7

Praun

Arch.

ZPRÁVY

ÚSTAVU THEORETICKÉ A APLIKOVANÉ MECHANIKY

ÚTAM — ČSAV

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE VĚD

PRAHA

1957

Степень устойчивости против излома равна 3.04. Это – величина отношения момента при разрушении железобетонного сечения /как уже было сказано, этот момент в I.6 раз превышает предельный момент, полученный на основании обычного расчета/ к моменту при рабочей нагрузке.

Итак, при перегрузке балки сначала образовались бы трещинки, а затем при нагрузке, примерно в /3.04 : 2.3/ = 1.32 раза большей, произошел бы излом балки.

Следовательно, существует полное основание для того, чтобы такие минимально армированные сечения рассчитывались согласно правил для железобетонных сечений.

Дополнительно мы получили в 1955 году сообщение из Советского Союза о том, что также и там занимались этим вопросом и что были получены те же результаты, на основании которых производится снижение установленного минимума для арматуры, а именно в различной степени для отдельных видов бетона.

NÁVRH A ROZDĚLENÍ SMYKOVÉ VÝZTUŽE Z VODOROVNÉ SMYKOVÉ SÍLY

Ing. Richard Bareš

Předloženo: 22. 12. 1955

1. Úvod

Návrhem a rozdělením smykové výztuže na základě jednoduchého výpočtu vodorovné smykové síly se již zabývali mnozí autoři. [1][2][3]. Většina projektantů není však dosud s tímto vhodným, rychlejším a přehlednějším způsobem výpočtu dostatečně obeznámena a pracně navrhuje smykovou výztuž vyčíslováním obsahu obrazce smykových napětí. Účelem tohoto článku je seznámit projektanty statiky s uvedenou metodou výpočtu, neboť tento způsob navrhování smykové výztuže je kratší, takže projektantu přináší značnou úsporu času.

Nejdříve stručně uveďme hlavní zásady navrhování smykové výztuže, posuzování soudržnosti a znění normy. Podle ČSN 73 2001 Projektování betonových staveb počítá se napětí ve smyku v průřezu namáhaném ohybem, je-li jeho tažená část obdélníková, z rovnice

$$\tau_b = \frac{1}{b} \frac{d}{dx} \left(\frac{M}{r} \right), \tag{1}$$

u nosníku stálého průřezu z rovnice

$$\tau_b = \frac{T}{b.r} . \tag{2}$$

V rovnicích značí M ohybový moment ve vzdálenosti x od podpory, T rozhodující posouvající sílu (v pozemních stavbách pro plné zatížení pole), b šířku průřezu (u deskových trámů šířku žebra), r rámě vnitřních sil. Max. napětí tahu vypočtené nesmí přestoupit mezní napětí betonu v tahu. Část tahu, která je způsobena rozdílem napětí $\tau_b - 0{,}1\tau_{bmax}$ je třeba přisoudit společnému působení šikmých ohybů a třmínků, a to u trámů v celé jejich délce, u desek jen v těch místech, kde τ_b přestupuje hodnotu $\frac{\tau_{bt}}{s}$

Zde značí:

τ_b napětí ve smyku podle rov. (1) nebo (2),

τ_{bmax} největší napětí v příslušné části obrazce smykových napětí a

s_1 stupeň bezpečnosti pro beton ve smyku.

Vzájemná vzdálenost třmínků má být menší než 3d/4, nejvýše však 40 cm.

Napětí v soudržnosti je nutno prokazovat, mají-li jednotlivé vložky náhradní průřezovou plochu větší než 5,5 cm^2 (t.j. u vložek větších než ø 26 u ocelí 10370,10512 a 10513, ø 24 u ocelí 10372 a 10373 a ø 20 u oceli 10492), nebo v základových konstrukcích a stropních konstrukcích při zatížení větším než 5 000 kg/m^2.

U konstrukcí namáhaných ohybem se počítá napětí v soudržnosti z rovnice

$$\tau_a = \frac{1}{o}\frac{d}{dx}\left(\frac{M}{r}\right), \qquad (3)$$

u nosníku stálého průřezu z rovnice

$$\tau_a = \frac{T}{o.r}, \qquad (4)$$

kde o značí obvod všech tahových vložek příslušného průřezu. Za obvod jedné vložky se při tom dosazuje 3,14 ø u kruhové oceli, 3,92 øT u oceli 10492 a 3,11 øR u oceli 10512.* Stupněm bezpečnosti se pak rozumí poměr $\frac{\tau_m}{\tau_a}$, kde τ_m je mezní napětí v soudržnosti podle tab.I normy ČSN 73 2001. Tento poměr nesmí být menší než stupeň bezpečnosti s_1 podle tab. IV a V téže normy.

Účinek háků se při výpočtu průměrného napětí v soudržnosti u vložek zakotvených do betonu uvažuje tak, že délka

*Poznámka: ø, øT a øR jsou jmenovité průměry ocelí.

působící v soudržnosti se u háků pravoúhlých a ostroúhlých zvětší o 4 ø, u háků polokruhových o 12 ø (všude se dosazuje jmenovitý průměr vložky). Potřebné hodnoty užívaných ocelí obsahuje tab. II uvedené normy.

Je-li napětí ve smyku vyšší než mezní hodnota pro příslušný druh betonu (tabulka I normy), je nutno zvětšit průřez. Po odečtení části, kterou přenášejí podélné rovné vložky, přisuzujeme ohybům asi 2/3, třmínkům pak zbytek hlavního tahu. Při pohyblivém zatížení je nutno navrhovat smykovou výztuž z čar τ_{max}.

U pozemních staveb s nepohyblivým nahodilým zatížením je možno pro výpočet smykové výztuže uvažovat plné zatížení všech polí za předpokladu, že se délka jednotlivých polí neliší více než o 20 %. O případech, kdy rozdíly v délce polí jsou větší, a o spojitých nosnících s pohyblivým zatížením pojednává prof. Ing. Dr Zdeněk Bažant. [4] .

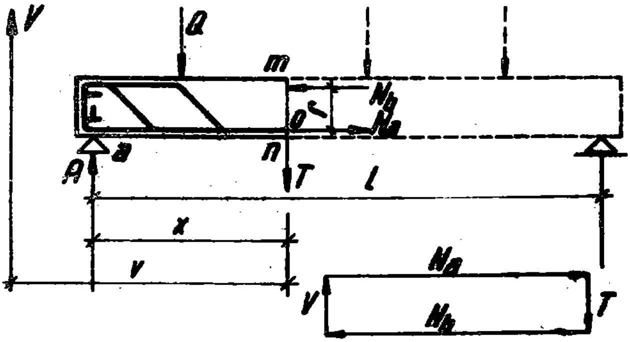
2. Velikost smykové síly S a její vztah ke smykovému napětí a hlavnímu tahu

V dalším výkladu se nebudeme zabývat studiem prostorové napjatosti prvku ani výpočtem tangenciálních napětí a předpokládáme znalost obecných vztahů (5), (6), (7).

a) Nosníky s neproměnnou výškou průřezu

Uvažujeme prostý nosník libovolně zatížený s rozpětím l. Odejměme pravou část nosníku svislým řezem mn, vzdáleným od levé podpory A o x, a její účinek na levou část nosníku nahraďme příslušnými vnitřními silami.

Tyto síly musí být v rovnováze s vnějšími silami ponechané části levé, t.j. se zatížením Q v úsečce x a s podporovou reakcí A, složenými ve výslednici V ve vzdálenosti v od řezu mn (obr. 1).



Obr. 1.

Na pravé straně řezu tedy působí vodorovná síla N_b t.j. výslednice všech tlakových napětí, a výslednice N_a všech tahových napětí, obě výslednice ve vzájemné vzdálenosti r, a svislá posouvající síla T.

Ze součtové výminky rovnováhy ve vodorovném směru plyne síla

$$N_b = N_a , \qquad (5)$$

z výminky ve svislém směru vychází

$$V = T . \qquad (6)$$

Z momentové výminky k bodu g plyne $M = V . v = N_b . r = N_a . r$,

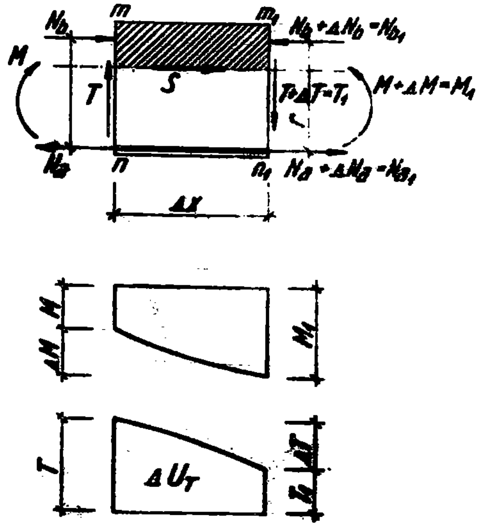
z toho síla $$N_b = \frac{M}{r} = N_a , \qquad (7)$$

kde M je moment vnějších sil k uvažovanému průřezu.

Uvažujme dále prvek nosníku mezi dvěma svislými řezy mn a m_1n_1, jejichž vzdálenost je Δx (obr.2).

