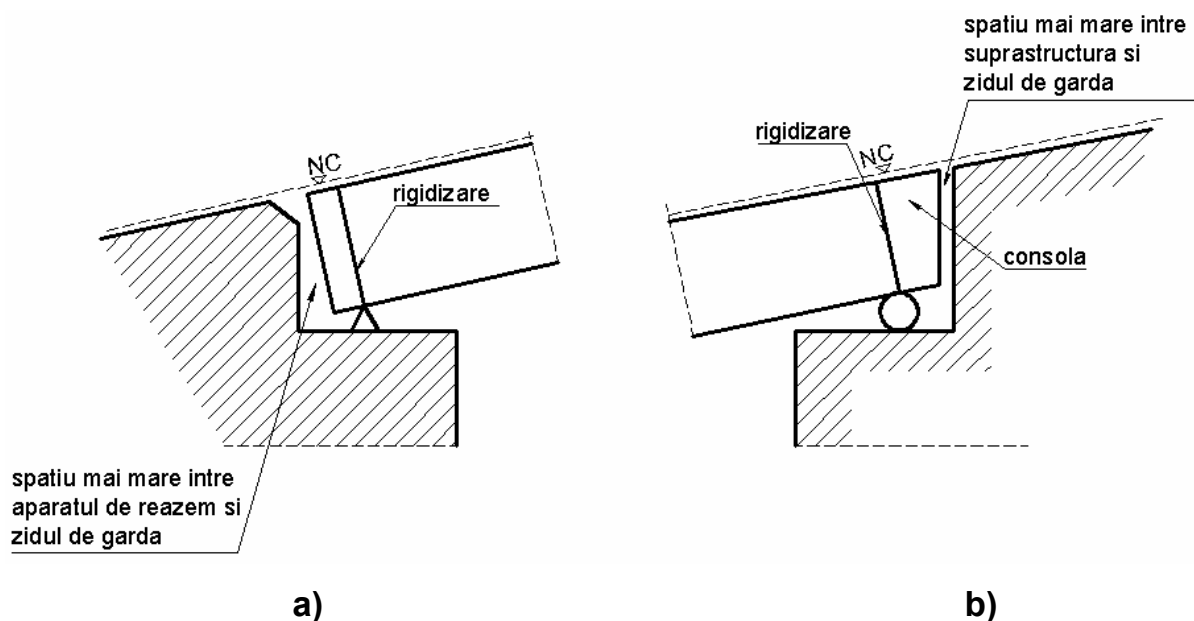


Fig. 7.34 Pozitiile suprastructurii pe culee la poduri în declivitate

În cazul în care declivitățile sunt mari, pe pile trebuie prevăzute dispozitive speciale care să împiedice alunecarea suprastructurii pe elementele de infrastructură (pile și culee).

Schimbările de declivitate pe pod (Fig. 7.31, 7.33) se admit a fi executate în special în cazul podurilor cu lungimi mari, pentru a reduce volumul lucrărilor de terasamente necesare realizării rampelor de acces. Deschiderile individuale ale podului au în acest caz pante unice.

În figura 7.31, în care este prezentat podul Cooper se poate observa că viaductele de acces la podul principal sunt realizate în declivitate.

Un alt exemplu este paserela Leonardo Da Vinci, situată la 20 km de Oslo, în Norvegia, realizată în soluția cu schimbare a declivității căii pe pod (Fig. 7.35).



Fig. 7.35 Paserela Leonardo Da Vinci, lângă Oslo, Norvegia

CAPITOLUL 8

SPAȚII LIBERE PENTRU PODURI

8.1 GENERALITĂȚI

Pentru desfășurarea în condiții de siguranță și confort a circulației, atât în cazul podurilor de cale ferată, cât și în cazul podurilor rutiere și al podurilor pietonale (paserelelor), trebuie respectate anumite dimensiuni pentru lățimea zonei circulate, dar și pentru înălțime, în cazul podurilor la care calea este dispusă la partea inferioară și care sunt închise la partea superioară.

În cazul în care podul traversează o altă cale de comunicație, trebuie respectat sub pod spațiul liber necesar desfășurării în condiții de siguranță a circulației pe calea de comunicație traversată de pod. Anumite spații libere trebuie respectate și în cazurile în care podurile traversează cursuri de apă. Pentru cursuri de apă navigabile, trebuie asigurat sub pod un spațiu liber necesar astfel încât să nu fie stânjenită circulația ambarcațiunilor, iar pentru cursurile de apă nenavigabile spațiul liber sub pod trebuie astfel prevăzut astfel încât, atunci când există creșteri semnificative de debite, suprastructura podului să nu fie în pericol de a fi inundată.

Traseul căilor de comunicație trebuie proiectat astfel încât să se adapteze cât mai bine condițiilor terenului natural, fără a conduce la lucrări suplimentare însemnate de terasamente, care ar spori costurile. Din acest motiv, atât căile ferate, cât și drumurile proiectate prezintă în lungul traseului curbe având anumite raze sau poduri pentru traversarea obstacolelor. Razele curbilor și dimensiunile geometrice ale podurilor trebuie astfel alese în faza de

proiectare, încât să nu impună limitări severe în privința desfășurării circulației în bune condiții. Pentru stabilirea acestor dimensiuni este necesară respectarea pe tot parcursul traseului a unui contur geometric închis, având o anumită formă, specificat în normele de proiectare, denumit *gabarit de liberă trecere*, în care nu este permisă pătrunderea nici unei părți a unei construcții.

8.2 GABARITE PENTRU PODURI DE CALE FERATĂ

Gabaritele ce trebuie asigurate pentru podurile de cale ferată sunt mai mari decât cele ce sunt prevăzute în linie curentă sau în stații. Acest lucru se datorează faptului că trebuie evitată la maxim posibilitatea ca anumite elemente structurale de rezistență din alcătuirea suprastructurii podului să fie lovite la trecerea convoaielor feroviare, situație ce ar periclita siguranța podului.

Gabaritele de liberă trecere pentru poduri de cale ferată sunt precizate pentru căi ferate normale în STAS 4392-84, iar pentru căile ferate cu ecartament îngust în STAS 4531-89.

Formele gabaritelor de cale ferată ce influențează circulația pe podurile de cale ferată sunt:

- *gabaritul de liberă trecere pentru materialul rulant* care se referă la dimensiunile vehiculelor de cale ferată noi. Dimensiunile acestor vehicule trebuie realizate astfel încât să se înscrie în conturul delimitat de acest gabarit fie că sunt descărcate, dar și când sunt încărcate;
- *gabaritul de liberă trecere pentru construcții existente*, care trebuie respectat în cazul podurilor existente, deja construite;
- *gabaritul de liberă trecere pentru construcții noi*, cu referire la podurile ce urmează a fi construite.

În figurile 8.1, respectiv 8.2 se prezintă forma și principalele dimensiuni ale gabaritelor de liberă trecere pentru căi ferate pentru podurile noi și pentru podurile existente.

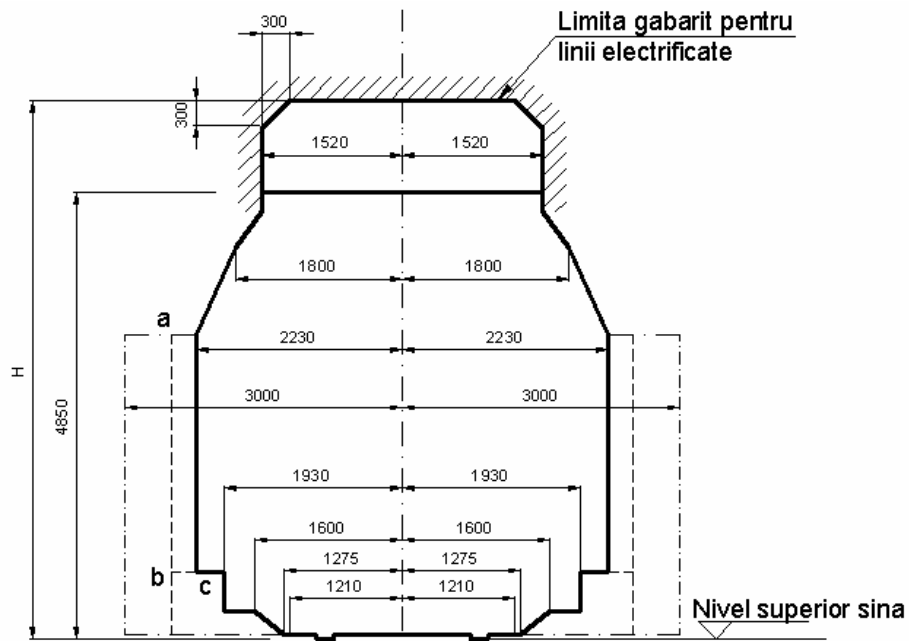


Fig. 8.1 Gabarit CF pentru lucrări de artă (poduri) noi

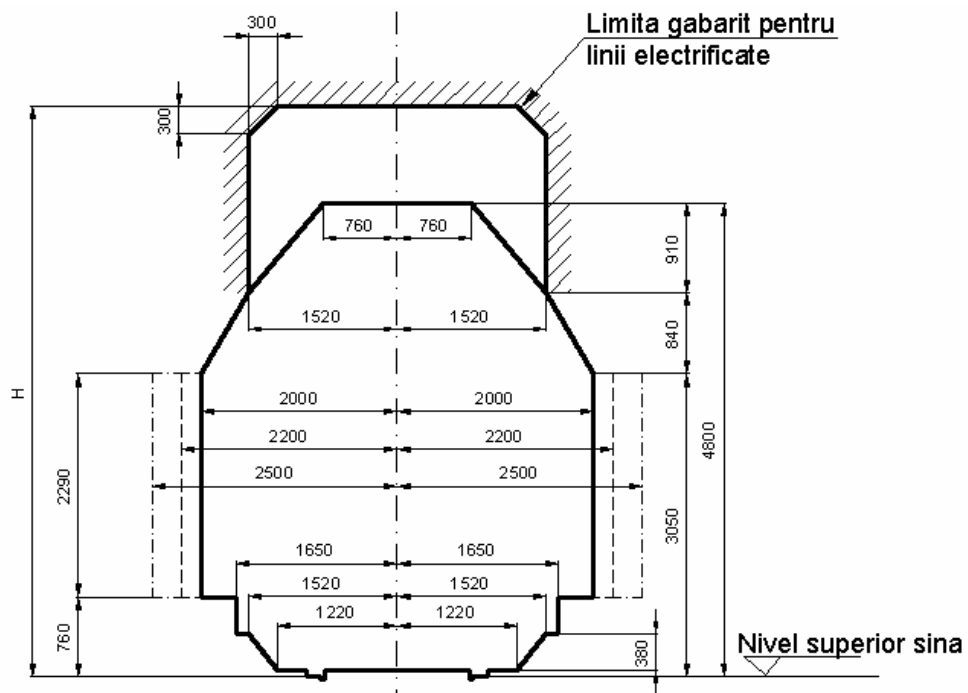


Fig. 8.2 Gabarit CF pentru lucrări de artă (poduri) existente

În standardele în vigoare, pe lângă conturul gabaritului sunt precizate de asemenea, prin anumite tipuri de linii și notații, limite ale unor părți ale structurilor de poduri ce traversează căi ferate sau ale unor instalații fixe amplasate pe poduri feroviare, în așa fel încât, la proiectare să se respecte spațiile de siguranță necesare ale gabaritului în raport cu acestea.

În figura 8.1 de exemplu, linia punctată **abc** reprezintă limita pentru suprastructura podurilor metalice cu calea jos, în stații.

Din punct de vedere al lățimii, dimensiunile gabaritelor de liberă trecere sunt fixe, singura dimensiune variabilă fiind înălțimea H .

În aliniament lățimea gabaritului de liberă trecere se măsoară pe orizontală, în sens transversal perpendicular pe axa căii ferate, iar înălțimile se măsoară începând de la nivelul superior al ciupercii șinei (Fig. 8.1 și 8.2).

În curbă, gabaritele de liberă trecere se stabilesc în plan perpendicular pe axa căii și trecând prin punctul ce definește centrul curbei, înclinarea acestui plan fiind dată de supraînălțarea căii în curbă. Lățimea se măsoară în acest plan, paralel cu tangenta la calea de rulare, iar înălțimea perpendicular pe această tangentă.

Nivelul superior al șinei se stabilește considerând dimensiunile geometrice ale elementelor ce compun calea de rulare, dar trebuie luate în considerare și posibile schimbări ale acestui nivel, ca urmare a modificării unora dintre elementele căii sau a operațiilor de întreținere efectuate (buraje etc.).

Valoarea înălțimii H a gabaritului de liberă trecere depinde de mai mulți factori și anume: poziția podului pe traseul căii ferate (în linie curentă, în stație sau în apropiere de aparatele de cale) și de modul în care este alcătuită suprastructura podului referitor la posibila suspendare a firului de contact de elementele suprastructurii.

În STAS 4392-84 sunt precizate valorile lui H în funcție de viteza de circulație, de distanța între axele stâlpilor de contact, de lățimea podului și de felul liniei de cale ferată (electrificată sau electrificabilă). Domeniul în care variază H este cuprins între 5800 și 6700 mm.

În cazul în care pe pod există două sau mai multe linii de cale ferată, spațiul minim ce trebuie asigurat între axele căilor este de cel puțin 4 m (Fig. 8.3).

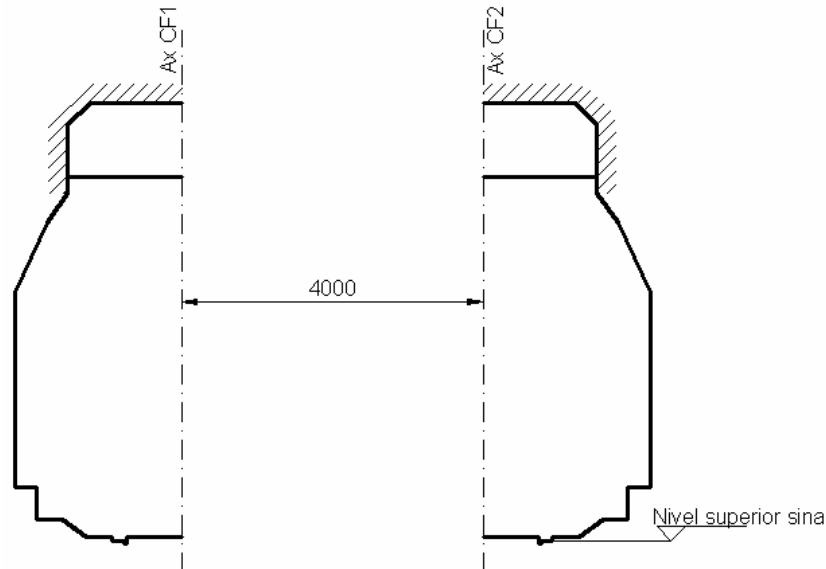


Fig. 8.3 Distanța minimă între axele căilor ferate la poduri ce susțin mai multe linii

În cazul podurilor situate în curbă, pentru respectarea gabaritelor de liberă trecere trebuie considerate supraînălțarea căii ferate pe pod, supralărgirea căii și săgeata căii, f (Fig. 8.4).

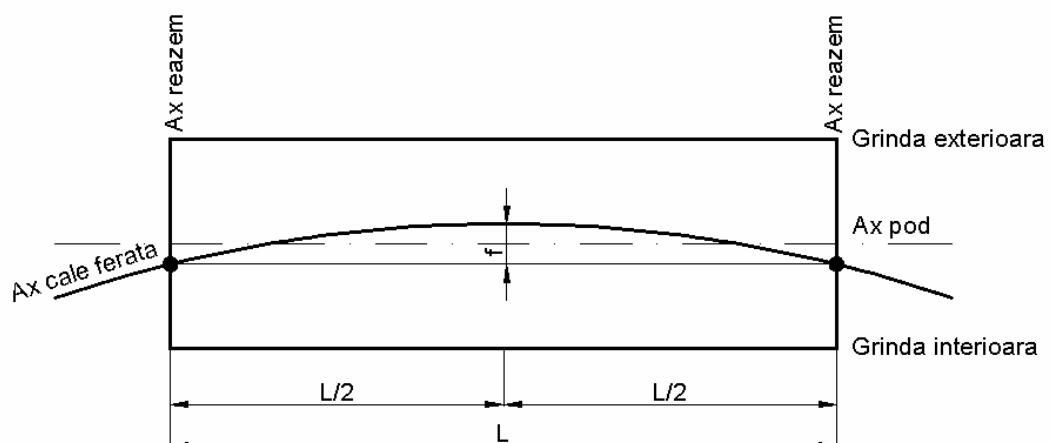


Fig. 8.4 Pod de cale ferată în curbă. Semnificația geometrică a săgeții căii pe pod

Pentru stabilirea dimensiunilor gabaritelor de liberă trecere la podurile în curbă, la dimensiunile considerate în aliniament trebuie adăugate pe toată înălțimea gabaritului, de-o parte și de alta a axei căii ferate, sporurile S_e (la exterior) și S_i (la interior) pentru curbe fără supraînălțare sau pentru partea exterioară a curbelor cu supraînălțare (Fig. 8.5). Pentru stabilirea distanțelor în interiorul curbei de la axa căii la limitele construcțiilor sau instalațiilor, la lățimea gabaritului se adaugă și supralărgirea curbei S_i' .

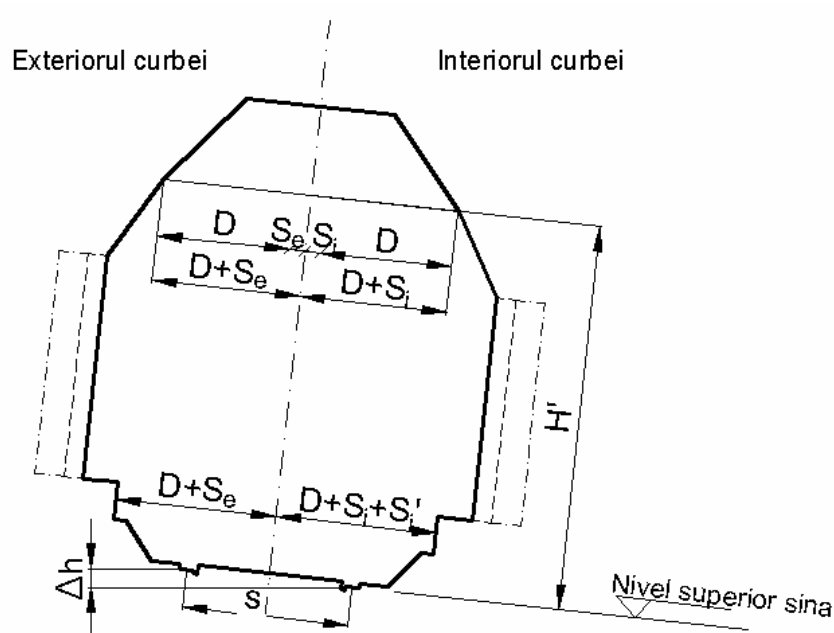


Fig. 8.5 Pod în curbă. Semnificația geometrică a sporurilor la exteriorul, respectiv interiorul curbei

Sporurile S_e , respectiv S_i se determină cu relațiile :

$$S_e = S_i = \frac{36000}{R} + \frac{H'}{s} \Delta h \text{ [mm]} \quad (8.1)$$

în care :

R este raza curbei, introdusă în metri ;

H' este înălțimea desupra nivelului superior al șinei până la punctul unde se calculează sporul, în milimetri;

Δh este supraînălțarea șinei exterioare, în milimetri;

s este distanța între axele șinelor, considerată aproximativ 1500 mm.

În cazurile în care podul este situat în linie curentă și susține două căi ferate, dacă nu există supraînălțare, supraînălțările celor două linii CF sunt identice sau supraînălțarea liniei exterioare este mai mică decât supraînălțarea șinei exterioare a liniei interioare, sprourile S_e și S_i se determină cu relațiile:

$$S_e + S_i = \frac{72000}{R} \quad [\text{mm}] \quad (8.2)$$

Dacă între supraînălțarea liniei exterioare (h_e) și cea a liniei interioare (h_i) există relațiile :

$$h_e > h_i \quad \text{sau} \quad h_i > \frac{h_e}{2} \quad (8.3)$$

sporurile se determină cu relația :

$$S_e + S_i = \frac{72000}{R} + \frac{3900}{1500} \cdot \frac{\Delta h}{2} \quad (8.4)$$

Relațiile de calcul precizate anterior sunt valabile în cazul podurilor situate în curbă, raza curbei fiind mai mică de 4000 m.

8.3 GABARITE PENTRU PODURI DE ȘOSEA, PASAJE ȘI PASERELE

În cazul podurilor de șosea, respectiv a podurilor pietonale sau combinate (ce susțin simultan șosea și cale ferată, a se vedea Capitolul 6) noțiunea de gabarit are aceeași semnificație ca în cazul podurilor de cale ferată. Dimensiunile gabaritelor de liberă trecere pentru podurile de șosea și paserele sunt reglementate de STAS 2924-91.

Dimensiunea pe *orizontală* a gabaritului, podurilor de șosea diferă de la caz la caz în funcție de următorii factori:

- tipul vehiculelor care circulă pe pod (vehicule rutiere, pietoni, cicliști și vehicule de cale ferată, în cazul podurilor combinate);

- numărul și lățimea benzilor de circulație;
- lățimea trotuarelor și a pistelor pentru cicliști;
- locul unde este amplasat podul: în orașe, în localități rurale sau în afara localităților.

Dimensiunea pe *verticală* a gabaritului de liberă trecere H trebuie asigurată pe toată lățimea părții carosabile.

În cazul podurilor situate în localități, la stabilirea dimensiunilor gabaritelor de liberă trecere trebuie considerat faptul că aceste poduri se prevăd cu trotuare pentru circulația pietonilor și piste pentru cicliști.

Pentru podurile amplasate în curbă, lățimile benzilor de circulație pe pod trebuie majorate cu valorile supralărgirilor căii, cu implicații directe asupra lățimii gabaritului de liberă trecere.

Pe poduri, în imediata vecinătate a benzilor de circulație se pot amplasa instalații anexe cum sunt: parapete de siguranță, stâlpi de iluminat, stâlpi pentru telefonie, conducte pentru transportul utilităților sau cabluri electrice, iar la stabilirea lățimii gabaritului de circulație trebuie avute în vedere lățimile acestor instalații, dar și spațiul de siguranță între benzile de circulație (S conform STAS).

La podurile combinate care susțin căi rutiere și căi ferate sau linii de tramvai, lățimea gabaritului se stabilește adăugând la lățimea gabaritelor pentru podurile de șosea, lățimile gabaritelor pentru materialul rulant (G_v în STAS) precum și spațiile de siguranță între vehiculele feroviare, respectiv între vehiculele feroviare și benzile de circulație ale drumului (S_t în STAS), (Fig. (8.10).

În cazul podețelor și podurilor amplasate pe autostrăzi, lățimea podului (L_p) include spațiile necesare dispunerii parapetelor sau glisierelor de protecție (S_p), spațiul datorat efectului optic de îngustare (E_o), benzile de staționare de urgență (b_{su}), lățimile benzilor de circulație (b) (Fig. 8.6, 8.7).

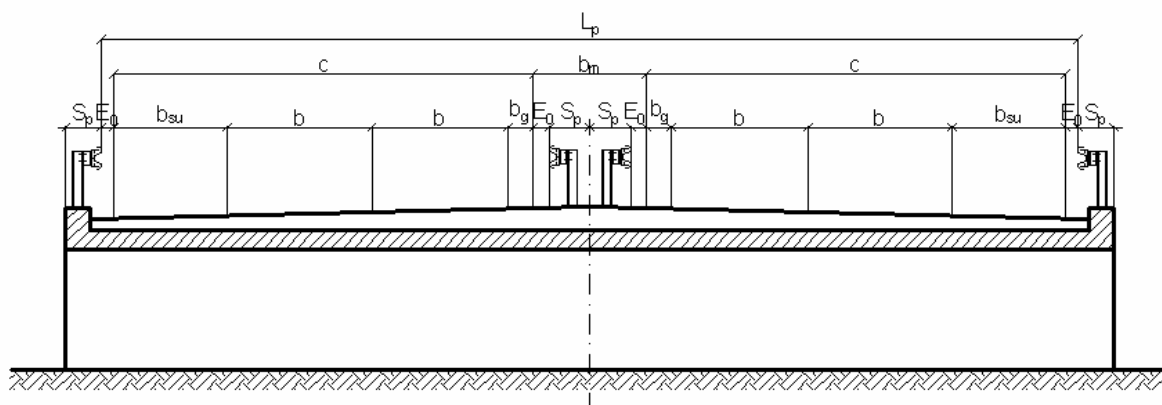


Fig. 8.6 Lățimea podețelor amplasate pe autostrăzi

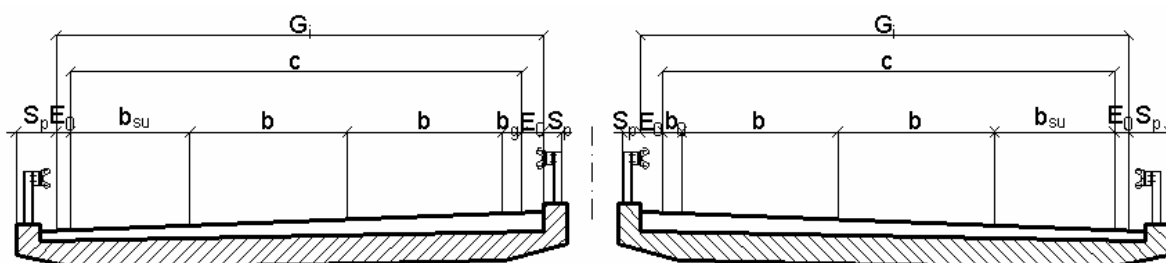


Fig. 8.7 Lățimea gabaritelor de liberă trecere (G_l) la nivelul căii la poduri cu calea sus

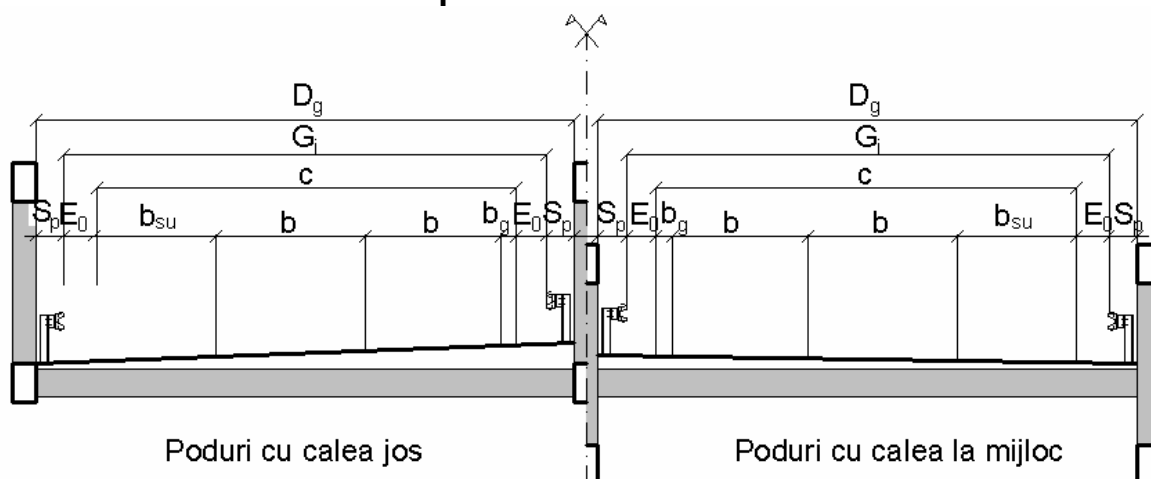


Fig. 8.8 Dimensiunile gabaritelor de liberă trecere pentru poduri cu grinzi sau pe arce cu calea jos sau la mijloc

Pentru podurile cu calea jos sau la mijloc, distanța între grinzile principale sau distanța dintre arce (la podurile pe arce) (D_g) trebuie

determinată pe baza dimensiunilor gabaritului de liberă trecere (G_i) de la nivelul căii, conform figurii 8.8.

