

Въпрос 2: Пътни конструкции на пътни и железопътни мостове

2.1. Общи положения

Пътната конструкция има предназначение да пренесе колесните товари от возила намиращи се върху пътното платно (релсовите нишки) в равнините на главните носачи. Съобразно с тази функция тя е част от върхната конструкция с локално действие и по тази причина изборът на конструктивна схема на пътната конструкция не влияе съществено върху усилията в главната система. Предвид на това, че пътния и железопътния трафик имат съществени различия по отношение на въздействието върху конструкцията, съответно и пътните конструкции се различават съществено.

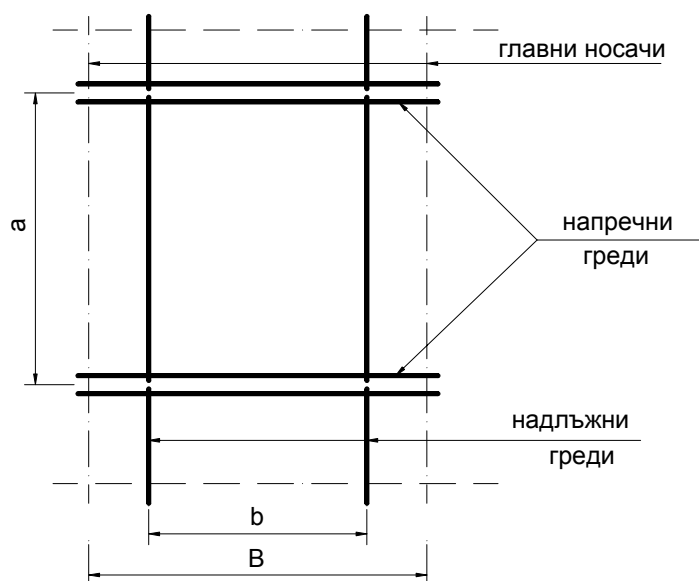
2.2. Пътни конструкции за железопътни мостове

Схемата на една пътна конструкция на железопътен мост е показана на фиг.2.1.

Тя се състои от надлъжни и напречни греди.

Товарите от железния път стъпват върху надлъжните греди, те от своя страна стъпват върху напречните, а напречните върху главните носачи.

Напречните и надлъжните греди може да се изпълняват от монолитна дървесина, както и от лепени блокове. Във втория случай, надлъжните греди могат да имат по-голяма производствена дължина и да се опират на единични напречни греди, а не на сдвоени, както е показано на фигурата.



Фиг.2.1. Пътна конструкция на железопътен мост (пълна схема)

Разстоянието "B" се определя от положението на пътя спрямо главните носачи. При път – долу (когато главните носачи са ферми, дъги) B трябва да е достатъчно голямо, за да пропусне габарита на возилото ($B=5 - 5,5$ m).

При път – горе габаритът не влияе на този размер, но той трябва да е достатъчен за да се осигури хоризонтална коравина на конструкцията, както и да бъде обезпечена за устойчивостта на положението. В този случай обичайният диапазон е $B=3 - 4$ m.

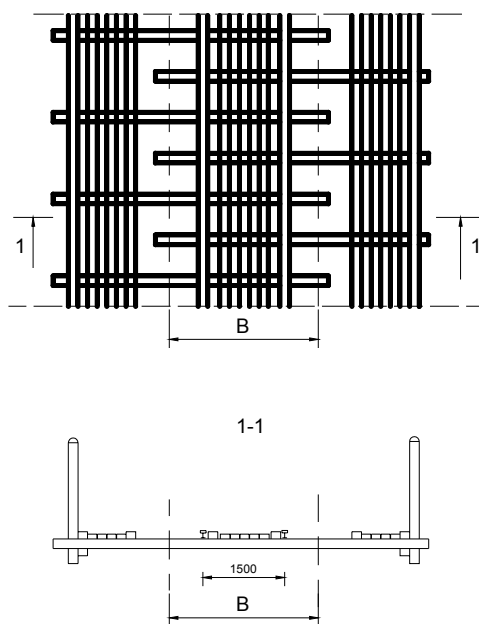
Размерът "b" се приема $1,7 - 1,8$ m. При положение, че разстоянието между релсите е $1,5$ m, траверсите се товарят на огъване и чрез огъвните си деформации репродуцират еластичността на баластовата призма извън конструкцията.