V délce Δx je také znázorněn odpovídající obrazec momentů a posouvajících sil. Levá část nosníku působí na prvek posouvající silou T a momentem M, který lze nahradit dvojicí sil N_b, N_a. V příčném řezu m_1n_1 vzroste moment o

ΔM na M_1, čímž se také zvětší tlaková síla o ΔN_b na N_{b1} a tahová síla o ΔN_a na N_{a1}; je-li prvek zatížen, změní se také T o ΔT na T_1.



Obr. 2.

Protněme nyní tento prvek vodorovnou rovinou procházející neutrální osou, odstraňme jeho spodní část a zkoumejme rovnováhu na zbylé části prvku. (v obr. 2 vyšrafováno). Z rovnováhy ve vodorovném směru plyne, že se smyková síla S, ležící v ploše řezu, rovná přírůstku tlakové síly ΔN_b.

Je tedy $$\Delta N_b = N_{b1} - N_b$$

$$S = \Delta N_b = N_{b1} - N_b .$$

S použitím rov.(7) pak vychází

$$S = \frac{M_1 - M}{r} = \frac{\Delta M}{r} . \qquad (8)$$

Ze závislosti momentu na posouvající síle $\frac{dM}{dx} = T$ plyne dále

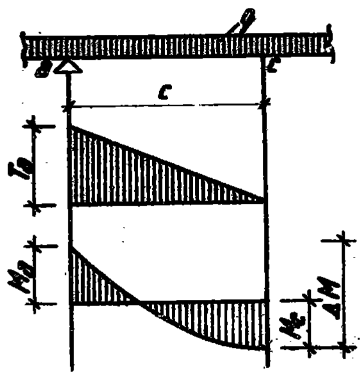
$$S = \frac{\Delta U_T}{r} = \frac{T_s \cdot \Delta x}{r}, \qquad (9)$$

což lze vyjádřit takto: S m y k o v á s í l a S v č á s t i Δx n o s n í k u s k o n s t a n t n í v ý š k o u s e r o v n á p ř í r ů s t k u m o m e n t u ΔM d ě l e n é m u r a m e n e m v n i t ř n í c h s i l .

Přírůst momentu ΔM je dán velikostí příslušné části plochy posouvajících sil ΔU_T . Plochu U_T lze vyjádřit s dostačující přesností výrazem $T_s \cdot \Delta x$, kde T_s je střední posouvající síla části Δx.

S m y k o v á s í l a S p ř e d s t a v u j e p ř i t o m s o u č e t s m y k o v ý c h n a p ě t í v č á s t i Δx.

O platnosti těchto vztahů se můžeme přesvědčit na př. touto jednoduchou úvahou: Na část nosníku rovnoměrně zatíženého v délce c, t.j. mezi podporou <u>a</u> a přechodným průřezem c (obr.3),



Obr. 3.

působí v bodě a moment M_a a posouvající síla T_a, v bodě c moment M_c a posouvající síla $T_c = 0$.

Moment

$$M_c = M_a + T_a \cdot c - 1/2\ q\ c^2 = M_a + \Delta M.$$

Při $T_a \cdot c = q\ c^2$ je

$$\Delta M = q\ c^2 - 1/2\ q\ c^2 = 1/2\ q\ c^2,$$

$$\frac{\Delta M}{r} = \frac{q\ c^2}{2r} = \frac{T_a \cdot c}{2r}.$$

Vodorovná smyková síla v úseku c je

$$S = 1/2\ \tau_{max} \cdot c \cdot b = \frac{T_a \cdot c}{2r},$$

je tedy

$$S = \frac{\Delta M}{r}.$$

Přepíšeme-li vzorec (9) pro délku $\Delta x = 1$ cm, $T_s = T$ a šířku průřezu b_o, obdržíme známé vztahy:

$$\tau_b \cdot 1 \cdot b_o = \frac{T \cdot 1}{r}, \text{ z toho } \tau_b = \frac{T}{b_o \cdot r}$$

a $$\tau_d \cdot \sigma \cdot 1 = \frac{T \cdot 1}{r}, \text{ z toho } \tau_d = \frac{T}{\sigma \cdot r}.$$

Podle výzkumů provedených různými autory (Engesser, Kleinlogel, Bach, Graf) mění se napětí v soudržnosti vlivem účasti plastického betonu s velikostí momentu a působením příčné výztuže, zvláště ohybů; zejména se zmenšuje napětí v soudržnosti k podporám. Počítáme-li tedy napětí v soudržnosti nad podporami podle dosavadního způsobu, bylo by možno stupeň bezpečnosti u stavebních konstrukcí zmenšit až o 60 %. Nyní se tento stupeň pohybuje mezi 5 až 6, neboť skutečná pevnost v soudržnosti je asi 1/4 až 1/5 pevnosti v tlaku. Při stupni bezpečnosti zmenšeném o 50 % ($S = \frac{2,5}{2} = 1,25$) byl by potom nutný obvod vložek:

pro beton 170:

$$\sigma = \frac{T \cdot s}{\varkappa_b \cdot r} = \frac{T \cdot 1{,}25}{12 \cdot r} = 0{,}1 \frac{T}{r}, \tag{10}$$

pro beton 250:

$$\sigma = \frac{T \cdot 1{,}25}{14 \cdot r} = 0{,}09 \frac{T}{r} \tag{10'}$$

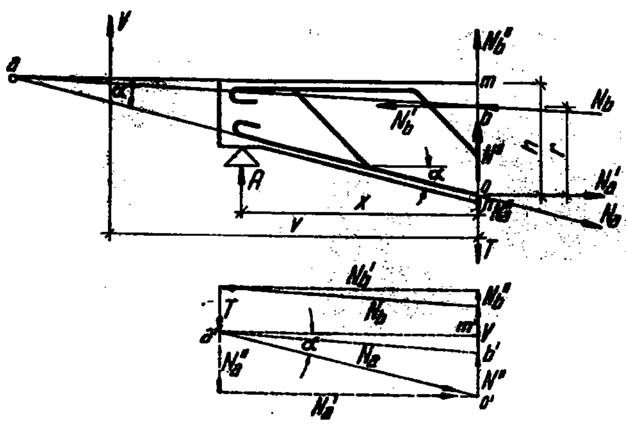
a pro beton 330:

$$\sigma = \frac{T \cdot 1{,}25}{16 \cdot r} = 0{,}08 \frac{T}{r}. \tag{10''}$$

Do těchto vzorců je nutno dosazovat $\underline{T}$ v kg, $\underline{r}$ v cm.

b) Nosníky s proměnnou výškou průřezu

Uvažujme stejně jako u nosníku s neproměnnou výškou levou část nosníku a řešme opět rovnováhu sil (Obr.4).



Obr. 4.

V řezu mn je N_b výslednice všech tlaků v betonu, N_b'' její složkou svislou a N_b' vodorovnou; N_a je výslednicí tahů ve vložkách, N_a'' její složkou svislou a N_a' vodorovnou .

V je výslednice vnějších sil, T síla posouvající v řezu mn (rovnající se −V). Mimo to, poněvadž svislé složky tlaků a tahů nejsou v rovnováze, přistupuje ještě svislá síla N'', působící v řezu mn. Napíšeme opět tři výminky rovnováhy:

S o u č t o v á ve vodorovném směru má tvar

$$N_b' - N_a' = 0, \qquad (11)$$

s o u č t o v á ve svislém směru je dána rovnicí

$$V - T - N_a'' + N_b'' + N'' = 0, \qquad (12)$$

m o m e n t o v á k bodu o

$$V \cdot v - N_b' \cdot r = 0 \text{ z toho } V \cdot v = M = N_b' \cdot r, \qquad (13)$$

při čemž M je moment vnějších sil k řezu x.

Vnitřní síla N'' je v rovnováze se silami N_a a N_b. Z podobnosti trojúhelníků abc a amo s trojúhelníky $a'b'o'$ a $a'm'o'$ plyne poměr $r : h = N'' : N_b' \cdot tg\alpha$;

z toho pak

$$N'' = \frac{r \cdot N_b' \cdot tg\alpha}{h} = \frac{M \cdot tg\alpha}{h}. \qquad (14)$$

Uvažujeme dále opět částici nosníku v délce Δx. Moment M na levé straně se zvětší o ΔM na M_1 na pravé straně, čímž se zvětší také síla tahová N_a o ΔN_a na N_{a1} a tlaková N_b o ΔN_b na N_{b1} (obr.5).

Složky těchto sil jsou: N_b', N_b'', N_{b1}', N_{b1}'', N_a', N_a'', N_{a1}', N_{a1}'',

rozdíly složek v průřezu mn a m_1 n_1 jsou $\Delta N_b'$, $\Delta N_b''$, $\Delta N_a'$, $\Delta N_a''$.

