

## **TALASILLAD**

### **TERASEST TALASILLAD**

#### **Standardid:**

EVS-EN 1990 Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused

EVS-EN 1990 Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused  
Muudatus A1. Lisa A2: Rakendamine sildade puhul

EVS-EN 1991-2 Ehituskonstruksioonide koormused. Sildade liikluskoormused

EVS-EN 1991-1-4 Ehituskonstruksioonide koormused. Tuulekoormus

EVS-EN 1993-1-1 Teraskonstruksioonide projekteerimine. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks

EVS-EN 1994-2 Terasest ja betoonist komposiitkonstruksioonide projekteerimine. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks

EVS-EN 1993-2 Teraskonstruksioonide projekteerimine. Sillad

EVS-EN 1994-2 Terasest ja betoonist komposiitkonstruksioonide projekteerimine. Sillad

EN 1993-1-5 Teraskonstruksioonide projekteerimine. Plaatkonstruksioonid

EN 1993-1-8 Teraskonstruksioonide projekteerimine. Liited

EN 1993-1-9 Teraskonstruksioonide projekteerimine. Väsimus

EN 1993-1-11 Teraskonstruksioonide projekteerimine. Tõmbele töötavad elemendid

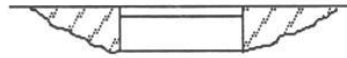
#### **Terassilla tekikonstruksioonide projekteerimise käik:**

- Arvutusskeem
- Koormused (s.h. temperatuuri mõju)
- Sisejõudude leidmine
- Alghälbed
- Piir seisundid – kandepiir seisund, kasutuspiir seisund
- Ristlõikeklassid
- 4. ristlõikeklassi efektiivne ristlõige
- Ristlõike kontroll survele, tõmbele, lõikele, paindele ja nende koosmõjule
- Nihkestabiilsuskontroll
- Surutud varda üldstabiilsuskontroll, (nõtteklassid - EVS-EN 1993-1-1)
- Painutatud varda üldstabiilsuskontroll
- Läbipainded

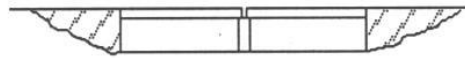
- Tugede siirded ja pöörded
- Väsimus

Väsimuskontroll – 1993-2

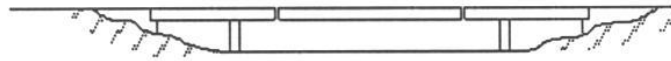
Tänapäeval levinuim lahendus mõõduka sildega sildadele – terasest ja raudbetoonist komposiitkonstruktsiooniga talasild - terasest talad koos raudbetoonist tekiplaadiga.



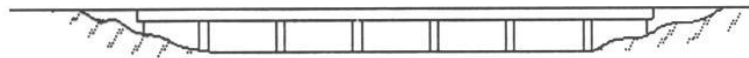
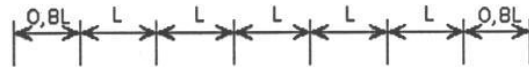
(a) Single span



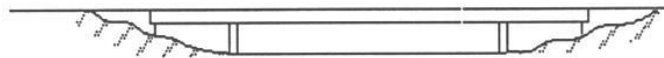
(b) Simply supported spans



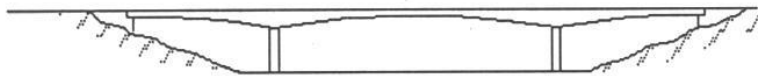
(c) Cantilever and suspended span



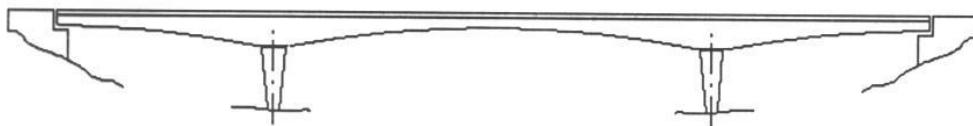
(d) Ideal length proportions for continuous viaduct



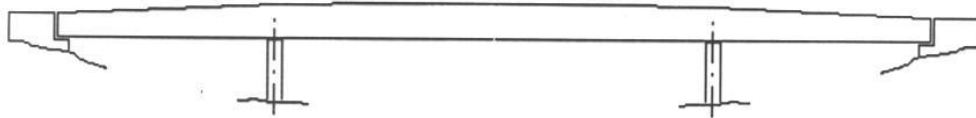
(e) Typical continuous motorway over-bridge



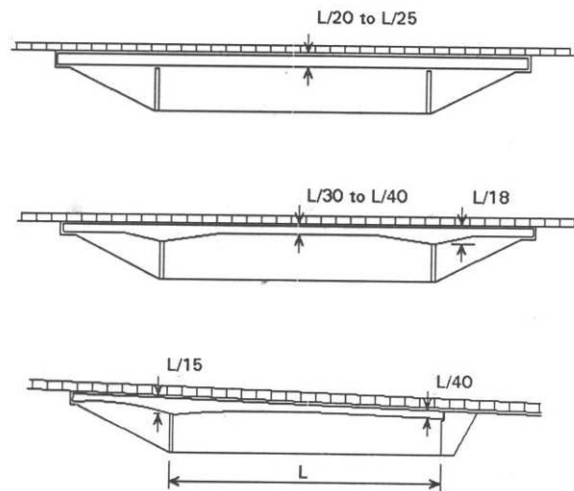
(f) Continuous - curved soffit



(a) Haunched form (curved soffit)



(b) Curved top flange form



### Valida sobiv tekikonstruktsiooni skeem

Tänapäeval valdav jätkuvtala skeem – väiksem ristlõige, vähem sõlmi

Otsasilded ~80% keskmistest silletest

Soovitav paaritu arv sildeid (visuaalselt sobiv)

3 sildelise tala puhul pikema keskmise silde korral võrdse pikkusega kõrvalsilded

### Peatalade samm

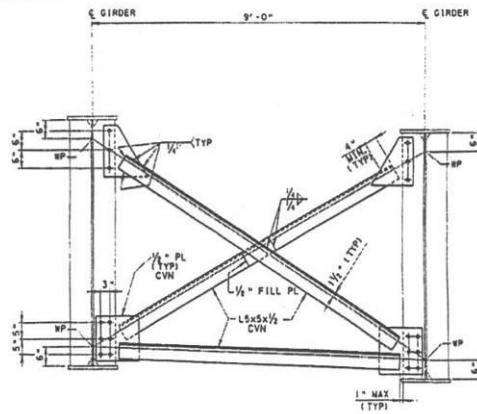
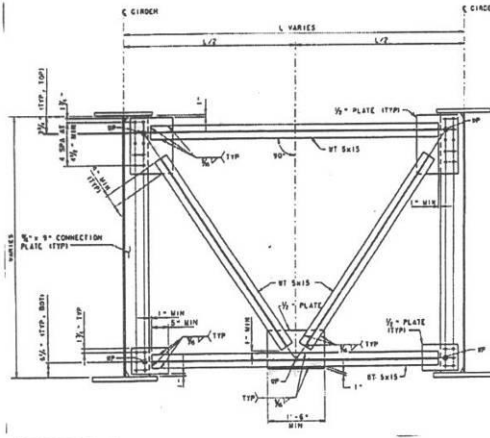
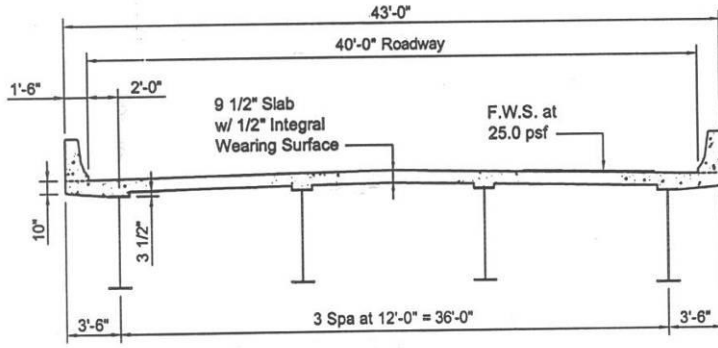
~3 m talade samm – siis kui kasutati betoonplaadi valamiseks liikuvat raketist