Размерът “а” се определя от възможностите на надлъжните греди да поемат огъващи моменти. Ако те са от монолитна дървесина $a=2,5 - 3,0m$, за да се получат приемливи напречни сечения. Ако са от лепени блокове от дъски, постигането на по-големи напречни сечения не е проблем и размерът “а” може да се приеме $2,5 - 4,0m$. Тогава надлъжната греда се произвежда на по-големи дължини и да работи като непрекъсната.

За да се намалят сеченията на напречните греди и главните носачи може да се използва схема с три главни носача. Тогава напречната греда работи като непрекъсната на два отвора.

Когато главната конструкция е с малко подпорно разстояние $10 - 15m$, схемата на пътната конструкция може да се промени и от пълна схема да се премине в непълна схема. При нея (фиг.2.2.) надлъжни и напречни греди липсват, а натоварването се предава от траверсите направо на главните носачи. Тази схема е приложима при път-горе, а размерът $B=2m$. Траверсите са по-дълги и се поставят разместено за да служат като носещи елементи за тротоарната настилка. Те се прикрепват към главните носачи така, че да могат да предават надлъжни и напречни хоризонтални сили.

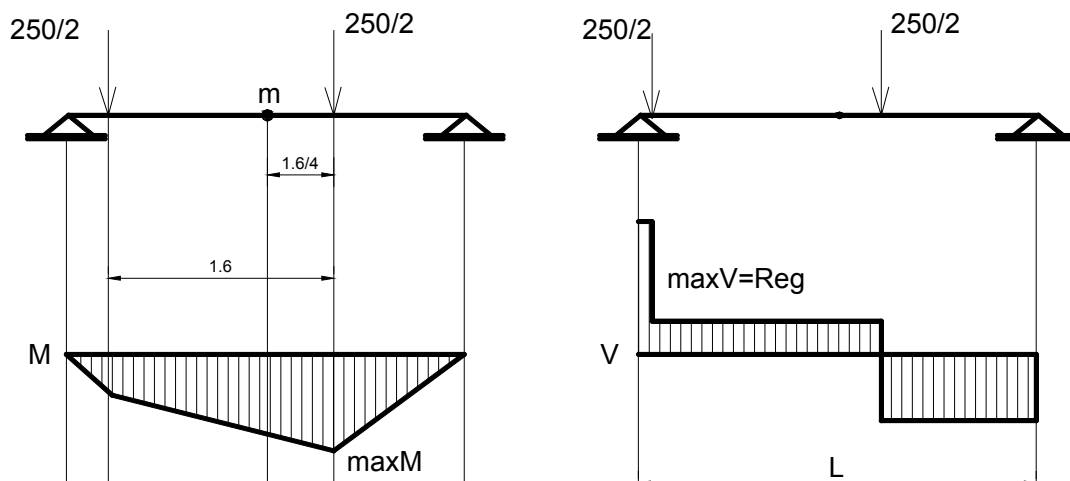
Успоредно на релсите от вътрешната страна се поставят бичмета от твърда дървесина или метални профили (контрарелси), които служат за направляване на движението на возилото ако то дерайлира. Между контрарелсите се нареждат също талпи, които се ползват като служебна пътека.



Фиг.2.2. Пътна конструкция на железопътен мост (непълна схема)

Размерът на напречното сечение на елементите се определят от условие за ограничаване на максималните напрежения и деформации. Граничните стойности на напреженията зависят от якостите на използвания материал, а граничните деформации се поставят от железопътното ведомство в зависимост от проектната скорост на движение.