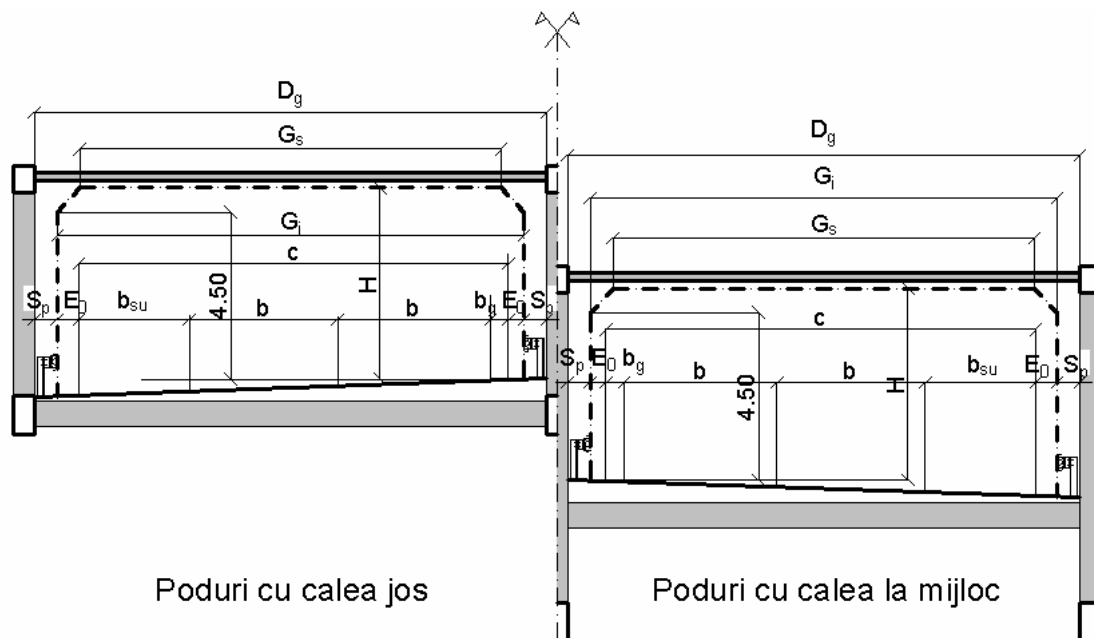


Fig. 8.9 Dimensiunile gabaritelor de liberă trecere pentru poduri cu grinzi sau pe arce cu calea jos sau la mijloc închise la partea superioară

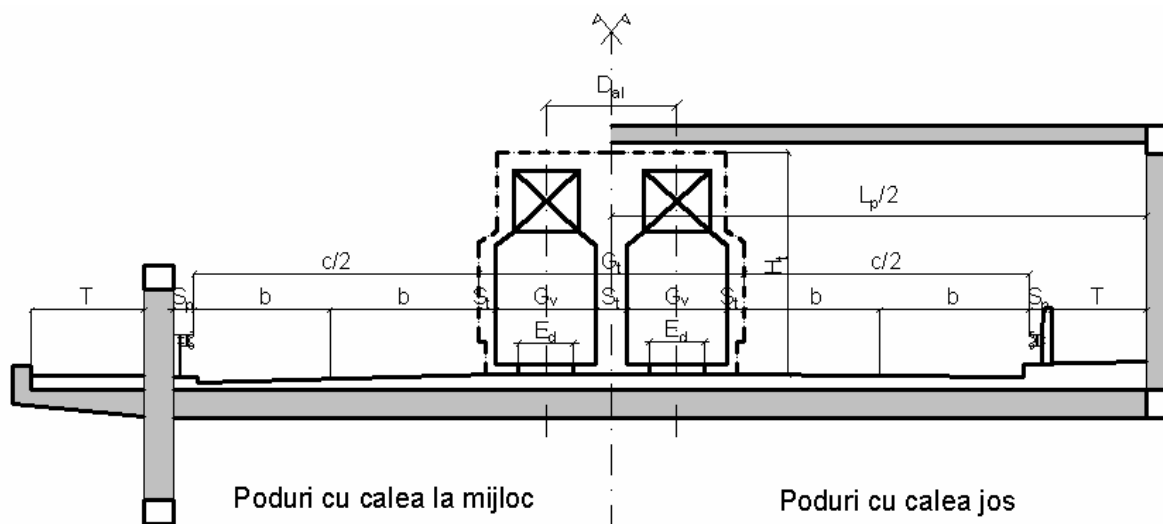


Fig. 8.10 Dimensiunile gabaritelor de liberă trecere pentru poduri combinate cu grinzi sau pe arce cu calea jos sau la mijloc

În cazul podurilor cu calea jos sau la mijloc cu grinzi cu zăbrele sau pe arce, închise la partea superioară cu sisteme de contravântuire sau rigle,

trebuie respectate lăţimea gabaritului de liberă trecere la nivelul căii (G_i), lăţimea gabaritului de liberă trecere la nivelul contravântuirii superioare (G_s), dar şi înălţimea gabaritului (H), conform figurii 8.9.

Schemele din figurile 8.6-8.10 conţin elementele geometrice de bază valabile şi în cazul podurilor ce susţin drumuri de alte categorii (drumuri cu 4 benzi de circulaţie, cu două benzi, cu o bandă etc.). Valorile mărimilor pe baza cărora se stabilesc dimensiunile gabaritelor de liberă trecere sunt precizate în normele în vigoare.

Pentru paserelele pietonale lăţimea gabaritului de liberă trecere (L) (Fig. 8.11) se stabileşte în funcţie de numărul şirurilor de pietoni care pot circula pe pod fără a se stânjeni unul pe celălalt şi de numărul total de pietoni ce pot tranzita podul într-o oră. Valoarea minimă a lăţimii (1 m) corespunde pentru două şiruri de pietoni şi de 700 pietoni pe oră. Pentru paserelele cu calea jos închise la partea superioară, înălţimea minimă a gabaritului de liberă trecere (h) trebuie să fie de minim 3 m (Fig. 8.12).

Dacă pe podul pietonal există piste pentru ciclişti, lăţimea acestora trebuie luată în calcul în stabilirea lăţimii gabaritului de liberă trecere. Valoarea minimă a lăţimii pistelor pentru ciclişti este de 1 m.

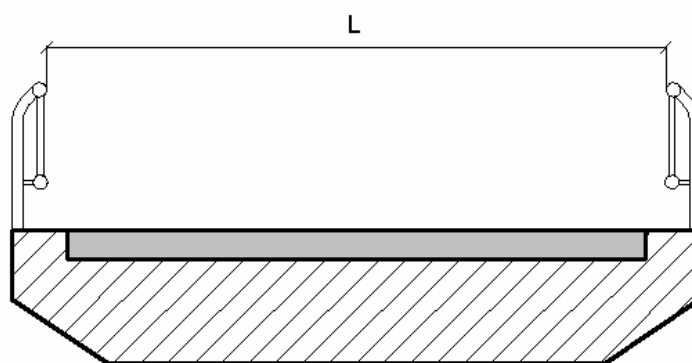


Fig. 8.11 Lăţimea gabaritului de liberă trecere pentru paserele

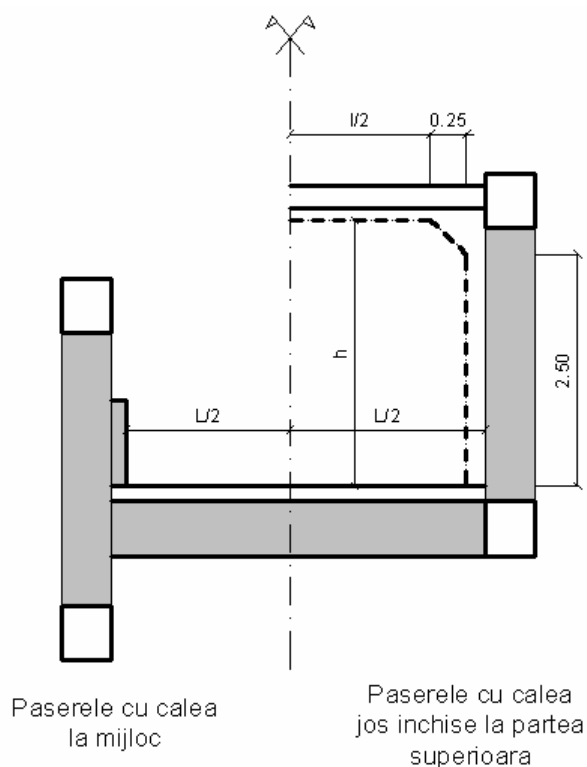


Fig. 8.12 Lățimea gabaritului de liberă trecere pentru paserele cu calea la mijloc și cu calea jos închise la partea superioară

Gabaritele de liberă trecere pentru pasajele inferioare se stabilesc în același mod ca la podurile cu calea jos închise la partea superioară. Pentru pasajele inferioare trebuie respectată atât lățimea gabaritului de liberă trecere la nivelul căii (G_i), cât și înălțimea (H), ca în figura 8.13.

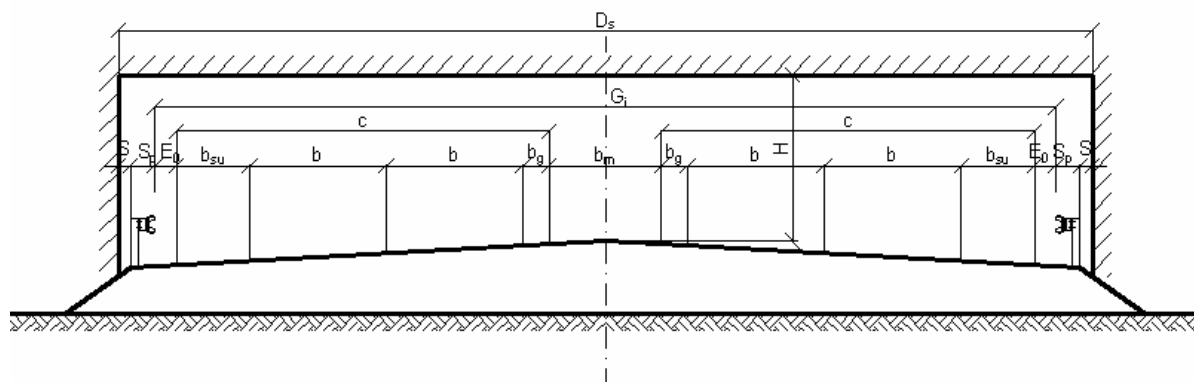


Fig. 8.13 Dimensiuni ale gabaritului de liberă trecere pentru pasajele inferioare

8.4 SPAȚII LIBERE SUB PODURI

În faza de proiectare a podurilor peste cursuri de apă trebuie să se țină seama de regimul de cugere al apei în zona podului, în așa fel încât să se asigure scurgerea normală a debitului maxim al râului, fără ca structura de rezistență a podului sau rampele de acces să fie afectate. De asemenea spațiul liber prevăzut sub pod trebuie să permită trecerea plutitorilor (bușteni, copaci, bucăți de gheață etc.) în cazul apelor mari, iar în cazul podurilor ce traversează canale navigabile sub pod trebuie asigurat spațiul liber necesar circulației nestânjenite a ambarcațiunilor.

Dimensiunile importante ale podului cum sunt deschiderea și lumina precum și anumite cote de nivel, precum cele ce marchează nivelul inferior al suprastructurii și al căii pe pod trebuie stabilite pentru respectarea precizărilor făcute anterior.

Nivelul inferior al suprastructurii și deci spațiul liber de sub pod este direct influențat de nivelul apei în secțiunea podului și deci de debitul maxim al râului în aceeași secțiune. *Probabilitatea teoretică de depășire* a debitelor maxime este reglementată în normele în vigoare în funcție de clasele de importanță ale construcțiilor. Încadrarea construcțiilor în clase de importanță se face în funcție de următorii parametri: *categoria construcției*, pe bază de criterii social-economice, *durata de exploatare proiectată* și *rolul funcțional* al construcției.

În STAS 4273-83 sunt prezentate cele 5 clase de importanță ale construcțiilor (I-V), cuantificând modul în care avarierea acestora afectează viața oamenilor, alte obiective social-economice și mediul înconjurător.

Debitele luate în considerare în faza de proiectare a podurilor sunt:

- *debitul de calcul* $Q_c(i\%)$, ce reprezintă valoarea debitului maxim teoretic la care se face dimensionarea lucrării în condiții normale de exploatare. Pe baza acestui debit se stabilesc valorile luminii, valorile

dechiderilor podului, lucrările de apărări de maluri și protecții ale albiei în zona podului etc.

- *debitul de verificare* $Q_v(i\%)$, ce reprezintă valoarea debitului maxim teoretic la care se face verificarea construcției proiectate. Verificarea construcției se face de regulă în condiții speciale de exploatare.

Valoarea $(i\%)$ descrie probabilitatea teoretică de depășire a debitelor definite mai sus, în STAS 4068/2-82, în funcție de clasa de importanță a construcției și de caracterul ei (permanent sau provizoriu) fiind precizate aceste probabilități. Ca exemplu se poate preciza aici că pentru poduri permanente de cale ferată din clasa a II-a de importanță, debitul de calcul se consideră cu o probabilitate de depășire de 1% (poate reveni o dată la 100 de ani), iar debitul de verificare cu probabilitatea de 0.3% (poate reveni o dată la 300 de ani).

8.4.1 Înălțimea liberă sub poduri

Înălțimea liberă sub poduri se stabilește în raport cu debitul de calcul, respectiv cu debitul de verificare și se măsoară între nivelul corespunzător fiecăruia dintre cele două debite și punctul cel mai de jos al suprastructurii. Nivelul inferior al suprastructurii se consideră diferențiat în funcție de tipul suprastructurii podului. În figura 8.14a este prezentat cazul podurilor cu grinzi sau pe arce cu calea jos sau la mijloc, iar în figura 8.14b cazul suprastructurilor pe arce cu calea sus. În acest al doilea caz înălțimea de liberă trecere se măsoară de la nivelul apei corespunzând fiecăruia dintre debite, de calcul și de verificare, până la intradosul bolții. În orice condiții însă, nivelul banchetei cuzineților unde sunt dispuse aparatele de reazem trebuie să fie mai sus față de nivelul apei la debitul de calcul, pentru a preveni deteriorarea sau umplerea cu noroi a aparatelor de reazem, situație care ar afecta buna lor funcționare. În cazul podurilor ce deservește mai multe căi,

pentru măsurarea înălțimii libere se va considera suprastructura cea mai joasă.

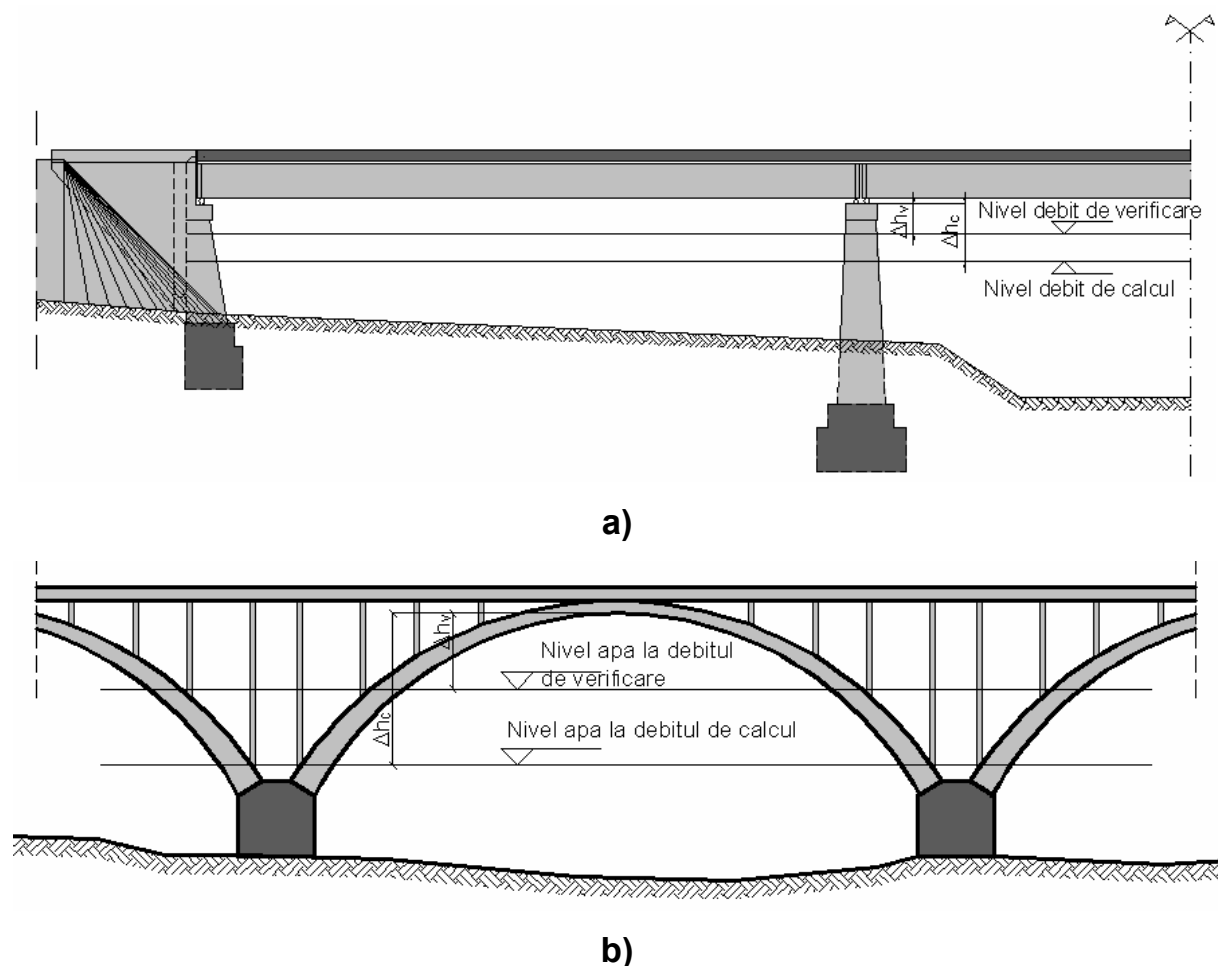


Fig. 8.14 Semnificația înălțimii libere Δh la poduri cu grinzi sau pe arce

Spațiul liber rămas sub pod în raport cu ambele debite trebuie să ia în considerare și săgeata elastică a suprastructurii podului sub încărcările din exploatare.

Valorile gărzilor (Δh) sunt precizate în Normativul PD 95-2002 pe tipuri de poduri, în funcție de valorile debitului de calcul scurs în secțiunea podului și de caracterul podului (permanent sau provizoriu).

În cazul în care cursul de apă traversat de pod este navigabil, spațiul liber sub pod se stabilește pe baza dimensiunilor minime ale unui contur închis numit *dretunghi de navigație*, care trebuie lăsat liber astfel încât trecerea

navelor să se facă în condiții de siguranță și să nu existe riscul coliziunii cu nici unul din elementele structurale ale podului.

Înălțimea dreptunghiului de navigație (H_{gab}) se măsoară de la nivelul maxim al apei la care se poate desfășura navigația pe râu până la partea cea mai de jos a suprastructurii podului (Fig. 8.15a,b), iar L_{gab} reprezintă lățimea gabaritului.

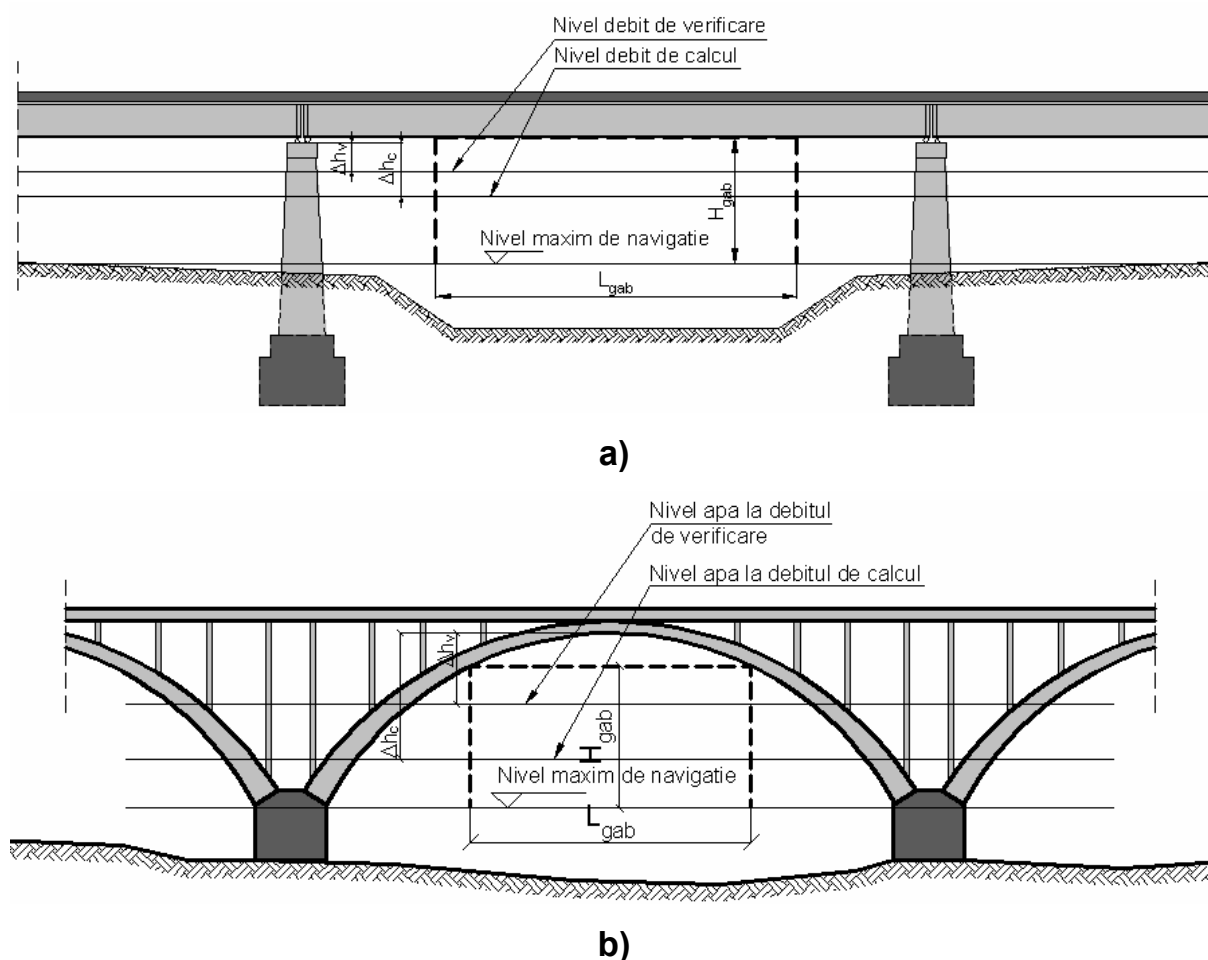


Fig. 8.15 Dimensiunile dreptunghiului de navigație la poduri cu grinzi și pe arce

Valorile dimensiunilor dreptunghiului de navigație sunt precizate în normativul PD 95-2002 în funcție de tipul căii navigabile (pe canale amenajate sau pe râuri amenajate). În cazul apelor cu debite mari cum este fluviul Dunărea, dimensiunile minime ale dreptunghiului de navigație necesare în

faza de proiectare a unui pod nou se stabilesc de comun acord cu autoritățile din domeniul transporturilor.

În vederea asigurării spațiilor libere sub poduri trebuie avute în vedere și următoarele precizări:

- la cursurile de apă de munte ce pot avea caracter torențial, pilele podului nu vor fi amplasate în mijlocul albiei minore, deoarece pot fi afectate de viituri;
- pentru podurile care traversează cursuri de apă ce pot transporta plutitori (bușteni, copaci etc.), valorile deschiderilor trebuie să fie de cel puțin 15-20 m ;
- la podurile peste cursurile de apă pe care există posibilitatea apariției blocurilor de gheață, deschiderile trebuie astfel proiectate încât să se elimine pericolul formării zăpoarelor ;
- în cazul râurilor cu debite mari ($Q_c > 2000 \text{ m}^3/\text{s}$), în albia minoră deschiderile podului vor trebui să fie de minim 30 m;
- pentru podurile peste canale amenajate sau râuri canalizate pilele nu se vor amplasa în mijlocul canalului ;
- dacă pe cursul de apă se pot forma valuri, la stabilirea înălțimii libere sub pod se va ține seama și de înălțimea valurilor.

8.4.2 Înălțimea liberă sub podețe

Podețele aferente căilor de comunicație se încadrează în aceleași clase de importanță ca și podurile, stabilirea înălțimilor libere sub podețe având la bază aceleași principii.