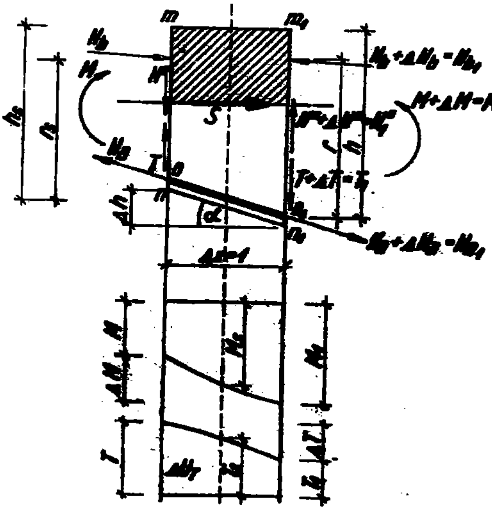
Dále působí síly T a T_1, N'' a N_1''.

Smysl síly N'' je závislý na znaménku momentu a na tom, zda se výška nosníku do středu pole zvětšuje nebo zmenšuje.

Uvažujeme dále prvek v délce $\Delta x = 1$ cm.

Z momentů k bodu o_1 plyne:

$$(T + N'') \cdot 1 = \Delta N_b' \cdot r \quad \text{a} \quad N_b' = \frac{T \mp N''}{r} = \Delta Na'. \qquad (15)$$



Obr. 5.

Vedeme-li opět vodorovný řez neutrální osou, plyne z rovnováhy na vodorovném směru vodorovná smyková síla $S = \tau_b . 1 . b_e = \Delta N_b' = \frac{T \mp N''}{r}$, $S = \tau_a . \sigma . 1 = \frac{T \mp N''}{r}$

a z toho pak známé vzorce

$$\tau_b = \frac{T \mp \frac{M . tg . \alpha}{h}}{b_o . r} , \qquad (16)$$

$$\tau_\sigma = \frac{T \mp \frac{M . tg\alpha}{h}}{o . r} . \qquad (17)$$

S dostačující přesností lze určit smykovou sílu S na části Δx z τ_s, což je střední smykové napětí v délce Δx. Tedy

$$S = \tau_s . b_o . \Delta x = \frac{T_s . \Delta x \mp \frac{M_s . tg\alpha . \Delta x}{h_s}}{r_s} = \frac{\Delta M \mp \frac{M_s . \Delta h}{h_s}}{r_s} , \qquad (18)$$

kde T_s, M_s, h_s, r_s značí střední hodnoty pro uvažované části.

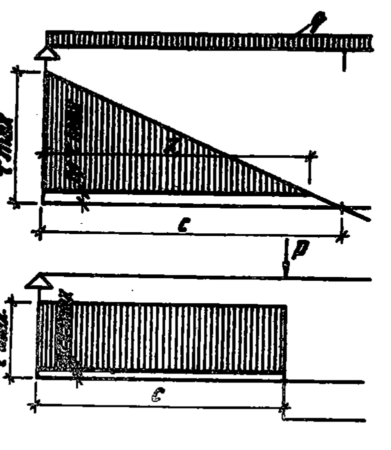
Doplněk N″ tangenciální napětí τ zmenšuje, je-li protisměrný síle T; při stejnosměrnosti se τ zvětšuje. To znamená, že $tg\alpha$ je záporné (kladné), jestliže výška nosníku směrem od podpory vzrůstá (klesá). Do všech vzorců je nutno M_x i M_s dosazovat vždy s ohledem na znaménko. Ostatní veličiny se uvádějí v absolutních hodnotách.

3. Velikost smykové výztuže F_o a F_t; smyková síla směrodatná pro návrh a tabulky pro navrhování smykové výztuže

Podle normy ČSN 73 2001 Projektování betonových staveb je možno taženým podélným vložkám přisoudit tu část celkového hlavního tahu, která je způsobena rozdílem napětí $\tau_b - 0{,}1\,\tau_b max$.

Pro plné rovnoměrné zatížení nosníku (obr.6) tedy platí:

$$S = U = \tau_b max \, . \, c \, . \, b_o \, . \, 1/2,$$
$$S' = U' = 0{,}9 \, . \, \tau_b max \, . \, 0{,}9 \, . \, c \, . \, b_o \, . \, 1/2,$$
$$S' = 0{,}81 \, [1/2 \, . \, \tau_b max \, . \, c \, . \, b_o],$$
$$\underline{S' = 0{,}81 \, . \, S.} \qquad (19)$$



Obr. 6.

Pro zatížení osamělým břemenem je však

$$S = U = \tau_{b\,max} \cdot c \cdot b_0 \,,$$

$$S' = U' = 0{,}9\ \tau_{b\,max} \cdot c \cdot b_0 \,,$$

$$\underline{S' = 0{,}9 \cdot S} \qquad (20)$$

Jak je z těchto dvou zatěžovacích případů patrno, redukuje se podle uvedené normy podélná smyková síla pro každý případ zatížení i vlivem náběhu v různém poměru. Pro plné zatížení rovnoměrné činí její zmenšení téměř 20 %, pro zatížení břemenem 10 %, pro nosník s náběhy asi 15 až 30 % a pro soustavu břemen až 50 % i více. Poněvadž pro návrh smykové výztuže je nakonec rozhodující právě jen velikost podélné smykové síly, bylo by logičtější dříve tuto smykovou sílu v určitém poměru redukovat. Podle zkušeností, ale také se zřetelem na přípustné rozevření trhlinek lze za nejlepší pokládat poměr $\mu = \frac{S'}{S} = 0{,}9$. V tom případě nezávisí redukce ani na druhu zatížení, ani na proměnnosti průřezu a lépe odpovídá skutečnosti. Při poměru $\mu = 0{,}9$ a přibližném, avšak v běžných stavebních konstrukcích pro tento účel dostačujícím předpokladu $r = 0{,}9\ h$ se vzorce (8) a (18) ještě dále zjednoduší. U prismatických nosníků vyjde

$$S' = \frac{\Delta M}{0{,}9 \cdot h} \cdot 0{,}9 = \frac{\Delta M}{h} \,, \qquad 20'$$

u nosníků s proměnnou výškou je

$$S' = \frac{\Delta M \mp \frac{M_s \cdot \Delta h}{h_s}}{0{,}9 \cdot h_s} \cdot 0{,}9 = \frac{\Delta M}{h_s} \mp \frac{M_s \cdot \Delta h}{h_s^2} \,. \qquad 20''$$

V příkladu uvedeném v závěru tohoto článku je počítáno se zmenšením smykové síly o 10 %.

Hlavní napětí působí k podélné ose trámu šikmo, přibližně pod úhlem 45°. V jednom směru působí tahy $\mathcal{H}_a$, kolmo na ně tlaky $\mathcal{H}_b$. Obě síly jsou tedy složkami podélné smykové síly S. Šikmý tah $\mathcal{H}_a = S \cdot \cos 45°$. Smyková výztuž se skládá ze šikmých vložek s průřezovou plochou F_0 a z třmínků s průřezovou plochou F_t. Šikmé vložky, svírající úhel β s tahovou silou N_a, mohou přenést pouze sílu $F_o \cdot \cos\beta$. Pro sílu v šikmých vložkách skloněných pod 45^o a ve svislých třemenech potom platí závislost

$$\frac{\varkappa_a \cdot s}{\varkappa_a \cdot c} = \frac{S \cdot \cos 45^o \cdot s}{\varkappa_a \cdot c} = F_o + F_t \cdot \cos 45^o .$$

tudíž $S = \sqrt{2} \cdot F_o \cdot \frac{\varkappa_a \cdot c}{s} + F_t \cdot \frac{\varkappa_a \cdot c}{s} = S_o + S_t,$ (21)

kde $\varkappa_a$ = 2300 kg/cm2 značí mezní napětí oceli a s stupeň bezpečnosti, c = 1 až 1,65 je převodní součinitel podle ČSN a $F_t = 2 \cdot f_t$ je plocha třmínků dvoustřižných, $F_t = 4\, f_t$ plocha třmínků čtyrstřižných atd. Pro snadný a rychlý návrh smykové výztuže jsme vypočetli pomocné tabulky 1 – 6. V nich jsou vyčísleny síly S_o pro šikmé vložky, jakož i síly S_t pro n svislých třmínků na 1 bm (uvažováno je mezní napětí vložek 2300 kg/cm2, stupeň bezpečnosti s = 1,9, převodní součinitel c = 1; 1,15;, 1,65, třmínky dvoustřižné, čtyřstřižné, šestistřižné a osmistřižné). Šikmé vložky s průřezovou plochou F_o přenášejí v délce x, jde-li o nosník s neměnnou výškou,

přírůstek momentu $\Delta M_o = S_o \cdot r$,

posouvající sílu $T_o = \frac{S_o \cdot r}{x}$

tangenciální napětí $\tau_{bo} = \frac{S_o}{b_o \cdot x}$.