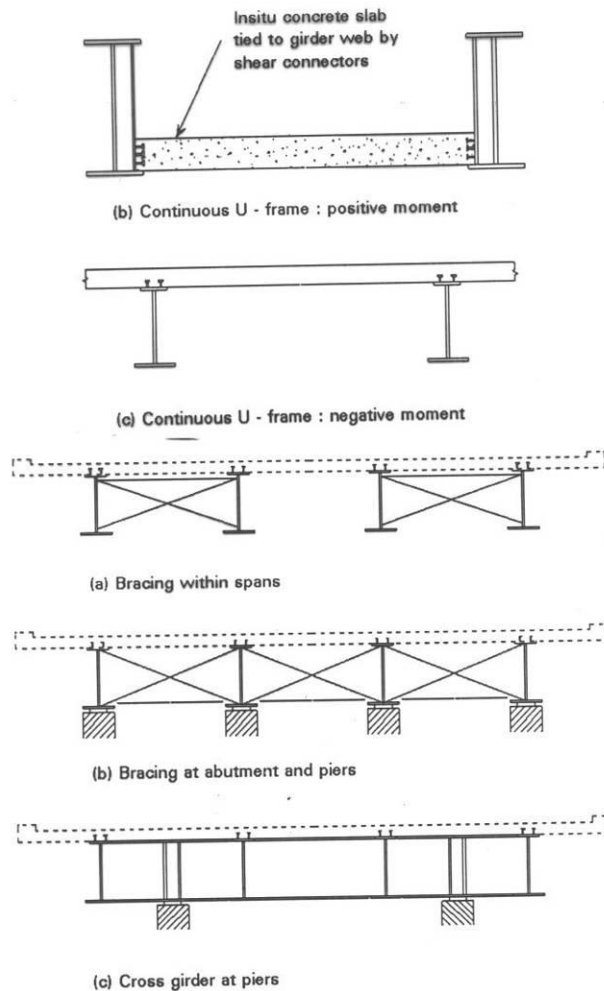
Tänapäeval, kui kasutatakse betoonplaadi valamiseks terasest paikset raketist, on talade samm suurenenud

Soovitav koormata ääretalad ja keskmised talad võrdselt, selleks üle ääretalade sobiva üleulatusega konsoolne serv plaadil – üldjuhul 30%-32% plaadi taladevahelisest sildest.

Tänapäeval üldiselt peatalade samm 3.3-4.2 m.

### Vertikaalsed sidemed





Üldjuhul on ristsidemed-diafragmad vajalikud ehitusaegse püsivuse saavutamiseks ja tuulekoormuse vastuvõtmiseks.

Ristsidemed võivad olla tervikuna monteeritavad või kohapeal varrastest moodustatud

Koormuse jaotus talade vahel toimub tekiplaadi, mitte sidemete kaudu.

Ristsidemete ülesanne:

- Talade ülemised vööd on toetatud sidemetega ehituse ajal ja enne betooni kividemist.
- Negatiivse momendi piirkonnas tagavad surutud vöö stabiilsuse.
- Võtavad vastu horisontaalse tuulekoormuse

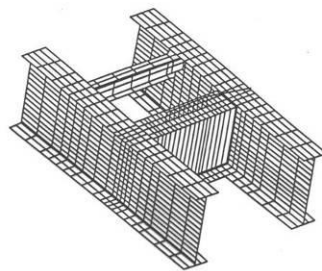
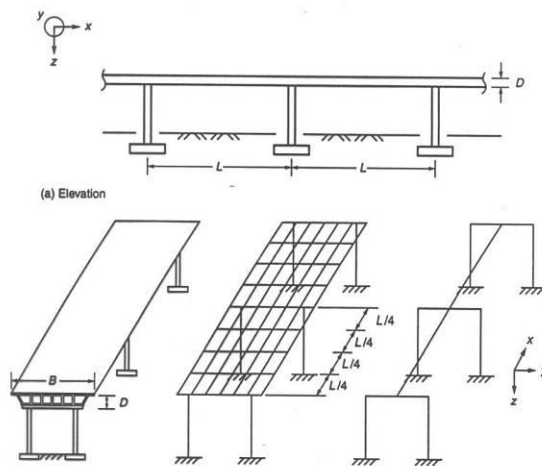
Pikisuunas ristsidemete vahekaugus mitte üle 8 m (soovitus)

Ristsidemete tüübid: K, X, Z, plaatdiafragma

Plaatdiafragma puudused – ligipääs ülevaatuses raskendatud, suure jäikuse kontsentratsiooni tõttu võivad ühendussõlmedes tekkida praod.

### Arvutuskeemid

- üksik tala
- talastik
- 3-mõõtmeline mudel



3-mõõtmelise mudeliga saadakse kõige täpsem koormuse jaotus talade vahel

### Tala mõõtmete esialgne valik:

Soovitav esialgne tala kõrgus  $L/25$ ,  $L$  – tala sille

Minimaalne soovituslik tala vöö laius  $L/85$

Tala vöö paksust võib tala pikkuse ulatuses muuta. Soovitatav on, et vöö ristlõike muutus ühes lõikes ei oleks üle 50%

Mõnikord kasutatakse vastavalt paindemomendi jaotusele muutuva kõrgusega tala – valmistamine töömahukam

Tala sein võib olla õhuke koos jäigastusribidega või paksem ilma ribideta

Ligikaudselt: seinale keevitatavate ribide maksumus koos tööga on ~4 kordne põhimaterjali maksumus, aga saadakse kergem konstruktsioon.

### **Horisontaalsed sidemed**

Vähendavad horisontaalseid läbipaindeid, ehitusegne jäigastamine.

Kui võimalik, tuleks vältida horisontaalsidemeid (töömahukas). Ülemised vööd on seotud tekiplaadiga.

Ligikaudselt: kogemus näitab, et silded kuni 60 m ei vaja horisontaalseid varrassidemeid  
Kui vaja, siis panna ainult kohati

### **Sisejõud peatalades**

Tekikonstruktsioon on ruumiline süsteem, mis koosneb tekiplaadist, peataladest, abitaladest, vertikaalsetest põiksidemetest.

Koormuse asukoht võib muutuda

Tuleb leida kõige ohtlikum koormuse asend kõikide elementide jaoks kõikide kontrollarvutuste puhul

Saab automatiseerida, kui on vastav tarkvara. Kui ei ole ja esialgseks hinnanguks lihtsustatud meetodid.

### **Mõjujooned**

Mõjujoonte koostamiseks võib kasutada ehitusmehaanikast tuntud meetodeid.

Sageli piisab mõjujoone kvalitatiivsest kujust (kuju ja märgid). Siis võib kasutada lihtsustatud meetodit, näiteks:

Mõjujoonte ordinaadid langevad kvalitatiivselt kokku elemendi läbipainde kujuga, kui vabastame sideme, mis vastab meid huvitavale sisejõule vaadeldavas kohas ja rakendame sinna vastava ühikpaigutise.

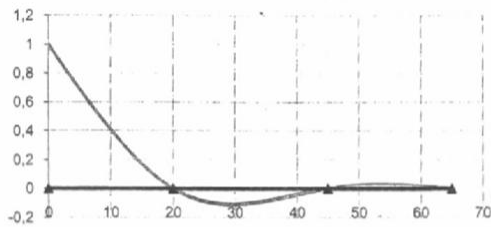


Toereaktsiooni mõjujoone kuju leidmiseks: eemaldame vastav toesideme ja rakendame elemendile eemaldatud sidemele vastava ühikpaigutise vastava toereaktsiooni suunas. Tala deformeerunud kuju vastab mõjujoone kujule.

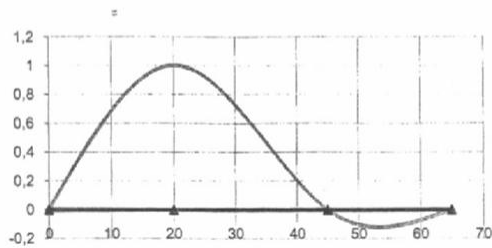
Paindemoment lõikes: asetame lõikesse liigendi (vabastades momendi) ja rakendame lõikes positiivsele momendile vastava ühikpöörde liigendi kohal mõlemale tala otsale. Tala deformeerunud kuju vastab mõjujoone kujule.