Conform celor arătate în Capitolul 2, există mai multe tipuri de podețe ce se utilizează pentru susținerea căilor de comunicație. Curgerea apei în interiorul și în zona podețelor depinde de forma și mărimea secțiunii transversale a podețului, de condițiile în care apa intră în podeț, de panta

radierului podețului, de caracteristicile albiei și de curgere a apei în aval de podeț. Conform acestor precizări există următoarele tipuri de podețe:

- *podețe cu regim de curgere cu suprafață liberă sau cu nivel liber*, când suprafața apei este în contact cu atmosfera pe toată lungimea podețului, L_p (Fig. 8.16a,b);

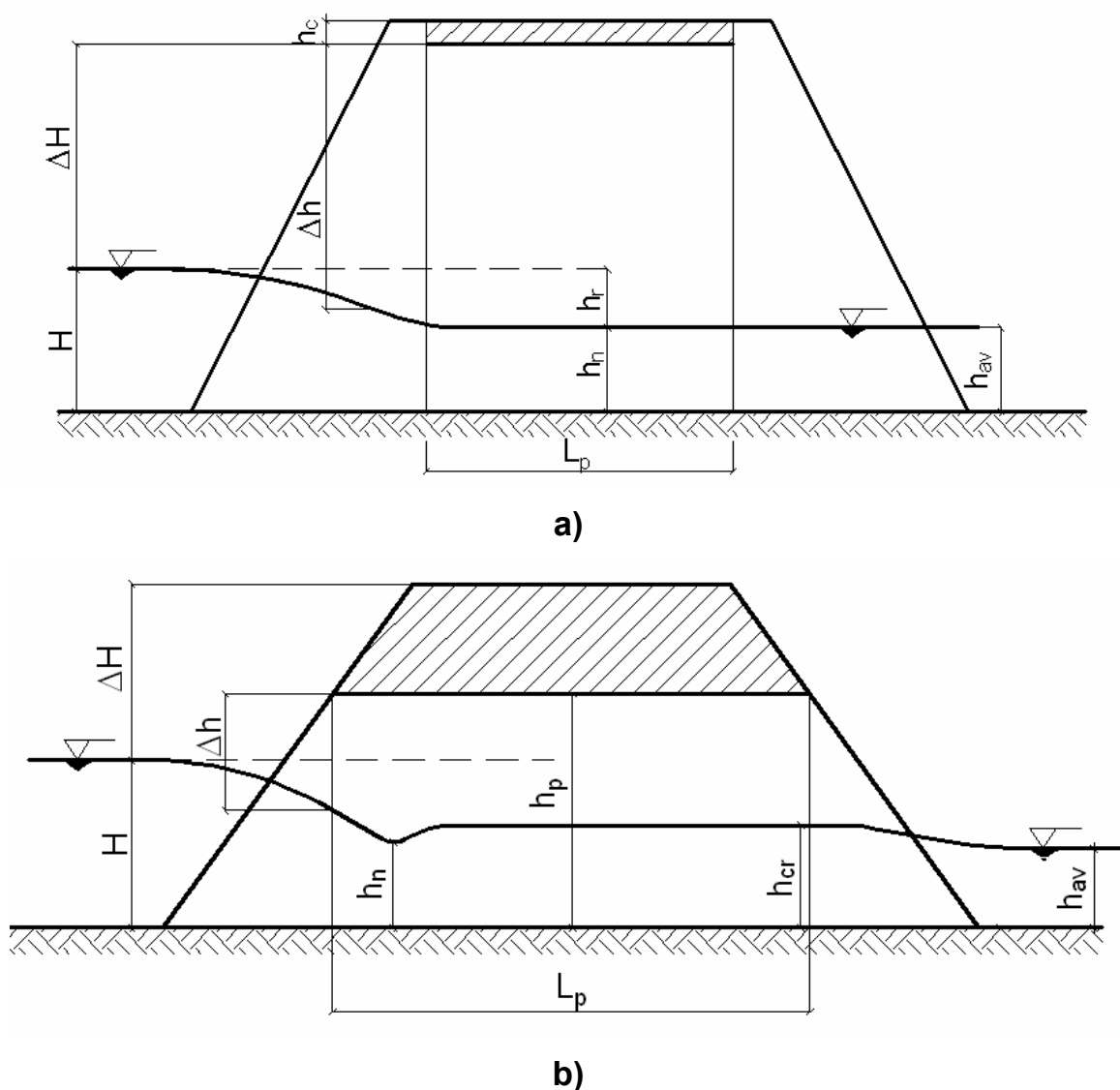


Fig. 8.16 Podețe cu regim de curgere liber

a) dalate

b) tubulare

- *podețe înecate în amonte* (Fig. 8.17), când înălțimea apei la intrarea în podeț (H) este mai mare decât înălțimea în podeț (h_p), unde curgerea apei se face în regim natural, cu nivel liber;

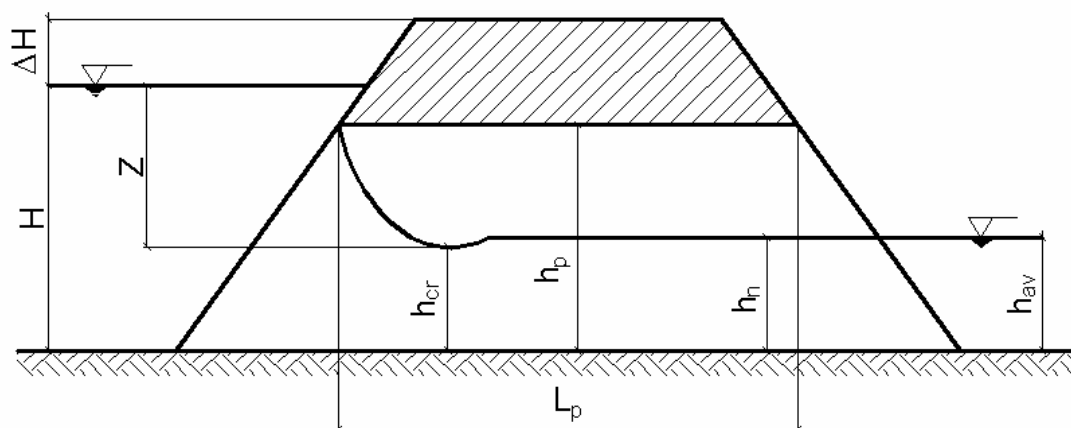


Fig. 8.17 Podeț înecat în amonte

- *podețe sub presiune* (Fig. 8.18, 8.19), când înălțimea lamei de apă în amonte (H) și în aval de podeț (h_{av}) este mai mare sau cel puțin egală cu înălțimea podețului.

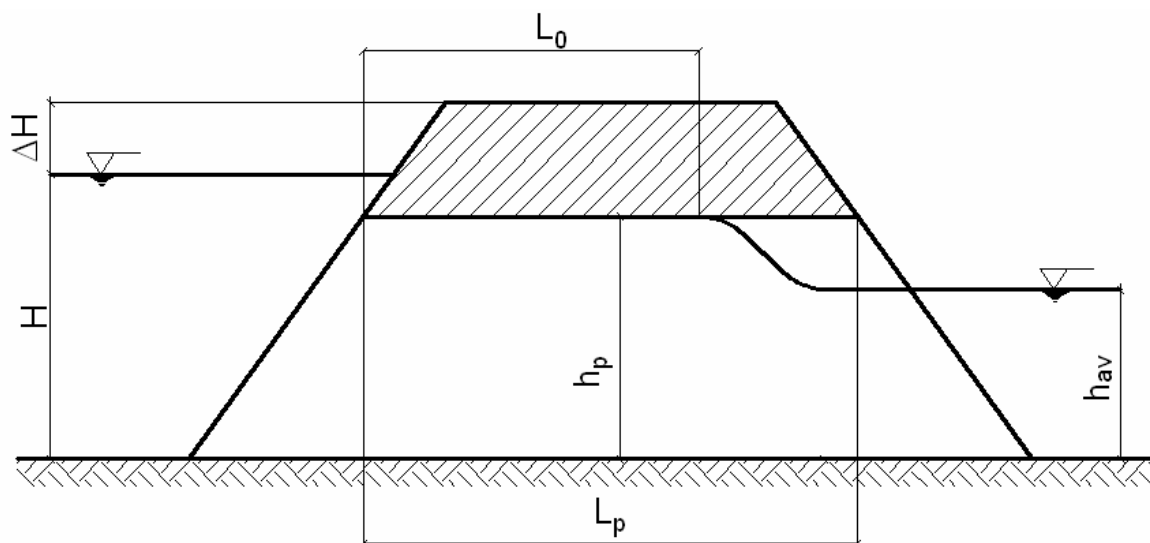


Fig. 8.18 Podeț sub presiune neîncat în aval

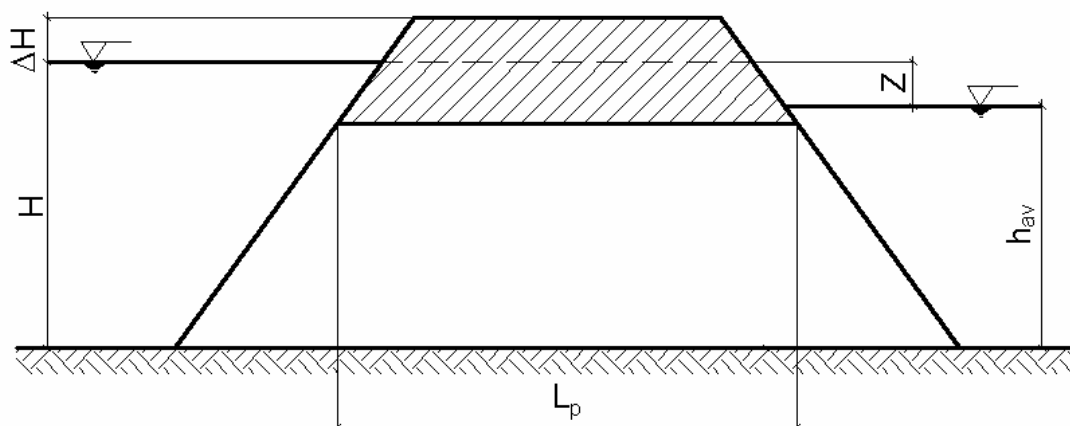


Fig. 8.19 Podeț sub presiune înecat în aval

Notațiile utilizate în figurile 8.16-8.19 corespund următoarelor mărimi:

h_p reprezintă înălțimea podețului măsurată de la nivelul radierului la nivelul feței inferioare a suprastructurii. Dacă această înălțime variază în lungul podețului (transversal căii), atunci se ia în considerare cea mai mică valoare;

L_p reprezintă lungimea podețului;

h_c este înălțimea de construcție;

H este înălțimea apei în amonte de podeț;

h_{av} reprezintă înălțimea apei în aval de podeț;

h_n este nivelul apei în cazul curgerii cu nivel liber;

Z este diferența între nivelul apei în amonte și în aval de podeț;

ΔH este garda;

h_{cr} este înălțimea critică;

Mărimile ΔH și h_{cr} determină valoarea înălțimii libere la podețe și vor fi definite în cele ce urmează.

Pentru determinarea înălțimii libere Δh sub podețe este necesară stabilirea înălțimii critice h_{cr} (Fig.8.16b, 8.17) pentru un debit dat Q . Această mărime se determină pe baza relației:

$$\frac{(A_{cr})^3}{b_{cr}} = \frac{Q^2}{g} \quad (8.5)$$

$$A_{cr} = b_{cr} \cdot h_{cr} \quad (8.6)$$

în care

A_{cr} și b_{cr} depind de h_{cr} și reprezintă aria, respectiv lățimea în secțiunea de curgere cu adâncimea h_{cr} , Q reprezintă debitul de calcul, iar g accelerația gravitațională.

În cazul secțiunilor dreptunghiulare cu $b_{cr}=b$ relația (8.5) devine:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \quad (8.7)$$

iar pentru secțiuni de curgere circulare pentru determinarea lui h_{cr} se utilizează o relație mai complexă:

$$\frac{(A_{cr})^3}{b_{cr} \cdot d^5} = \frac{Q^2}{g \cdot d^5} \quad (8.8)$$

Pentru alte forme de secțiuni în norme sunt date grafice pe baza cărora se pot stabili parametri ce permit determinarea înălțimii critice h_{cr} .

Înălțimea liberă sub podeț Δh , în cazul podețelor cu nivel liber de curgere, se stabilește astfel încât debitele de calcul și de verificare să poată curge prin secțiunea respectivă fără atingerea părții inferioare a suprastructurii podețului. Pentru podețele neînecate în aval (Fig. 8.18), pentru care este valabilă relația $h_{cr} > 0.8h_{av}$, înălțimea liberă Δh se determină la intrarea în podeț, luându-se în calcul și înălțimea datorată pierderii de sarcină (*remu-ul*) în podeț considerată cu valoarea $(1/3)h_r$. Dacă podețul este înecat în aval (Fig. 8.19) și există relația $h_{cr} < 0.8h_{av}$, Δh se determină la capătul din aval al podețului, deoarece înălțimea liberă este mai mică.

Nivelul apei în amonte de podeț nu trebuie să depășească un nivel maxim numit *gardă* și notat cu ΔH în raport cu platforma căii (Fig. 8.16-8.18). Valoarea minimă a gării corespunzătoare debitului de calcul este de 50 cm.

De asemenea viteza apei în podeț și la capătul aval nu trebuie să depășească viteza admisă în calcule pentru terenul considerat sau pentru protecția albiei, întrucât pot exista eroziuni puternice, spălări de material și chiar dislocări ale protecției care pot obtura podețul.

Pentru podețele înecate sub presiune (Fig.8.19) sunt valabile aceleași precizări făcute anterior pentru podețele cu nivel liber de curgere a apei.

În cazul podețelor deschise, înălțimea lor h_p se stabilește scăzând înălțimea de construcție h_c din distanța măsurată pe verticală între cota radierului și cota căii. Pentru căile ferate cota căii este dată de nivelul superior al traverselor.

Dacă podețele sunt închise și înglobate în terasamente, înălțimea lor rezultă din condiția asigurării scurgerii în bune condiții a debitului de calcul pentru o anumită valoare a luminii stabilită în urma dimensionării hidraulice.

Normele în vigoare privind calculul hidraulic recomandă ca înălțimea podețelor să fie mai mare decât înălțimea stratului de apă din aval de podeț pentru evitarea înecării podețelor.

Pentru o lungime de podeț de maximum 18 m este recomandată în norme o înălțime minimă de 1 m.

Celălalt parametru care definește spațiul liber sub podețe este *lumina* (vezi Capitolul 2). Valoarea luminii este influențată de profilul longitudinal al căii de comunicație deservită de podeț, de nivelele apei în amonte, respectiv în aval de podeț și de factori economici. La albie bine conturate lumina podețului trebuie să aibă o valoare cel puțin egală cu lățimea albiei minore pentru asigurarea scurgerii apelor medii în condiții optime.

Atât în cazul podețelor cât și al podurilor, spațiile libere sub aceste lucrări de artă se stabilesc în faza de proiectare și au la bază studii topografice ale terenului din amplasament, studii hidrologice, date privind curgerea apelor în regim de iarnă când pot apărea ghețuri sau zăpoare, studii geotehnice și studii referitoare la protecția albiei sau a taluzelor în zona traversată de pod sau podeț.

CAPITOLUL 9

METODE DE MONTAJ UTILIZATE LA PODURI

9.1 GENERALITĂȚI

Metoda prin care se va face execuția unui pod este stabilită încă din faza de proiectare. De regulă asemenea decizii se iau în faza de stabilire a soluției, dar de foarte multe ori, în acest stadiu al lucrării, chiar dacă există metode de execuție agreate într-o mai mare măsură decât altele, deoarece par mai avantajoase din anumite puncte de vedere (economic, al timpului necesar execuției, al ușurinței execuției etc.), există riscul ca aceste metode să nu poată fi aplicate într-un anumit amplasament.

La alegerea metodei adecvate contribuie într-o mare măsură factori legați de posibilitățile de uzinare (realizare în uzină a tronsoanelor structurii; *tronson* – parte a unei construcții rezultată în urma montării în uzină sau pe șantier, a mai multor subansambluri; *subansamblu* – parte a unei construcții realizată ca produs finit rezultat în urma unor operații efectuate în uzină), de transport pe căile de comunicație, precum și disponibilitatea executantului în ceea ce privește utilajele necesare și personalul calificat. De exemplu, în cazul unei structuri de pod pentru care s-ar aprecia ca adecvată o metodă ce ar permite uzinarea unor tronsoane de mari dimensiuni poate fi respinsă în final din lipsa posibilităților de transport de la uzină în amplasament.

Alegerea unei metode de execuție impune realizarea unui proiect special, pe faze de execuție, în care sunt precizate între altele, secvențele de

montaj și starea de eforturi ce ia naștere în elementele componente ale structurii în diferite stadii ale execuției. Prin alegerea adecvată a unei metode de montaj și prin stabilirea judicioasă a etapelor în care va decurge montajul se poate controla nivelul eforturilor în elementele structurale componente, astfel încât să fie redus la maxim consumul de elemente auxiliare (schele, macarale și dispozitive de rezemare suplimentare etc.) necesar execuției.

Există multe metode utilizate pentru montajul podurilor și alegerea unei metode depinde în foarte mare măsură de tipul structurii și mai ales de condițiile din amplasament. Totuși cele mai utilizate procedee de montaj la poduri sunt:

- a) *Montajul în amplasament la cota finală* cu macarale sau infrastructuri provizorii;
- b) *Montajul prin lansare*;
- c) *Montajul prin ridicare*;
- d) *Montajul în consolă*;
- e) *Montajul prin ripare*;
- f) *Montajul prin subzidirea elementelor de infrastructură*.

9.2 DESCRIEREA METODELOR DE MONTAJ

Montajul în amplasament la cota finală (Fig. 9.1) constă în asamblarea podului în poziția sa finală din mai multe componente individuale (tronsoane sau subansambluri) utilizând atât reazeme provizorii (schele de montaj, palei metalice etc.), cât și utilaje de ridicare, cum sunt macaralele auto sau feroviare, care pot fi dispuse în vederea ridicării tronsoanelor fie lângă pod, sub acesta, sau pot circula pe partea de structură deja executată.

Schelele metalice frecvent utilizate sunt cele realizate din *profile (UYKM)* (Fig. 9.1). Sunt alcătuite din 23 de elemente tip corniere și gusee. Îmbinarea elementelor se face cu buloane păsuite și cu buloane brute. Cu

aceste elemente se pot realiza rame cu înălțimi de 2, 4 și 6 m, care la rândul lor se pot suprapune. Acest tip de schele metalice au fost utilizate pentru prima oară în cazul podului peste Dunăre între Giurgiu și Russe, pentru realizarea viaductelor de acces la podul principal.

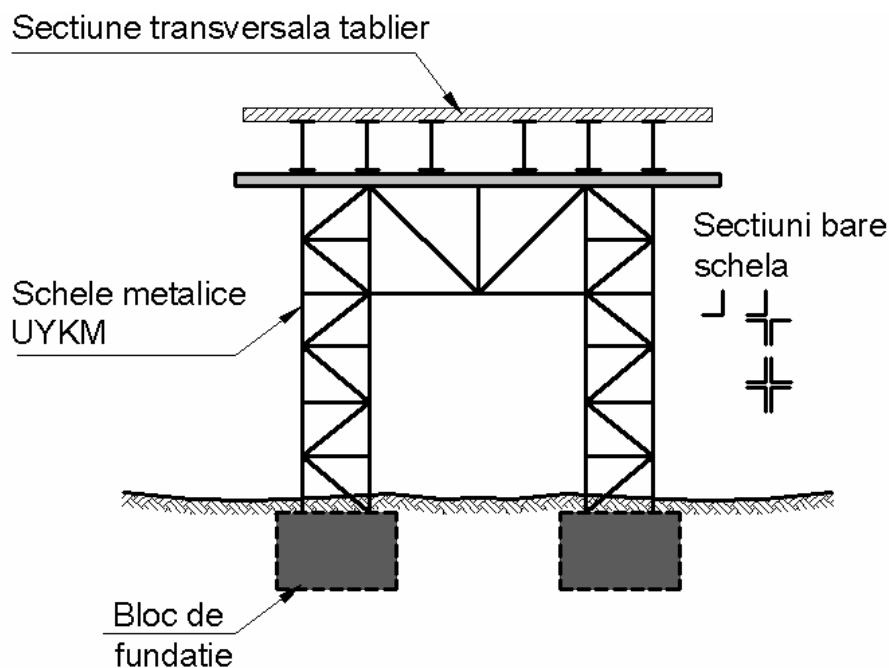


Fig. 9.1 Schele metalice utilizate la montaj

În cazul traversării apelor adânci și cu debite mari nu se pot utiliza schele metalice. În aceste situații se utilizează *palei metalice* (Fig. 9.2) realizate din țevi cu diametre mari (1-1.50 m). Se sapă în teren cu un greifer și apoi se introduc prin vibrare tuburile metalice. După ce s-a atins cota stabilită prin proiect, tubulatura se umple cu balast compactat în straturi succesive, la capătul superior lăsându-se un spațiu liber și după dispunerea unui cofrag, se toarnă o riglă din beton armat care va susține temporar suprastructura podului ce urmează să fie executat.

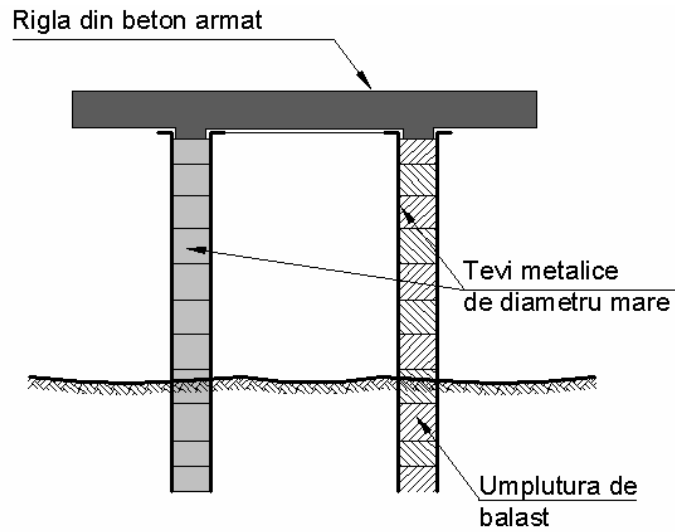


Fig. 9.2 Schema unei palei metalice

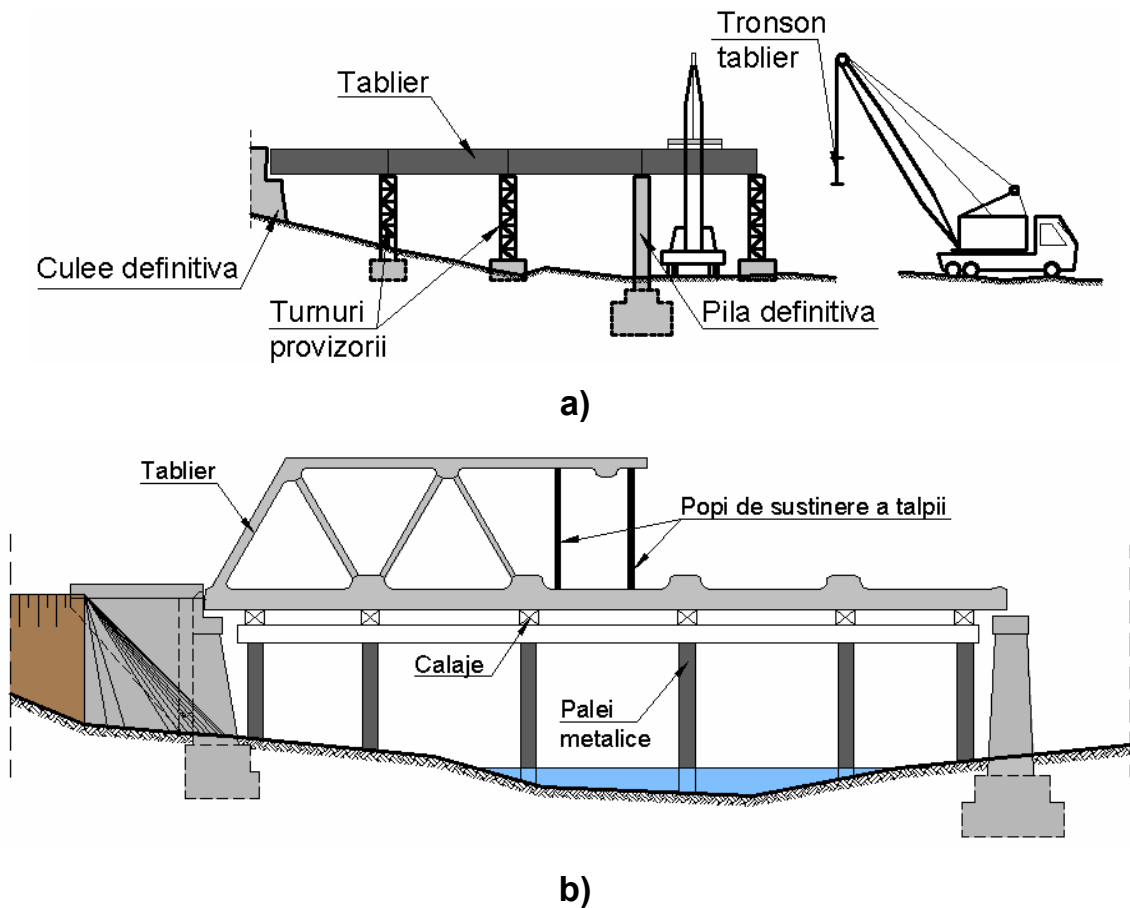


Fig. 9.3 Montajul pe șantier

a) Utilizând macarale

b) Cu susținerea suprastructurii executate pe infrastructuri provizorii (palei metalice)

În vederea așezării în poziție a elementelor tronsonate de suprastructură, elementele de infrastructură definitive (pile și culee) trebuie să fie deja executate.

Dacă se utilizează schele de montaj (Fig.9.3b), principalul inconvenient al metodei este legat de faptul că pe durata montajului nu se poate circula pe calea de comunicație ce va fi susținută de pod. Dacă schelele de montaj sunt dispuse în albia cursurilor de apă (Fig. 9.4), trebuie realizate astfel încât să nu se obtureze albia și să nu se modifice regimul de curgere al apei.

Metoda de montaj cu macarale se poate utiliza în situațiile în care tronsoanele asamblate nu au dimensiuni foarte mari și accesul la locul din amplasament ar face dificilă utilizarea altor metode de montaj. Montajul cu macarale, schele de montaj și reazeme provizorii se poate utiliza împreună cu alte procedee care vor fi descrise pe scurt în continuare.



Fig. 9.4 Montarea pe infrastructuri provizorii a podului peste Olt la Căineni

b) *Montajul prin lansare* (Fig. 9.5a) se poate face în două moduri:

- pe schela de lansare
- prin lansare în consolă

În ambele situații este necesară existența unui spațiu liber în spatele uneia dintre culeele podului, unde se poate realiza montajul suprastructurii, pe calaje din blocuri de beton sau realizate din stive de traverse de cale ferată, pe o platformă de montaj.

În cazul primului procedeu, *montaj pe schela de lansare* (Fig. 9.5), pe terasament, în spatele culeii pe toată lungimea suprastructurii montate și pe reazemele formate de elementele de infrastructură definitive (pile definitive) sau provizorii (turnuri provizorii realizate din schele sau palei metalice) se montează grinzi de inventar (de regulă pachete de grinzi cu inimă plină metalice) pe care se realizează o cale de lansare formată din șine. După montarea și alinierea tronsoanelor pe calaje, se realizează ridicarea acestora cu prese și se montează sub grinzile principale cărucioare (Fig. 9.6) sau patine de teflon. Suprastructura este apoi coborâtă pe calea de lansare cu ajutorul preselor și cu ajutorul unor dispozitive de tragere (trolii de mare capacitate) dispuse pe partea opusă a obstacolului sau cu ajutorul unor dispozitive de împingere (prese cu cursă orizontală) este lansată pe calea de lansare, în secvențe repetate cu controlul atent al mișcării.

O situație particulară a metodei de lansare utilizând o cale pe care se deplasează tablierul, apare dacă obstacolul traversat este un râu și se dorește deplasarea tronsoanelor îmbinate de pe uscat pe apă, până în locul unde trebuie realizat podul. În acest caz lansarea se face utilizând pe uscat calea de lansare și cărucioare, iar pe apă pontoane sau barje ce susțin calea pe care se deplasează suprastructura montată a podului (Fig. 9.5b).

În cazul celui de-al doilea procedeu, *lansarea în consolă* (Fig. 9.7) utilizat de regulă acolo unde există înălțime mare peste obstacolul traversat, în spatele culeii unde se realizează montajul, dar și pe pilele definitive deja

executate și pe eventualele turnuri provizorii se montează cu roțile în sus cărucioare.