U dvoustřižných (čtyrstřižných) třmínků s průřezem $2 \cdot f_t$ ($4 \cdot f_t$) při vzdálenosti třmínků a přenáší v délce x u nosníků s neproměnnou výškou přírůstek momentu $\Delta M_t = S_t \cdot r$, posouvající sílu $T_t = \frac{S_t \cdot r}{x}$

a tangenciální napětí $\tau_{bt} = \frac{S_t}{b_u \cdot x} = \frac{2 \cdot f_t \cdot \varkappa_a}{s \cdot b_o \cdot a}$,

u čtyrstřižných třmínků pak napětí

$$\frac{f_t \cdot \varkappa_a}{s \cdot b_o \cdot a} .$$

Podle normy ČSN 73 2001 nesmí namáhání ve smyku překročit mezní napětí, jež podle druhu betonu činí 13 až 35 kg/cm^2

V některých jednodušších případech, kdy přesnou velikost maximální posouvající síly nemusíme znát ani pro výpočet podporující konstrukce, ani pro výpočet ohybových momentů konstrukce samé (na př. u zděných staveb se žebrovými stropy), lze posoudit, zda smykové napětí vyhovuje předepsaným hodnotám přímo z podélné smykové síly.

Pro plné zatížení rovnoměrné je

$$\tau_{bq}\,\max \cdot \frac{c_q \cdot b}{2} = S_q\,,$$

$$\tau_{bq}\,\max = \frac{2 \cdot S_q}{c_q \cdot b} \leq \varkappa_t\,. \tag{22}$$

Pro zatížení jedním břemenem nebo dvěma břemeny symetricky položenými k polovině rozpětí nosníku je

$$\tau_{bp}\,\max \cdot c_p \cdot b = S_p\,,$$

$$\tau_{bp}\,\max = \frac{S_p}{c_p \cdot b} \leq \varkappa_t\,. \tag{23}$$

kde b je šířka průřezu, c_q a c_p jsou vzdálenosti přechodného průřezu od podpory (u zatížení dvěma symetricky položenými břemeny je to vzdálenost břemene od podpory) τ_{bq}, S_q příslušší zatížení rovnoměrnému τ_{bp}, S_p pak zatížení osamělými břemeny. Pro společné působení rovnoměrného zatížení i břemen platí výraz

$$\tau_{bq\,\max} + \tau_{bp\,\max} = \frac{2 \cdot S_q}{c_q \cdot b} + \frac{S_p}{c_p \cdot b} \leq \varkappa_t\,. \tag{24}$$

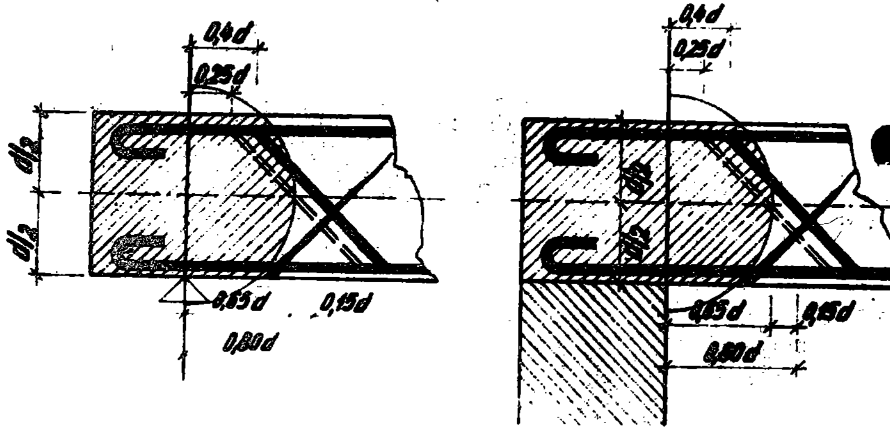
Pro zatížení více břemeny nebo tam, kde je nutno určit maximální posouvající sílu pro výpočet momentů, je jednodušší obvyklý postup z rovnice

$$\frac{T_{max}}{b \cdot r} \leq \varkappa_t\,.$$

Pro návrh i pro rozdělení smykové výztuže je však možno výhodněji použít i v těchto případech vodorovné smykové síly. Smyková výztuž navrhuje se pak vždy mezi dvěma břemeny samostatně, do vzorce (20'), resp. (20'') dosazuje se za ΔM vždy pouze příslušný rozdíl momentů ve vzdálenosti sousedních břemen.

4. Rozdělení smykové výztuže

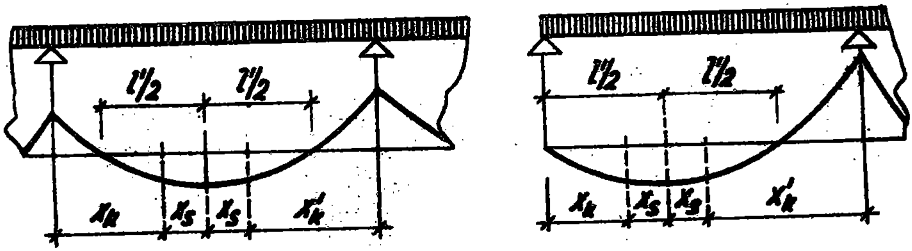
Ve většině případů není u pozemních konstrukcí nutno smykovou výztuž rozdělovat podle průběhu tangenciálních napětí, vzhledem k působení různých účinků, které nelze předem přesně stanovit (na př. pro neurčitost zatížení, stupně vetknutí, způsobu roznášení břemen a pod.). Stačí tedy zpravidla, jestliže vypočtenou smykovou výztuž rozdělíme podle citu. Při takovémto rozdělení smykové výztuže je však třeba přihlédnouti k napjatosti nad podporou. Tangenciální napětí je složka hlavních šikmých napětí, která jsou ovlivněna také napětími normálnými σ_y, kolmými k podélné ose, která vznikají rozptylem soustředěných tlaků v nejbližším okolí působišť osamělých břemen. Takovými osamělými břemeny jsou zvláště reakce. Je-li napětí σ_y tlakem, je hlavní napětí v tahu menší než τ_0 asi o 1/3 této hodnoty (obr.7). Nejsou tedy podporové průřezy co do napětí šikmým tahem nejnebezpečnější, což je také prokázáno mnoha zkouškami. Zmenšení šikmého tahu účinkem napětí σ_y trvá do vzdálenosti 0,65 d (podle Baye) od bodové podpory nebo okraje uložení v rovině osy trámu. Podle toho je tedy správná poloha prvního ohybu ve vzdálenosti 0,65 až 0,80 d



Obr. 7.

od theoretického podporového bodu neb okraje podpory, měřeno v ose trámu; měřeno v ose horních vložek je tato vzdálenost rovna 0,25 až 0,40 d. U zvláště silně zatížených konstrukcí nebo v některých jiných zvláštních případech, kdy je nutno smykovou výztuž správně rozdělit, je nejvýhodnější použít čáry vodorovné smykové síly $\mathcal{J}$ (což je vlastně součtová čára smykových napětí). Tento způsob je proti jiným, obvykle používaným metodám mnohem snadnější, kratší a nijak se nekomplikuje proměnností průřezu nebo zatížení.

V určité oblasti x_s každého pole nosníku, (obr.8) po stranách přechodného průřezu, nelze k zachycení smyku použít ohnutých vložek. Veškerá smyková napětí musí zde převzít třmínky. V okrajových oblastech x_k (mezi úsekem x_s a podporou) přenášejí smyková napětí ohnuté vložky společně se třmínky. Poměr délek x_s a x_k k rozpětí l je závislý na zatížení, průběhu momentů a na počtu vložek v průřezu. Určení těchto poměrů pro zvláštní případy nosníků s určitým zatížením plyne pro 3 až 8 vložek z tabulky 7.



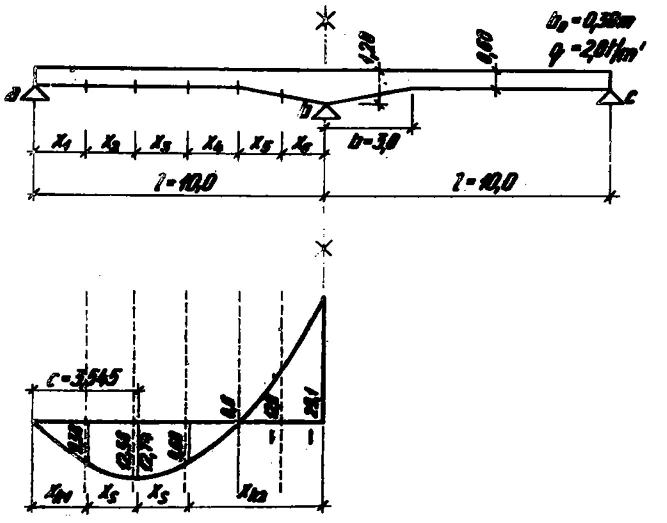
Obr. 8.

K vypočteným délkám x_s je nutno připočítat délku vložky potřebnou pro zabezpečení soudržnosti. Část ohybu pod osou trámu počítá se do této délky pouze svým svislým průmětem. U spojitých nosníků s průřezem proměnné výšky a zatížených rovnoměrně se délka x_s vypočítá z redukovaného rozpětí l', rovnajícího se části nosníku, ve které je kladný moment (obr.8). Proměnou šířky průřezu není ovlivněna čára smykové síly.