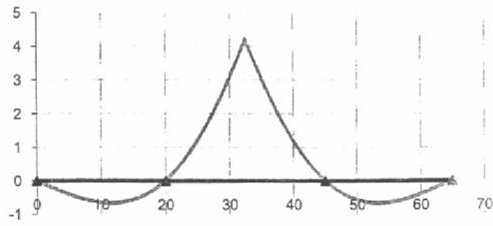
Skeem



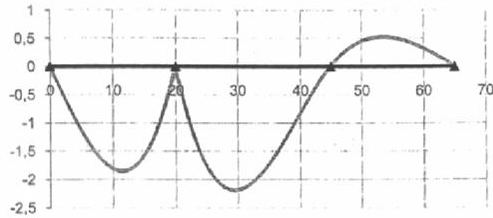
Toereaktsiooni A mõjujoon



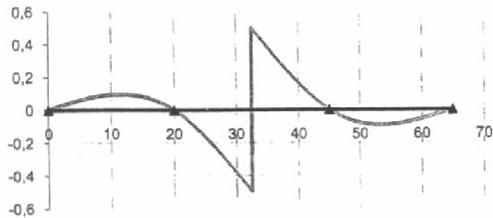
Toereaktsiooni B mõjujoon



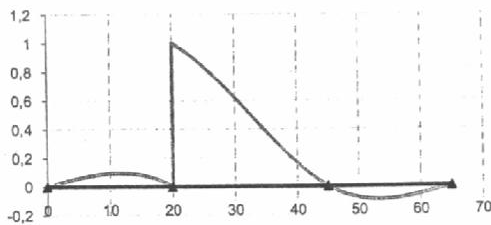
Paindemomendi mõjujoon avas B-C



Paindemomendi mõjujoon toel B



Põikjõumõjujoon avas B-C



Põikjõumõjujoon toe B kõrval

## Koormuse jaotumine põiksuunas talade vahel

Ekstsentrilise surve meetod (vt allpool)

Meetod sobib siis, kui peatalade sille on põiksuunalisest laiusest palju suurem. Kui sild on lai, peatalade sille silla laiusega samas suurusjärgus, siis on silla põiksuunaline kõverdamine samas suurusjärgus peatalade deformatsioonidega ja ekstsentrilise surve meetodi ebatäpsus suureneb tunduvalt. Samuti ei sobi ekstsentrilise surve meetod suletud kastritlõigete või nendest moodustatud kombineeritud sillatalade puhul.

Sillatala kõrguse valik on oluline – sellest sõltub tala jäikus, kandevõime, valmistamise tehnoloogia, transpordi ja montaaži tingimused.

Võib leida optimaalse kõrguse lähtudes minimaalsest kaalust (ristlõike pindalast). Aga seda ei tohi ka üle tähtsustada. Sageli valitakse tala kõrgus optimaalsest väiksem, et vähendada ehituskõrgust ja lihtsustada transporti ning montaaži.

Minimaalne tala kõrguse saab määrata lähtudes nõutavast jäikusest (läbipaine)

Tulemus – tala kõrguse ja silde suhe ligikaudselt  $1/15 \dots 1/25$ .

Terastala puhul tuleb määrata sisejõud ja kontrollida

Paindekandevõime

Üldstabiilsus

Lõikekandevõime

Seina ja vöö ühendus

Seina muljumine koondatud koormuse all

Seina nihkestabiilsus

Jäikusribid

Toeribid

Toesõlmed

Põiksidemete vahekaugus  $< 15$  surutud vöö laiust – siis ei pea üldstabiilsust kontrollima  
Põiksidemete vardad harilikult võrdkülgsest nurkterasest. Minimaalne ristlõige määratakse harilikult maksimaalse lubatava saleduse tingimusest

Raudbetoonplaadi asendamine ortotroopse terasplaadiga on õigustatud ainult siis, kui on vaja oluliselt piirata teki omakaalu või suletud kastristolõikega saavutada suuremat väändejäikust.

Kahe peatalaga süsteemi kasutatakse ka alumisele vööle toetuva teki puhul

Kuni 100 m silde puhul optimaalne komposiittaladega süsteem. Suuremate sillete puhul tuleb kasutusele suletud kastristolõige.

Plaadi paksus komposiittalasildadel – 250-350 mm, talade vahekaugus (kaks peatala) – 6-7 m, konsoolsed plaadiosad kahel pool üle talade 2 m kuni 3.5 m (koos kõnniteega).

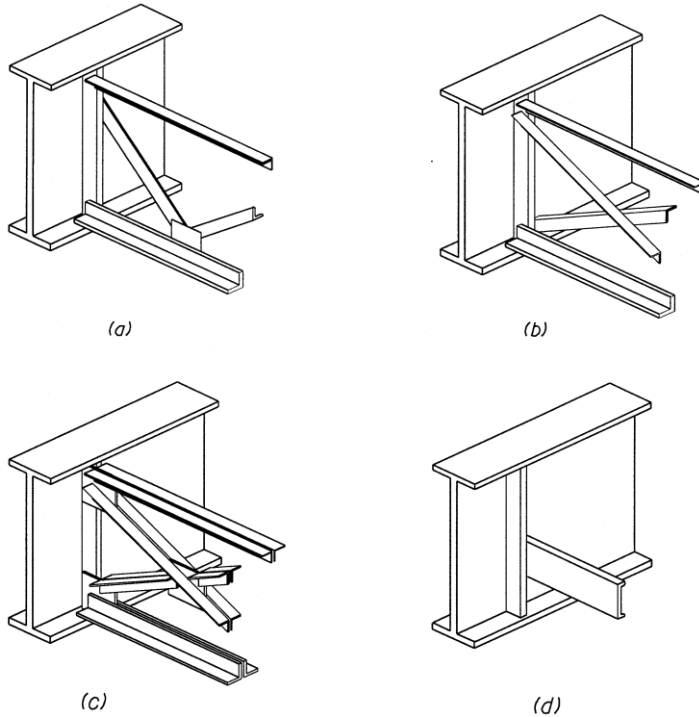
Kui on vaja silda laiusega üle 12 m, siis võetakse kasutusele risttalad sammuga 3.5 kuni 4 m.

Talade esialgsed mõõtmed – tala sein valitakse nii, et ta suudaks kanda 150% põikjõust (50% varu kasutatakse ära paindekandevõimes). Kuni 1.5 m kõrgused talade seinad sellise paksusega, et ei oleks vaja jäikusribisid. Vöö valmistatakse võimaluse korral laiaist ribiterasest, mida ei pea lõikama. Laius suhteliselt lai, et tagada horisontaalsihis

stabiilsus, ka paigaldamise ajal. Keevitatud komposiittalade sisemistel tuge del ülemine vöö umbes poole väiksema ristlõike pindalaga kui alumine

Stabiilsus ja põiksuunaline jäigastamine.

K- ja X-sidemed. Vähemalt kolmes tasandis ühe silde ulatuses.



Sidemetega ühendatud talad võib kohale tõsta ühtse plokina. Talade üldstabiilsus positiivse paindemomendi piirkonnas on tagatud. Tuge del negatiivse paindemomendi piirkonnas on surutud alumine vöö ning seal peavad põiksidemed tagama vajalikud kinnitustingimused, et takistada alumise vöö põiksuunalist siiret ja tala väännet

Horisontaalsidemeid võib mõnikord vaja minna jätkuva tala puhul alumiste vööde tasandis tuge de piirkonnas, kus alumine vöö on surutud või suuremate sildade puhul aerodünaamiliste koormuste vastu võtmiseks.

Tuge del peab olema põiksidemete süsteem:

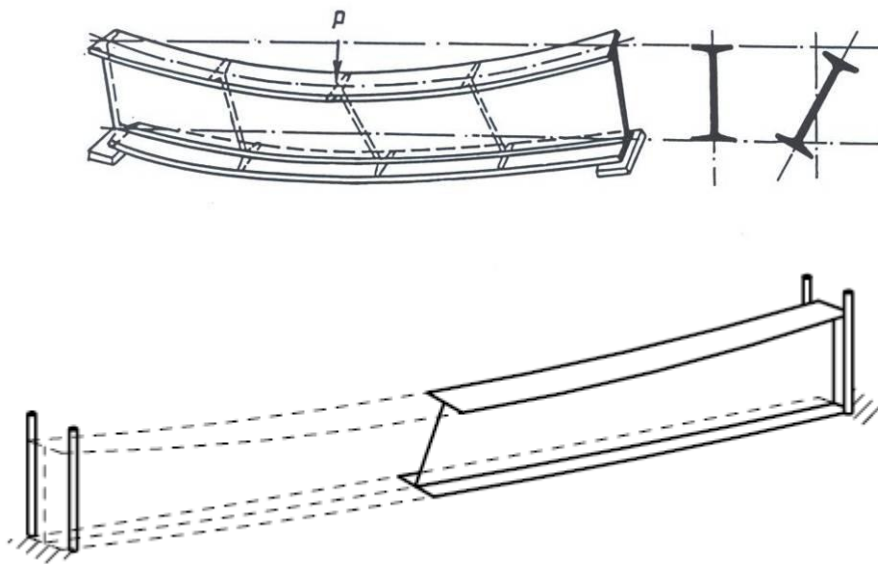
- annab taladele väändejäikust
- annab horisontaalkoormuse edasi tuge dele

Sisejõud leiame kõikidest koormustest eraldi ilma varu- ja kombinatsiooniteguriteta.