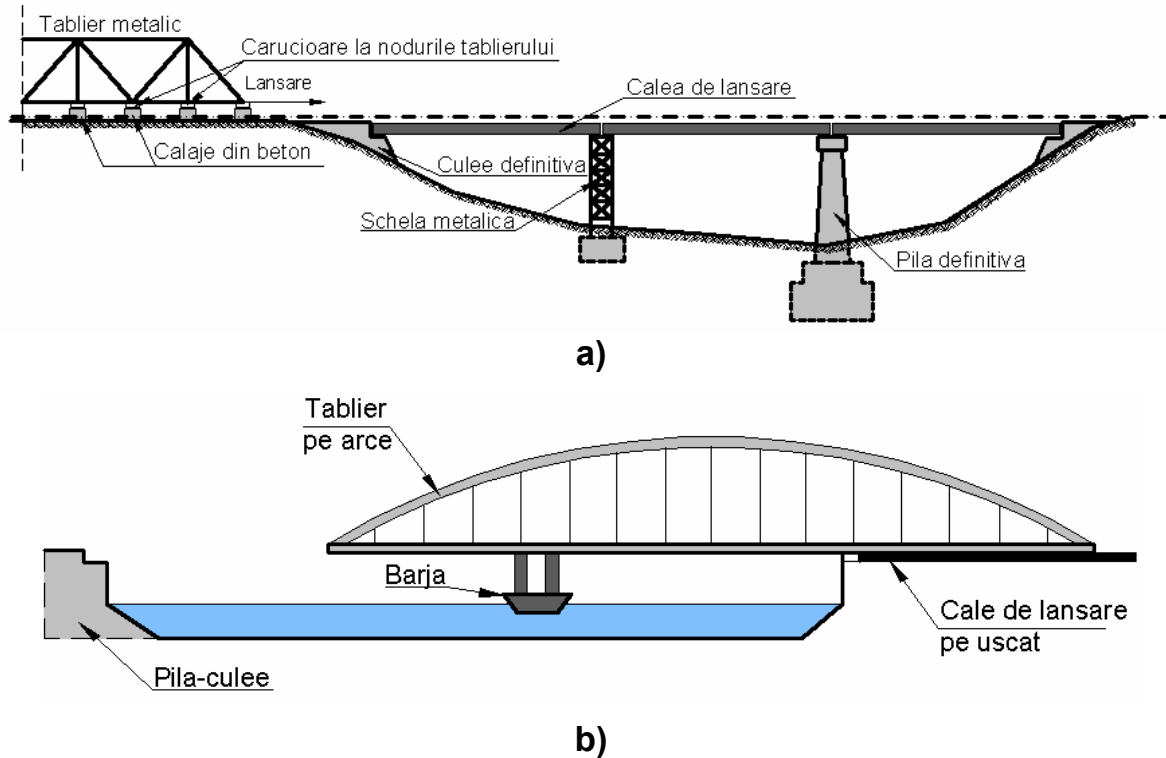


Fig. 9.5 Montajul prin lansare
a) Lansare pe schela de lansare
b) Lansare pe cale de lansare pe uscat și pe barje pe apă

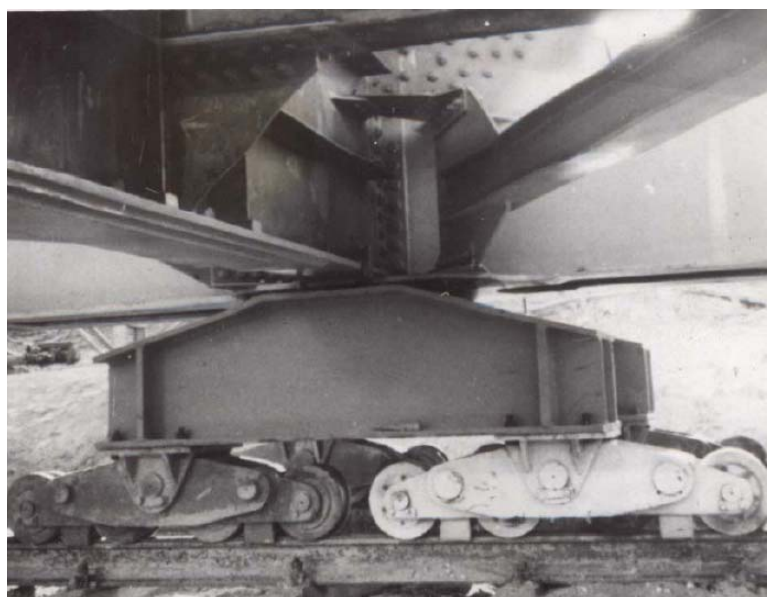


Fig. 9.6 Cărucior pentru lansare montat sub suprastructură

La partea inferioară a suprastructurii montate se dispune o cale inversă (printr-un sistem de elemente se fixează de partea de jos a suprastructurii șine de cale ferată întoarse). Suprastructura cu calea montată va avansa pe cărucioare montate cu roțile în sus pe elementele de infrastructură provizorii și definitive (Fig. 9.7).

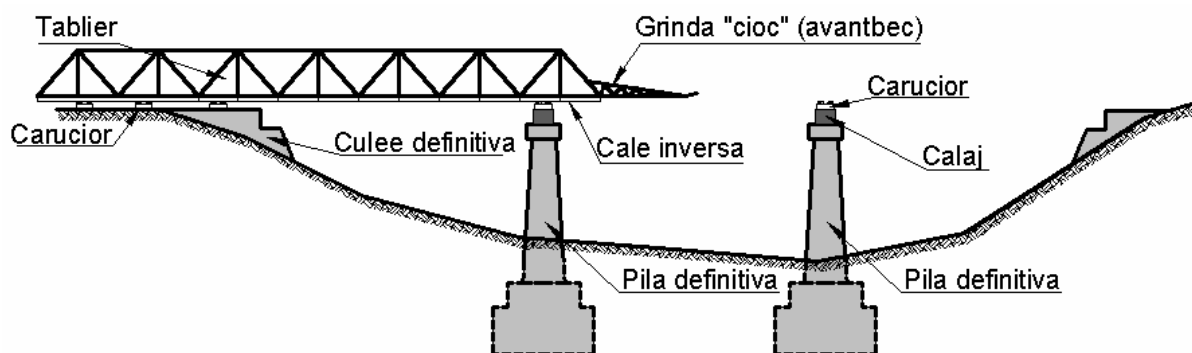


Fig. 9.7 Lansare în consolă cu opriri pe infrastructuri

În timp ce în cazul primului procedeu rezemarea podului se face în permanență pe elementele definitive și provizorii de infrastructură prin schela de lansare, în cazul lansării în consolă trebuie controlată în permanență valoarea săgeții structurii care avansează fără a avea alte rezemări intermediare. Avansarea se face cu oprire în dreptul fiecărei rezemări de pe parcurs, iar pentru micșorarea săgeții la capătul consolei dar și pentru a ușura "urcarea" pe reazemele intermediare în timpul lansării se utilizează o "grindă cioc" sau un "avantbec" (Fig. 9.7).

În ambele procedee, după ce suprastructura a ajuns în poziția finală pe orizontală, iar elementele de susținere provizorii și cele care au servit la deplasarea suprastructurii sunt demontate, cu ajutorul preselor și calajelor podul este coborât la cota definitivă pe elementele de infrastructură, pe care în prealabil au fost montate aparatele de reazem definitive.

Deși metoda este în principiu simplă, necesită totuși spațiu mare liber de montaj în spatele uneia dintre culee, alinierea cu precizie a tronsoanelor pe

calaje în vederea solidarizării lor și implică riscuri mari pe toată perioada de lansare controlată.

Pe toată perioada efectuării operațiilor trebuie realizat un control amănunțit al pozițiilor ocupate de suprastructură la diferite momente de timp, precum și al deformațiilor elastice și al eforturilor apărute la diferite elemente structurale.

În figura 9.8 este prezentat montajul prin lansare al podului de la Nazarcea.



Fig. 9.8 Montaj prin lansare pe cale de lansare la podul de la Nazarcea

c) *Montajul prin ridicare* (Fig. 9.9) presupune ridicarea pe verticală a unei părți (tronson) a suprastructurii unui pod până la cota finală, urmând apoi așezarea suprastructurii pe reazeme provizorii sau pe cele definitive. Tronsoanele ridicate pot fi de dimensiuni mici, ca în cazul podurilor pietonale sau de dimensiuni mari unde se poate ajunge la sarcini de câteva sute sau chiar mii de tone. Montajul prin ridicare se poate utiliza împreună cu montajul în consolă, pentru introducerea tronsoanelor finale, după ce cea mai mare parte a suprastructurii podului a fost executată în consolă.

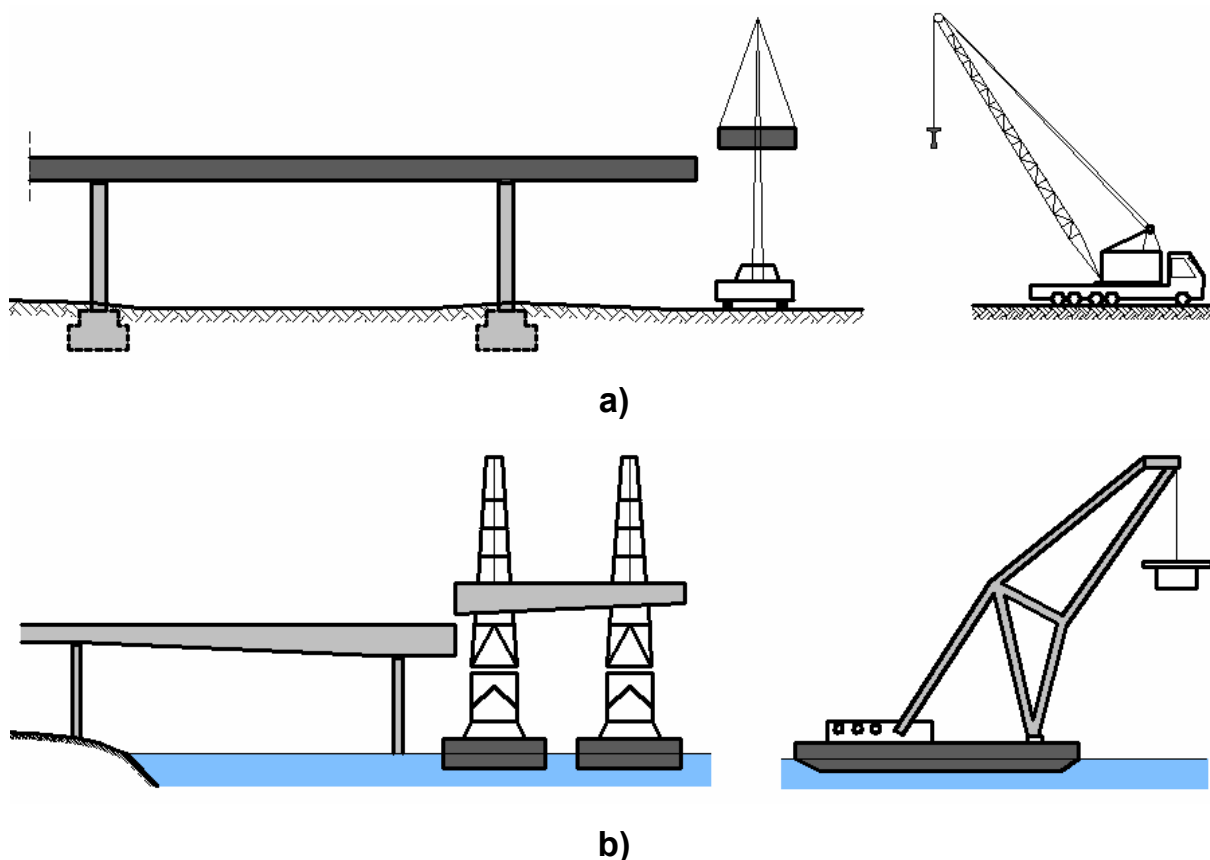


Fig. 9.9 Montajul prin ridicare cu macaraua și menținere în poziția de asamblare
a) Cu o singură macara
b) Cu două macarale plutitoare simultan

Operațiile de montaj prin ridicare se fac cu macarale auto sau feroviare de capacități mici, în cazul podurilor mici, în timp ce pentru poduri cu deschideri mari care traversează cursuri de apă se utilizează macarale plutitoare cu capacitate mare. De asemenea, pentru ridicare se pot utiliza trolii dispuse pe partea deja executată a suprastructurii sau dispozitive cu benzi de ridicare de care se agață partea suprastructurii ce urmează a fi ridicată. La podul peste Dunăre la Giurgeni-Vadu Oii s-a utilizat sistemul cu benzi și dispozitive de ridicare (Fig. 9.10). Pentru aducerea tronsoanelor în amplasament în vederea montajului se pot utiliza diverse modalități de transport, inclusiv transportul prin plutire, pe apă, pe barje de mare capacitate.

Ridicarea părților componente ale suprastructurii se poate face cu mai multe dispozitive de ridicare simultan, caz în care operația trebuie controlată foarte strict pentru a se evita orice abateri de la poziție care ar putea duce la imposibilitatea montării tronsoanelor ridicate.

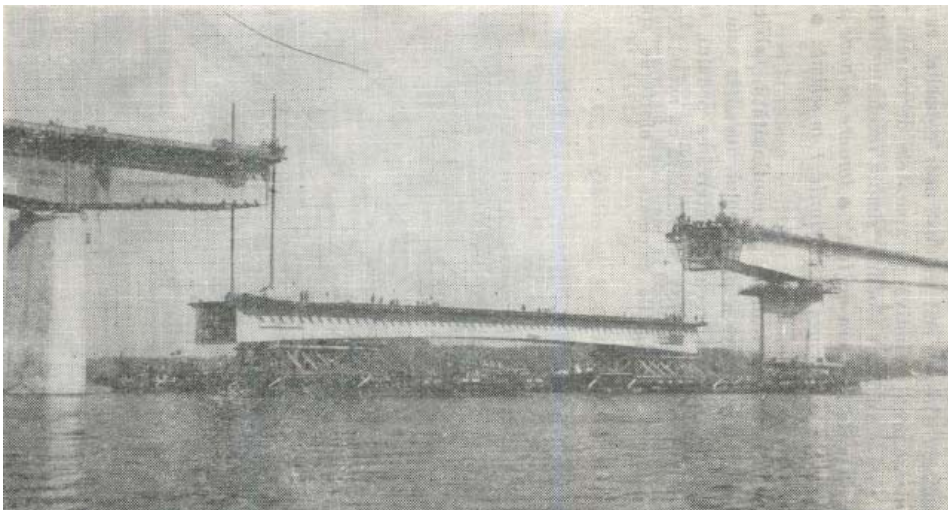


Fig. 9.10 Ridicarea cu benzi a tronsonului central al podului peste Dunăre la Giurgeni-Vadu Oii

În cazul podurilor suspendate, montajul prin ridicare-coborâre se face utilizând cablurile principale ale podului, deja așezate în poziție, peste pilonii de susținere. Tronsoanele sunt aduse pe verticala poziției unde urmează să fie montate cu un sistem de cărucioare care rulează pe cablurile portante principale, după care sunt coborâte la cota finală (Fig. 9.11).

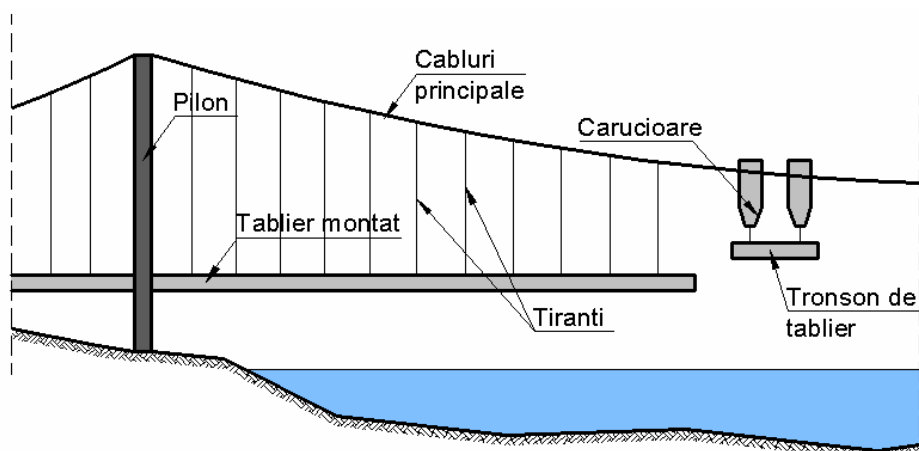


Fig. 9.11 Montajul prin glisare pe cablu și coborâre la poduri suspendate

d) *Montajul în consolă* (Fig. 9.12) constă în execuția continuă a suprastructurii podului cu una sau mai multe deschideri, în mod progresiv, pornind dinspre o culee sau dinspre ambele culee, atașând noi tronsoane la cele deja dispuse în poziție.

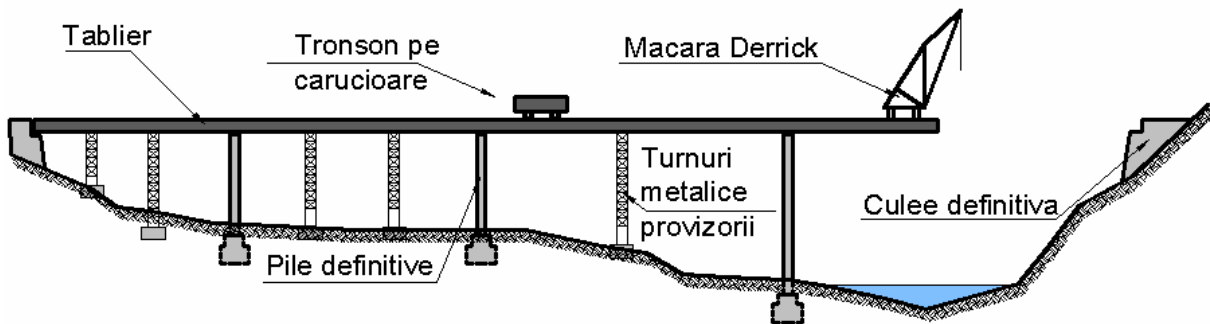


Fig.9.12 Montajul în consolă cu macarale Derrick



Fig. 9.13 Montaj în consolă la viaductul Cătușa

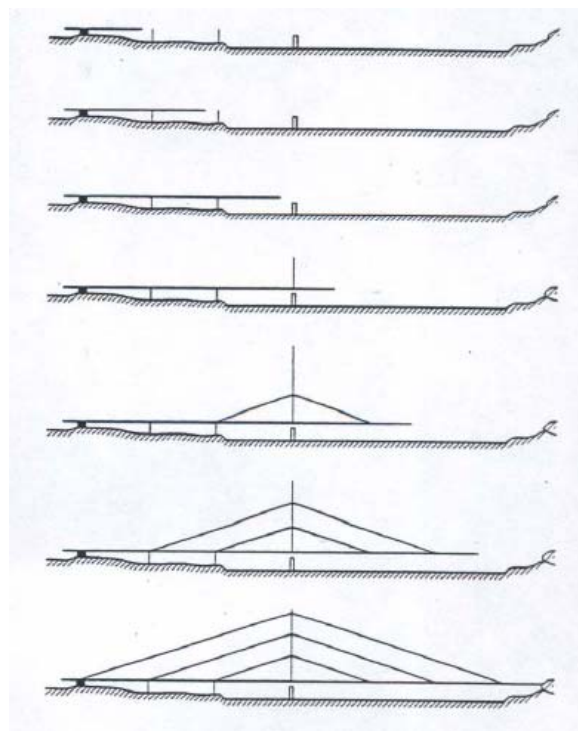


Fig. 9.14 Montaj în consolă al unui pod cu hobane [7]

Tronsoanele de început sunt fie montate în amplasament pe schele de montaj și apoi lansate în poziție finală, fie montate prin lansare sau prin ridicare la cotă. Celelalte tronsoane sunt apoi conectate la cele deja dispuse în poziție fie prin ridicare, fie aducându-le în poziție pe partea de suprastructură montată și apoi prin coborâre până la cota finală cu ajutorul unor macarale sau al troliilor (Fig. 9.12).

Un pod important din beton armat realizat prin montaj în consolă a fost viaductul Cătușa (Fig. 9.13).

Metoda se utilizează de regulă intens în special în cazul podurilor cu hobane (Fig. 9.14), cablurile reprezentând reazeme intermediare pentru suprastructură pe toată durata montajului. Și în aceste cazuri se pot utiliza pentru montaj macarale Derrick sau platforme, agățate de suprastructura deja executată, care asigură transportul în poziție ale noilor tronsoane (Fig. 9.15).

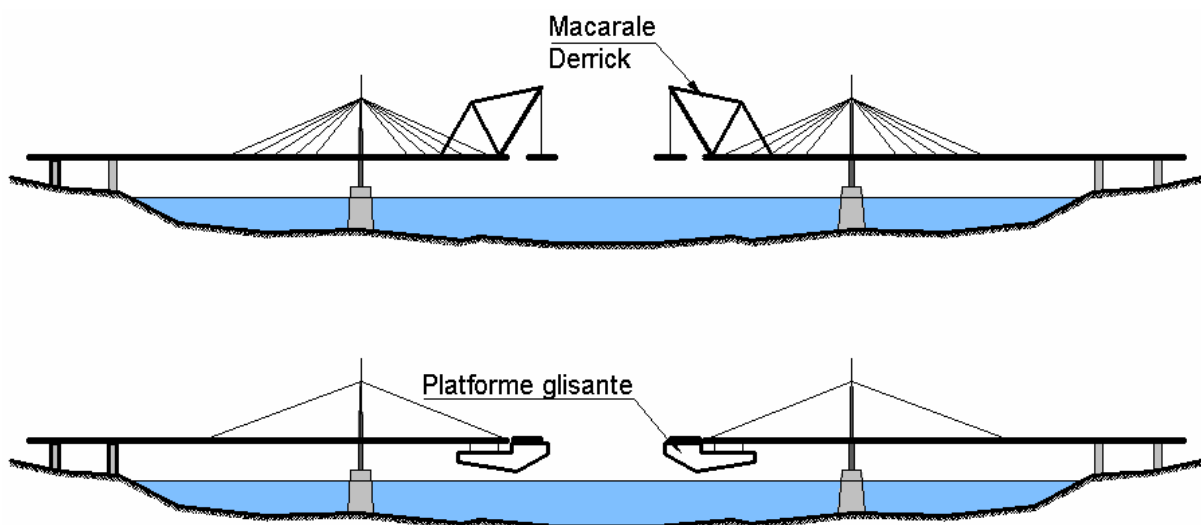


Fig. 9.15 Montaj în consolă al podurilor cu hobane utilizând macarale Derrick sau platforme glisante

e) *Montajul prin ripare* (Fig. 9.16) constă în executarea suprastructurii podului pe o schelă de montaj, dispusă paralel cu amplasamentul, urmând ca după asamblarea suprastructurii aceasta să fie translatată în poziția finală,

printr-o mișcare efectuată în sens transversal căii de comunicație susținută de pod. Dacă structura se montează la nivelul terenului, pentru a ajunge la cota finală pe elementele de infrastructură (pile și culee) se utilizează montajul prin ridicare.

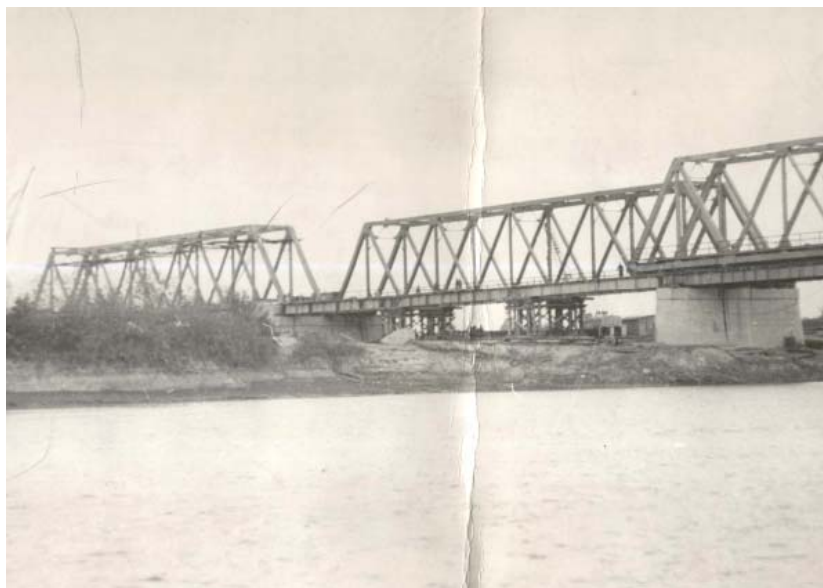


Fig. 9.16 Montaj prin ripare la podul peste Siret la Barboși

Translația structurii se realizează pe o cale de rulare cu ajutorul unor cărucioare sau patine cu teflon în vederea reducerii forțelor de frecare.

Această metodă se utilizează în special în cazul înlocuirii unor suprastructuri ale podurilor care nu pot fi scoase din serviciu pentru perioade îndelungate de timp. Metoda prezintă însă dezavantajul că pe toată durata efectuării operațiilor de ripare nu se poate circula pe calea de comunicație respectivă, ceea ce poate reprezenta o problemă în cazul în care traficul auto sau feroviar este intens.

Această metodă a fost utilizată la montajul podului de cale ferată peste Siret la Barboși (Fig. 9.16).

f) În cazul *montajului prin subzidire* (Fig. 9.17) se realizează în prima etapă montajul suprastructurii la nivelul terenului, pe o schelă de montaj. După

asamblarea tronsoanelor ce formează suprastructura podului, aceasta este așezată pe calaje dispuse pe tronsoanele deja executate ale elementelor de infrastructură (pile și culee). După ce betonul din aceste tronsoane ale pilelor și culeelor a atins clasa, suprastructura este ridicată prin diferite metode (de regulă cu prese) și așezată din nou pe calaje, astfel încât se poate continua betonarea într-o nouă etapă a pilelor și culeelor. Operațiile se repetă până s-a realizat betonarea întregii elevații a elementelor de infrastructură, încluzând banchetele cuzineților pe care stau aparatele de reazem.

Această metodă conduce la durate de execuție relativ mari, întrucât nu se poate continua betonarea elevațiilor pilelor și culeelor până ce betonul din tronsoanele precedente nu a atins clasa. Metoda a fost utilizată pentru montajul în poziție al suprastructurii metalice pe arce a podului peste canalul Dunăre-Marea Neagră de la Basarabi (Fig. 9.17).



Fig. 9.17 Montaj prin subzidire la podul pe arce metalice de la Basarabi

CAPITOLUL 10

ACȚIUNI LA PODURI

10.1 GENERALITĂȚI

În faza de proiectare a unui pod, un rol esențial îl au stabilirea schemei statice a structurii precum și a încărcărilor ce pot apărea atât pe durata execuției structurii, cât și ulterior, pe durata de exploatare. Se acordă o mare atenție acestor două procese întrucât de ele depinde într-o măsură foarte mare gradul de siguranță al viitoarei structurii.

În cazul podurilor, stabilirea valorilor încărcărilor și a pozițiilor acestora pe structură se poate face cu un grad satisfăcător de precizie, deoarece încă din faza de proiectare se cunoaște care este destinația structurii și ce tip de cale de comunicație va deservi și deci se pot aprecia tipurile de încărcări exterioare ce vor solicita structura. Încărcările convenționale așa cum sunt greutatea permanentă, încărcările utile date de sarcinile mobile, încărcările determinate de tehnologia de execuție etc., pot fi de regulă evaluate atât pe baza experienței de proiectare acumulate, dar și conform prescripțiilor de proiectare în vigoare. Există însă pe durata de exploatare a unui pod și situații de încărcare speciale, accidentale, survenite fie ca urmare a unor calamități naturale (seisme, inundații, perioade cu îngheț puternic cu formarea blocurilor de gheață etc.), fie datorită unor evenimente rare care pot apărea în zona podului în condițiile unui trafic intens pe calea de comunicație de pe pod sau pe cea traversată de acesta (accidente soldate cu lovirea și avarierea unor elemente

structurale ale podului). Toate aceste evenimente reprezintă scenarii posibile pe durata de exploatare a unei structuri de pod și ele se consideră cu mare atenție după stabilirea amplasamentului și a soluției constructive (a tipului de pod).