5. Příklad: spojitý nosník o dvou polích s průřezem proměnné výšky při střední podpoře (obr.9).

Rozměry průřezu: pole d = 60 cm, b_o = 30 cm, střední podpora d = 120 cm, b_o = 30 cm; rozpětí každého pole l = 10 m, délka náběhu ve střední podpoře b = 3,0 m, poměr momentů setrvačnosti v poli a v podpoře b je $\frac{I}{I_b}$ = 0,50. Zatížení rovnoměrné k = 2,0 t/m'.

Moment v podpoře b má hodnotu M_b = − 29,10 tm, momenty mezipodporové plynou z obr. 9.



Obr. 9.

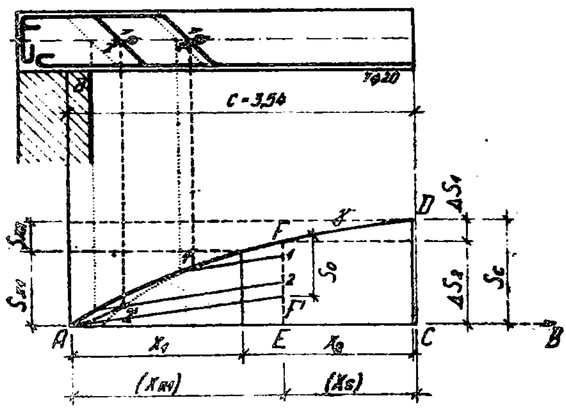
Vodorovné smykové síly pro úseky x_1 až x_6, podle rovnic (8), resp. (18), zmenšené součinitelem μ = 0,9, mají hodnotu:

S_{x1} = 16200 kg $\qquad$ S_{x4} = 15600 kg

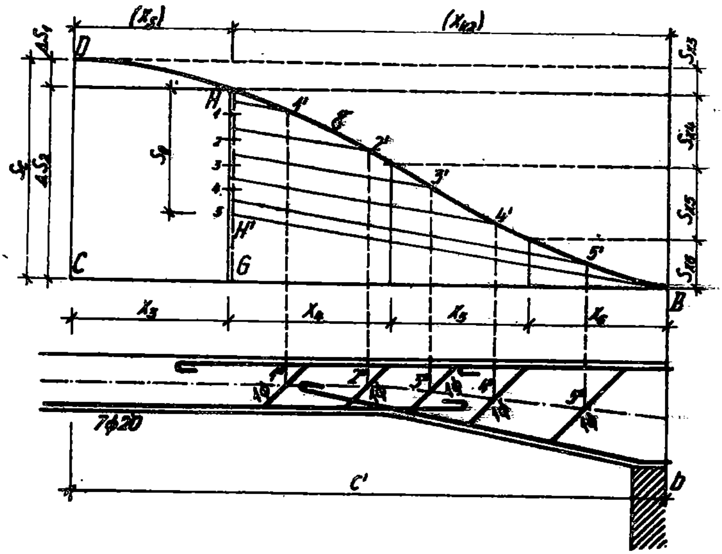
S_{x2} = 5510 kg $\qquad$ S_{x5} = 15100 kg

S_{x3} = 5130 kg $\qquad$ S_{x6} = 10200 kg.

Pro krytí záporného momentu v podpoře i kladného momentu v poli je navrženo 7 ø 20. Potřebný počet spodních vložek v podpoře plyne ze vztahu (10 až 10″). V podpoře a i b stačí 2 ø 20. Z rovnic (8), (18) vypočteme potom vodorovnou smykovou sílu S_{xn} pro jednotlivé, libovolně volené části nosníku x_n (v našem případě x_1 až x_6) a redukujeme je součinitelem μ = 0,9. Za rameno vnitřních sil použije se hodnoty z návrhu ohybových tahových vložek, v náběhu stačí předpokládat přímkovou proměnu ramene mezi hodnotou pro průřez v poli a průřez podporový. S dostačující přesností lze také dosazovat r ≐ 0,9 h a použít vztahů (8), (20″). Podle tabulky 7 se dále ještě určí délka x_s, ve které není možno vložky ohýbat. V našem případě je pro délku l′ = 2c = 7,090 m délka x_s = 0,19 . 7,09 = 1,35 m. Nyní se pro část nosníku nalevo a napravo od přechodného průřezu provede rozdělení smykové výztuže (obr.10, 11).



Obr. 10.



Obr. 11.

Čáru smykové síly $\mathcal{S}$ stanovíme tak, že na osu, vztyčenou na př. v podporovém bodě, vyneseme síly S_{xn} v měřítku sil a určíme průsečíky se svislicemi, jež vedeme dělicími body dílků x_1 až x_6. Zde každá pořadnice ve vzdálenosti x od podpory mezi základnou AC/ CB/ a křivkou $\mathcal{S}$ = AB (DB) odpovídá součtu smykových sil od podpory až k tomuto průřezu. Smyková síla jakékoli části nosníku rovná se potom rozdílu pořadnic v okrajových bodech části. V úseku x_s = $\overline{EC}$ / $\overline{CG}$/ je smyková síla ΔS_1 zachycena pouze třmínky. Jejich počet a profil najdeme přímo z tab. 4 až 6. V úseku $\overline{AE}$/ $\overline{GB}$/ přenášejí smykovou sílu ohyby společně s třmínky. Vložky, které můžeme ohnout, přenesou podélnou smykovou sílu S_0 podle tab. 1 až 3. V podpoře a provedeme pouze dva ohyby, v podpoře b plný počet možných ohybů, t.j. pět.

V úseku $\overline{AE}$/$\overline{GB}$/ je smyková síla ΔS_2. Sílu S_0 vyneseme z bodu

F (H) dolů jako $\overline{FF'}$ ($\overline{HH'}$). Zbytek pořadnice $\overline{F'E}$ ($\overline{H'G}$) je smyková síla, kterou musí přenést třmínky. Profil i počet třmínků plyne pak z tab. 4 až 6.

Polohu ohybů určíme tak, že úsek $\overline{FF'}$ / $\overline{HH'}$ / rozdělíme na tolik stejných dílů, kolik se ohýbá vložek, a vedeme rovnoběžky středy těchto dílů se spojnicí $\overline{AF'}$ / $\overline{H'B}$/. Je-li profil ohýbaných vložek nestejný, vyneseme od bodu F (H) podíly smykové síly S_0, které přenášejí jednotlivé vložky (z tab. 1 až 3), a to v takovém pořadí, v jakém je chceme ohýbat od středu nosníku. Průsečíky těchto rovnoběžek s čarou smykové síly, přenesené svisle na střednici nosníku, dávají již polohu ohybů.

U prostého nosníku libovolně zatíženého souhlasí momentová čára s čarou smykové síly $\mathscr{Y}$, neboť podporové momenty jsou tu rovny nule a v každém průřezu je $S = \frac{M}{r}$. Stačí tedy při grafickém rozdělení smykové výztuže vynést jen momentovou čáru a přímo v ní uvedeným způsobem rozdělit výztuž. Místo abychom vynášeli sílu S_0, kterou přenášejí ohyby, budeme ovšem vynášet moment $M_0 = S_0 \cdot r$. Třmínky se pak navrhnou pro sílu S_t, plynoucí z rozdílu momentu $M - M_0$, děleného ramenem vnitřních sil : $S_t = \frac{M - M_0}{r}$.

L i t e r a t u r a

1 Fritz Weil - Beton und Eisen 1926, H.11, str. 201,

2 B. Löser - Bestimmung der Balkenschubsicherung aus der Schubkraftlinie - B.u.E.1932,H.5,

3 B. Löser - Bemessungsverfagren 1. - 10. vyd. - Berlín, 1925 - 1955,

4 Zd.Bažant - Stavebná mechanika I - II, 3.vyd.,Praha 1946,

5 Zd.Bažant - Pružnost a pevnost, 3.vyd., Praha 1944,

6 St.Bechyně - Betonové stavitelství II, 1.vyd.,Praha 1938,

7 S.P.Timošenko - Pružnost a pevnost I, 1.vyd.překl., Praha 1951.

Расчет и распределение арматуры на скалывание, исходя из горизонтального скалывающего усилия

Р е з ю м е

Целью настоящей работы является ознакомление широкой технической общественности с мало до сего времени применяемым способом расчета арматуры на скалывание, исходя из горизонтального скалывающего усилия. После краткого перечисления как некоторых положений действующего стандарта ЧСН № 73200I, так и основных принципов расчета арматуры на скалывание, приводится вывод горизонтального усилия S в соответствии с /3/. Для постоянного сечения получается $S = \Delta M/r$, что словами можно выразить следующим образом: скалывающее напряжение на Δx участке балки с постоянной высотой h равняется приращению момента ΔM, деленному на плечо внутренних сил. Причем скалывающее усилие представляет сумму скалывающих напряжений на участке Δx.

Напряжения в сцеплении уменьшаются по мере приближения к опорам, так что у строительных конструкций /при ныне применяемом способе расчета/ над опорами было бы возможно понизить степень безопасности даже на 50 %; в таком случае расчет контура арматуры производится из простого соотношения $0 = 0.I \frac{T/кг/}{r\ /см/}$.

Для балок с переменной высотой сечения скалывающее усилие S может быть представлено в виде:

$$S = \frac{\Delta M \pm \frac{M_s \cdot \Delta h}{h_s}}{r_s}$$

где значения Ms, hs, rs являются средними значениями рассматриваемого участка.