Tegurid võtame arvesse iga kontrolli puhul eraldi vastavalt EVS-EN 1990 toodud reeglitele. Iga kontrolli jaoks moodustame koormuskombinatsiooni (sisejõudude kombinatsiooni) nii, et vastava kontrolli jaoks saaksime kõige ebasoodsama olukorra.

Sisjõudude kombinatsioonid valitakse vastavalt:

- Maksimaalne moment ja sellele vastav põikjõud peatalas – silde keskel, vahetoel (jätukvtalal) ja põiktalade toetuskohtades.
- Maksimaalne põikjõud ja sellele vastav paindemoment peatalase – tagedel ja põiktalade toetuskohtades.
- Maksimaalsed ja minimaalsed toereaktsioonid tagedel
- Paindemomendid plaadis globaalsest arvutusest, lisanduvad momendid plaadi kohalikust arvutusest.
- Väsimuskoormus
- Tugede siirded ja pöörded.
- Temperatuuri ja roome mõjud
- Läbipainded alalisest ja ajutisest koormusest. Projekteerija näitab joonistel läbipainded alalisest koormusest (omakaalust).



**Tala kiive lihtsustatud kontroll**

Painutatud ja surutud varda üldstabiilsuskontroll erinev võrreldes hoonete konstruktsioonide standardiga – standardist EVS-EN 1993-2 – **Lihtsustatud meetod!**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + \frac{\beta_m M_{y.Ed} + \Delta M_{y.Ed}}{M_{y.Rk}} \leq 0.9$$

$N_{Ed}$  - arvutuslik survejõud, eelduseks on, et  $N_{Ed}$  on kogus silde ulatuses konstantne

$M_{y.Ed}$  - arvutuslik paindemoment

$\Delta M_y$  - 4. klass ristlõike keskelje nihkest põhjustatud lisamoment

$\beta_m$  - ekvivalentmomendi tegur

$\chi_y$  - nõtketegur (tsentriliselt surutud varda puhul)

Tingsaleduse  $\bar{\lambda}_{LT}$  võib leida valemiga

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ but } \chi_{LT} \leq 1.0$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Lihtsustatult

$$\alpha = 0,76$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W f_y}{\gamma_{M,1}}$$

Lihtsustatult

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{(A_{eff} + A_{wc} / 3) f_y}{N_{crit}}}$$

$A_{eff}$  on vöö efektiivpindala

$A_{wc}$  on seina surutud osa pindala

$N_{crit}$  on elastne kriitiline jõud, mis vastab „surutud varda” pindalale  $A$ (ülemine vöö+  $A_{wc}/3$ )

$$N_{crit} = \pi^2 \frac{EI}{L^2}$$

$L$  on tugedevahelise silde pikkus

Teine lihtsustatud meetod

	<b>S 275</b>	<b>S 355</b>
Class 1 and 2	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_{z,f}}{87}$	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_{z,f}}{76}$
Class 3	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_{z,f}}{100}$	$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{L/i_{z,f}}{88}$

$A_{eff}$  on vöö efektiivpindala

$A_{wc}$  on seinä surutud osa pindala

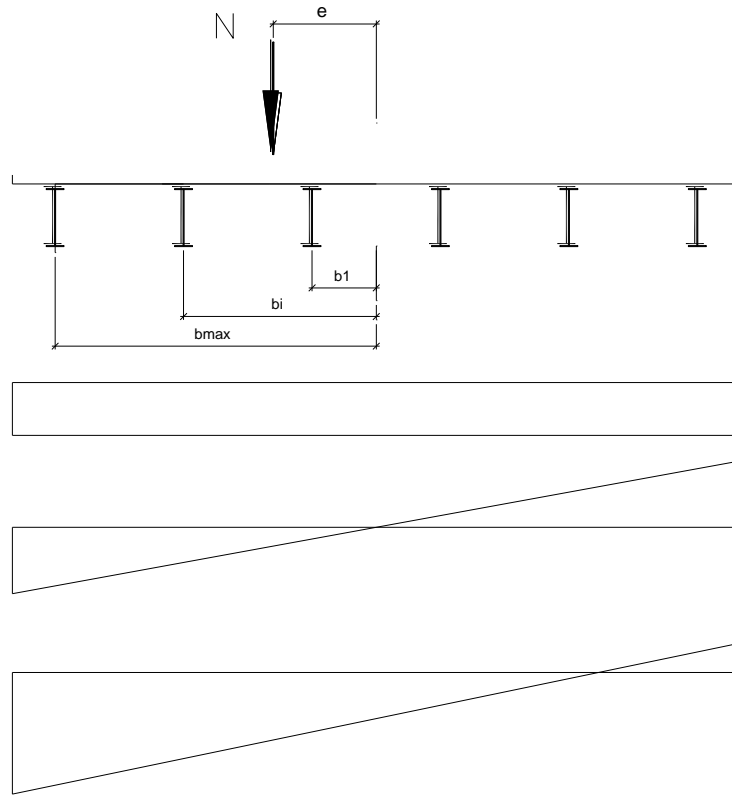
$i_{z,f}$  on  $A_{eff} + A_{wc}$  inertsraadius z-telje suhtes

Ei arvestata paindemomendi jaotust talas, eeldatakse, et paindemoment on tala ulatuses konstantne





## Koormuse jaotus sillatalade vahel Ekstsentrilise surve meetod



Kui  $N = 1$ , siis saame põikjaotusteguri väärtuseks äärmise enamkoormatud tala jaoks:

$$\eta_k = \frac{1}{n} + \frac{e_k \cdot b_{\max}}{2 \sum b_i^2}$$

Vastavalt koormuse asukohale saame iga koormuse mõju äärmisele enamkoormatud talale määrata, kui paneme avaldisse  $e$  väärtuse vastavalt igale koormusele. Kõikide koormuste mõjud liidame.

Koormuse  $N_k$  mõju äärmisele enamkoormatud talale:

$$N_k \cdot \eta_k$$

$e_k$  arvestatakse märgiga, vaadeldava äärmise tala poole „+”. Koormusi, mille puhul  $\eta_k$  väärtus tuleb negatiivne, äärmise tala arvutamisel ei arvestata, sest see koormus mõjub äärmisele talale soodsalt (vähendab tala koormust).

**Omakaalukoormus** jaotub plaadile ühtlaselt ja jaotatakse talade vahel vastavalt koormuspindadele.

**Liikluskoomus:**

: 1. koormusmudel

	jaotatud koormus [kN/m <sup>2</sup> ]		tandem [kN]		1 ratta kohta [kN]
	normatiivne	arvutuslik	normatiivne	arvutuslik	arvutuslik
I lepperada	7,20	9,72	240	324	162
II lepperada	2,50	3,38	200	270	135
III lepperada	2,50	3,38	100	135	67,5
jääkala	2,50	3,38	0	0	0

Tandemi koormus tabelis = tandemi teljekoormus (teljel kaks ratast telje otstes)

Liikluskoomuse osavarutegur  $\gamma_f = 1.35$

Koormuse põikjaotustegurid lepperaja  $k$  kohta

$$\eta_k = \frac{1}{n} + \frac{e_k \cdot b_{\max}}{2 \sum b_i^2}$$

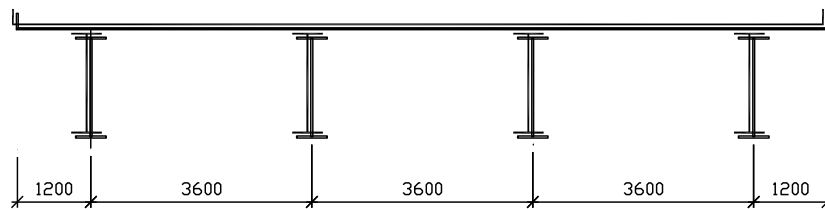
$b_{\max}, b_i$  – vt joonis eelmisel lk.-l

**NÄIDE**

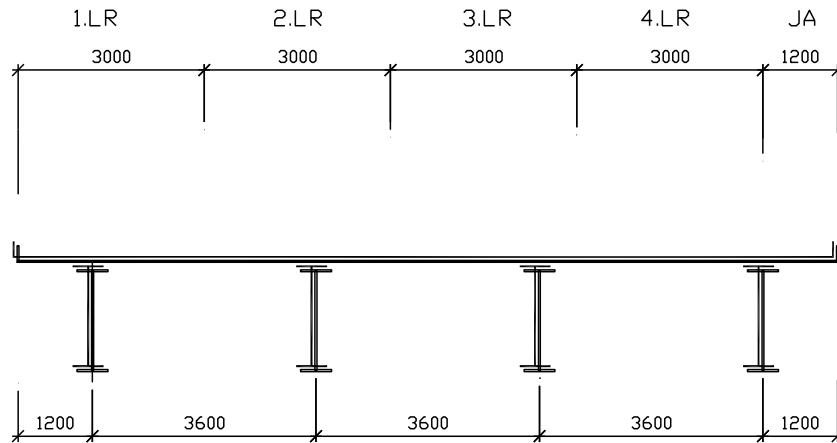
Silla skeem – 4 lihttala sildega 13,6 m, talade samm 3,6 m.