Reglementările în vigoare ale tuturor țărilor oferă informații referitoare la modul în care trebuie făcută evaluarea acțiunilor, în strânsă legătură cu modalitățile de calcul ce trebuie utilizate cu aceste acțiuni. Există două metode fundamentale pe baza cărora se face calculul podurilor și anume:

- *metoda rezistențelor admisibile*
- *metoda stărilor limită*

Prima metodă este din ce în ce mai puțin utilizată. La noi în țară această metodă se utilizează încă la proiectarea structurilor de poduri metalice și mixte, în timp ce în alte țări ea deja a fost înlocuită de cea de-a doua metodă. *Metoda rezistențelor admisibile* tinde să fie abandonată întrucât s-a constatat că ea nu exploatează la maxim capacitatea portantă a structurii derivată din rezistențele materialului utilizat și poate conduce deseori la supradimensionări ale elementelor principale de rezistență, cu implicații directe asupra costurilor și chiar asupra tehnologiilor și duratelor de execuție.

10.2 METODE DE CALCUL ALE PODURILOR

Siguranța structurilor este puternic influențată de caracteristicile materialelor utilizate, de variabilitatea încărcărilor și solicitărilor secționale, de variabilitatea dimensiunilor elementelor componente, precum și de posibilitatea acțiunii simultane a diferitelor încărcări.

După cum s-a precizat anterior, pentru calculul și dimensionarea podurilor există două metode de bază:

1. *Metoda rezistențelor admisibile*, utilizată în țara noastră pentru calculul podurilor metalice și cu structură compusă oțel-beton.
2. *Metoda stărilor limită*, utilizată în România pentru calculul și dimensionarea podurilor din beton armat și precomprimat.

10.2.1 Metoda rezistențelor admisibile

Se bazează pe compararea tensiunilor calculate considerând valorile maxime ale încărcărilor (de regulă *valori normate* ale încărcărilor) cu rezistențele admisibile (care sunt de regulă fracțiuni ale rezistențelor normate).

Valorile normate (ale încărcărilor sau rezistențelor) - valori de referință rezultate pe baza unei determinări statistice a situațiilor apărute în practică.

În general se consideră valori scăzute ale rezistențelor și valori ridicate pentru acțiuni.

În cazul *metodei rezistențelor admisibile*, se utilizează numai *valori normate* ale acțiunilor și rezistențelor. Raportul dintre rezistența materialului și efectul produs de acțiunile ce solicită elementul se numește *coeficient de siguranță*, deci între cele două mărimi se poate scrie relația:

$$F \leq \frac{R}{\gamma} \quad (10.1)$$

unde:

F este efectul produs de acțiuni;

R este rezistența materialului din care este alcătuit elementul verificat;

γ este coeficientul de siguranță, unic.

Verificările de rezistență în metoda rezistențelor admisibile presupun compararea valorilor maxime, efective ale eforturilor unitare (tensiunilor)

normale, tangențiale sau echivalente cu valorile admisibile ale accelerațiilor utilizând relațiile:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max,ef} &\leq \sigma_a \\ \tau_{\max,ef} &\leq \tau_a \\ \sigma_{echiv,ef} &\leq \sigma_{ech,a}\end{aligned}\tag{10.2}$$

Rezistențele admisibile se determină ținând seama că, în mod obișnuit, pentru verificările de rezistență, rezistența normată a materialului R_n , este chiar limita de curgere a acestuia σ_c în cazul structurilor metalice, deci :

$$\sigma_a = \frac{R_n(\sigma_c)}{c}\tag{10.3}$$

cu c coeficient de siguranță rezultat din experiența de proiectare.

Diferențierea între cazurile de solicitare, în funcție de natura și mărimea încărcărilor se face prin *coeficienți de siguranță diferențiați*.

Normele bazate pe metoda rezistențelor admisibile stabilesc trei *grupări de încărcare* pentru care sunt stabiliți trei coeficienți de siguranță :

- *gruparea fundamentală (I)*, $c_I = 1.50$
- *gruparea fundamentală suplimentată (II)*, $c_{II} = 1.33$
- *gruparea specială (III)*, $c_{III} = 1.20$

10.2.2 Criterii de dimensionare în metoda rezistențelor admisibile

Criteriul de rezistență cuprinde fenomene cum sunt *pierderea stabilității (flambaj sau voalare)* și *fenomenul de oboseală*. În aceste situații verificările se fac prin raportare la valorile admisibile ale rezistențelor pentru flambaj, voalare și durabilitate limitată.

Un al doilea criteriu este *criteriul de rigiditate*, ce are în vedere deformațiile elementelor structurale pe perioada de exploatare a unei

structuri. Prin acest criteriu se urmărește limitarea deformațiilor elastice (săgeților) anumitor elemente, reducerea oscilațiilor din vibrații etc.

Pentru anumite structuri, în funcție de modul de alcătuire și de condițiile de încărcare, criteriul de rigiditate poate fi mai sever decât criteriul de rezistență (incluzând aici și fenomenele de pierdere a stabilității respectiv de oboseală).

Ultimul criteriu este cel *constructiv*, pe baza căruia încă din faza de proiectare a unei structuri, se urmărește asigurarea funcționalității și durabilității construcției. Trebuie evitată, alegerea unor detalii constructive care să complice procesul de execuție și accesul la inspecțiile necesare în perioada de serviciu.

De asemenea se urmărește pe cât posibil simplificarea execuției prin proiectarea elementelor structurale în mod cât mai rațional, prin păstrarea, acolo unde este posibil, a unor dimensiuni comune mai multor elemente, a unor sisteme de îmbinare similare în vederea simplificării detaliilor de execuție.

10.2.3 Metoda stărilor limită

O metodă care ține seama de variabilitatea tuturor factorilor ce influențează siguranța unei construcții și de interdependența acestor factori, determinată prin prelucrări statistice se numește *metodă probabilistică*.

În prezent datele statistice de care se dispune nu permit elaborarea unei astfel de metode de calcul și prin urmare se recurge la o utilizare parțială a metodelor probabilistice, prin conceptul de metodă *semiprobabilistică*. Aceste metode includ însă efecte de tipul variabilității rezistenței materialelor, de tipul caracterului aleatoriu al unor încărcări, de

tipul suprapunerii simultane a mai multor încărcări. *Metoda stărilor limită* face parte din categoria metodelor de calcul semiprobabilistice.

Particularitățile metodei stărilor limită sunt :

- consideră separat diferitele stări limită care pot apărea pe durata de viață a unei construcții;
- consideră separat și independent variabilitatea diferiților factori care afectează siguranța construcțiilor și determină datele cantitative corespunzătoare gradului de asigurare a construcțiilor.

Stările limită sunt împărțite în două categorii fundamentale :

a) *Stări limită ultime* ce corespund *epuizării capacității portante* a construcției sau deteriorării ireversibile a caracteristicilor necesare unei exploatare normale a acesteia. În categoria stărilor limită ultime intră:

- *deformațiile plastice remanente* excesive ale elementelor solificate de forța axială de întindere, ale elementelor încovoiate sau solificate de tensiuni de forfecare;
- *ruperile fragile* sau *ruperile prin oboseală* produse de prezența unor acțiuni variabile și repetate ;
- *pierderea generală* sau *locală a stabilității* elementelor structurale;
- *pierderea stabilității formei* sau a *poziției structurale* (răsturnare, lunecare).

În metoda stărilor limită, pentru verificări, sunt utilizate valori de calcul ale încărcărilor, rezistențelor etc.

Valorile de calcul sunt stabilite ținând cont de abaterile posibile în sens defavorabil față de valorile normate. Valorile de calcul ale acțiunilor rezultă prin multiplicarea valorilor normate cu anumiți coeficienți.

Ca structură generală, în metoda stărilor limită verificările se fac cu relații de tipul :

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i F_i \leq \sum_{j=1}^m \frac{R_j}{\gamma_j} \quad (10.4)$$

În care :

γ_i sunt coeficienți parțiali de siguranță ai acțiunilor, ce au valori cu atât mai mari, cu cât variația lor în timp pe structură este mai mare. Se aplică operatorul « \sum » pentru că acești coeficienți depind în mod direct de tipul acțiunilor (de exemplu : încărcări permanente, cvasipermanente, încărcări variabile etc.);

γ_j coeficienți parțiali de siguranță pentru rezistențele materialelor, iar operatorul « \sum » se aplică în cazul utilizării în alcătuirea construcției a mai multor materiale (de exemplu în cazul structurilor mixte oțel-beton).

Pentru structuri de poduri integral metalice se poate utiliza o relație de forma :

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i F_i \leq \frac{R}{\gamma} \quad (10.5)$$

b) *Stări limită ale exploataării normale* ce controlează asigurarea a unei exploatare normale a construcției. Din această categorie fac parte deplasările excesive rezultate din analize statice sau dinamice.

Fenomenul de oboseală poate fi inclus și în categoria stărilor limită ale exploataării normale.

În mod uzual, verificarea *stării limită a exploataării normale* constă din determinarea deformației corespunzând unei anumite grupări de încărcări considerate cu *valori normate* și compararea acestora cu o valoare limită admisă:

$$f_{\text{calculat}} \leq f_{\text{admisibil}} \quad (10.6)$$

În ultimul timp, normele internaționale de calcul al structurilor metalice la acțiuni seismice au avansat ideea introducerii unei stări limită noi și anume *starea limită de avarie*.

Prin utilizarea stărilor limită este admisă ideea că nu există siguranță absolută și prin calculul elementelor și structurilor în ansamblul lor se urmărește obținerea unei asigurări raționale a construcțiilor, ținând seama de importanța funcțională și de durabilitatea acestora. De regulă, o asigurare rațională urmărește evitarea apariției stărilor limită, limitând la valori reduse sau corespunzătoare probabilitățile respective.

Verificarea elementelor de construcție se face prin compararea efectelor unei grupări de acțiuni (eforturi unitare, deformații etc.) cu mărimile similare corespunzătoare apariției diferitelor stări limită.

Pentru podurile din beton armat și precomprimat verificările la stări limită cuprind: verificarea la starea limită de rezistență, la starea limită de oboseală, la starea limită de fisurare, la starea limită de deformație, iar în cazurile în care rezultă ca necesară, verificarea la starea limită de stabilitate a poziției (răsturnare, lunecare).

10.3 CLASIFICAREA ȘI GRUPAREA ACȚIUNILOR CONSIDERATE LA PODURI

Pentru calculul podurilor, ca și pentru celelalte categorii de construcții, în normele românești acțiunile sunt clasificate în funcție de durata lor de aplicare pe structură, în următoarele categorii:

- a) acțiuni permanente;
- b) acțiuni temporare;
- c) acțiuni excepționale.

a) *Acțiunile permanente* sunt cele care se manifestă practic cu intensitate constantă pe toată durata de exploatare a construcției. Din această categorie fac parte: greutatea căii, greutatea structurii de rezistență a podului (care include atât greutatea elementelor de infrastructură culee și pile, cât și greutatea suprastructurii), greutatea și împingerea pământului care se manifestă asupra culeelor de la capetele podului ce fac racordarea cu terasamentele, precum și alte tipuri de încărcări cu caracter permanent. Evaluarea greutateilor căii, dar și a structurii de rezistență se poate face atât direct, utilizând dimensiunile elementelor componente și greutateile specifice ale materialelor din care sunt alcătuite sau utilizând valori aproximative precizate în prescripțiile corespunzătoare.

b) *Acțiunile temporare* sunt de lungă și de scurtă durată.

Acțiunile temporare de lungă durată au intensități constante pe durate mari de timp, dar mai mici decât durata de exploatare a construcției. În această categorie sunt incluse următoarele acțiuni: greutatea obiectelor sau instalațiilor montate pe pod (conducte, fire, cabluri și greutatea elementelor de prindere sau de susținere a acestora), variațiile termice de temperatură anuale, deformațiile în timp ale betonului (curgerea lentă și contracția), tasările și deplasările de fundații, presiunea și subpresiunea apei asupra anumitor părți ale pilelor sau culeelor podului.

Acțiunile temporare de scurtă durată au intensități variabile, intensitățile maxime aplicându-se pe durate reduse de timp, dar pot avea și intensități constante pe durate reduse de timp. Dintre cele mai frecvente acțiuni temporare de scurtă durată întâlnite în cazul structurilor de poduri se vor preciza aici următoarele: încărcările produse de convoaiele tip pentru poduri de cale ferată și șosea, forța centrifugă apărută la podurile în curbă, împingerea pământului din convoaiele tip, încărcările produse de oamenii care circulă pe trotuare, frânarea vehiculelor pe pod, variațiile

termice zilnice, diferența de temperatură între diferitele părți ale podului, presiunea exercitată de vânt ș.a.

c) *Acțiunile excepționale* apar foarte rar sau chiar niciodată pe durata de exploatare a unui pod. Aceste acțiuni se consideră totuși în etapele de proiectare ale podului pentru a se obține gradul de siguranță necesar unei exploatare fără riscuri, având în vedere faptul că podurile sunt construcții de interes public, pe care circulă o perioadă mare de timp oamenii. Dintre acțiunile excepționale considerate în cazul podurilor sunt : izbirea navelor și ambarcațiunilor de pilele podurilor ce traversează cursuri de apă navigabile, încărcările provenind din acțiuni seismice, încărcări produse de distrugerea unor instalații fixe, aglomerări produse de oameni pe partea carosabilă și pe trotuare în cazul podurilor rutiere din localități sau în cazul podurilor pietonale, forțele produse de vehiculele de cale ferată care deraiază.

În vederea dimensionării și verificării elementelor structurale ale podurilor, acțiunile menționate mai sus trebuie grupate în așa fel încât să se obțină situația cea mai defavorabilă, dar posibilă, pe durata de exploatare a podului.

Pentru poduri, este utilizată frecvent noțiunea de *durată de viață*. Aceasta reprezintă perioada de timp scursă de la construcția podului până în momentul în care este necesar, datorită avariilor apărute, să se realizeze investiții importante pentru a reasigura utilizarea în condiții de siguranță a podului.

În cazul în care pentru calculul podurilor se utilizează metoda rezistențelor admisibile, gruparea acțiunilor se face fără a lua în considerare coeficienți suplimentari. Dacă metoda utilizată este cea a stărilor limită, fiecare acțiune dintr-o categorie sau alta este multiplicată cu *coeficienții acțiunilor*, după care se grupează cu alte acțiuni utilizând *coeficienți de grupare*, în vederea obținerii valorilor de calcul necesare

proiectării. Valorile acestor coeficienți de siguranță sunt incluse în normele de proiectare ai fiecărei țări în parte, date și în normele europene EUROCODE. În România precizările cu privire la clasificarea și gruparea acțiunilor pentru podurile de cale ferată și șosea sunt date de STAS 10101/OB-87.

În România, există trei grupări de acțiuni:

- a) *Gruparea I fundamentală*, care cuprinde acțiunile permanente, acțiunile temporare de lungă durată și acțiunile temporare de scurtă durată care se aplică repetat la intervale de timp scurte (de exemplu acțiunea convoaielor tip de proiectare, forța centrifugă, încărcările produse de oameni etc.);
- b) *Gruparea a II-a fundamentală suplimentată* cuprinde toate acțiunile din gruparea I fundamentală, la care se adaugă una sau mai multe acțiuni temporare de scurtă durată care se aplică repetat la intervale mari de timp (de exemplu frânarea vehiculelor și forțele de tracțiune la demarare, presiunea vântului, variațiile termice zilnice etc.). Tot în cadrul grupării a II-a sunt incluse și o parte din acțiunile ce pot apărea în timpul execuției podurilor ca urmare a tehnologiilor utilizate (execuția podurilor în consolă etc.);
- c) *Gruparea a III-a specială* în care sunt incluse toate acțiunile din gruparea a II-a fundamentală suplimentată în exploatare, la care se adaugă una din acțiunile excepționale.

Pentru stabilirea grupărilor de acțiuni trebuie să se aibă în vedere posibilitatea apariției simultane a mai multor acțiuni incluse teoretic în aceeași grupare. De exemplu, nu este real să se considere situația aglomerărilor cu oameni pe pod simultan cu acțiunea seismică, sau frânarea vehiculelor pe pod în timpul acțiunii seismice.

În normele europene *EUROCODE* clasificarea acțiunilor se face în funcție de mai mulți parametri și anume: după modul în care se manifestă

asupra structurii, după variația în timp, după variația în spațiu, după natura lor și a răspunsului structurii.

După modul de manifestare asupra structurii de rezistență, o acțiune aplicată unei structuri poate fi *directă*, dacă solicită direct o structură de rezistență sau *indirectă*, cum sunt deformațiile sau accelerațiile induse în structură de variațiile de temperatură, de tasări ale reazemelor sau de mișcări seismice.

În funcție de variația în timp acțiunile pot fi:

- *permanente*, notate simbolic cu G (de exemplu greutatea proprie a structurii de rezistență a podului, greutatea căii, a instalațiilor și utilităților de pe pod etc.);
- *variabile*, notate simbolic cu Q , ce pot fi încărcări impuse, încărcări date de acțiunea vântului, de zăpadă etc.
- *accidentale*, notate simbolic cu A , ca de exemplu încărcări produse de explozii, de seism, de impactul dintre vehicule și diferite părți ale podului.

După variabilitatea lor spațială, acțiunile pot fi:

- *acțiuni fixe*, ca de exemplu greutatea proprie a structurii;
- *acțiuni variabile ca poziție*, ca de exemplu încărcările date de convoaiele care circulă pe pod, încărcările date de vânt, zăpadă etc.

Natura lor și a răspunsului structurii pe care sunt aplicate determină clasificarea acțiunilor în:

- *acțiuni statice*, care nu produc în structură sau în elementele structurale accelerații importante;
- *acțiuni dinamice*, care produc în structură sau în elementele structurale accelerații importante.

În *EUROCODE* sunt definite următoarele noțiuni în legătură cu acțiunile:

- *valoare caracteristică* a unei acțiuni, care este valoarea principală reprezentativă a acțiunii, având indicele “ k ”. Pentru *acțiuni*

permanente (G), dacă variația acțiunii este mică, se poate utiliza o singură valoare G_k . În caz contrar, trebuie să se utilizeze două valori ce descriu acțiunea: o valoare maximă, respectiv una minimă.

În cazul *acțiunilor variabile (Q)*, valorile caracteristice sunt descrise de valori maxime cu o anumită probabilitate de a nu fi depășite într-o perioadă de timp considerată ca referință, respectiv valori minime cu o anumită probabilitate ca să nu existe valori sub cele minime, în aceeași perioadă de timp de referință.

Pentru acțiunile accidentale (*A*), valorile caracteristice sunt specificate explicit, în funcție de tipul acțiunii accidentale.

Pentru acțiunile variabile și accidentale, valorile reprezentative ce le descriu pot fi anumite *valori de grupare*, *valori frecvente*, respectiv *valori cvasi-permanente*, toate acestea fiind descrise de produse de forma $\psi_i \cdot Q_i$, ψ_i fiind coeficienți precizați în norme.

Valorile frecvente sunt determinate în funcție de timpul total, în cadrul unei perioade de timp alese ca referință, în care valoarea specificată este depășită cu o anumită cantitate sau în funcție de frecvența de depășire, limitată la o anumită valoare.

Valorile cvasi-permanente sunt definite astfel încât valorile specificate ale unei acțiuni sunt depășite pe o durată ce reprezintă un interval de timp semnificativ din perioada aleasă ca referință.

Valorile de proiectare (de calcul) ale acțiunilor notate cu G_d , Q_d și A_d se obțin din cele reprezentative (de regulă valorile caracteristice) prin înmulțirea acestora cu coeficienți, numiți *coeficienți parțiali de siguranță*, notați cu γ_G , γ_Q și γ_A .

Pe baza acțiunilor, respectiv în urma combinării acestora se obțin efectele asupra structurii, notate cu E , care pot fi eforturi pe secțiunea transversală a elementelor, eforturi unitare, deformații specifice sau deplasări.

În același mod, valorile de proiectare sau de calcul ale *rezistențelor materialelor*, noate cu R_d , se obțin prin împărțirea rezistențelor la coeficienți parțiali de siguranță γ_M , corespunzători materialului din care este realizată structura.

În *EUROCODE* acțiunile sunt grupate astfel:

- *gruparea pentru situații de proiectare persistente și tranzitorii* care este descrisă de relația:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (10.7)$$

- *gruparea pentru situații de proiectare accidentale*, descrisă de relația:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} + \gamma_{PA} \cdot P_k + A_d + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (10.8)$$

- *gruparea pentru situații de proiectare incluzând seismul*, pentru care se utilizează relația generală:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \gamma_I A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (10.9)$$

În relațiile de mai sus semnul “+” înseamnă “se combină cu”, “ \sum ” înseamnă “efectul combinat al”, iar mărimile care intervin sunt:

- G_{kj} Valoarea caracteristică a acțiunilor permanente;
- P_k Valoarea caracteristică a forțelor de precomprimare (pentru poduri din beton cu grinzi prefabricate precomprimate);
- Q_{k1} Valoarea caracteristică a acțiunii variabile dominante;
- Q_{kj} Valori caracteristice ale altor acțiuni variabile;
- A_d Valoarea de proiectare a acțiunii accidentale;
- A_{Ed} Valoarea de proiectare a acțiunii seismice;
- γ_{Gj} Coeficient parțial de siguranță pentru acțiunea permanentă i ;
- γ_{GAj} ca și γ_{Gj} , dar pentru situații de proiectare accidentale;
- γ_P Coeficient parțial de siguranță pentru acțiunea de precomprimare;
- γ_{Qi} Coeficient parțial de siguranță pentru acțiunea variabilă i ;
- γ_I Coeficient de importanță;

ψ Coeficienți pentru combinarea acțiunilor, pentru definirea acțiunilor frecvente sau cvasi-permanente.

Valorile tuturor coeficienților parțiali de siguranță pentru acțiuni, eforturi și rezistențele materialelor, a căror semnificație a fost prezentată anterior, sunt precizate în normele EUROCODE, respectiv în normele naționale ale fiecărei țări. Datorită utilizării acestor coeficienți, metoda stărilor limită se mai numește și *metoda coeficienților parțiali de siguranță*.

10.4 ACȚIUNI CONSIDERATE ÎN CAZUL PODURILOR DE ȘOSEA

10.4.1 Acțiuni permanente

În această categorie intră greutatea proprie a structurii de rezistență (greutatea elementelor de infrastructură pile și culee, greutatea suprastructurii), precum și alte suprasarcini cu caracter permanent cum ar fi greutatea straturilor necesare ca suport pentru realizarea căii (betonul de pantă, hidroizolația, șapa de protecție a hidroizolației), greutatea straturilor căii, greutatea parapetelor pietonale și a glisierelor de protecție contra vehiculelor și greutatea obiectelor și instalațiilor auxiliare dispuse pe pod pe perioade îndelungate de timp. În figura 10.1 este prezentată secțiunea transversală a unui pod de șosea cu alcătuire compusă oțel-beton și acțiunile cu caracter permanent considerate.

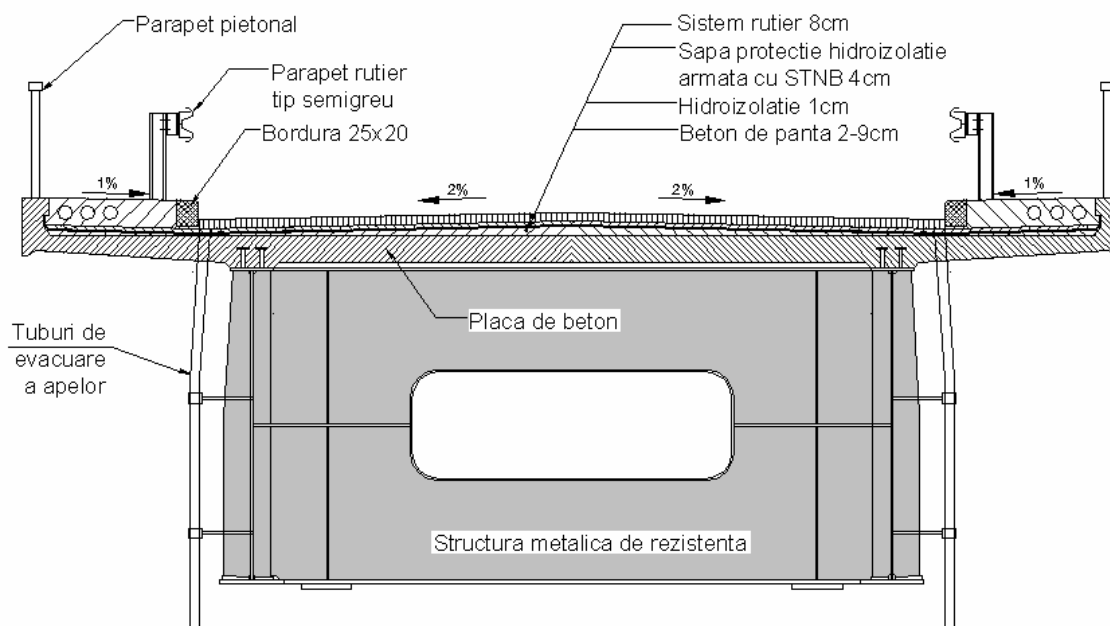


Fig. 10.1 Elementele de la care provin acțiunile de tip permanent la un pod de șosea

Stabilirea încărcărilor date de acțiunile permanente se poate face direct, prin evaluarea volumelor pe categorii de materiale și înmulțirea acestora cu valorile greutateilor specifice, dar se poate face și utilizând tabele de valori stabilite în funcție de tipul podului, al structurii de rezistență, al poziției căii etc.. Greutatea straturilor care formează calea poate avea variații semnificative pe durata de exploatare a unui pod ca urmare a adăugării unor noi straturi peste cele existente sau a reparațiilor efectuate în timp. Este necesar din acest motiv ca, încă din faza de proiectare, să se stabilească valorile maxime posibile la care se poate ajunge în ce privește grosimea sistemului rutier de pe pod.

10.4.2 Acțiuni din trafic

Acțiunile din trafic utilizate la poduri constau în modelarea efectelor date de vehiculele rutiere precum și a celor date de pietoni și bicicliști care circulă pe calea de comunicație deservită de pod. Aceste acțiuni sunt modelate prin

grupuri de încărcări concentrate, încărcări distribuite sau combinații ale acestora conform normelor de proiectare ale diferitelor țări, unele reprezentând chiar greutatea reală a vehiculelor considerate. De multe ori însă se adoptă valori pentru aceste acțiuni, în așa fel încât, să se simuleze producerea în elementele structurale a eforturilor care ar fi produse de vehiculele reale.

Efectele date de vehicule și în general de sarcini mobile asupra elementelor structurii de rezistență a podurilor se stabilesc utilizând *suprafețe de influență*. Acestea provin din liniile de influență ale eforturilor considerând și distribuția încărcărilor în sens transversal podului.

În normele românești și europene sunt precizate patru tipuri de încărcări ce pot modela acțiunile din trafic:

- a) încărcări uniform distribuite pe unitatea de suprafață;
- b) încărcări uniform distribuite pe unitatea de lungime;
- c) încărcări locale produse de roțile vehiculelor;
- d) încărcări ce modelează vehiculele tip reale.

Acțiunile din trafic se consideră în general cu efect dinamic, prin utilizarea unor coeficienți supraunitari (coeficienți dinamici sau de impact) specificați în norme. Această acțiune dinamică a vehiculelor provine fie din existența unor neregularități în structura căii de comunicație pe care circulă vehiculele (gropi, denivelări, rosturi de dilatație etc.), fie are un caracter mecanic și este produsă de disfuncționalități ale vehiculelor însăși. Pentru podurile rutiere situate pe drumuri principale și pe autostrăzi sporul în solicitările secționale determinat de considerarea coeficientului dinamic în normele românești poate ajunge până la 25-30%. În aceleași norme, valorile coeficientului dinamic ψ (a nu se confunda cu coeficienții parțiali definiți anterior pentru acțiunile din EUROCODE) sunt precizate în funcție de materialul din care este alcătuită suprastructura podului (oțel, beton sau mixtă otel-beton) și de deschiderea de calcul a acestuia. Noțiunea de *deschidere de*

calcul este precizată de asemenea în standarde, pentru fiecare tip de element structural care se calculează.