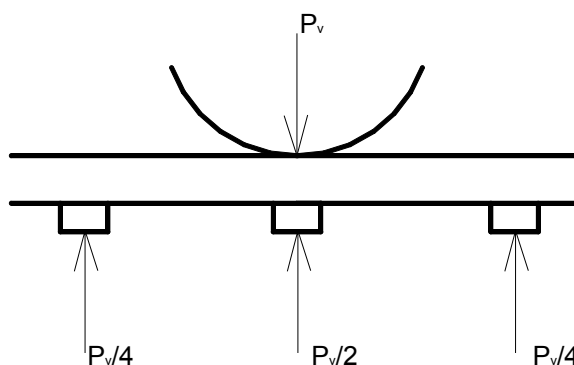
Разрезните усилия в елементите на пътната конструкция се получават от собствено тегло, от вертикалните и хоризонтални въздействия от подвижни товари. За надлъжната греда обикновено е меродавно натоварването с осовите товари на товарния модел LM71, както е показано на фиг.2.3.



Фиг.2.3. Максимални усилия в надлъжна греда от подвижен товар LM71

В зависимост от големината на L за получаване на $\max M$ е възможно и друго разположение на товарите, както и меродавно натоварване да се получи от товарния модел SW. За надлъжна греда, конструирана като непрекъсната, меродавната товарна схема също може да бъде различна.

Релсите чрез огъвната си коравина оказват товаро-разпределително действие, което може да облекчи надлъжните греди. Нормите дават разпределение на колесното натоварване между съседни траверси, както е показано на фиг.2.4.



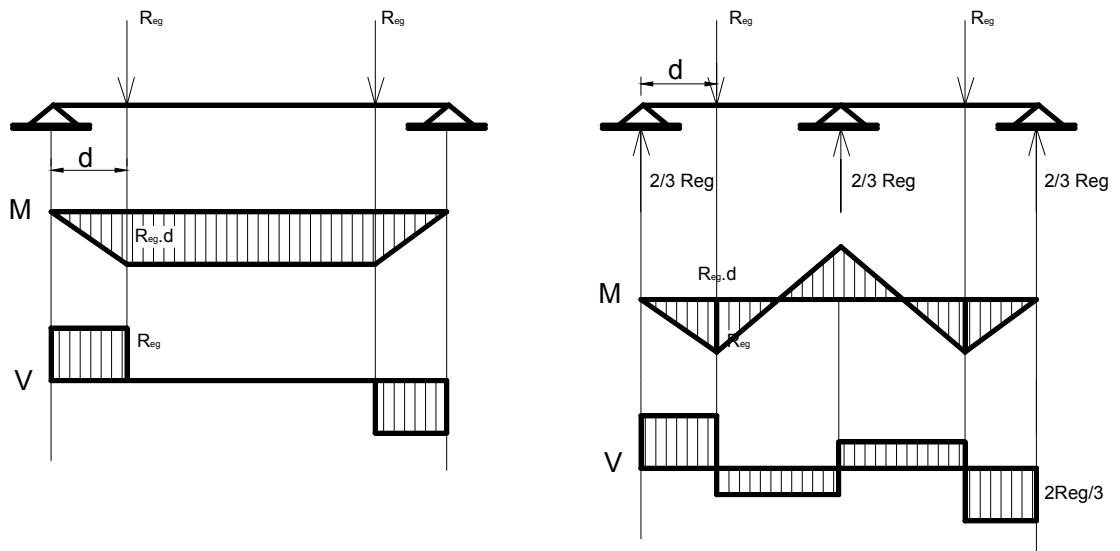
Фиг.2.4. Разпределение на колесен железопътен товар между траверси

Ако такова разпределение се приложи към схемите на фиг.2.3., разрезните усилия може леко да намалееят.