Liikluskoomuse määramine enamkoormatud talale.

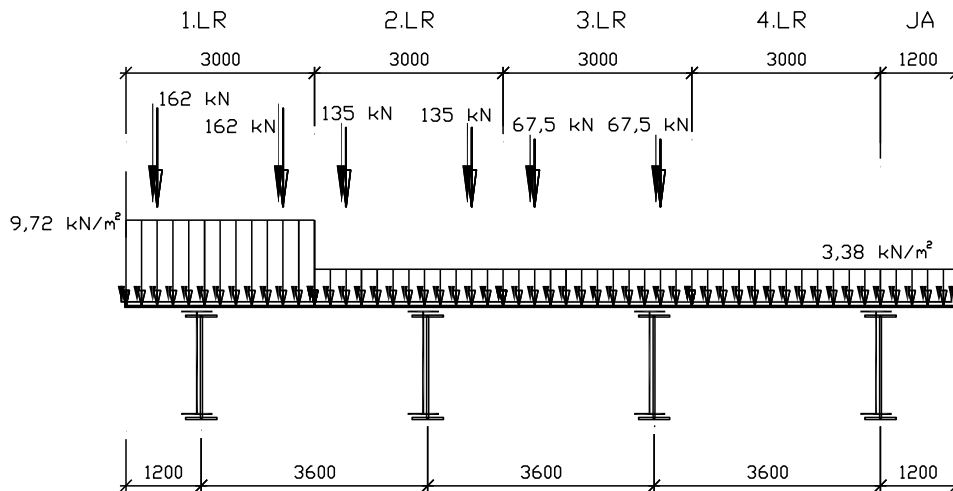
Silla ristlõige:



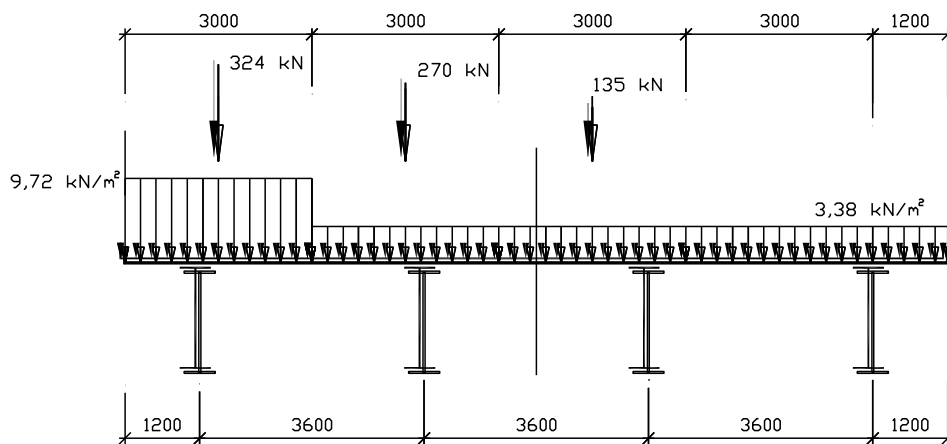
Lepperajad:



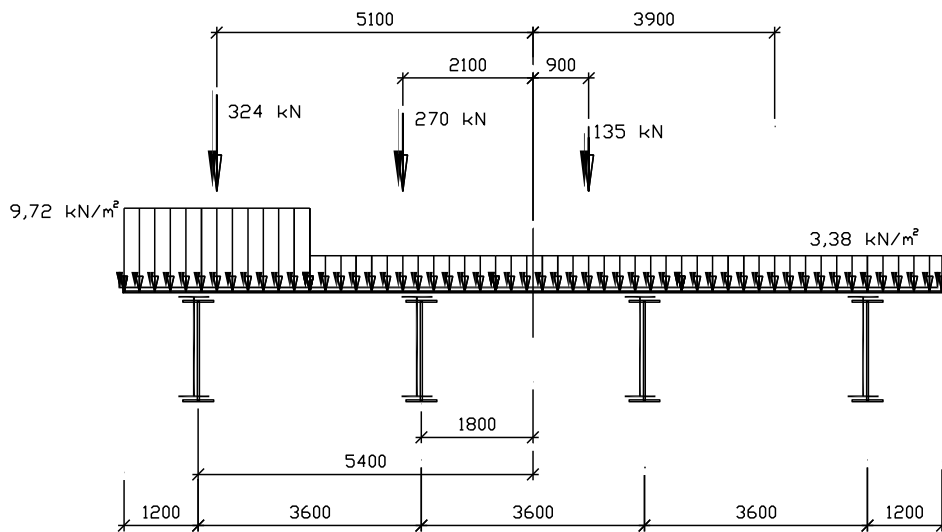
Liikluskoormus – ühtlaselt jaotatud koormu lepperadadel, tandemi teljekoormus lepperadadel (näidatud tandemi üks telg), koormuste arvutuslikud väärtused:



Tandemi teljekoormus asendatud resultandiga:



Põikjaotustegurite leidmine:



$$b_{max} = 5.4 \text{ m}$$

$$\sum b_i^2 = 1.8^2 + 5.4^2 = 32.4$$

$$\eta_k = \frac{1}{4} + e_k \cdot 0.0833$$

Koormuse põikjaotustegurid lepperadade kaupa (indeks näitab lepperada):

$$\eta_1 = 0.25 + 5.1 \cdot 0.0833 = 0.6748$$

$$\eta_2 = 0.25 + 2.1 \cdot 0.0833 = 0.4250$$

$$\eta_3 = 0.25 - 0.9 \cdot 0.0833 = 0.1750$$

$$\eta_4 = 0.25 - 3.9 \cdot 0.0833 = -0.0749 \text{ ei võta arvesse, sest negatiivne}$$

Koondatud koormus tandemi ühe telje kohta äärmisele talale (teise telje koormus sama suur), arvutuslik väärtus

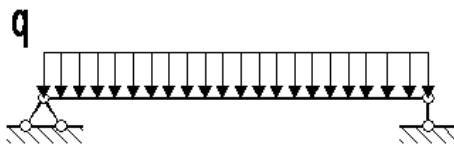
$$Q = 0.6748 \cdot 324 + 0.4250 \cdot 270 + 0.1750 \cdot 135 = 357.01 \text{ kN}$$

Jaotatud liikluskoormus äärmisele talale, arvutuslik väärtus

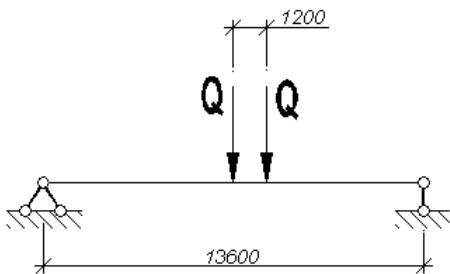
$$q = 0.6748 \cdot 9.72 \cdot 3 + 0.4250 \cdot 3.38 \cdot 3 + 0.1750 \cdot 3.38 \cdot 3 = 25.76 \text{ kN/m}$$

Äärmise tala arvutuskeem

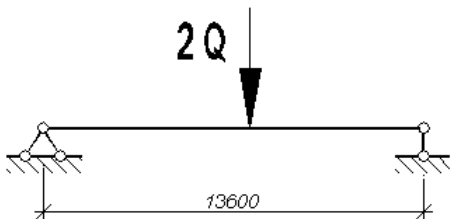
Jaotatud koormus äärmisel talal:  $q = 25.76 \text{ kN/m}$



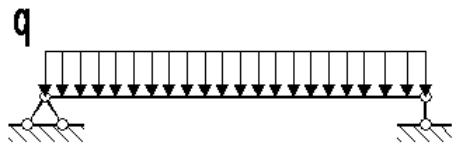
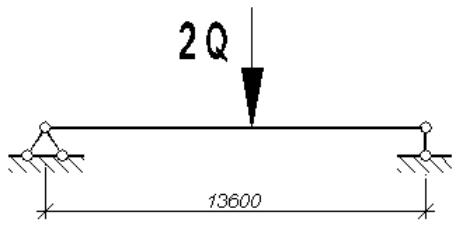
Koormus tandemitest äärmisel talal:  $Q = 357.01 \text{ kN}$