Для балок с различной нагрузкой и с влиянием вутов скалывающее усилие редуцируется в соответствии с положениями нормы № 73200I, ст. 96 в различной степени. Поэтому было бы более логично в продольной арматуре принимать вместо участка основного растяжения участок продольного скалывающего усилия. Для призматических балок, применяемых при обычных строительных конструкциях при условии, что I0 % скалывающего усилия воспринимает продольная арматура, т.е. $r = 0.9\ h$, расчет S производится из уравнения $S = \Delta M/h$.

Арматура на скалывание состоит из отгибов и хомутов, воспринимающих слагающие So и St продольного скалывающего усилия. Для простоты и быстроты расчета арматуры на скалывание были составлены таблицы значений усилий So для отогнутых стержней и усилий St для n вертикальных хомутов на I пм /учитывая, что предельное напряжение стержней равняется 2300 кг/см^2, степень безопасности $S = 1.9$, переводный коэффициент $C = 1.0$; I.I5; I.65 и что были применены двух-, четырех-, шести- и восьмиветвенные хомуты/.

В определенной Xs зоне каждой балки, на сторонах переходного сечения, отогнутые стержни не могут быть использованы для восприятия скалывания. В краевых зонах X_k /между участком Xs и опорой/ отогнутые стержни воспринимают скалывающие напряжения совместно с хомутами. Отношение длин Xs и Xk к пролету l зависит от нагрузки эпюры моментов и от числа стержней в сечении; для некоторых особых случаев были вычислены отношения Xs/l и Xk/l для различного числа стержней в сечении , приведены в виде таблиц.

Применение этого метода иллюстрируется путем приведения числовых примеров на непрерывной балке с переменным сечением. Кроме этого приводится также и графическое распределение отгибов.

Caloul et répartition de l'armature de cisaillement de l'effort tranchant horizontal

Résumé

Ce rapport a l'intention de mettre les travailleurs techniques au courant de la méthode, peu utilisée jusqu'à present, de calcul de l'armature de cisaillement devant résister à l'effort tranchant horizental. L'énumération succincte de certaines dispositions de la norme en vigueur ČSN 73 2001 et des principes essentiels du calcul des armatures de cisaillement est suivie de la dérivation de l'effort tranchant horizontal S en concordance avec (3). Pour une poutre de section invariable on a $S = \Delta M/r$, ce qui, exprimé en mots, veut dire: l'effort tranchant S dans la partie Δx d'une poutre de la hauteur constante h est égal à l'accroissement du moment ΔM divisé par le bras de levier des forces intérieures. L'effort tranchant S représente la somme des contraintes de cisaillement dans la partie Δx.

La contrainte de cohésion diminue vers les appuis et il serait possible (avec la méthode actuelle de calcul), pour les constructions d'ouvrages, d'abaisser, sur appuis, le degré de sécurité jusqu'à concurrence de 50 %; dès lors on pourra calculer le périmetre des barres, par exemple pour le béton 170, par l'application de la simple relation $\sigma = 0{,}1 \frac{T\ (kg)}{r\ (cm)}$.

Pour les poutres à section de hauteur variable, l'effort tranchant S résulte sous la forme:

$$S = \frac{\Delta M \mp \dfrac{M_s \cdot \Delta h}{h_s}}{r_s},$$

où M_s, h_s, r_s sont les valeurs moyennes de la partie considérée.

Pour les poutres à charges variées et par l'influence des goussets, l'effort tranchant se réduit en proportion différente, d'accord avec les dispositions de la norme 73 2001, art. 96. Il serait alors plus logique d'attribuer

à l'armature longitudinale une partie de l'effort tranchant longitudinal au lieu d'une partie de l'effort principal de traction. Pour les poutres prismatiques des constructions d'ouvrages courants, on peut, en attribuant 10 % de l'effort tranchant à l'armature longitudinale pour r = 0,9 h, calculer S par l'application de l'équation $S = \Delta M/h$.

L'armature de cisaillement se compose de barres relevées et d'étriers qui transmettent les composantes S_o et S_t de l'effort tranchant longitudinal. Dans l'intérêt d'un calcul facile et rapide de l'armature de cisaillement on a dressé des tableaux numériques indiquant les forces S_o pour les barres obliques ainsi que les forces S_t pour n étriers verticaux par metre linéaire (on considère la tension limite des barres à 2300 kg/cm2, le degré de sécurité s = 1,9, le coefficient c = 1,0; 1,15; 1,65, les étries à deux, quatre, six et huit sections de cisaillement).

Dans une certaine partie x_s de chaque poutre, près de la section critique, on ne peut pas utiliser des barres relevées pour supporter l'effort tranchant. Dans les parties extrêmes x_k (entre la partie x_s et l'appui), les efforts de cisaillement se transmettent par les barres relevées en coopération avec les étriers. Le rapport des distances x_s et x_k à la longuer l dépend de la charge, de la répartition des moments et du nombre de barres de la section; pour certains cas spéciaux on a dressé un tableau des valeurs x_s/l et x_k/l pour différent nombre de barres de la section.

L'application de cette méthode est illustrée par l'exemple numérique d'une poutre continue de section variable; en outre, la répartition des barres relevées est effectuée graphiquement.

Ocel 10002
a 10370

Tab. 1 - Ohyby hlavní výztuže

$$S_o = \sqrt{2} \cdot F_o \cdot \frac{\sigma_a}{s} \cdot c \text{ (v tunách)}$$

$c = 1,00$
$\sigma_a = 2300$ kg/cm2
$s = 1.9$

ø	počet ohybů								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	0,260	0,52	0,78	1,04	1,30	1,56	1,81	2,08	2,34
7	0,659	1,32	1,98	2,64	3,29	3,95	4,61	5,27	5,93
8	0,861	1,72	2,58	3,44	4,30	5,17	6,03	6,89	7,75
10	1,344	2,69	4,03	5,37	6,72	8,06	9,41	10,75	12,09
12	1,936	3,87	5,81	7,74	9,68	11,62	13,55	15,49	17,49
14	2,634	5,27	7,90	10,54	13,17	15,80	18,44	21,07	23,71
16	3,442	6,88	10,33	13,77	17,21	20,65	24,09	27,54	30,98
18	4,356	8,71	13,07	17,42	21,78	26,14	30,49	34,85	39,21
20	5,378	10,76	16,13	21,51	26,89	32,27	37,65	43,02	48,40
22	6,506	13,01	19,52	26,02	32,53	39,04	45,54	52,05	58,55
24	7,744	15,49	23,23	30,97	38,72	46,46	54,20	61,95	69,69
26	9,087	18,17	27,26	36,35	45,44	54,52	63,61	72,70	81,78
28	10,540	21,08	31,62	42,16	52,70	63,24	73,78	84,32	94,86
30	12,100	24,20	36,30	48,40	60,50	72,60	84,70	96,80	108,90
32	13,765	27,53	41,30	55,06	68,83	82,60	96,36	110,12	123,89
34	15,540	31,08	46,62	62,16	77,70	93,24	108,78	124,32	139,86
36	17,423	34,85	52,27	69,69	87,11	104,54	121,96	139,38	156,81
38	19,410	38,82	58,23	77,64	97,05	116,46	135,87	155,28	174,69
40	21,509	43,02	64,53	86,04	107,54	129,05	150,56	172,07	193,58
42	23,707	47,41	71,12	94,83	118,53	142,24	165,95	189,65	213,36
44	26,035	52,07	78,10	104,14	130,17	156,21	182,24	208,28	234,31
46	28,448	56,90	85,34	113,80	142,24	170,69	199,14	227,58	256,03
48	30,981	61,96	92,94	123,92	154,91	185,89	216,87	247,85	278,83
50	33,617	67,23	100,85	134,47	168,09	201,70	235,32	268,94	302,56
52	36,356	72,71	109,07	145,42	181,78	218,14	254,50	290,85	327,20
56	42,159	84,32	126,48	168,63	210,79	252,95	295,11	337,27	379,43
60	48,389	96,78	145,17	193,56	241,94	290,33	338,72	387,11	435,50