При движението си возилото лъкатуши между релсите и чрез удари упражнява хоризонтална сила (лъкатушна сила), която следва да се поеме от надлъжната греда чрез огъване спрямо вертикалната ос на сечението. Лъкатушната сила е единична и оказва най-силно въздействие ако се приложи в сечението с най-голям огъващ момент от вертикални товари. Надлъжната греда в този случай работи на общо огъване.

Напречните греди получават натоварването си във вид на опорни реакции от надлъжните греди. Ако напречните греди са сдвоени, максималната опорна реакция на надлъжната греда е равна на максималната и напречна сила, както е показано на фиг.2.3. Ако надлъжните греди работят като непрекъснати, опорната им реакция, както и разрезните усилия следва да се получават чрез линии на влияние.

Опорните реакции на надлъжните греди, взети като товар за напречните предизвикват разрезни усилия с диаграми, показани на фиг.2.5.

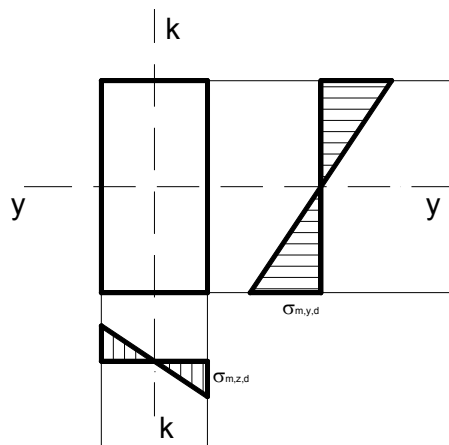


Фиг.2.5. Разрезни усилия в напречна греда при подпиране върху две и три главни греди

При подпиране върху три главни греди е желателно да се изберат такива размери между предаващите товари и подпирашите елементи, че опорните реакции да са еднакви. Това ще означава, че натоварването за главните носачи ще се разпредели по равно.

При движение на возилото с променлива скорост се явяват инерционни сили във возилото, които предизвикват хоризонтално надлъжно натоварване в конструкцията с обратна посока (спирателни, теглителни сили). За надлъжната греда те се явяват като осови сили, а в напречната предизвикват огъване спрямо вертикалната ос на счението. Така напречната греда заедно с вертикалните товари получава общо огъване.

Напреженията при общо огъване в елемент с правоъгълно сечение са показани на фиг.2.6.



Фиг.2.6. Напрежения от двойно огъване в правоъгълно напречно сечение

Ръбовите напрежения следва да удовлетворяват условията:

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (2.1.)$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2.2.)$$

където:

$\sigma_{m,y,d}$ и $\sigma_{m,z,d}$ са ръбови напрежения от външни товари

$f_{m,y,d}$ и $f_{m,z,d}$ са изчислителни стойности на напреженията

$k_m = 0.7$ - за правоъгълно сечение и

$k_m = 1.0$ - за други видове сечения

За сеченията на надлъжната и напречната греда се правят проверки на тангенциалните напрежения и проверки на местно смачкване напречно на влакната в местата на предаване на напречни товари (реакции).

2.3. Пътни конструкции на пътни мостове

Пътните конструкции на пътни мостове се изпълняват по различни схеми с различни видове елементи:

- Носеща пътна настилка върху надлъжни и напречни греди
- Носеща пътна настилка върху напречни греди
- Носеща пътна настилка върху главни греди