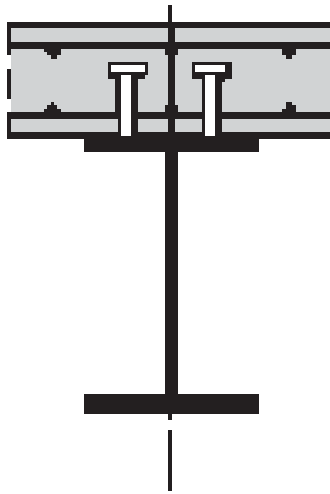
Asendame tandemi kaks telje ühega



Liikluskoormus äärmisele sillatalale (tandemi koormus + jaotatud koormus):



## KOMPOSIITLALAD



**Joonis 1 – Komposiitlala tüüpiline ristlõige**

On oluline selgitada, milline osa betoonristlõikest töötab kaasa, kuna betoonosa jäikused  $(EA)_c$  ja  $(EI)_c$  tuleb leida selle kaasatöötava osa põhjal. Kaasatöötavaks ristlõikeosaks

loetakse pragudeta osa (surutud ristlõikeosa) ja raskuskeskme asukoht  $e_i$  leitakse kaasatöötava ristlõike põhjal.

Komposiitmõju tekib alati, kui kuskil terasosa ja betoonosa vahel on nihkeliide, mis takistab osade libisemist teineteise suhtes. Pealekuti paikneva betoon- ja terasosa puhul on ainult üks võimalik liitepind (terasosa ülemine vöö), kuid üldjuhul võib liitekohti olla mitu. Komposiitmõju tekkeks on vajalik ainult üks liide.

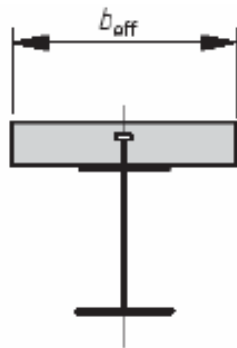
## 1 Arvutusmudel

Arvutustes kasutatakse osade täielikul koostööl põhinevaid valemeid. Seetõttu pööratakse erilist tähelepanu sellele, et nihkeliite kandevõime oleks küllaldane. Lihttalade puhul võib enamikel juhtudel kasutada plastset arvutusmudelit, kuna paindel on terasosa kogu pikkuse ulatuses tõmmatud.

Jätkuvtalade ja otstes jäiga kinnitusega talade puhul sõltub toemomendi arenemine terasosa ristlõikeklassist. Momendijaotus leitakse eeldusel, et toel määratakse pragudega betoonosa jäikus ainult armatuuri tõmbejäikuse põhjal.

### 1.1 Betoonplaadi arvutuslaius

Juhul, kui betoonplaat on üle tala  $b_{eff}$  ulatuses küllaldaselt armeeritud, nii et tala ja plaadi vaheline nihkevoog realiseerub lühimat teed pidi, tagamaks osade vahelist jõudude tasakaalu, võib plaadi arvutuslaiuse võtta küllaldase täpsusega allpool toodud joonise kohaselt.



$$b_{eff} = 2kL_0 = \frac{L_0}{4} \leq b_0 ;$$

kus  $L_0$  – lihttala skeemi järgi töötava komposiittala sille;  
jätkuvtala korral –  
paindemomendi  
epüüri nullkohtade vahekaugus;

$$k = 1/8.$$

**Joon. 2: Komposiittala betoonosa arvutuslaius**

Seejuures ei tohi arvutuslaiust võtta terastalade vahekaugusest  $b_0$  suuremaks.

### 1.2 Komposiittala paindekandevõime

Komposiittala plastne (s.o suurim võimalik kandevõime)  $M_{pl,Rd}$  realiseerub juhul, kui terasosa ja betoonosa vahel on täielik nihkeliide. Plastne paindekandevõime määratakse järgmiselt:



1) leitakse betoonosa survetsooni sügavus  $z = \frac{A_a f_y}{b_{eff} f_{cd}^* \gamma_a}$ ,

(1)

kus  $A_a$  - terasosa ristlõikepindala;

$f_y$  - terase normatiivne voolavuspiir;

$b_{eff}$  - betoonosa arvutuslaius;

$f_{cd}^* = 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$  - betooni tinglik arvutuslik survetugevus;

$\gamma_a = 1,1$  - terase tugevuse osavarutegur;

2) leitakse betoon- ja terasosas mõjuvate normaaljõudude õlg

$$z_i = \frac{h_a}{2} + h - \frac{z}{2},$$

(2)

kus  $h_a$  - terasosa ristlõike kõrgus;

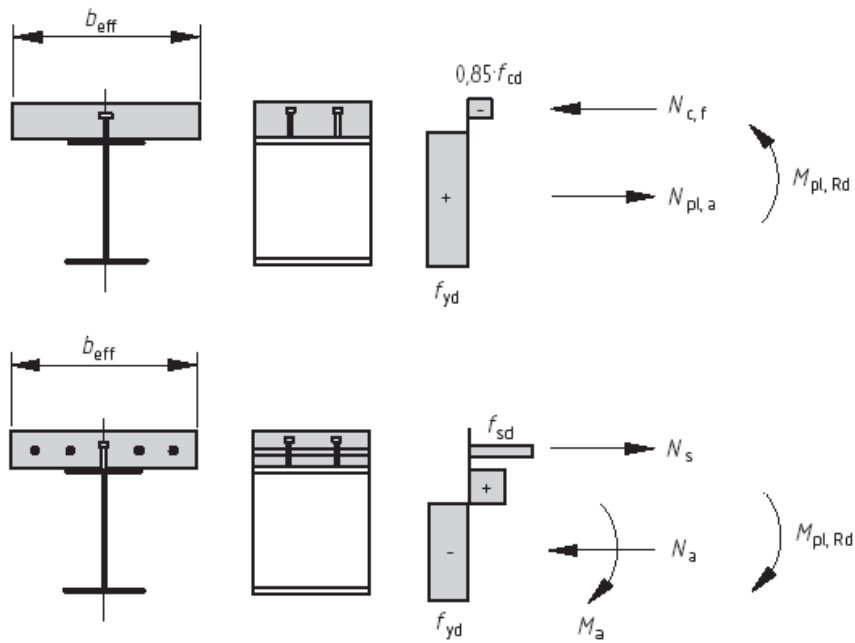
$h$  - betoonplaadi paksus;

3) arvutatakse komposiittala plastne paindekandevõime

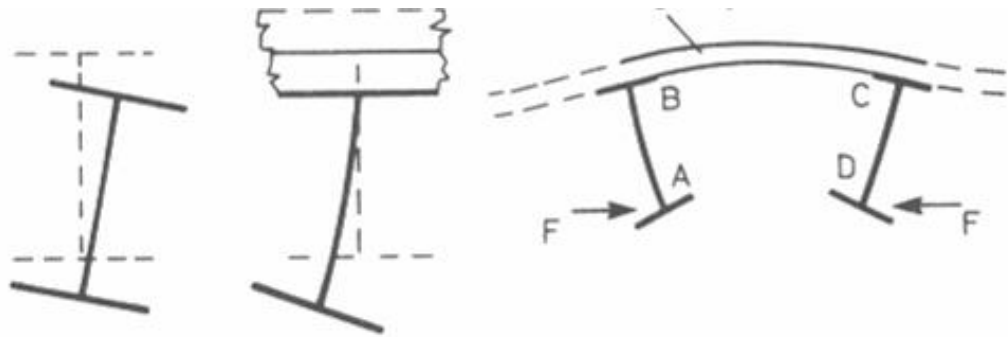
$$M_{pl,Rd} = \frac{A_a f_y}{\gamma_a} \cdot z_i.$$