În normele EUROCODE, efectul dinamic este înglobat în valorile încărcărilor corespunzând unui anumit model de încărcare, care va fi prezentat în cele ce urmează.

a) *Încărcările uniform distribuite pe unitatea de suprafață* (Fig. 10.2) simulează efectul acțiunii vehiculelor reale.

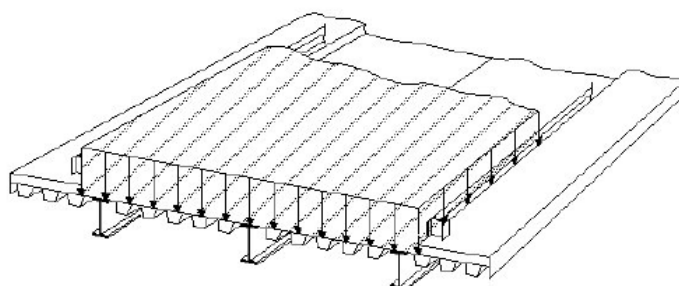


Fig. 10.2 Modelarea acțiunilor din trafic prin încărcări distribuite pe suprafață, pe lățimea benzilor de circulație [7]

În anumite coduri de proiectare, valoarea încărcării este constantă și independentă de suprafața ocupată, iar în alte prescripții valoarea încărcării scade pe măsura creșterii valorii suprafeței ocupate. Încărcările uniform distribuite se consideră de regulă pe benzile de circulație (ca în cazul EUROCODE), în lungul acestora, pe zone care conduc la valorile extreme ale eforturilor pe secțiunea transversală a elementelor structurale. Aceste încărcări pot fi din acest motiv continue dar și discontinue.

b) *Încărcările distribuite pe unitatea de lungime* (Fig. 10.3) derivă din încărcările uniform distribuite pe suprafață și nu reprezintă de fapt încărcări pe o singură osie, ci reprezintă o posibilitate de modelare a acțiunilor din trafic, care împreună cu încărcările uniform distribuite pe suprafață să conducă la distribuții apropiate de realitate ale forțelor tăietoare și momentelor încovoietoare în sens longitudinal și transversal podului analizat.

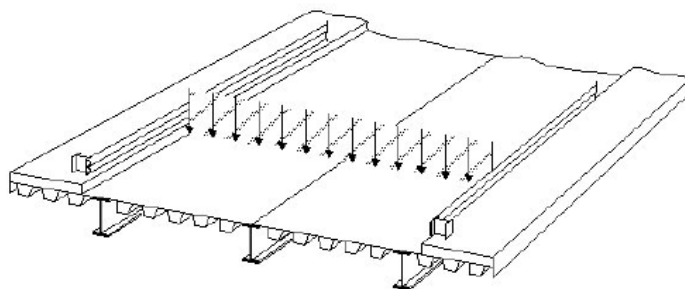


Fig. 10.3 Modelarea acțiunilor din trafic prin încărcări distribuite pe unitatea de lungime

c) *Încărcările locale produse de roțile vehiculelor* (Fig. 10.4, 10.5) sunt specificate diferit în normele internaționale și simulează efecte locale produse de câte o roată ce se află la un moment dat într-o poziție defavorabilă pe pod, pentru unul sau mai multe elemente ale structurii de rezistență.

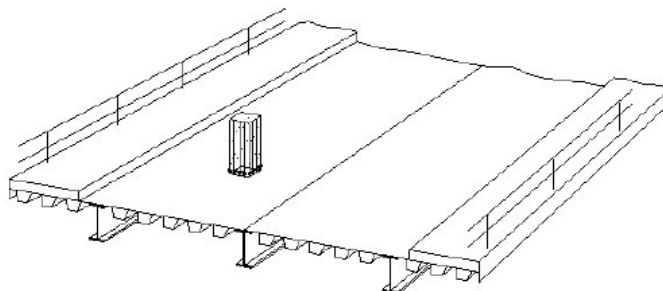


Fig. 10.4 Considerarea efectelor locale printr-o suprafață plană, de formă rectangulară

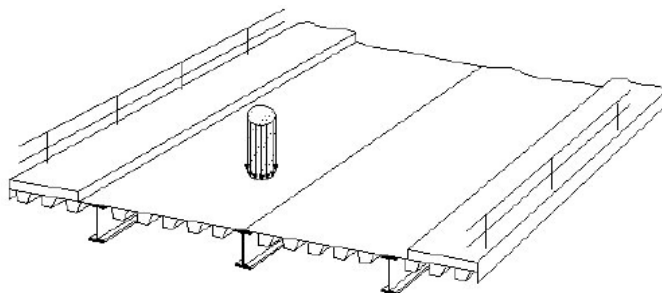


Fig. 10.5 Considerarea efectelor locale printr-o suprafață plană, de formă circulară

Forma în plan a amprentei roții poate fi circulară (Fig. 10.4) sau rectangulară (Fig. 10.5) și în funcție de modul de transmitere prin straturile căii se poate estima valoarea presiunilor locale, pe baza cărora pot fi stabilite eforturile unitare și deformațiile din încărcări locale.

Repartiția încărcărilor date de roțile vehiculelor prin structura rutieră până la structura de rezistență a podului se face sub unghiuri de 45° .

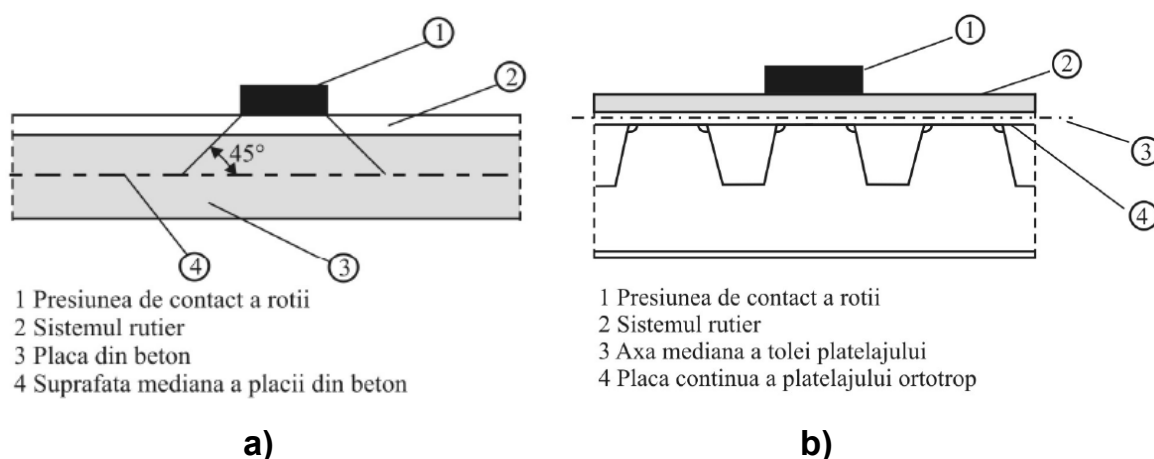


Fig. 10.6 Considerarea repartiției încărcărilor pentru stabilirea efectelor locale în EUROCODE
a) la poduri cu placă de beton
b) la poduri cu platelaj metalic ortotrop

În figura 10.6a,b sunt prezentate două situații de repartiție a încărcării conform precizărilor din normele EUROCODE.

d) *Încărcările ce modelează vehicule tip reale* pentru podurile de șosea sunt reprezentate de regulă printr-o succesiune de forțe concentrate, împreună cu/sau fără forțe uniforme distribuite, așezate la anumite distanțe în sens longitudinal, respectiv în sens transversal, ce reprezintă acțiunea unui singur vehicul sau unor șiruri de vehicule și care se pot găsi la un moment dat pe pod, în pozițiile care produc cele mai defavorabile efecte, fie din punct de vedere al solicitărilor, fie din punct de vedere al deformațiilor. În figurile 10.7, 10.8 sunt prezentate tipurile de vehicule standard utilizate pentru calculul podurilor de șosea.

În cazul podurilor a căror suprastructură este alcătuită din mai multe grinzi în secțiune transversală, repartizarea încărcărilor produse de vehicule între grinzile rețelei se obține considerând anumite așezări ale vehiculelor (șirurilor de vehicule) în sens transversal podului (Fig. 10.9a,b). Valorile coeficienților de repartitie transversală cu care se afectează încărcările produse de vehicule se pot stabili prin oricare din teoriile existente referitoare la acest subiect.

În normele pentru poduri rutiere din România, pe lângă vehiculele standard ce modelează șiruri paralele de autocamioane așezate pe pod, în pozițiile cele mai defavorabile stabilite în funcție de alura suprafețelor de influență ale eforturilor secționale, se mai consideră și vehicule speciale, pe pneuri sau șenile (Fig. 10.10, 10.11), care datorită greutateii lor mari pot conduce, pentru anumite valori ale deschiderii la efecte mai defavorabile decât șirurile de autocamioane A30 și A13.

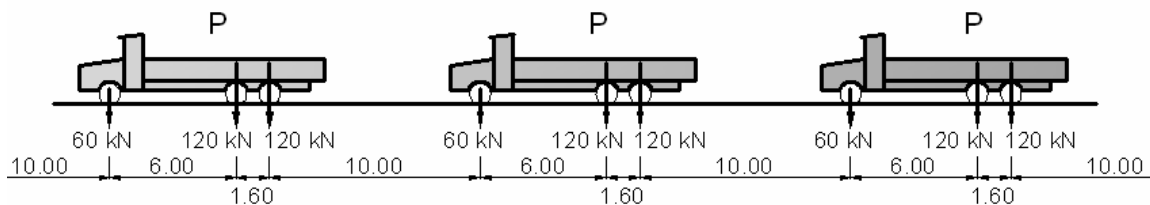


Fig. 10.7 Șiruri de vehicule A30

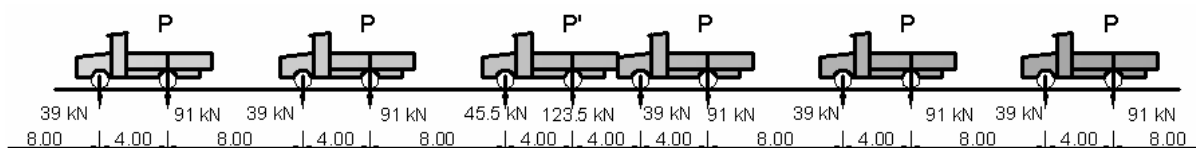


Fig. 10.8 Șiruri de vehicule A13

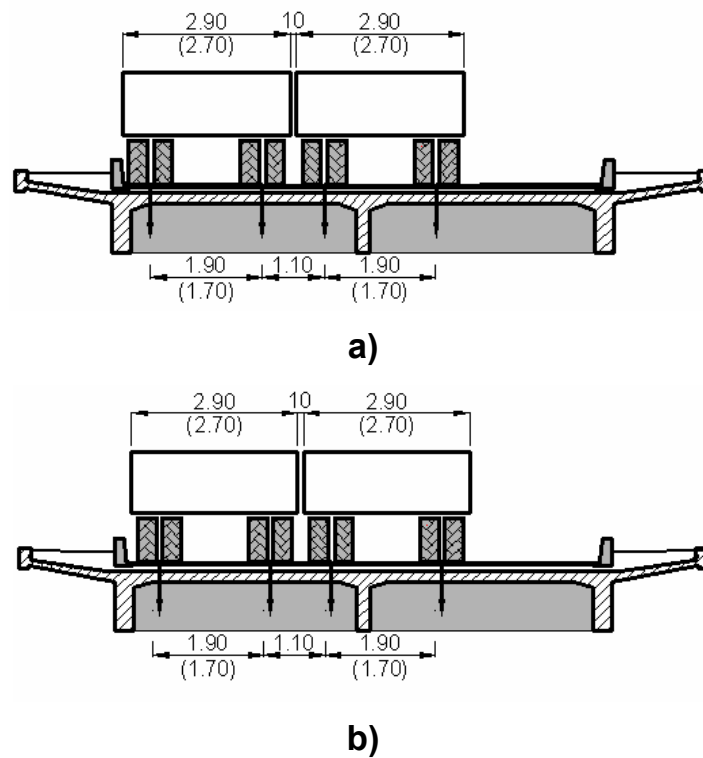


Fig. 10.9 Așezarea în sens transversal a șirurilor de vehicule A30 și A13

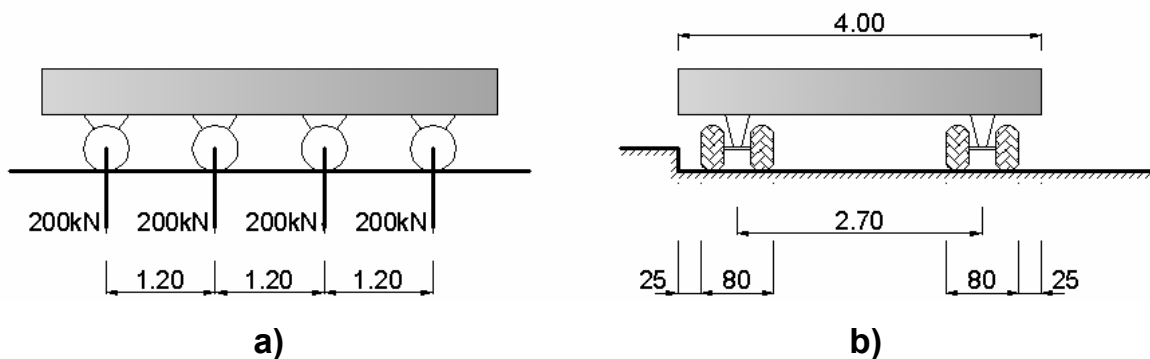


Fig. 10.10 Vehiculul special V80, pe pneuri
a) Succesiunea osiilor în lung; b) Așezarea în sens transversal podului

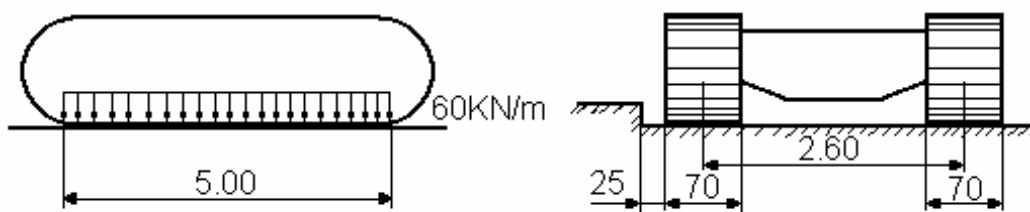


Fig. 10.11 Schema vehiculelor pe șenile, S60 și S40

În cazul vehiculelor pe șenile, în sens longitudinal podului se consideră că încărcarea este uniform distribuită, pe o lungime de 5m în cazul vehiculului S60, respective de 4 m în cazul vehiculului S40 (Fig. 10.11).

În EUROCODE, pentru calculele de rezistență în cazul podurilor de șosea sunt date două tipuri de vehicule denumite Modelul 1 de încărcare (Fig. 10.12, 10.13) și Modelul 2 de încărcare (Fig. 10.14), ultimul incluzând și efectul dinamic.

Modelul 1 de încărcare este format din două osii (sistem tandem) modelate prin încărcări concentrate a căror valoare este $\alpha_Q \cdot Q_k$, α_Q fiind factori de corecție funcție de clasa drumului pe care este amplasat podul și încărcări uniform distribuite a căror valoare este $\alpha_Q \cdot q_k$, α_Q fiind de asemenea factori de corecție.

Pentru aplicarea acestor încărcări se consideră că partea carosabilă este împărțită în benzi de circulație ca în figura 10.12.

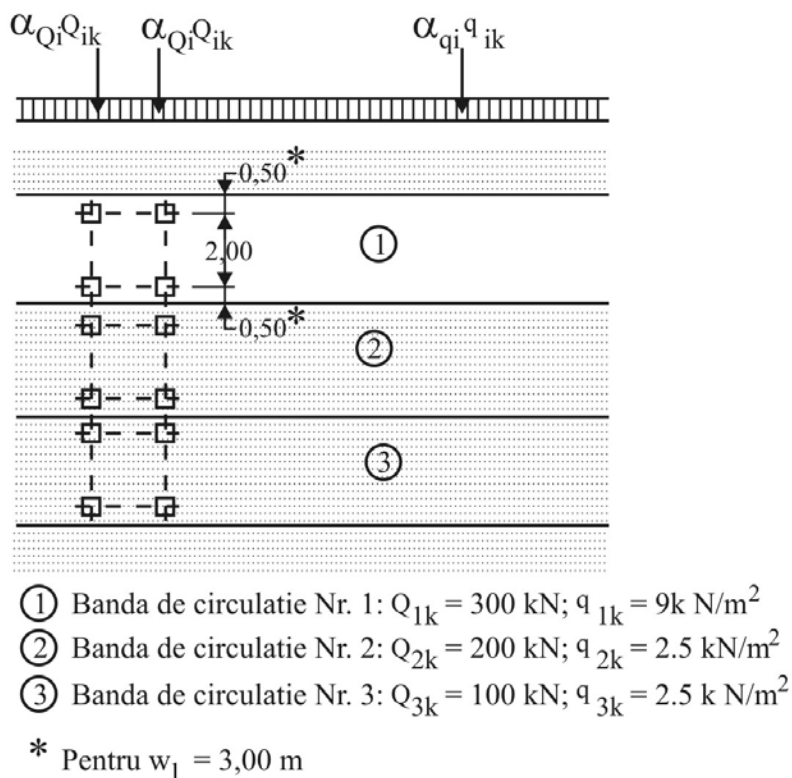


Fig. 10.12 Considerarea Modelului 1 de încărcare (conform EUROCODE)

Pentru stabilirea efectului general, Modelul 1 de încărcare se consideră poziționat în axul benzilor de circulație, iar încărcările pe cele două roți ale aceleași axe se consideră egale. Încărcările uniform distribuite se plasează numai pe zonele defavorabile ale suprafețelor de influență ale eforturilor, atât în sens transversal, cât și în sens longitudinal podului. Pentru stabilirea efectelor locale, amprenta roții se consideră în plan un pătrat cu latura de 40 cm (Fig. 10.13), iar sistemul tandem trebuie aplicat în cele mai defavorabile poziții.

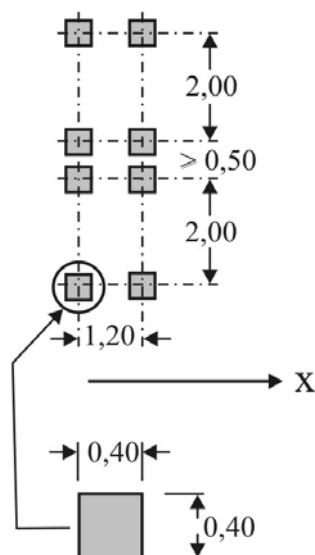
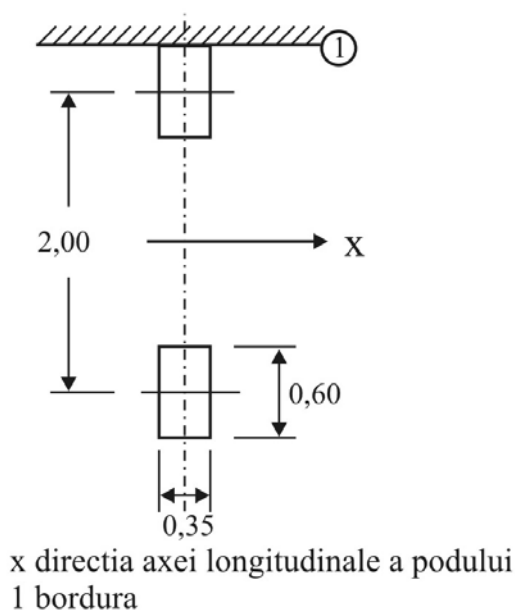


Fig. 10.13 Considerarea Modelului 1 de încărcare pentru verificări locale (conform EUROCODE)



**Fig. 10.14 Modelul 2 de încărcare
(conform EUROCODE)**

Tot în normele EUROCODE se precizează că, dacă este necesar, se pot considera și încărcări date de vehicule speciale (Modelul de încărcare 3), precum și aglomerații de oameni pe poduri care includ efectul dinamic (Modelul de încărcare 4).

Pentru calculele de oboseală ale podurilor de șosea, în aceste norme se prezintă modele de încărcare la oboseală.

10.4.3 Acțiuni provenite din frânarea sau demararea vehiculelor

Aceste acțiuni se consideră, în general, sub forma unor forțe longitudinale orizontale, uniform distribuite sau concentrate aplicate pe toată lățimea benzilor de circulație sau local în anumite puncte pe lungimea podului (Fig.10.15), după cum este mai defavorabil. Aceste forțe modelează frânările vehiculelor pe pod, dar și demarajul vehiculelor, forțele considerate fiind egale dar de sensuri contrare.

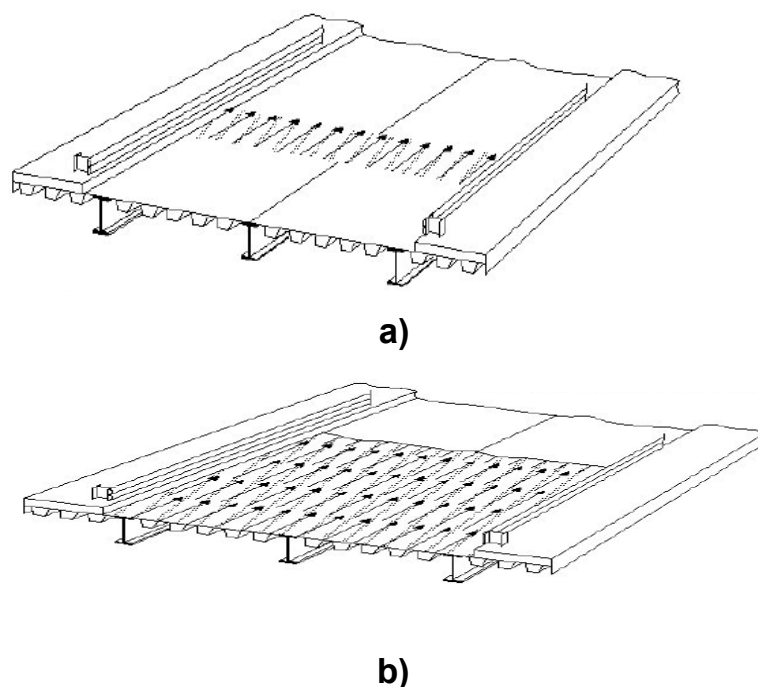


Fig. 10.15 Scheme pentru considerarea forțelor orizontale din frânare și demaraj [7]

- a) uniform distribuite pe lățimea părții carosabile**
b) uniform distribuite pe suprafață

În standardul românesc ce reglementează acțiunile în cazul podurilor de șosea STAS 1545-80, valorile forței de frânare sunt precizate în funcție de deschidere și de numărul șirurilor de vehicule care circulă pe pod.

În EUROCODE valoarea forței de frânare Q_{fk} se stabilește în funcție de încărcările verticale ale vehiculelor în modelul de încărcare considerat, pe baza relației:

$$Q_{fk} = 0.6\alpha_{q1}(2Q_{1k}) + 0.1\alpha_{q1}w_lL \quad (10.10)$$

$$180\alpha_{q1}(kN) \leq Q_{fk} \leq 900(kN)$$

L fiind lungimea încărcată a podului, iar w_l lățimea benzii de circulație (a se vedea figura 10.12).

10.4.4 Acțiunea forței centrifuge

Forța centrifugă este o forță concentrată ce se manifestă asupra vehiculelor aflate în mișcare pe o cale de comunicație în curbă. Punctul de aplicație al forței se consideră în centrul de greutate al vehiculului, deci la o anumită înălțime în raport cu suprafața căii (sau cu suprastructura podului), iar sensul în care acționează este înspre exteriorul curbei. Asupra structurilor de poduri, forța centrifugă se manifestă printr-un *efect direct*, materializat prin încovoieri în plan ale grinzilor principale și grinzilor căii (în special la podurile metalice și mixte), dar și printr-un *efect indirect* care constă în apariția unor momente de torsiune pe secțiunea transversală a podului, care au ca rezultat supraîncărcarea grinzilor suprastructurii situate către exteriorul curbei și descărcarea celor situate către interior.

Anumite coduri de proiectare din diverse țări recomandă pentru modelarea acțiunii forței centrifuge considerarea unei încărcări radiale uniform distribuite ca în figura 10.16.

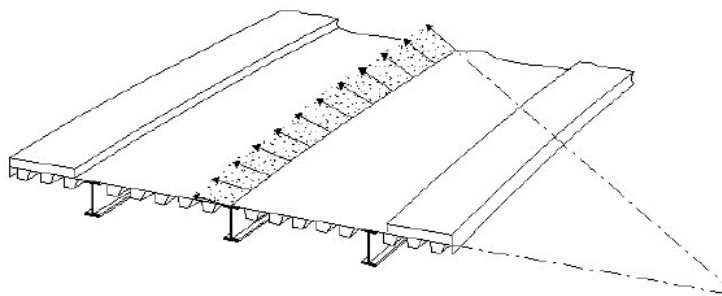


Fig. 10.16 Forța centrifugă modelată ca forță uniform distribuită radial [7]

Standardul românesc precizează că forța centrifugă C trebuie considerată în calcule pentru podurile de șosea dacă raza curbei este mai mică de 250m, fiind redusă cu anumiți coeficienți în funcție de numărul de șiruri de vehicule care circulă pe pod. Pentru un șir de autovehicule, valoarea forței centrifuge se determină cu relația:

$$C = \frac{v^2}{127R} P, \text{ în kN} \quad (10.11)$$

În care:

v este viteza de circulație în km/h a convoiului;

R este raza curbei, în m;

P reprezintă încărcarea dată de vehicule multiplicată cu coeficientul dinamic ψ .

Normele europene prezintă valori diferite ale valorii forței centrifuge Q_{tk} în funcție de raza curbei r și de valoarea forței verticale a sistemului tandem.

Relațiile de calcul sunt:

$$Q_{tk} = 0.2Q_v, \text{ în kN, dacă } r < 200 \text{ m} \quad (10.12)$$

$$Q_{tk} = \frac{40Q_v}{r}, \text{ în kN, dacă } 200 \leq r < 1500 \text{ m} \quad (10.13)$$

Dacă raza curbei este mai mare de 1500 m valoarea forței centrifuge este 0.

10.4.5 Acțiuni considerate pe trotuare și asupra parapetelor

Pentru podurile amplasate în zone urbane în special, se prevede ca suprastructura să aibă trotuare pentru circulația pietonilor și în anumite situații chiar piste pentru bicicliști. Proiectarea acestor poduri impune considerarea încărcărilor produse de oameni sau de bicicliști pe trotuare în combinație cu alte acțiuni permanente sau temporare.

Atât în normele românești, cât și în EUROCODE, încărcările date de oamenii care circulă pe trotuare se consideră în pozițiile cele mai defavorabile, cu valoarea de 5kN/m^2 . Încărcările date de oameni se consideră grupate numai cu anumite încărcări produse de vehicule.