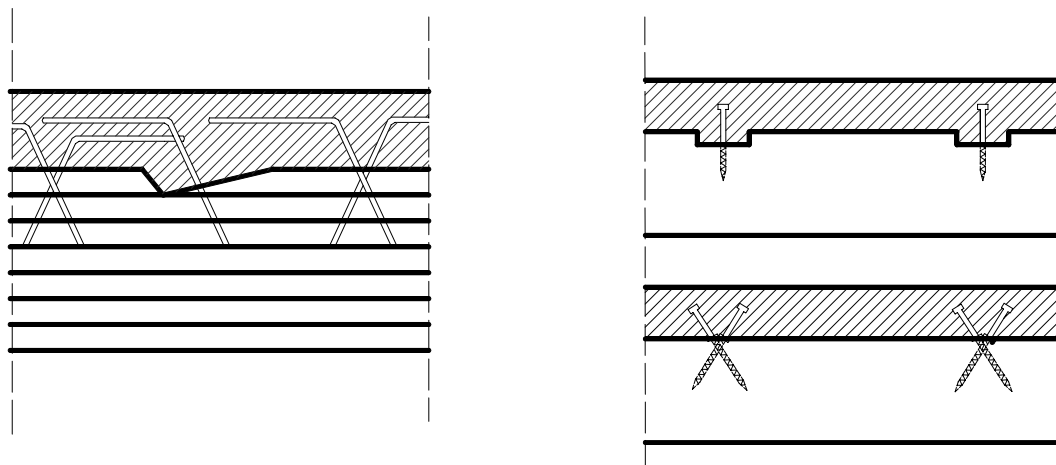
Първата схема е най-сложна и с най-голяма конструктивна височина. Тя се прилага, когато главните носачи са решетъчни греди и е прието възлово предаване на товарите.

Втората схема е по-опростена. Възможно е да се прилага в повечето случаи, но ако главният носач е решетъчен ще има и извън възлово натоварване, защото напречните греди ще бъдат по-гъсто разположени. Поясът, на който са опрени напречните греди трябва да се проверява за осова сила и огъване.

Третата схема е най-проста. Тя изисква повече на брой главни носачи разположени наблизо един до друг.

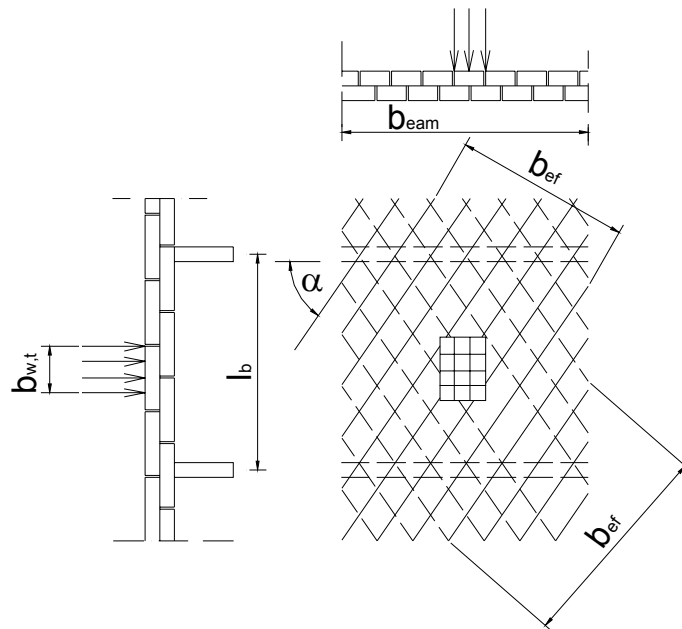
Обикновено по-сложните схеми се избират при по-големи подпорни разстояния на главния носач и с по-малко на брой главни носачи. С намаляване на подпорното разстояние схемата на пътната конструкция се опростява, а броят главни носачи нараства.

Носещата пътна настилка се изпълнява от дървесина или от стоманобетон. Стоманобетонната пътна плоча се поставя предимно върху главните носачи и се осъществява конструктивна връзка между тях за съвместна работа на огъване. Такива конструкции се наричат комбинирани. Пример за реализиране на връзка между дървена греда и стоманобетонна плоча е показан на фиг.2.7.



Фиг.2.7. Стоманобетонна пътна плоча, комбинирана с дървена греда

Конструкциите на дъсчен носещ под се изпълняват по различни начини в зависимост от интензитета на полезния товар и разстоянието между подпирашите елементи. За пешеходни мостове настилната може да бъде от талпи с дебелина 5-6см, наредени върху напречни или главни греди. При пътни мостове натоварването е по-тежко и талпите обикновено са на два пласта и се нареждат ортогонално или под ъгъл върху подпирашите елементи. Вторият вариант излиза по-икономичен (фиг.2.8.).