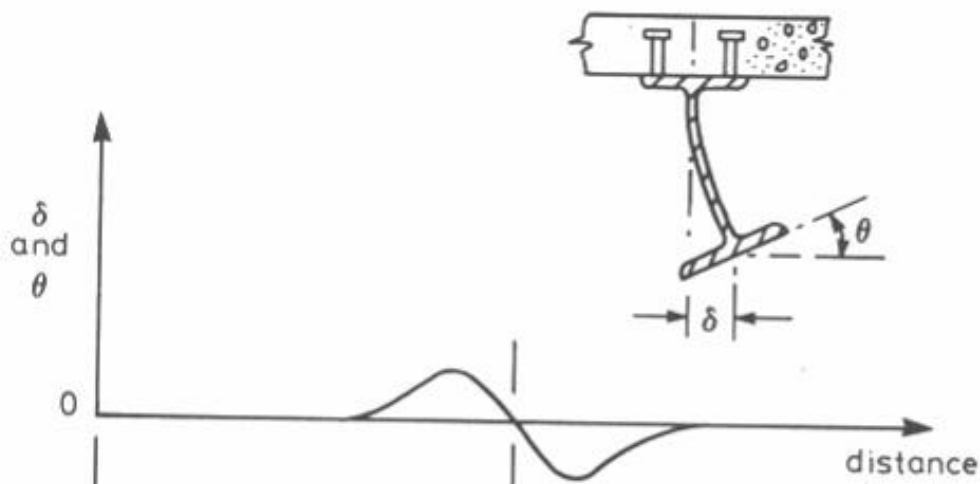
(3)

Kuna komposiittala terasosa ülemine vöö on kinnitatud betoonplaadi külge, siis on kiive tavaliselt välistatud. Kui betoon ei ole veel paigaldatud või kivinenud, siis tuleb terastala kiivet kontrollida.



Plastne pingeaotus täieliku nihkeliite korral positiivse ja negatiivse paindemomendi puhul





## KOMPOSIITLADE KIIVE

### Üldist

Ristlõikeklassidesse 1, 2 ja 3 kuuluvate komposiit-jätkuvtalade kiivekontroll hoonete puhul

Konstantse ristlõikega terasosaga põiksuunas kinnitamata komposiit-jätkuvtala, mille ristlõige kuulub 1., 2. või 3. klassi, arvutusliku kiivekandevõime võib leida valemiga

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} M_{Rd}, \quad (6.6)$$

kus  $\chi_{LT}$  - kiivetegur, mis sõltub tingsaledusest  $\bar{\lambda}_{LT}$ ;

$M_{Rd}$  - negatiivne paindekandevõime vaadeldava sisemise toe või tala ja posti liite piirkonnas.

Kiiveteguri  $\chi_{LT}$  väärtused võib võtta EN 1993-1-1-st

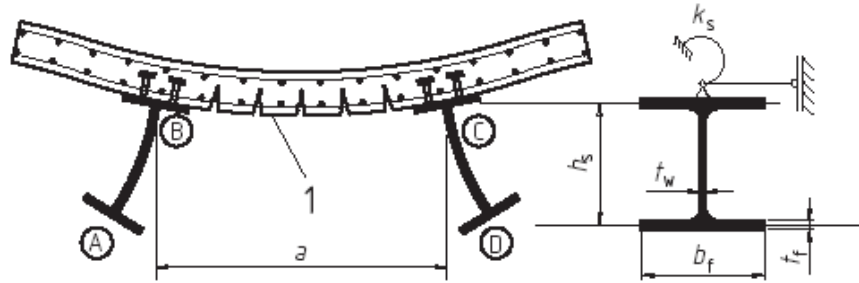
(4) Tingsaleduse  $\bar{\lambda}_{LT}$  võib leida valemiga

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} \quad (6.7)$$

kus  $M_{Rk}$  - materjalide normatiivsete omaduste põhjal leitud komposiitristlõike paindekandevõime;

$M_{cr}$  - elastne kriitiline paindemoment kiivel, vaadeldava silde sisemisel toel, kus negatiivne paindemoment on suurim.

Kui betoonplaat on kinnitatud ühe või mitme, vaadeldava komposiitalaga ligilaudu paralleelse, toetava teraprofiili külge ning punktide, võib elastse kriitilise momendi  $M_{cr}$  arvutada nn "alaspidi U-kujulise raami" mudeli põhjal. Nagu on näha joonisel, arvestab see mudel alumise vöö külgsuunalisi paigutisi, mis tekitab terasprofili seina painet ja ülemise vöö pööret, mida takistab betoonplaadi paindumine.



**Tähis:**

1. praod

**Joonis – Kiivet takistav pööratud alaspidine U-kujuline raam ABCD**

Sissebetoneerimata terasprofili maksimaalne kõrgus  $h$  (mm), mille puhul jaotis on võimalik jätkuvtala kiivekandevõime tagada ilma täiendavate sidemeteta (hoonetel)

Teraselement	Terase klass			
	S235	S275	S355	S420 ja S460
IPE	600	550	400	270
HE	800	700	650	500

### 1.3 Põikjõukandevõime

Komposiitala arvutuslik põikjõukandevõime  $V_{Rd}$  loetakse võrdseks terasosa põikjõukandevõimega.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_a}$$

## 2 Tala osade vaheline nihkeliide

Nihkeliide peab tagama betoon- ja terasosa koostöö. Tavaliselt kasutatakse selleks nihketüüblid. Nihketüüblid ja tala põikiarmatuur peavad olema ette nähtud tala kogu pikkuses tagamaks betoonplaadi ja tala vahelise nihkejõu ülekandmise kandepiirteisundis. Teras- ja betoonosa vahelisi loomulikke nakke- ja hõõrdejõude seejuures ei arvestata.

Kõige enam kasutatakse nihkeliite moodustamiseks polttüüblid (nn. *Nelsoni poldid*), mis kinnitatakse terasosa külge spetsiaalse keevitusseadme abil. Polttüüblid on võimalik kasutada nii täisbetoon- kui ka komposiitplaadina kujundatud betoonosa korral

Nihkeliites kasutatavad polttüüblid peaksid rahuldama järgmisi tingimusi:

- polttüübli läbimõõt  $d$  jääb vahemikku 16...22 mm;
- polttüübli kogupikkus pärast külge keevitamist (koos peaga)  $h_r \geq 4d$ .

Ühe polttüübli kandevõime põhisuurus  $P_{Rd}$  (mis kehtib täisbetoonplaadi puhul) on väikseim suurustest

- tüübli lõikekandevõime;
- betooni tugevus nihkeliites:

$$P_{Rd} = \min \begin{cases} 0,2\pi d^2 \cdot \frac{f_u}{\gamma_v} \approx 0,5d^2 f_u; \\ 0,29 \frac{d^2}{\gamma_v} \sqrt{f_{ck} E_{cm}} \approx 0,23d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}, \end{cases}$$

(4)

kus  $f_u$  - tüübli materjali normatiivne tõmbetugevus;

$\gamma_v = 1,25$  - tüübli kandevõime osavarutegur;

$f_{ck}$  - betooni normatiivne survetugevus;

$E_{cm}$  - betooni elastsusmoodul lühiajalisel koormamisel.

Tüüblite vajaliku arvu määramiseks leitakse terasosa maksimaalne tõmbejõud

$$F_{pl,f} = \frac{A_a f_y}{\gamma_a};$$

(5)

täieliku nihkeliite tagamiseks vajalik tüüblite arv tala paindemomendi epüüri nullkoha ja maksimumi vahelisel lõigul  $L_v$  (ühtlaselt jaotatud koormusega lihttala puhul silde poolel pikkusel) saadakse valemiga

$$N_f = \frac{F_{pl,f}}{k_t P_{Rd}}$$

(6)

### 3 Komposiitlala paindejäikus

Komposiitlala läbipainde arvutamiseks vajaliku paindejäikuse võib leida järgmiselt. Arvutatakse järgmised jäikused (vt ka koonis 2.4):

1) betoonosa paindejäikus  $\overline{EI}_b = E_{c'} \cdot \frac{b_{eff} \cdot h_c^3}{12}$ ,

kus  $h_c$  - betoonplaadi paksus ( $h_c = h$ ) või komposiitplaadi vagude kohale jääva

betooni paksus;

$b_{eff}$  - betoonosa efektiivlaius;

$E_{c'} = 0,5E_{cm}$  - betooni tinglik elastsusmoodul;

2) terasosa paindejäikus  $\overline{EI}_a = E_a \cdot I_a$ ;

3) paindejäikuste summa  $\overline{EI}_{\text{sum}} = \overline{EI}_b + \overline{EI}_a$ ;

4) betoonosa pikijäikus  $\overline{EA}_b = E_{c'} \cdot b_{eff} \cdot h_c$ ;

5) terasosa pikijäikus  $\overline{EA}_a = E_a \cdot A_a$ ;

6) summaarne pikijäikus  $\overline{EA}_{\text{sum}} = \overline{EA}_b + \overline{EA}_a$ .