Tab. 2 – Ohyby hlavní výztuže Ocel 10372

$$S_o = \sqrt{2} \cdot F_o \cdot \frac{\sigma_a}{s} \cdot c \text{ (v tunách)}$$

$c = 1,15$
$\sigma_a = 2300$ kg/cm^2
$s = 1,9$

⌀	počet ohybů								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	0,299	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,09	2,39	2,69
7	0,758	1,52	2,27	3,03	3,79	4,55	5,30	6.06	6,82
8	0,990	1,98	2,97	3,96	4,95	5,94	6,93	7,92	8,91
10	1,546	3,09	4,64	6,18	7,73	9,28	10,82	12,37	13,91
12	2,226	4,45	6,68	8,90	11,13	13,36	15,58	17,81	20,03
14	3,029	6,06	9,09	12,12	15,14	18,17	21,20	24,23	27,26
16	3,958	7,92	11,87	15,83	19,79	23,75	27,71	31,66	35,62
18	5,009	10,02	15,03	20,04	25,04	30,05	35,06	40,07	45,08
20	6,185	12,37	18,56	24,74	30,92	37,11	43,30	49,48	55,66
22	7,482	14,96	22,45	29,93	37,41	44,89	52,37	59,86	67,34
24	8,906	17,81	26,72	35,62	44,53	53,44	62,34	71,25	80,15
26	10,450	20,90	31,35	41,80	52,25	62,70	73,15	83,60	94,05
28	12,121	24,24	36,36	48,48	60,60	72,73	84,85	96,97	109,09
30	13,915	27,83	41,74	55,66	69,57	83,49	97,40	111,32	125,24
32	15,830	31,66	47,49	63,32	79,15	94,98	110,81	126,64	142,47
34	17,871	35,74	53,61	71,48	89,36	107,23	125,10	142,97	160,84
36	20,036	40,07	60,11	80,14	100,18	120,22	140,25	160,29	180,32
38	22,321	44,64	66,96	89,28	111,60	133,93	156,25	178,57	200,89
40	24,735	49,47	74,20	98,94	123,68	148,41	173,14	197,88	222,6[illegible]
42	27,263	54,53	81,79	109,05	136,32	163,58	190,84	218,10	245,37
44	29,940	59,88	89,82	119,76	149,70	179,64	209,58	239,52	269,46
46	32,761	65,52	98,28	131,04	163,80	196,57	229,33	262,09	294,85
48	35,628	71,26	106,88	142,51	178,14	213,77	249,40	285,02	320,65
50	38,659	77,32	115,98	154,64	193,30	231,95	270,61	309,27	347,93
52	41,809	83,62	125,44	167,24	209,04	250,85	292,66	334,47	376,28
56	48,483	96,97	145,45	193,93	242,42	290,90	339,38	387,86	436,35
60	55,647	111,29	166,94	222,59	278,24	333,88	389,53	445,18	500,82

Ocel 10512
(Roxor)

Tab. 3 – Ohyby hlavní výztuže

$$S_o = \sqrt{2} \cdot F_o \cdot \frac{\sigma_a}{s} \cdot c \text{ (v tunách)}$$

$c = 1,65$
$\sigma_a = 2300 \text{ kg/cm}^2$
$s = 1,9$

ø	počet ohybů								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	0,870	1,74	2,61	3,48	4,35	5,22	6,09	6,96	7,83
10	1,361	2,72	4,08	5,44	6,81	8,17	9,53	10,89	12,25
12	1,957	3,91	5,87	7,83	9,79	11,74	13,70	15,66	17,61
14	2,666	5,33	8,00	10,66	13,33	16,00	18,66	21,33	23,99
16	3,482	6,96	10,45	13,93	17,41	20,89	24,38	27,86	31,34
18	4,406	8,81	13,22	17,62	22,03	26,43	30,84	35,25	39,65
20	5,439	10,88	16,32	21,76	27,20	32,64	38,08	43,52	48,95
22	6,583	13,17	19,75	26,33	32,92	39,50	46,08	52,67	59,25
24	7,834	15,67	23,50	31,34	39,17	47,01	54,84	62,68	70,51
26	9,193	18,38	27,58	36,77	45,96	55,16	64,35	73,54	82,74
28	10,664	21,33	31,99	42,66	53,32	63,99	74,65	85,31	95,98
30	12,240	24,48	36,72	48,96	61,20	73,44	85,68	97,92	110,16
32.5	14,375	28,75	43,13	57,50	71,88	86,25	100,63	115,00	129,38
35	16,663	33,32	49,99	66,65	83,32	99,98	116,64	133,31	149,97
40	21,775	43,55	65,32	87,10	108,87	130,65	152,42	174,20	195,97
45	27,537	55,07	82,61	110,15	137,68	165,22	192,76	220,29	247,83
50	34,004	68,01	102,01	136,02	170,02	204,02	238,03	272,03	306,04
55	41,150	82,30	123,45	164,60	205,75	246,90	288,05	329,20	370,35
60	48,973	97,94	146,92	195,89	244,86	293,84	342,81	391,78	440,75
65	57,474	114,95	172,42	229,89	287,37	344,84	402,32	459,79	517,26
70	66,653	133,30	199,96	266,61	333,26	399,92	466,57	533,22	599,87

Tab. 4 – Třmínky   Ocel 10002 a 10370

$S_t = F_t \cdot \frac{\sigma_a}{s} \cdot c$ (na 1 bm)										$c = 1{,}00$ $\sigma_a = 2300$ kg/cm² $s = 1{,}9$
Ø	střižné	počet třmínků na 1 bm								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	2	0,472	0,94	1,42	1,89	2,36	2,83	3,30	3,78	4,72
	4	0,944	1,89	2,83	3,78	4,72	5,66	6,61	7,55	8,50
	6	1,416	2,83	4,25	5,66	7,08	8,50	9,91	11,33	12,74
	8	1,888	3,78	5,66	7,55	9,44	11,33	13,22	15,10	16,99
5,5	2	0,576	1,15	1,73	2,30	2,88	3,46	4,03	4,61	5,18
	4	1,152	2,30	3,46	4,61	5,76	6,91	8,06	9,22	10,37
	6	1,738	3,48	5,21	6,95	8,69	10,43	12,17	13,90	15,64
	8	2,304	4,61	6,91	9,22	11,52	13,82	16,13	18,43	20,74
6	2	0,685	1,37	2,05	2,74	3,42	4,11	4,80	5,48	6,16
	4	1,370	2,74	4,11	5,48	6,85	8,22	9,59	10,96	12,33
	6	2,055	4,11	6,16	8,22	10,27	12,33	14,38	16,44	18,49
	8	2,740	5,48	8,22	10,96	13,70	16,44	19,18	21,92	24,66
7	2	0,932	1,86	2,80	3,73	4,66	5,59	6,52	7,46	8,39
	4	1,864	3,73	5,59	7,46	9,32	11,18	13,05	14,91	16,78
	6	2,796	5,59	8,39	11,18	13,98	16,78	19,57	22,37	25,16
	8	3,728	7,46	11,18	14,91	18,64	22,37	26,10	29,82	33,55
8	2	1,218	2,44	3,65	4,87	6,09	7,31	8,53	9,74	10,96
	4	2,436	4,87	7,31	9,74	12,18	14,62	17,05	19,49	21,92
	6	3,654	7,31	10,96	14,62	18,27	21,29	25,58	29,23	32,88
	8	4,872	9,74	14,62	19,49	24,36	29,33	34,10	38,98	43,85
10	2	1,900	3,80	5,70	7,60	9,50	11,40	13,30	15,20	17,10
	4	3,800	7,60	11,40	15,20	19,00	22,80	26,60	30,40	34,20
	6	5,700	11,40	17,10	22,80	28,50	34,20	39,90	45,60	51,30
	8	7,600	15,20	22,80	30,40	38,00	45,60	53,20	60,80	68,40
12	2	2,738	5,48	8,21	10,95	13,69	16,43	19,17	21,90	24,64
	4	5,476	10,95	16,43	21,90	27,38	32,86	38,33	43,81	49,28
	6	8,214	16,43	24,64	32,86	41,07	49,28	57,50	65,71	73,93
	8	10,952	21,90	32,86	43,81	54,76	65,71	76,66	87,62	98,57
14	2	3,726	7,45	11,18	14,90	18,63	22,36	26,08	29,81	33,53
	4	7,452	14,90	22,36	29,81	37,26	44,71	52,16	59,16	67,07
	6	11,178	22,36	33,53	44,71	55,89	67,07	78,25	89,42	100,60
	8	14,904	29,81	44,71	59,62	74,52	89,42	104,33	119,23	134,14
16	2	4,869	9,74	14,61	19,48	24,34	29,21	34,08	38,95	43,82
	4	9,738	19,48	29,21	38,95	48,69	59,43	68,17	77,90	87,64
18	2	6,161	12,32	18,48	24,64	30,08	36,97	43,13	49,29	55,45
	4	12,322	24,64	36,97	49,29	61,61	73,93	86,25	98,58	110,90