Фиг.2.8. Двупластов носещ под от косо подредени талпи

Ъгълът α се избира около 60° , при което подпорното разстояние на талпите се увеличава спрямо разстоянието " l_b " между подпирашите елементи, но едновременно с това се увеличава броят на ангажираните талпи в поемането на колесния печатообразен товар чрез взаимодействието между двата пласта. Работната ширина b_{eff} за всеки пласт се определя по формулата:

$$b_{eff} = \frac{0.2l_b + 2b_{w,t}}{\sin \alpha} \quad (2.3.)$$

Разстоянието l_b се избира около 1m. Всеки пласт талпи със сечение $b_{eff,t}$ се проверява за половината от колесния товар.

Когато подпирашите елементи са по-нарядко се предпочита дървен носещ под от талпи наредени на ръб, долепени една до друга и обединени чрез наковане, чрез лепене и/или чрез напрегане със стоманени пръти. Получава се дървесинна плоча, която работи на огъване като монолитно тяло, но с различни механични характеристики в двете направления (ортотропна плоча). Усилия и премествания в нея могат да се получат чрез решаване на диференциалното уравнение за равновесие:

$$B_x \frac{d^4 w}{d_x^4} + 2H \frac{d^4 w}{d_x^2 d_y^2} + B_y \frac{d^4 w}{d_y^4} = q_{xy} \quad (2.4.)$$

където:

$B_x = E_o I_x$ и $B_y = E_{90} I_y$ са огъвни коравини в двете направления

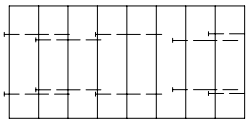
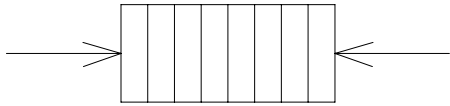
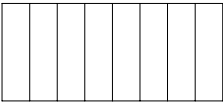
$H = \eta \sqrt{B_x B_y}$ е усуквателна коравина

$$I_x = I_y = \frac{t^3}{12}$$

η е коефициент, който се получава от натурно изпитване

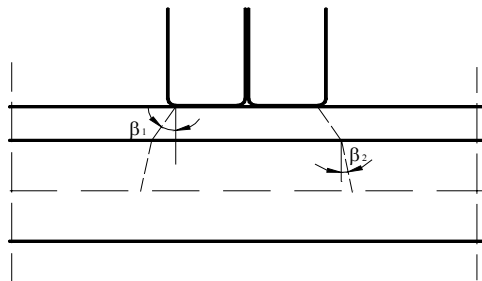
Зависимостта между модулите на еластичност за различните начини на свързване на талпите е дадена на таблица 2.1.

Таблица 2.1. Механични характеристики на дървесинни плочи

	вид плоча	E_{90}/E_0	G/E_0	ν
1	Кована 	≈ 0	0.03	-
2	напрегната 	0.015	0.03	0.3-0.4
3	лепена 	0.03	0.06	0.3-0.4

Решението на диференциалното уравнение (2.4) е трудно вследствие прекъснатостта на натоварването q_{xy} . Компютърно изчисление може да бъде бърз и точен резултат ако се моделира ортотропията на плочата чрез задаване на характеристиките от табл.2.1.