De regulă, pentru modelarea acestor acțiuni se consideră pe trotuare încărcări uniform distribuite pe suprafață (Fig. 10.17), dar prescripțiile

internaționale, printre care și EUROCODE, recomandă și considerarea unor forțe concentrate produse de o singură roată în anumite poziții pe trotuare sau piste pentru bicicliști (Fig. 10.18). De asemenea sunt făcute precizări și pentru considerarea forțelor verticale și orizontale determinate de lovirea bordurilor de către roțile vehiculelor.

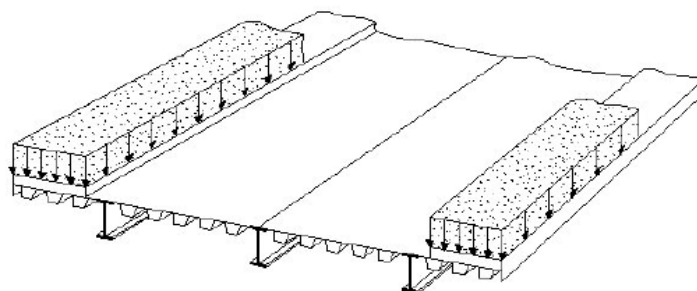
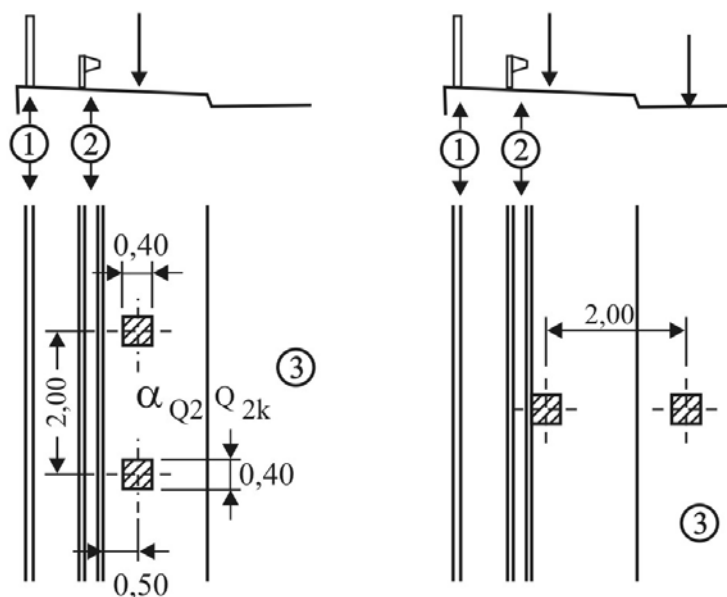


Fig. 10.17 Încărcări uniforme distribuite pe suprafață provenite din prezența oamenilor pe trotuare [7]



- (1) Parapetul trotuarului (sau parapetul pentru vehicul dacă bariera de siguranță nu există)
- (2) Bariera de siguranță
- (3) Partea carosabilă

Fig. 10.18 Considerarea forțelor concentrate locale date de vehicule pe trotuare (conform EUROCODE)

Parapetele pentru pietoni și cele de siguranță care separă trotuarele și pistele de bicicliști de partea carosabilă trebuie calculate astfel încât să reziste la impactul cu vehiculele și să ofere deplasarea în siguranță în aceste spații. Parapetele sau barierele de siguranță se calculează la acțiunea unor forțe orizontale distribuite pe o anumită zonă (Fig. 10.19), aplicate de regulă la o înălțime de 1 m deasupra nivelului trotuarului. Valoarea nominală a acestei încărcări distribuite este în normele românești de 1.5 kN/m. Mâna curentă a parapetului trebuie să reziste unei forțe orizontale concentrate de 1.2 kN.

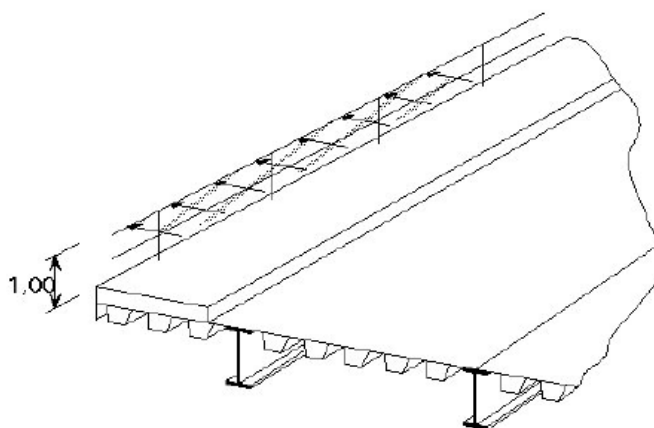


Fig. 10.19 Considerarea impactului vehiculelor asupra parapetelor [7]

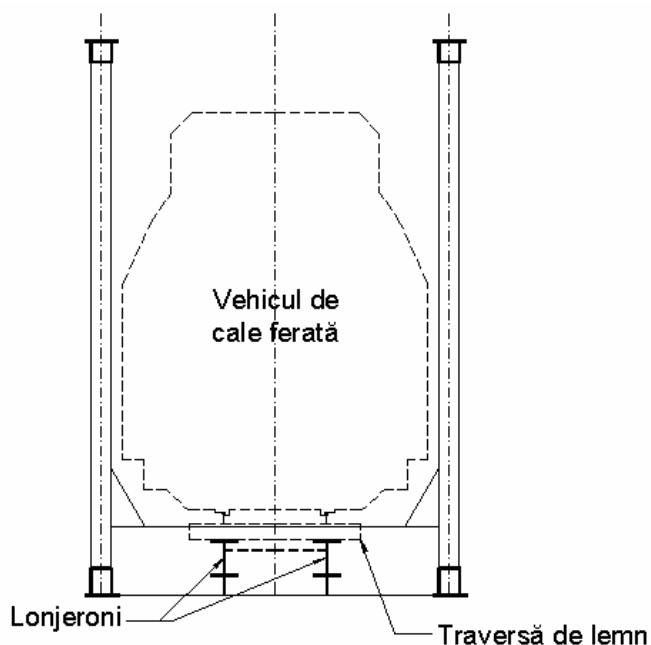
10.5 ACȚIUNI CONSIDERATE ÎN CAZUL PODURILOR DE CALE FERATĂ

10.5.1 Acțiuni permanente

Ca și în cazul podurilor rutiere, acțiunile permanente pentru podurile de cale ferată provin din greutatea structurii de rezistență, din greutatea căii pe pod și din greutatea tuturor instalațiilor și obiectelor auxiliare montate pe pod. În general, în cazul podurilor de cale ferată, dimensiunile elementelor structurale, atât pentru infrastructură, cât și pentru suprastructură, sunt mai mari datorită valorilor superioare ale încărcărilor.

Valoarea greutateii căii este diferită în funcție de modul de realizare al căii: cu traverse de lemn așezate direct pe elementele structurii de rezistență (Fig. 10.20) sau cu traverse de beton înglobate într-un prism de piatră spartă ce este susținut de o cuvă metalică sau realizată din beton armat (Fig. 10.21). În cel de-al doilea caz, greutatea permanentă a căii este semnificativ mai mare datorită prezenței cuvei din beton și prismului de piatră spartă, al căror aport este de regulă echivalent cu prezența pe pod a unui convoi suplimentar tip de cale ferată.

În ambele situații de realizare a căii, pentru calculele de dimensionare și verificare, atât greutatea structurii de rezistență cât și a căii se pot considera din tabele, prin valori aproximative stabilite atât pe baza experienței acumulate din proiectare, dar și ca urmare a măsurătorilor efectuate pentru diferite tipuri de structuri.



**Fig. 10.20 Pod metalic de cale ferată simplă
cu calea pe traverse din lemn. Secțiune transversală**

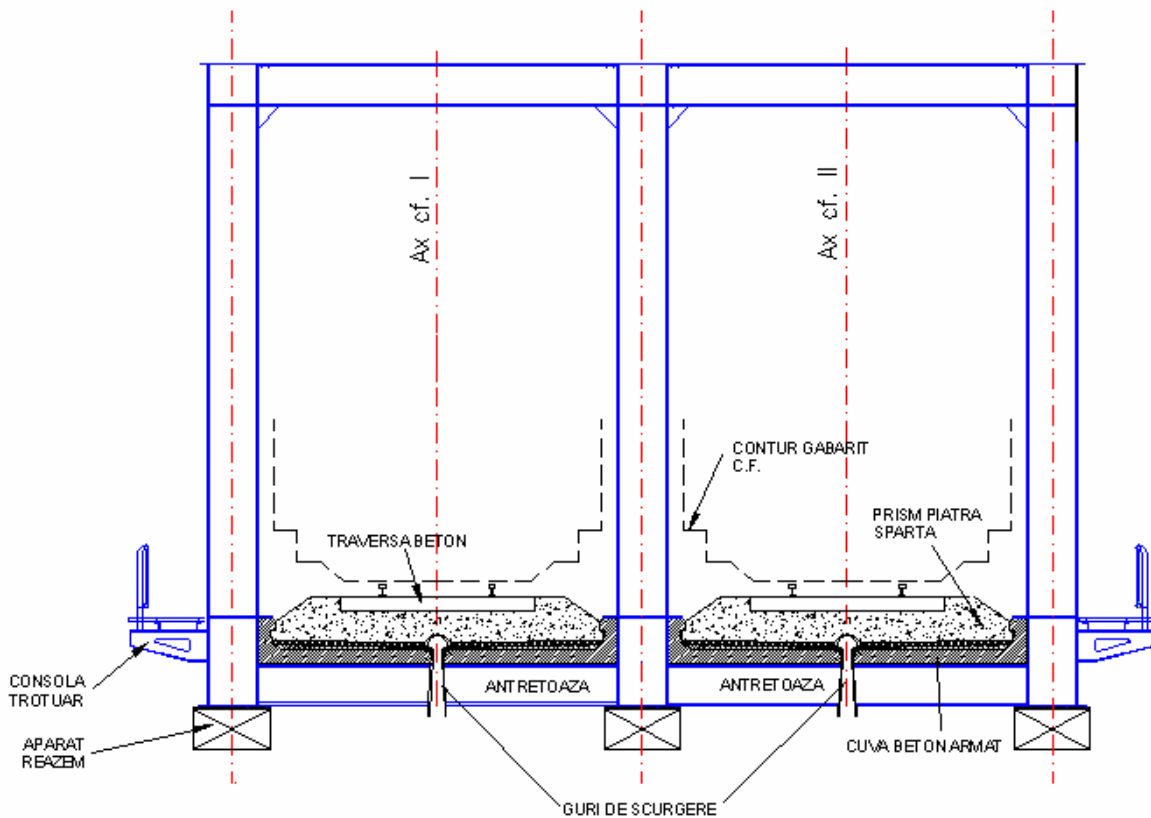


Fig. 10.21 Pod metalic de cale ferată dublă cu calea realizată pe prism de piatră spartă. Secțiune transversală

10.5.2 Acțiuni din trafic

Aceste acțiuni, în cazul podurilor de cale ferată sunt modelate printr-o succesiune de forțe concentrate situate la anumite distanțe care reprezintă osiile locomotivelor și încărcări uniform distribuite, considerate de regulă de lungime infinită, ce modelează vagoanele. Încărcările se consideră repartizate în mod egal între cele două șine ale căii. În cazul în care pe pod există mai multe căi ferate, pentru calcule se consideră toate situațiile posibile de încărcare, cu o cale încărcată sau cu ambele căi încărcate. În standardul românesc pentru acțiuni în cazul podurilor de cale ferată sunt precizate valorile încărcărilor pe osie, distanțele dintre osii și lungimea încărcărilor uniform distribuite.

În România se utilizează pentru dimensionarea și verificarea suprastructurilor podurilor noi de cale ferată convoiul T8.5 (Fig. 10.22), iar pentru calculul elementelor de infrastructură (culee, pile) convoiul P10 (Fig. 10.23).

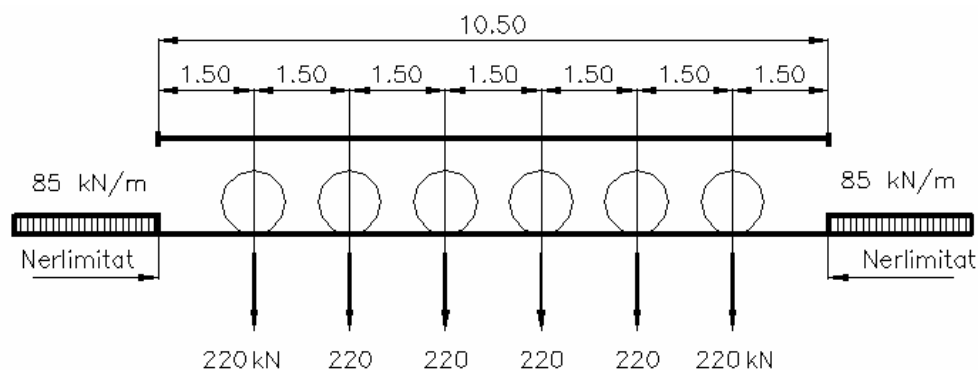


Fig. 10.22 Convoiul T8.5

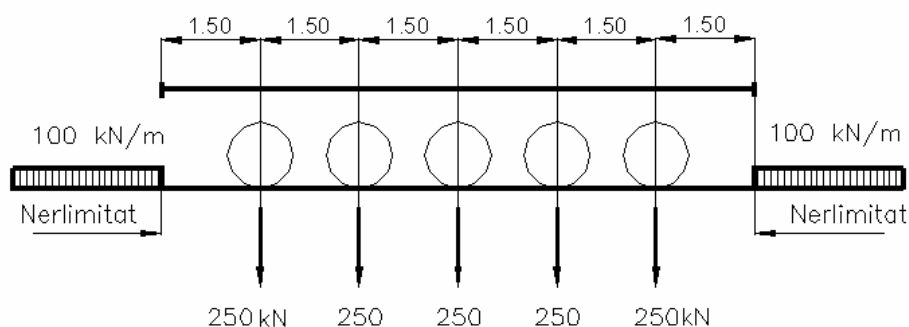
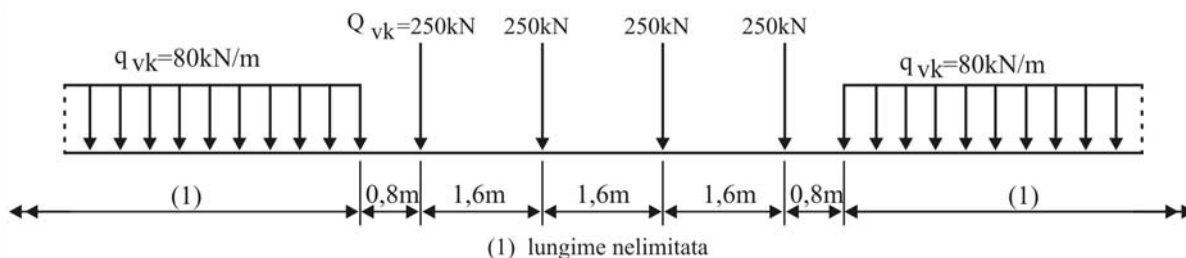
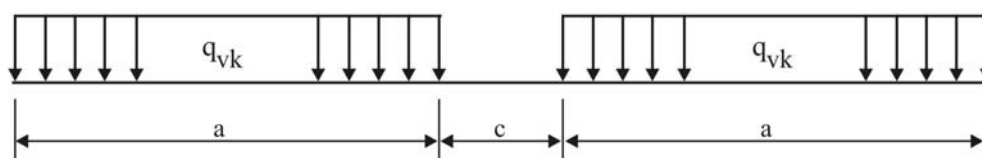


Fig. 10.23 Convoiul P10

În EUROCODE pentru calculul podurilor de cale ferată sunt date patru tipuri de convoaie: Modelul de încărcare 71 (Fig. 10.24), modelul SW/0 (Fig. 10.25) pentru modelarea efectelor verticale datorate traficului normal pe poduri cu grinzi continue, modelul SW/2 (Fig. 10.25) pentru reprezentarea traficului greu pe poduri, modelul HSML ce modelează încărcările date de trenuri de pasageri care circulă cu viteze mai mari de 200 km/h și modelul “Tren descărcat”.



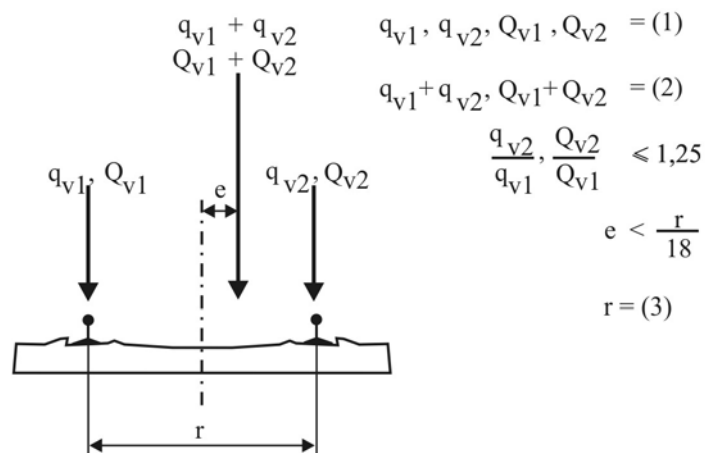
**Fig. 10.24 Modelul de încărcare 71
(conform EUROCODE)**



**Fig. 10.25 Modelele de încărcare SW/0 și SW/2
(conform EUROCODE)**

Există precizări în norme referitoare la modul în care trebuie poziționate convoaiele pe liniile de influență ale eforturilor în elementele structurale pentru a obține valorile maxime. În normele românești este precizat faptul că, în cazul liniilor de influență care au suprafețe de ambele semne (pozitiv, respectiv negativ), dacă lungimea zonelor de semn contrar celor ce dau maximumul este mai mică de 10 m, atunci aceste zone nu se mai consideră încărcate cu convoi, în caz contrar ele se consideră încărcate cu vagoane goale (10 kN/m). În EUROCODE această situație de proiectare este acoperită de modelul “Tren descărcat” care constă într-o încărcare verticală uniform distribuită de 10 kN/m.

În cazul podurilor de cale ferată, repartiția încărcării între roțile aceleiași axe a vehiculelor se face considerând o excentricitate în plan orizontal cu o anumită valoare. Atât în normele românești, cât și în EUROCODE valoarea acestei excentricități se obține în funcție de distanța teoretică dintre axele șinelor (Fig. 10.26). În sens longitudinal, încărcările locale date de roți se repartizează conform figurii 10.27.



- (1) - incarcările corespunzătoare uniform distribuite și concentrate pe fiecare sîna.
- (2) - Modelul de Incarcare 71 și Modelul de Incarcare SW/0.
- (3) - distanța trasversală dintre axele roților

Fig. 10.26 Repartiția încărcărilor pe osie între roți (conform SR 1911 și EUROCODE)

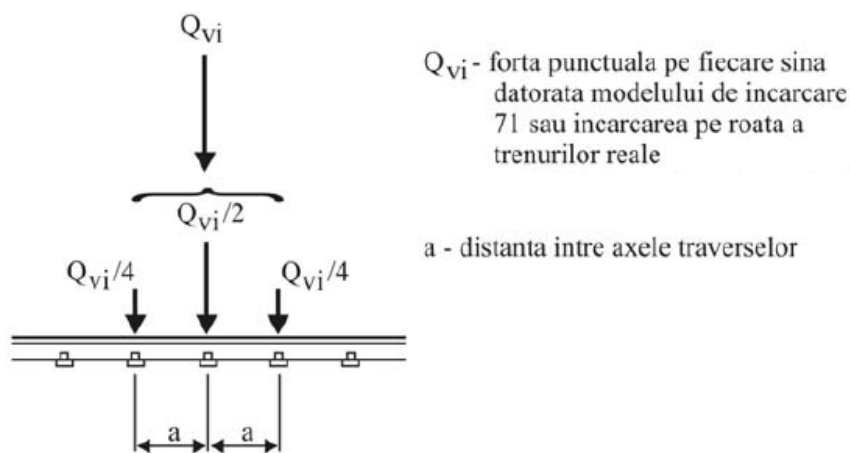
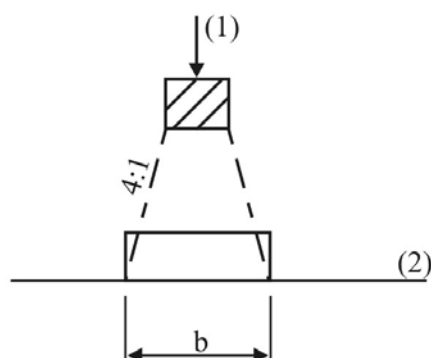


Fig. 10.27 Repartiția încărcărilor pe roată în sens longitudinal podului (conform SR 1911 și EUROCODE)

În cazul podurilor cu calea realizată pe prism de piatră spartă, transmiterea în sens longitudinal a încărcărilor concentrate de la roți se face sub formă unei încărcări uniform distribuite, conform SR1911 și EUROCODE (Fig. 10.28).



- (1) - incarcarea pe traversa
 (2) - plan de referinta

Fig. 10.28 Repartiția încărcărilor pe roată în sens longitudinal podului la podurile cu calea pe prism de piatră spartă (conform SR1911 și EUROCODE)

Încărcările concentrate și uniform distribuite care modelează convoiurile tip feroviare trebuie multiplicat cu coeficienți dinamici corespunzători, prin care se consideră acțiunea de tip dinamic exercitată de vehicule asupra elementelor structurale ale podurilor. Efectele dinamice ale convoaiilor provin atât de la neregularități ale căii care constau în deformații în plan orizontal și vertical, precum și de la defecte ale materialului rulant (locomotive și vagoane) ce produc loviri laterale ale șinei (fenomenul de șerpuire a vehiculelor).

Valorile coeficienților dinamici sunt mai mari în cazul podurilor la care calea este realizată prin prinderea directă a traverselor de elementele structurii de rezistență sau la podurile cu platelaje ortotrope și prindere directă a șinei, comparativ cu podurile la care calea este realizată pe prism de piatră spartă.

În normele și reglementările din România privind acțiunile pentru podurile de cale ferată STAS 1489-78, valorile coeficientului dinamic ψ sunt specificate în funcție de deschiderea elementului structural care se calculează și de modul de realizare al căii (pe traverse din lemn, pe prism de piatră spartă, cu rosturi ale șinei sudate etc.). În EUROCODE, pe lângă considerarea

lungimii încărcate cu convoi, numită *lungime determinantă*, ce are semnificații și valori diferite pentru fiecare element de rezistență calculat, în stabilirea valorilor coeficientului dinamic se ține seama și de modul în care se face întreținerea liniei de cale ferată.

10.5.3 Acțiuni provenite din frânarea sau demararea vehiculelor feroviare

Aceste încărcări sunt determinate ca procente din valorile încărcărilor care modelează convoaiele feroviare. Ele se consideră că acționează la nivelul superior al șinelor, în direcție longitudinală podului, paralel cu șinele (Fig. 10.29).

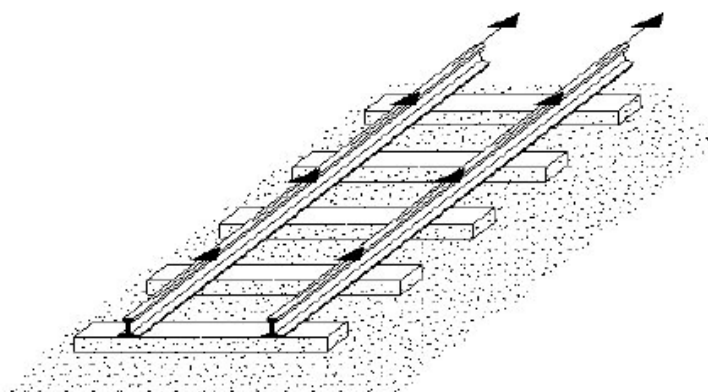


Fig. 10.29 Considerarea forțelor de frânare și de demarare la poduri de cale ferată [7]

În normele diverselor țări, sunt precizați coeficienții pe baza cărora pot fi stabilite valorile forțelor de frânare și de demarare, care depind direct de tipul convoiului considerat, de valoarea și distanțele dintre forțe, dar și de lungimea pe care acestea se dezvoltă. În România, forța de frânare pentru convoaiele de cale ferată se stabilește în funcție de lungimea încărcată a liniei de influență pe baza următoarelor relații:

$$H_{f1} = \frac{1}{8} (\sum_i^n P_{i1} + q_{i1} \cdot x_{i1}) \quad (10.14)$$

pentru lungimi încărcate mai mici de 100 m. Pentru lungimi încărcate mai mari de 100 m relația utilizată este :

$$H_{f2} = H_{f100} + \frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^n P_{i2} + q_{i2} \cdot x_{i2} \right) \quad (10.15)$$

În aceste relații, n reprezintă numărul forțelor concentrate, P_{i1} sunt forțele concentrate ce descriu convoiul utilizat pentru lungimi mai mici de 100 m, q_{i1} sunt forțele uniform distribuite din vagoane, x_{i1} lungimea vagoanelor, H_{f100} forța de frânare corespunzând lungimii de 100 m, P_{i2} forțele concentrate ce descriu convoiul utilizat pentru lungimea suplimentară mai mare de 100 m, q_{i2} sunt forțele uniform distribuite din vagoane acționând pe lungimea mai mare de 100 m, iar x_{i2} lungimea vagoanelor.

Pentru evaluarea forței de tracțiune se utilizează aceleași relații considerând încărcările provenind de la roțile locomotivei și vagoane cu o lungime de maxim 40 m.

În EUROCODE, valorile forței de frânare Q_{lbk} sunt date astfel:

$Q_{lbk} = 20 \cdot L_{a,b}$ în kN, pentru modelele de încărcare 71, SW/0 și HSLM, $L_{a,b}$ fiind lungimea încărcată, valoarea forței nedepășind însă 6000 kN. Pentru convoiul SW/2 ce descrie traficul greu, $Q_{lbk} = 35 \cdot L_{a,b}$.

Forța de tracțiune se consideră în cazul tuturor modelelor de încărcare cu valoarea dată de relația $Q_{lbk} = 33 \cdot L_{a,b}$, dar mai mică de 1000 kN.

10.5.4 Acțiuni din forța centrifugă și din șerpuirea vehiculelor

Ca și în cazul podurilor de șosea, forța centrifugă se manifestă asupra vehiculelor de cale ferată care circulă pe poduri amplasate în curbă și produce ambele tipuri de efecte asupra elementelor structurale ale podului, atât efectul direct, cât și cel indirect. Forța centrifugă se modelează prin încărcări concentrate sau uniform distribuite radial ce acționează spre exteriorul curbei,

la o anumită înălțime în raport cu nivelul superior al șinei. Această înălțime se consideră cu valori cuprinse între 1.8 -2.0 m în normele diverselor țări.

Relația utilizată în România pentru stabilirea valorii forței centrifuge în cazul podurilor de cale ferată este aceeași cu cea utilizată la podurile de șosea. În EUROCODE, forța centrifugă se determină pe baza relațiilor:

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot R} (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127R} (f \cdot Q_{vk}) \quad (10.16)$$

și

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot R} (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127R} (f \cdot q_{vk}) \quad (10.17)$$

prima relație fiind utilizată pentru forțele concentrate date de locomotivă Q_{vk} , iar cea de-a doua pentru încărcările uniform distribuite date de vagoane q_{vk} . În aceste relații mai intervin următoarele mărimi: f , factor de reducere precizat în EUROCODE, v , viteza maximă în m/s, V , viteza maximă în km/h, g , accelerația gravitațională, iar R , raza curbei.