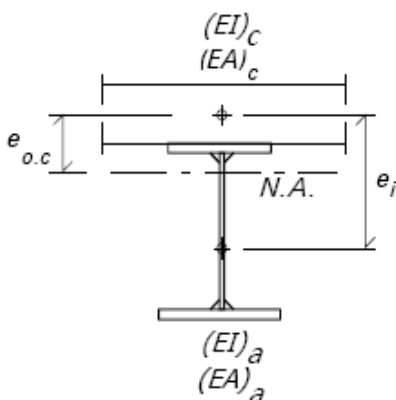
Seejärel arvutatakse betoon- ja terasosa nn. **koostöötegur**

$$\alpha_i = e_i^2 \cdot \frac{\overline{EA}_b \cdot \overline{EA}_a}{\overline{EI}_{\text{sum}} \cdot \overline{EA}_{\text{sum}}}$$

(7)

kus  $e_i$  - betoon- ja terasosa paindetelgede vahekaugus (betoonplaadi puhul betoonplaadi

ja terasprofiili raskuskeskmete vahekaugus.



**Joon. 3 – Komposiittala paindejäikuse leidmine**

Komposiittala paindejäikus  $EI_{\text{kom}} = \left( \sum \alpha_i \right) EI_{\text{liht}}$ .  
(8)

Komposiittala läbipaine  $\square$  leitakse nagu mistahes talal kasutuspiiriseisundi koormuse  $q_{\text{ser}}$  põhjal. Ühtlaselt jaotatud lauskoormusega lihttala korral

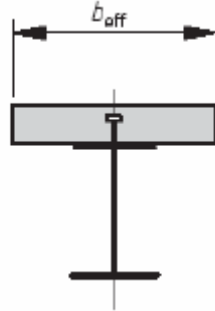
$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{ser}} L^4}{EI_{\text{kom}}}$$

(9)

**NB!** Ei tohi unustada, et konstruktsioon hakkab komposiittalana tööle alles pärast betooni kivistumist. Ehituse ajal võtab kogu koormuse vastu terasosa (ja/või raketis). Vajaduse korral tuleb terasosa kuni betooni kivistumiseni toetada.

## Näide 1 Komposiittala arvutus

Leida joonisel toodud komposiittala paindekandevõime ja paindejäikus, kui talas on täielik nihkeliide.



Komposiittala terasosaks on terasest S235 valtsprofiil IPE450 ( $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ ), betoonosaks komposiitplaat kogupaksusega  $h = 150 \text{ mm}$ , betooni klass – C25/30, vagude kõrgus – 50 mm.

Olgu tala paindemomendi epüüri nullkohtade vahekaugus  $L_0 = 12 \text{ m}$ , sel juhul võib betoonosa arvutuslaiuseks lugeda  $b_{eff} = 2 \times (0,125 \times 12) = 3 \text{ m}$ .

**Terasosaks** olev IPE 450 kuulub 1. ristlõikeklassi; tähtsamad ristlõikeparameetrid:

- ristlõikepindala  $A_a = 9880 \text{ mm}^2$ ;
- inertsimoment  $I_a = 337,4 \times 10^6 \text{ mm}^4$ ;
- elastne vastupanumoment  $W_{el} = 1,500 \times 10^6 \text{ mm}^3$ ;
- plastne vastupanumoment  $W_{pl} = 1,702 \times 10^6 \text{ mm}^3$ .

**Terasosa plastne paindekandevõime**

$$M_{a,pl} = \frac{f_y W_{pl}}{\gamma_a} = \frac{235 \cdot 1,702 \cdot 10^6}{1,1} \cdot 10^{-6} = 363,6 \text{ kNm}.$$

**Betoonosa** kogupaksus  $h = 150 \text{ mm}$ , betooni C25/30 normtugevus  $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ .

Betooni tinglik arvutussurvetugevus  $f_{cd}^* = 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} = 14,2 \text{ N/mm}^2$ .

Survetsooni sügavuse  $z$  võib leida teras- ja betoonosa pikijõudude plastse pingeaotuse kohasest tasakaalust järgmiselt (eeldusel, et neutraaltelg paikneb betoonis):

$$b_{eff} f_{cd}^* z = A_a \frac{f_y}{\gamma_a}, \quad \text{kust avaldame}$$

$$z = \frac{A_a f_y}{b_{eff} f_{cd}^* \gamma_a} = \frac{9880 \cdot 235}{3000 \cdot 14,2 \cdot 1,1} = 49,5 \text{ mm}.$$

Betoon- ja terasosas mõjuvate pikijõudude õlaks kujuneb



$$z_i = e_{aj} + h - \frac{z}{2} = \frac{450}{2} + 150 - \frac{49,5}{2} = 350,2 \text{ mm.}$$

Komposiittala kui terviku plastne paindekandevõime on

$$M_{pl,Rd} = A_a \frac{f_y}{\gamma_a} z_i = 350 \cdot \frac{235}{1,1} \cdot 350,2 \cdot 10^{-6} = 739,2 \text{ kNm};$$

Seega on komposiittala paindekandevõime üle kahe korra suurem kui terastalal.

Komposiittala **paindejäikuse** leidmiseks arvutame järgmised suurused:

- betoonosa paindejäikus

$$\overline{EI}_{\text{betoon}} = E_c \cdot \frac{b_{\text{eff}} \cdot h_c^3}{12} = \frac{30500}{2} \cdot \frac{3000 \cdot 150^3}{12} = 12,9 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2;$$

- terasosa paindejäikus

$$\overline{EI}_{\text{teras}} = E_a I_a = 210000 \times 337,4 \times 10^6 = 70,85 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 ;$$

- paindejäikuste summa

$$\overline{EI}_{\text{summa}} = (12,9 + 70,85) \times 10^{12} = 83,75 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 ;$$

- betoonosa pikijäikus  $\overline{EA}_{\text{betoon}} = \frac{30500}{2} \times (3000 \times 150) = 6862 \times 10^6 \text{ N};$

- terasosa pikijäikus  $\overline{EA}_{\text{teras}} = 210000 \times 9880 = 2075 \times 10^6 \text{ N};$

- summaarne pikijäikus  $\overline{EA}_{\text{summa}} = (6862 + 2075) \times 10^6 = 8938 \times 10^6 \text{ N};$

- betoon- ja terasosa paindetelgede vahekaugus

$$e_i = \frac{450}{2} + \frac{150}{2} = 300 \text{ mm};$$

- koostöötegur

$$\alpha_i = e_i^2 \cdot \frac{\overline{EA}_{\text{teras}} \cdot \overline{EI}_{\text{betoon}}}{\overline{EI}_{\text{summa}} \cdot \overline{EA}_{\text{betoon}}} = 325^2 \cdot \frac{4575 \cdot 10^6 \cdot 2075 \cdot 10^6}{83,75 \cdot 10^{12} \cdot 8938 \cdot 10^6} = 1,71.$$

Tala paindejäikuseks saame

$$\overline{EI}_{\text{tala}} = (1 + \alpha_i) \cdot \overline{EI}_{\text{summa}} = (1 + 1,71) \times 83,75 \times 10^{12} = 227 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2.$$

Näide 2 Nihkeliite arvutus

Lahendada eelmise näite komposiittala nihkeliide polttüüblitega, mille läbimõõt  $d = 19$  mm, kogupikkus  $h = 80$  mm ja terase normtõmbetugevus  $f_u = 450 \text{ N/mm}^2$ .

Ühe tüübli kandevõime põhisuurus (so. suurus täisplaadi puhul) on väiksem j

$$P_{Rd} = \min \begin{cases} 0,5d^2 f_u = 0,5 \cdot 19^2 \cdot 450 \cdot 10^{-3} = 81,2 \text{ kN}; \\ 0,23d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} = 0,23 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 30500} \cdot 10^{-3} = 72,5 \text{ kN}; \end{cases}$$

seega  $P_{Rd} = 72,5 \text{ kN}$  iga tüübli kohta.

Vajaliku tüüblite arvu määramiseks arvutatakse terasosa tõmbejõu maksimaalne suurus (sama suur on ka betoonosa survejõu maksimaalne suurus)

$$F_{pl,f} = A_a \frac{f_y}{\gamma_a} = 9880 \cdot \frac{235}{1,1} \cdot 10^{-3} = 2110 \text{ kN}$$

Täieliku nihkeliite tagamiseks vajalik tüüblite arv (lõikeava pikkusel  $L_s = 0,5L_0$ ):

$$N_f = \frac{F_{pl,f}}{k_t P_{Rd}} = \frac{2110}{1 \cdot 72,5} = 29,1 \Rightarrow 30 \text{ tüüblit.}$$