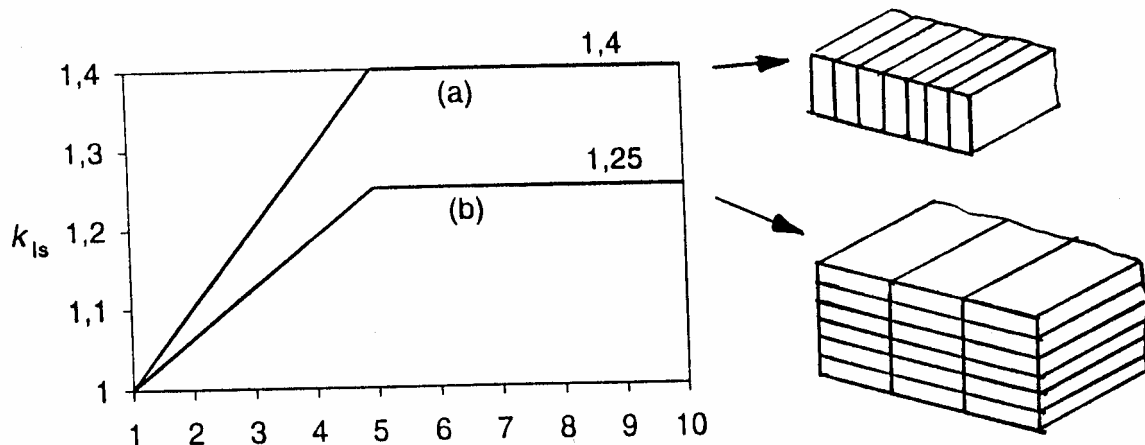
Дървесинните плочи може да са покрити с износващ пласт (бетон, асфалтобетон) или не. Във втория случай се предвижда допълнителна дебелина заради износването. Печатообразния товар върху повърхността на настилката се разпределя под ъгъл до средната равнина на плочата и в изчисленията участва с изчислителна стойност съобразно увеличения размер на печата (фиг.2.9.)



$\beta_1=45^\circ$; $\beta_2=30^\circ$ за шперплат
 $\beta_2=45^\circ$ надлъжно на влакната
 $\beta_2=15^\circ$ напречно на влакната

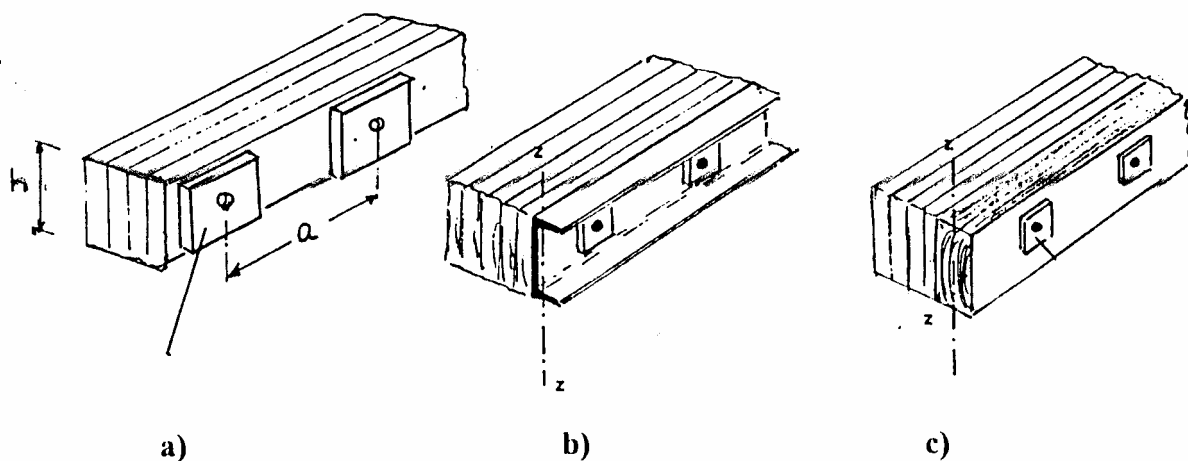
Фиг.2.9. Разпределение на колесен товар през плочата

При използване на дървесинни плочи може да се работи със завишени изчислителни съпротивления поради намаляването на местните несвършенства в едно сечение. Коефициентът на увеличение k_{1s} зависи от броя на натоварените талпи и начина на подреждането им (фиг.2.10.)