Față de acțiunile prezentate în paragrafele precedente pentru podurile de șosea, la podurile de cale ferată mai apare suplimentar o forță orizontală care se manifestă asupra șinelor și este produsă de roțile vehiculelor de cale ferată ca urmare a deformațiilor șinei în plan orizontal, dar și a defectelor existente la sistemul de rulare. Forța se numește de șerpuire și apare atunci când bandajul roților vehiculelor feroviare nu este în contact permanent cu ciuperca șinei. Se manifestă ca o forță concentrată acționând la nivelul superior al șinelor, perpendicular pe acestea (Fig. 10.30). Valoarea forței concentrate este precizată în norme. De exemplu, în standardul românesc de acțiuni pentru poduri de cale ferată valoarea forței de șerpuire se consideră de 60 kN, iar în normele EUROCODE este de 100 kN.

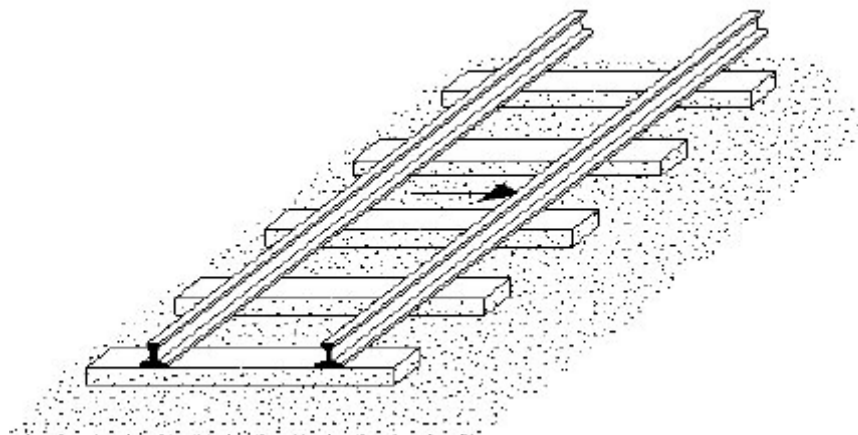


Fig. 10.30 Considerarea forței de șerpuire la poduri de cale ferată [7]

10.6 ALTE ACȚIUNI CONSIDERATE LA PODURI

10.6.1 Acțiunea vântului

Valorile încărcărilor provenind din acțiunea vântului depind de amplasamentul podului și de geometria structurii, care definește de fapt suprafețele expuse presiunii vântului. Vântul se manifestă asupra structurilor de poduri atât printr-un *efect direct*, determinat de forțele laterale aplicate direct pe suprafețele expuse ale infrastructurii cât și ale suprastructurii, dar și printr-un *efect indirect* cauzat de tendința de răsturnare a podului și care produce eforturi suplimentare în elementele principale de rezistență ale suprastructurii (lonjeroni și grinzi principale).

În marea majoritate a cazurilor, pentru podurile de șosea, acțiunea vântului nu este considerată, întrucât acestea sunt realizate din beton sau cu structură mixtă oțel-beton, rigiditatea oferită de platelajul de beton fiind suficientă pentru preluarea încărcărilor date de vânt.

Pentru podurile de cale ferată, acțiunea vântului se consideră de regulă în calcule sub forma unei presiuni aplicate în sens transversal podului, ale

cărei valori sunt diferite în situația podului încărcat cu vehicule, față de cea în care pe pod nu există vehicule, deoarece vântul va acționa și pe suprafețele pline oferite de acestea. Viteza vântului pe baza căreia se stabilește valoarea presiunii, se consideră atât pentru situația în care vântul suflă uniform pe anumite intervale de timp, dar și atunci când vântul suflă în rafale.

Pentru modelarea acțiunii vântului la poduri de cale ferată se utilizează forțe concentrate acționând în centrul de greutate al suprafeței expuse și care reprezintă rezultanta forțelor uniform distribuite din presiunea vântului (Fig. 10.31).

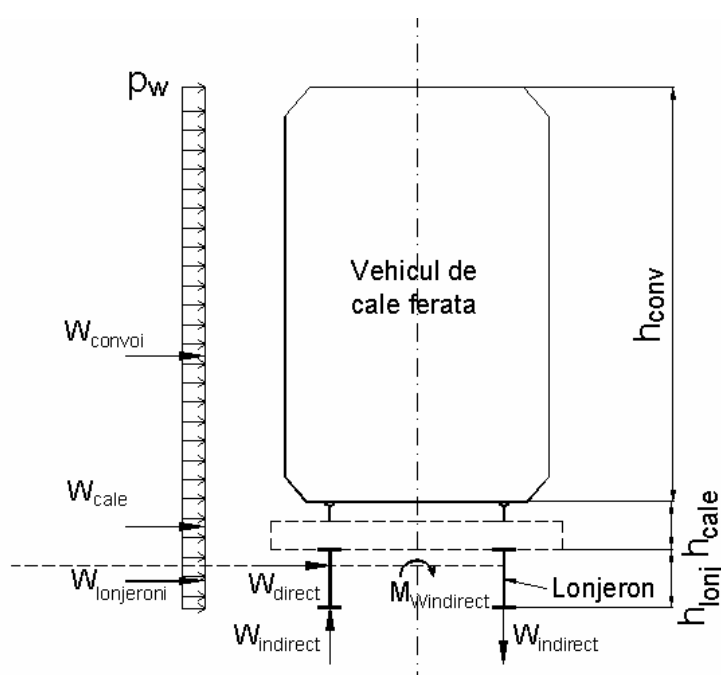


Fig. 10.31 Exemplu de considerare a acțiunii vântului pentru calculul lonjeronilor, la poduri de cale ferată

10.6.2 Împingerea pământului

Împingerea pământului (Fig. 10.32) acționează asupra culeelor podurilor, zidurilor întoarse ale culeelor și asupra elementelor prin care se face racordarea podului cu terasamentele, sferturi de con, respectiv aripi.

Determinarea valorilor forțelor date de împingerea pământului utilizează relații stabilite în geotehnică.

Pentru calculul culeelor de poduri se consideră numai *împingerea activă* a pământului din spatele culeei și nu se ține seama de efectul favorabil al pământului din fața fundației, numit *rezistență pasivă*, care tinde să diminueze efectele împingerii (Fig. 10.32)

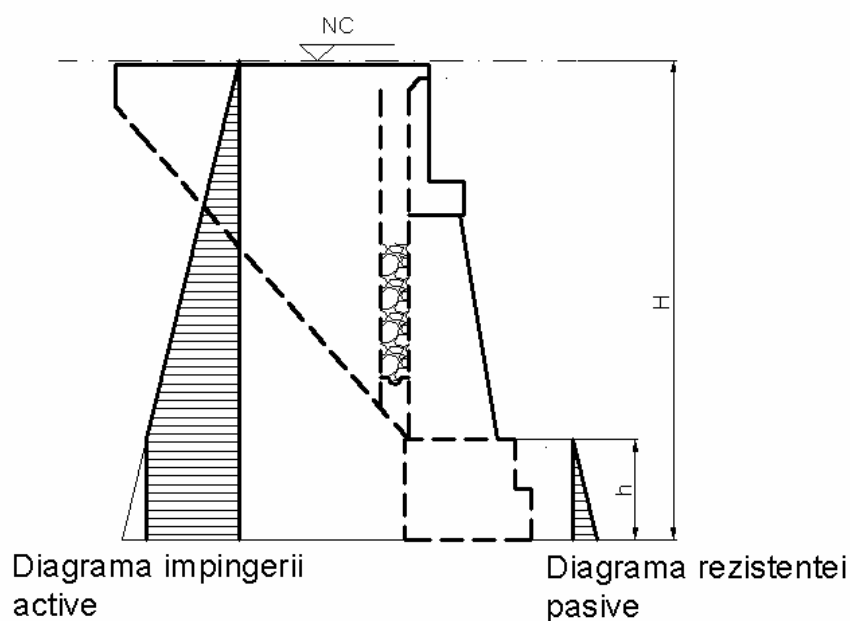


Fig. 10.32 Considerarea împingerii pământului

În calcule se poate ține seama de efectul favorabil al rezistenței pasive a pământului din fața tălpii fundației culeelor dacă încastrarea în teren este mai mică de 5 m sau dacă au fost executate săpături pentru introducerea unor utilități (conducte, cabluri etc.) pe toată înălțimea blocului de fundație. Dacă încastrarea este mai mare de 5 m, efectul favorabil al rezistenței pasive se va calcula considerând numai adâncimea situată sub nivelul afuiierilor. Efectul favorabil constă în diminuarea valorilor împingerii pe înălțimea blocului de fundație, prin scăderea diagramei de rezistență pasivă din cea de împingere activă, care devine astfel trapezoidală (Fig. 10.32).

Pentru ușurarea calculelor, împingerea pământului se consideră ca rezultată a diagramei de presiuni aplicată la suprafața de separație dintre teren și dren, dacă înălțimea drenului este egală cu cea a culeei, iar în caz

contrar, pe partea din spate a culeei. În ambele situații este necesară și determinarea punctului său de aplicație.

Valorile împingerii depind de caracteristicile terenului (greutatea specifică γ și unghiul de frecare internă ϕ) din spatele culeei care de regulă sunt determinate efectuând încercări de laborator. Relația pe baza căreia se stabilește valoarea maximă a împingerii pamântului E_a este:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (10.18)$$

Suplimentar acestei încărcări, atât pentru podurile de șosea, cât și pentru cele de cale ferată, se consideră o valoare a împingerii, numită *împingere din convoaie tip*, determinată de acțiunea vehiculelor asupra terasamentului din spatele culeelor. Precizări pentru forma diagramelor de presiuni date de pământ și despre valorile maxime ale împingerii sunt date pentru podurile de cale ferată în STAS 1489-78. La podurile de șosea, împingerea din convoaiele tip este considerată printr-o înălțime suplimentară de teren, în funcție de tipul convoiului utilizat, precizări în acest sens găsindu-se în STAS 1545-80 și STAS 3221-86.

10.6.3 Presiunea hidrostatică a apei

Presiunea apei se manifestă ca o forță ascensională pentru elementele de infrastructură fundate în terenuri unde nivelul apei este ridicat. Valoarea acestei forțe este egală cu volumul de apă dislocuit de partea de structură cufundată în apă.

Considerarea presiunii hidrostatice a apei este necesară, deoarece are efect de reducere a greutateilor proprii ale elementelor de infrastructură, situație care poate deveni defavorabilă dacă se analizează stabilitatea la lunecare și la răsturnare, în special în cazul culeelor podurilor unde împingerea activă accentuează fenomenul de răsturnare.

În cazul în care adâncimea de încastrare a fundațiilor directe în teren este mai mare de 5 m, se poate considera efectul favorabil al presiunii apei prin reducerea presiunilor maxime date de fundație pe teren.

10.6.4 Acțiuni produse de variațiile de temperatură

Variațiile de temperatură considerate în calculul podurilor sunt atât cele produse de diferențele de temperatură diurne (între zi și noapte), dar și cele anuale (între minimele de iarnă și maximele din vară). Aceste variații de temperatură pot avea ca efect o repartizare uniformă a temperaturii pe toată înălțimea suprastructurii și atunci aceasta se dilată sau se contractă, dar există și situații când partea superioară a suprastructurii este expusă unor temperaturi mai mari față de partea inferioară, ceea ce determină diferențe de temperatură între fibrele superioare și inferioare (gradient de temperatură) (Fig. 10.33), producându-se suplimentar și încovoieri ale suprastructurilor.

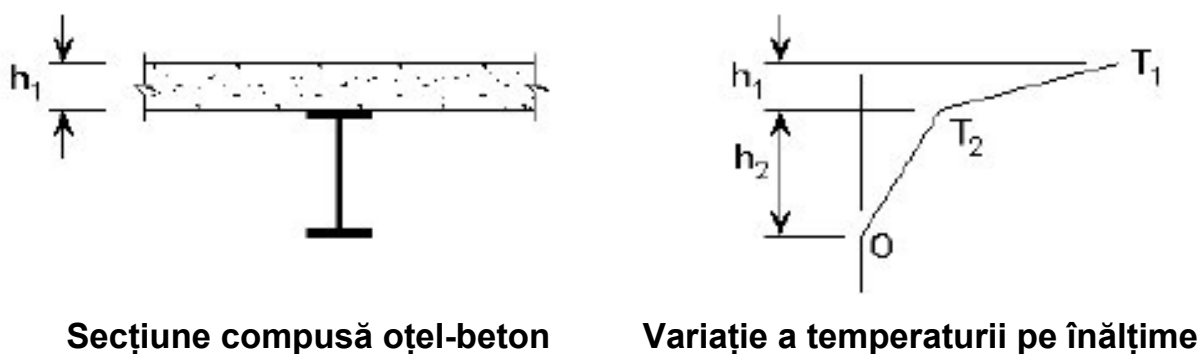


Fig. 10.33 Exemplu de variație a temperaturii pe înălțimea suprastructurii [7]

Determinarea eforturilor în elementele structurilor de poduri produse de variațiile temperatură depinde atât de coeficientul de dilatare termică liniară caracteristic fiecărui material și specificat în norme, cât și de dimensiunile structurii și de modul ei de alcătuire și de rezemare. Valorile eforturilor din

temperatură vor fi cu atât mai mari cu cât structura are mai puține grade de libertate.

10.6.5 Acțiuni produse de contracția și curgerea lentă a betonului

Efectele produse de contracția și curgerea lentă a betonului se iau în considerare în special în cazul structurilor compuse oțel-beton sau beton armat-beton precomprinat, dar și în cazul suprastructurilor din beton armat formate din grinzi cu placă de suprabetonare, mai ales dacă betonul din placă are alte caracteristici față de betonul din care sunt realizate grinzile.

Contracția betonului produce în elemente eforturi unitare care nu depind de valoarea deformațiilor specifice și de aceea efectul contracției este echivalent cu acela produs de diferențele de temperatură între diferitele părți ale suprastructurii.

Încărcările provenind din contracția și curgerea lentă ale betonului se combină cu cele provenind din alte acțiuni dacă astfel se produce un efect mai defavorabil asupra structurii.

10.6.6 Acțiuni provenind din tasările infrastructurilor

Valorile tasărilor posibile ale elementelor de infrastructură (pile și culee) se estimează pe baza studiilor geotehnice și sunt luate în considerare în calculele de proiectare a podurilor. Încărcările suplimentare provenite din tasările de reazeme sunt mai importante în cazul structurilor static nedeterminate. Pentru podurile realizate cu grinzi continue trebuie considerate tasările diferențiate ale pilelor, atât deplasările pe verticală cât și rotirile, iar în cazul podurilor care utilizează rezemări înclinate (poduri pe arce, poduri pe cadre) precum și ancoraje la teren (poduri suspendate) sunt considerate și deplasările în plan orizontal.

Acolo unde se estimează că tasările vor avea valori mari este necesară prevederea unor dispozitive cu ajutorul cărora să se reducă efectele acestor deplasări asupra podului.

10.6.7 Acțiuni provenind din seism

Acțiunile din seism se iau în considerare în zonele cu risc seismic ridicat. Comportarea unei structuri pe durata unui seism depinde de modul ei de comportare dinamic, în mod direct de formele și perioadele proprii de vibrație, dar și de gradul de amortizare al structurii. Acest grad de amortizare este dat atât de caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor din care sunt alcătuite elementele podului, cât și de eventuala existență a unor disipatori seismici prevăzuți în faza de proiectare.

Încărcările provenind din acțiuni seismice se stabilesc în funcție de zona în care este amplasat podul, utilizând valorile accelerației terenului sub forma unor *accelerograme* sau *spectre de răspuns seismic*.

În cazul podurilor, de cele mai multe ori există multe grade de liberate dinamică, acțiunea seismică se poate manifesta pe orice direcție spațială, iar răspunsul structurii se stabilește prin analiză dinamică, utilizând formele proprii de vibrație ale structurii.

Dacă însă podul are o comportare dinamică simplă ce se materializează printr-o direcție preponderentă a mișcării și când perioada fundamentală este mult mai mare decât în celelalte moduri de vibrație (se spune că modurile de vibrație sunt decuplate în acest caz), acțiunea seismică poate fi modelată printr-o încărcare statică (Fig. 10.34b).

Valoarea încărcărilor din acțiunea seismică depinde fundamental de valorile și pozițiile maselor pe structură. În cazul podurilor, valorile mari ale maselor sunt la nivelul suprastructurii și în cazul considerării unor forțe echivalente aplicate static, punctele lor de aplicație se consideră la capetele

elementelor de infrastructură (Fig. 10.35). Flexibilitatea elementelor structurale, caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor, rezemarea suprastructurii pe infrastructură, dimensiunile și tipul fundațiilor sunt câțiva dintre parametrii care influențează valorile forțelor ce apar la structurile de poduri ca urmare a acțiunii seismice.

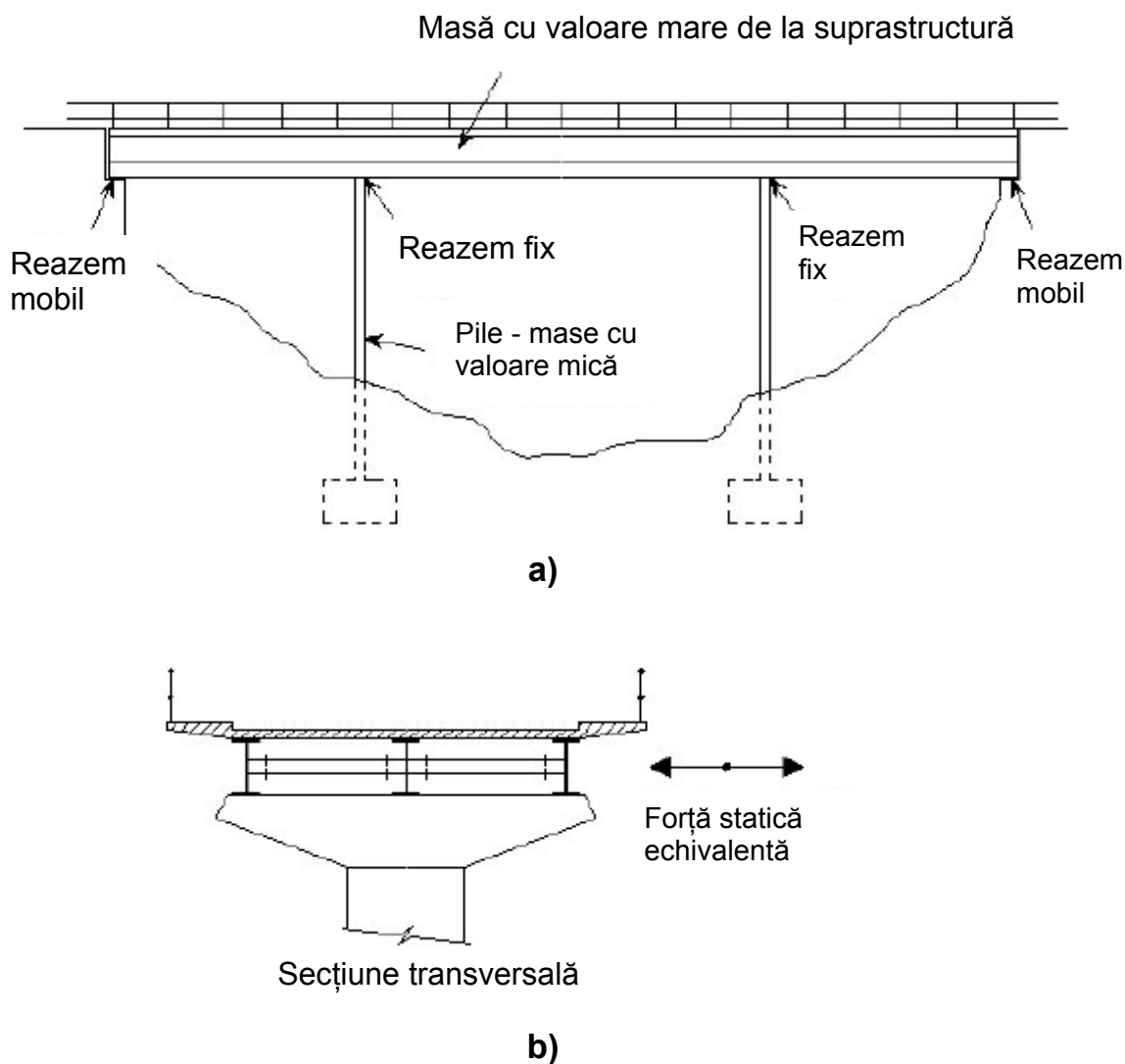


Fig. 10.34 Considerarea acțiunii seismice la poduri [7]
a) Poziționarea maselor pe structură
b) Considerarea forțelor statice echivalente

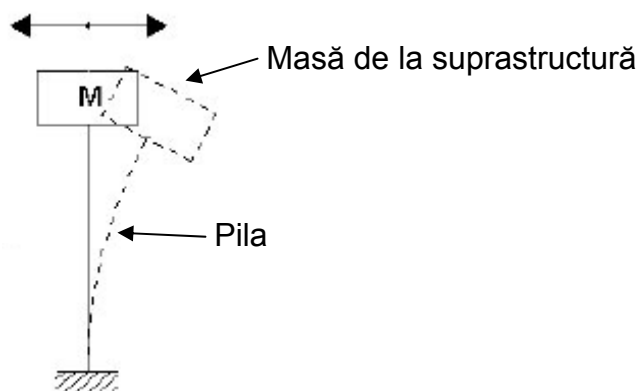


Fig. 10.35 Model dinamic de calcul utilizat pentru infrastructura podurilor [7]

10.6.8 Acțiuni datorate curgerii apei, deplasării blocurilor de gheață, coliziunii dintre vehicule și părți ale podului, frecării în aparatele de reazem

Pentru acele pile ale unui pod care sunt situate în albia unei ape curgătoare trebuie luate în considerare, în faza de proiectare, încărcările produse de acțiunea hidrodinamică a apei care curge pe lângă pile. De asemenea, dacă în perioada anotimpului rece se pot forma blocuri de gheață pe râul respectiv, posibilele forțe induse de aceste blocuri asupra infrastructurilor trebuie asimilate ca încărcări acționând în cele mai defavorabile ipoteze.

Dacă anumite elemente ale podului pot fi lovite de vehiculele care circulă pe pod, de ambarcațiuni care circulă pe sub pod, aceste acțiuni trebuie luate în considerare sub forma unor încărcări excepționale apărute pe durata de exploatare a podului. Efectul lovirii elementelor de rezistență se consideră prin reducerea capacității portante a elementului lovit și trebuie verificat dacă cedarea unui element lovit nu va conduce la colapsul întregii structuri.

În ceea ce privește acțiunile provenind din frecarea în aparatele de reazem, trebuie verificat dacă nu se induce în structura de rezistență a podului

forțe sau momente încovoietoare cu valori importante ce ar trebui considerate în faza de proiectare. În general valorile uzuale ale coeficienților de frecare în aparatele de reazem sunt în jur de 0.03, dacă suprafețele în contact sunt perfect curate. În calcule însă se pot adopta valori mai mari, până la 0.05 determinate de faptul că în timp aceste suprafețe se deteriorează, ceea ce conduce la creșterea forțelor de frecare care se manifestă asupra componentelor aparatelor de reazem.

În afară de acțiunile prezentate, asupra structurilor de poduri se manifestă și alte forțe, care sunt reglementate de normele de proiectare ale fiecărei țări. Cunoașterea în faza de proiectare a tuturor forțelor care pot acționa pe structurile podurilor pe durata lor de exploatare este de importanță majoră și de modul în care sunt considerate aceste acțiuni depinde siguranța podului respectiv.

BIBLIOGRAFIE

1. Benchea N.: „Curs general de poduri și poduri de lemn”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973
2. Buiu E., Bucă I.: „Curs general de poduri, poduri de lemn, poduri metalice”, Institutul de Construcții București, 1980
3. Radu P.I., Negoescu E., Ionescu P.: „Poduri din beton armat”, Editura Didactică și Pedagogică, 1981
4. ***: „Stahlbau Handbuch für Studium und Praxis”, Stahlbau-Verlagsgesellschaft mBh, Köln, 1985
5. Leonhardt F.: „Ponts. L'esthétique des ponts”, Presses polytechniques romandes, Lausanne, Suisse, 1986
6. ***: „Berliner Brücken – Katalog zur Ausstellung”, Fegentreff & Göbel GmbH, Berlin, 1991
7. ***: „ESDEP Lectures. Structural systems. Bridges”, 1993
8. ***: Proceeding of the second International Conference „Bridges over the Danube – Cernavodă 100”, București, 1995
9. Iványi M.: „Bridges on the Danube – Catalog”, Second International Conference „Bridges over the Danube”, București, 1995
10. Teodorescu D.: „Poduri noi peste Dunăre în zona Fetești-Cernavodă”, Compania INEDIT, București, 1995
11. Buzuloiu Gh.: „Podul peste Dunăre la Giurgeni-Vadu Oii”, Editura INEDIT, București, 1995
12. Jantea C., Varlam F.: „Poduri metalice”, Casa de Editură Venus, Iași, 1996
13. Mănescu M.: „Hidraulica podurilor și podețelor”, Editura „Orizonturi universitare”, Timșoara, 2002
14. Freyssinet International, „Cable stayed structures”, SIO France, 2004
15. ***: „Buletin Tehnic Rutier – Normativ pentru adaptarea la teren a proiectelor tip de podețe pentru drumuri”, Nr. 3, 2004
16. STAS 1489-78: „Poduri de cale ferată. Acțiuni”

17. STAS 1545-80: „Poduri pentru străzi și șosele. Paserele. Acțiuni”
18. STAS 4068/2-82: „Debite și volume maxime de apă. Probabilitățile teoretice ale debitelor maxime în condiții normale și speciale de exploatare”
19. STAS 4273-83: „Construcții hidrotehnice. Încadrarea în clase de importanță”
20. STAS 4392-84: „Căi ferate normale. Gabarite”
21. STAS 10101/OB-87: „Acțiuni în construcții. Clasificarea și gruparea acțiunilor pentru podurile de cale ferată și șosea”
22. STAS 10111/2-87: „Poduri de cale ferată și șosea. Suprastructuri din beton, beton armat și beton precomprimat”
23. STAS 3220-89: „Poduri de cale ferată. Convoaie tip”
24. STAS 3221-86: „Poduri de șosea. Convoaie tip și clase de încărcare”
25. STAS 2924-91: „Poduri de șosea. Gabarite”
26. EUROCODE 1: „Basis of design and actions on structures”, 1993
27. EUROCODE 2: „Design of concrete structures. Part 2: Concrete bridges”, 1995
28. EUROCODE 3: „Design of steel structures – Part 2: Steel bridges”, 1997
29. EUROCODE 1: „Actions on structures. Part : General actions – Traffic loads on bridges”, 2001
30. Tlustochowicz G.: „Optimized Design of Integral Abutments for a three span composite bridge”, Master Thesis, Luleå University of Technology, 2006
31. Vasant C.M.: „Integral abutments and jointless bridges”, FHAW, Washington, 2006
32. ***, „Integral Abutment Bridges”, NJDOT Manual for Bridges and Structures, Section 15, 2006
33. ***, „Merkblatt 443 – Fußwegbrücken”, 4.Auflage 1980, Düsseldorf, Deutschland
34. Jahnke T.: „Die Fehmarnsundbrücke – Wahrzeichen der deutschen Bauleistungen für die Vogelfluglinie”, Sonderdruck aus „ETR EISENBAHNTECHNISCHE RUNDSCHAU”, Heft 5/1963 und 2/1964, HESTRA-VERLAG Hernichel & Dr. Strauß, Darmstadt, Deutschland