Tab. 5. Třmínky

ocel 10372

$$S_t = F_t \cdot \frac{\sigma_a}{s} \cdot c \text{ (na 1 bm)}$$

$c = 1{,}15$
$\sigma_a = 2300 \text{ kg/cm}^2$
$s = 1{,}9$

Ø	střižné	počet třmínků na 1 bm 1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	2	0,547	1,09	1,64	2,19	2,74	3,28	3,83	4,38	4,92
	4	1,094	2,19	3,28	4,38	5,47	6,56	7,66	8,75	9,85
	6	1,641	3,28	4,92	6,56	8,20	9,85	11,49	13,13	14,17
	8	2,188	4,38	6,56	8,75	10,94	13,13	15,32	17,50	19,69
5,5	2	0,661	1,32	1,98	2,64	3,30	3,96	4,63	5,29	5,95
	4	1,322	2,64	3,96	5,29	6,61	7,93	9,25	10,57	11,90
	6	1,983	3,97	5,95	7,93	9,92	11,90	13,88	15,86	17,85
	8	2,644	5,29	7,93	10,57	13,22	15,86	18,50	21,15	23,79
6	2	0,787	1,57	2,36	3,15	3,93	4,72	5,51	6,29	7,08
	4	1,574	3,15	4,72	6,29	7,87	9,44	11,02	12,59	14,16
	6	2,361	4,72	7,08	9,44	11,80	14,17	16,53	18,89	21,25
	8	3,148	6,29	9,44	12,59	15,74	18,88	22,03	25,18	28,32
7	2	1,072	2,14	3,22	4,29	5,36	6,43	7,51	8,58	9,65
	4	2,144	4,29	6,43	8,58	10,72	12,87	15,02	17,16	19,30
	6	3,216	6,43	9,65	12,86	16,08	19,30	22,51	25,73	28,94
	8	4,288	8,58	12,87	17,16	21,45	25,74	30,03	34,32	38,61
8	2	1,399	2,80	4,20	5,60	6,70	8,40	9,80	11,19	12,59
	4	2,798	5,60	8,40	11,19	13,99	16,79	19,59	22,39	25,19
	6	4,197	8,39	12,59	16,79	20,98	25,18	29,40	33,58	37,77
	8	5,596	11,19	16,79	22,39	27,99	33,58	39,18	44,78	50,38
10	2	2,186	4,37	6,56	8,74	10,93	13,12	15,30	17,49	19,68
	4	4,372	8,74	13,12	17,49	21,86	26,23	30,61	34,98	39,35
	6	6,558	13,12	19,67	26,23	32,79	39,35	45,91	52,46	59,02
	8	8,744	17,49	26,23	34,98	43,72	52,47	61,21	69,96	78,70
12	2	3,150	6,30	9,45	12,65	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35
	4	6,300	12,60	18,90	25,20	31,50	37,80	44,10	50,40	56,70
	6	9,450	18,90	28,35	37,80	47,25	56,70	66,15	75,60	85,05
	8	12,600	25,20	37,80	50,40	63,00	75,59	88,19	100,79	113,39
14	2	4,285	8,57	12,86	17,14	21,42	25,71	30,00	34,28	38,57
	4	8,570	17,14	25,71	34,28	44,85	51,42	60,00	68,56	77,13
	6	12,855	25,71	38,56	51,42	64,28	77,13	89,98	102,84	115,70
	8	17,140	34,28	51,42	68,56	85,70	102,84	119,98	137,12	154,27
16	2	5,597	11,19	16,79	22,39	27,98	33,58	39,18	44,78	50,37
	4	11,194	22,39	33,58	44,78	55,97	67,16	78,36	89,55	100,75
18	2	7,084	14,17	21,25	28,34	35,42	42,50	49,59	56,67	63,76
	4	14,168	28,34	42,50	56,67	70,84	85,01	99,19	113,34	127,51

Tab. 6 – Třmínky

Ocel 10512 (Roxor)

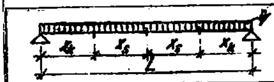
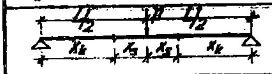
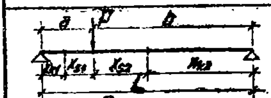
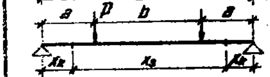
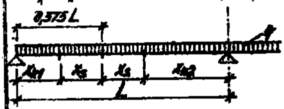
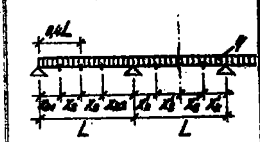
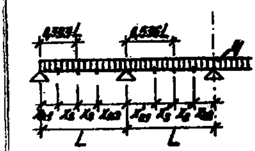
$c = 1,65$
$\sigma_a = 2300 \text{kg/cm}^2$

$S_t = F_t \cdot \frac{\sigma_a}{s} \cdot c$ (na 1 bm)

$s = 1,9$

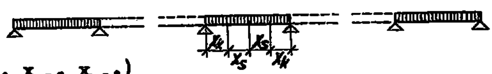
ø	střižné	počet třmínků na 1 bm								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	2	0,813	1,63	2,44	3,25	4,06	4,88	5,69	6,50	7,32
	4	1,626	3,25	4,88	6,50	8,13	9,76	11,38	13,01	14[illegible]
	6	2,439	4,88	7,32	9,76	12,20	14,63	17,07	19,51	21,95
	8	3,252	6,50	9,76	13,01	16,26	19,51	22,76	26,02	29,27
8	2	1,232	2,46	3,70	4,93	6,16	7,39	8,63	9,86	11,09
	4	2,464	4,93	7,39	9,86	12,32	14,69	17,25	19,72	22,18
	6	3,696	7,39	11,09	14,78	18,48	22,18	25,87	29,57	33,26
	8	4,928	9,86	14,79	19,72	24,64	29,57	34,50	39,43	44,36
10	2	1,925	3,85	5,77	7,70	9,62	11,55	13,47	15,40	17,32
	4	3,850	7,70	11,55	15,40	19,25	23,10	26,94	30,80	34,64
	6	5,775	11,55	17,32	23,10	28,87	34,65	40,42	46,20	51,98
	8	7,700	15,40	23,10	30,80	38,49	46,19	53,89	61,59	69,29
12	2	2,770	5,54	8,31	11,08	13,85	16,62	19,39	22,16	24,93
	4	5,540	11,08	16,62	22,16	27,70	33,24	38,77	44,31	40,85
	6	8,310	16,62	24,93	33,24	41,55	49,86	58,17	66,48	74,79
	8	11,080	22,16	33,24	44,31	55,39	66,47	77,55	88,63	99,71
14	2	3,769	7,54	11,31	15,08	18,85	22,62	26,39	30,16	33,92
	4	7,538	15,08	22,62	30,16	37,70	45,23	52,77	60,31	67,85
	6	11,307	22,61	33,92	45,23	56,54	67,84	79,15	90,46	101,76
	8	15,076	30,16	45,23	60,31	75,39	90,47	105,55	120,62	13[illegible]
16	2	4,924	9,85	14,77	19,70	24,62	29,54	34,47	39,39	44,32
	4	9,848	19,70	29,54	39,39	49,24	59,09	68,94	78,79	88,64
18	2	6,234	12,47	18,70	24,94	31,17	37,40	43,64	49,87	56,11
	4	12,468	24,94	37,40	49,87	62,34	74,81	87,28	99,74	112,21

Tab. 7 – Rozdělení třmínků a ohybů

Druh konstrukce a zatížení		úsek	Počet vložek 3	4	5	6	7	8
		x_s	0,29L	0,25L	0,22L	0,20L	0,19L	0,18L
		x_k	0,21L	0,25L	0,28L	0,30L	0,31L	0,32L
		x_s	0,166L	0,125L	0,10L	0,08L	0,07L	0,06L
		x_k	0,35L	0,375L	0,40L	0,42L	0,43L	0,44L
		x_{s1}	0,33a	0,25a	0,20a	0,17a	0,14a	0,125a
		x_{k1}	0,67a	0,75a	0,80a	0,83a	0,86a	0,875a
		x_{s2}	0,33b	0,25b	0,20b	0,17b	0,14b	0,125b
		x_{k2}	0,67b	0,75b	0,80b	0,83b	0,86b	0,875b
		x_k	0,67a	0,75a	0,80a	0,83a	0,86a	0,87a
		x_s	0,22L	0,19L	0,17L	0,15L	0,14L	0,14L
		x_{k1}	0,16L	0,19L	0,21L	0,225L	0,23L	0,24L
		x_{k2}	0,59L	0,57L	0,54L	0,525L	0,52L	0,51L
	Pole 1	x_s	0,23L	0,20L	0,18L	0,16L	0,15L	0,14L
	Pole 1	x_{k1}	0,17L	0,20L	0,22L	0,24L	0,25L	0,26L
	Pole 1	x_{k2}	0,63L	0,60L	0,58L	0,56L	0,55L	0,54L
	Pole 2	x_s	0,13L	0,11L	0,10L	0,09L	0,08L	0,08L
	Pole 2	x_k	0,37L	0,39L	0,40L	0,41L	0,41L	0,42L
	Pole 1	x_s	0,23L	0,20L	0,17L	0,16L	0,15L	0,14L
	Pole 1	x_{k1}	0,16L	0,20L	0,22L	0,24L	0,24L	0,25L
	Pole 1	x_{k2}	0,62L	0,59L	0,57L	0,55L	0,54L	0,54L
	Pole 2	x_s	0,16L	0,14L	0,12L	0,11L	0,10L	0,10L
	Pole 2	x_{k1}	0,38L	0,40L	0,42L	0,43L	0,43L	0,44L
	Pole 2	x_{k2}	0,31L	0,33L	0,35L	0,36L	0,36L	0,37L

Nosník o nekonečném počtu

polí s rovnoměrným zatížením



1. pole jako nosník o 4 polích (x_s, x_{k1}, x_{k2},)
2. pole jako nosník o 4 polích (x_s, x_{k1}, x_{k2},)

všechna střední pole	x_s	0,17L	0,15L	0,13L	0,12L	0,11L	0,10L
	x_k	0,33L	0,35L	0,37L	0,38L	0,39L	0,40L