Фиг.2.10. Коефициент k_{1s} за изчислителни напрежения при дървесинни плочи

Чрез напрегане на дървесинните плочи се цели да се осигури такава триене между талпите, че при местно натоварване с колесни товари те да не се разместват, а да работят като монолитна плоча. Препоръчва се напрегането да бъде не по-малко от $0,7N/mm^2$, като при това се отчитат загубите които ще се получат от съсъхване и пълзене на дървесината. По ръбовете на дървесинната плоча следва да се поставят корави бордови елементи (фиг.2.11.), за които да се анкерират напрегащите пръти. Тези елементи следва да имат определен минимален инерционен момент за да могат да разпределят равномерно напрегащата сила по ръба на плочата. Това могат да бъдат и шайби със съответни размери.



Фиг.2.11. Примери за анкерирание на напрегащи пръти

Напрегащите пръти следва да бъдат на разстояние на по-голямо от $1/6$ от широчината на плочата. Бордовите профили трябва да имат инерционен момент I_z , подчинен на условието:

$$EI_z / h \geq 1,0 \cdot 10^9 \text{ Nmm} \text{ за стоманени профили и}$$

$$EI_z / h \geq 3,0 \cdot 10^9 \text{ Nmm} \text{ за профили от твърда дървесина}$$

За съотношението на сеченията на напрегащите пръти и дървесината следва да е изпълнено условието:

$$\frac{A_s E_s}{A_t E_{90}} \leq 2,2$$

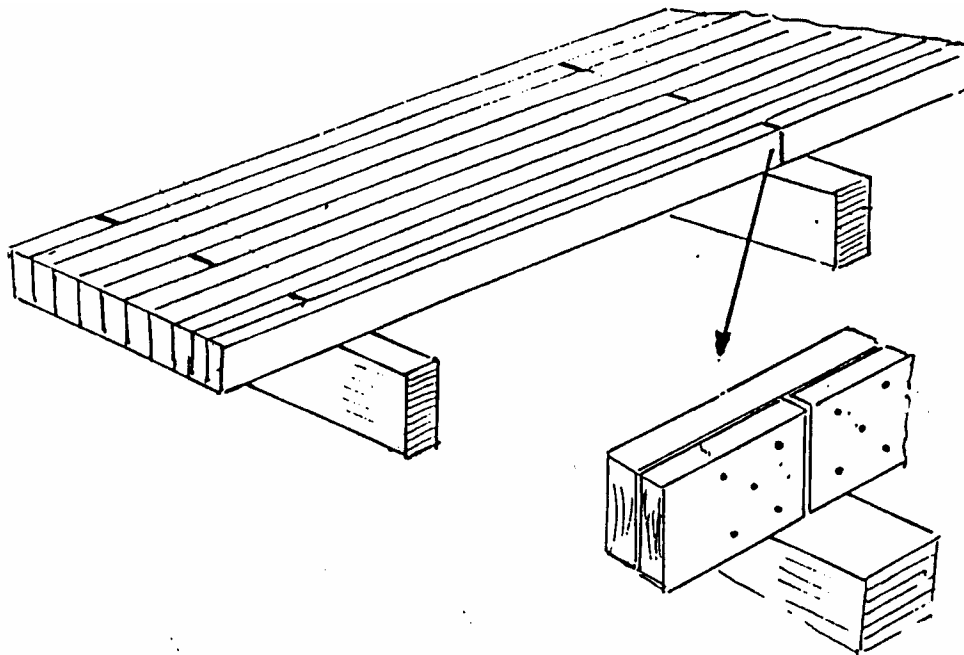
където:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4}; A_t = ah; \text{ a, d и h съгласно фиг.2.11.}$$

E_s и E_{90} са модулите на еластичност на стоманата и на дървесината напречно на влакната.

Талпите могат да се снаждат над подпирашите елементи по схемата на фиг.2.12.

Подпирашите елементи се изчисляват за натоварване получено от опорните реакции на пътната плоча по начина описан в точка 2.2.



Фиг.2.12. Снаждане на прекъснати талпи