

10. Vaunukuormien kuormasta ja kiinnitystä koskeva mitoitusmenettely

10.1. Yleistä mitoitusmenettelystä

Kuormaus- ja kiinnitystapaa määriteltäessä on kuorman painon lisäksi otettava seuraavat voimat ja kuormitukset huomioon:

- pituussuuntaiset vaakasuorat hitausvoimat, jotka syntyvät junan kiihdyttäessä tai jarruttaessa taikka vaunujen törmätessä toisiinsa vaihtotöiden tai laskumäessä tapahtuvan junan purkamisen yhteydessä
- poikkisuuntaiset vaakasuorat hitausvoimat, jotka syntyvät vaunun kulkiessa mm. kaarteista ja kaarteiden siirtymäosista
- pystysuorat hitausvoimat, jotka johtuvat liikkuvan vaunun värähtelykiihtyvyyksistä
- tuulikuorma
- kitkavoimat.

Pituussuuntaisten, poikkisuuntaisten ja pystysuorien hitausvoimien vaikutuspisteenä on kuorman painopiste (CG_{ld}). Tuulikuorman aiheuttaman kokonaisvoiman vaikutuspisteeksi katsotaan kuorman purjepinta-alan geometrinen keskipiste.

Pitkien tavaroiden kuormaukseen ja kiinnitykseen liittyvät mitoituksen erityispiirteet on selostettu tämän luvun kohdassa 12.

10.2. Kuormaan vaikuttavien hitausvoimien ja tuulikuorman määrittäminen

10.2.1. Pituussuuntainen hitausvoima (F_{lng}) määritetään kaavalla:

$$F_{lng} = a_{lng} Q_{ld} (tf), \quad (4)$$

jossa a_{lng} on pituussuuntainen ominaishitausvoima kuorman yhtä tonnia kohden, tf/t ja Q_{ld} – kuorman paino, t.

a_{lng} lasketaan seuraavilla kaavoilla konkreettiselle kuorman painolle:

- kuorma tukeutuu yhteen vaunuun:

$$a_{lng} = a_{22} - \frac{Q_{ld}^0 (a_{22} - a_{94})}{72} (tf/t); \quad (5)$$

- kuorma tukeutuu kahteen vaunuun:

$$a_{lng} = a_{44} - \frac{Q_{ld}^0 (a_{44} - a_{188})}{144} (tf/t), \quad (6)$$

jossa Q_{ld}^0 on vaunussa tai yhteenkytketyssä vaunuryhmässä kuljetettavan kuorman kokonaispaino, t ja

a_{22} , a_{94} , a_{44} , a_{188} on pituussuuntaisen ominaishitausvoiman arvo kiinnitystyyppin mukaan, kun vaunun bruttopaino on 22 t tai 94 t tai kun yhteenkytketyn vaunuryhmän bruttopaino on 44 t tai 188 t (valitaan taulukosta 29).

Pituussuuntaisen ominaishitausoiman arvot kiinnitystyypeittäin

Kiinnitystyyppi	a_{ing} (tf/t) kuorman tukeutuessa			
	yhteen vaunuun		kahteen vaunuun	
	a_{22}	a_{94}	a_{44}	a_{188}
Joustava kiinnitys – metallilangalla tai vaijerilla ja kiristyslaitteella toteutetut veto- ja alassidonnat sekä metallivannesidonnat – puiset tuki- tai välitukiklossit – kuorman kiinnitys kasettiin, pyramidiin tms. niin, että kuorma tukeutuu näiden elementteihin puuklossien kautta – vaunuun pultattujen metallitukien avulla tapahtuva kiinnitys: puulaatikkoon pakattu tai pakkaamaton kuorma, mikäli kuorman ja metallituen välillä on klossi.	1,2	0,97	1,2	0,86
Jäykkä kiinnitys – kuorma kiinnitetään vaunuun pulteilla, kierretangoilla tms. kiinnitysvälineillä – kuorma (paitsi puulaatikkoon pakattu) sijoitetaan niin, että se tukeutuu suoraan vaunurakenteisiin – kasetti, pyramidi tms. kiinnitetään matalalaitaisen avovaunun pylvästuppiloon pulteilla, taikka pylvästukien tai metallitukien avulla – pakkaamattoman metalli- tai teräsbetonikuorman kiinnitykseen käytetään metallitukia, jotka puolestaan on pultattu vaunuun kiinni.	1,9	1,67	1,9	1,56

10.2.2. Poikkisuuntainen vaakasuora hitausvoima Flat määritetään seuraavalla kaavalla (keskipakoisvoiman vaikutus on otettu huomioon):

$$F_{\text{lat}} = a_{\text{lat}} Q_{\text{ld}} / 1000 \text{ (tf)}, \quad (7)$$

jossa a_{lat} on poikkisuuntainen ominaishitausoima kuorman yhtä tonnia kohden, kgf/t.

a_{lat} määritetään kaavalla (kuorma tukeutuu yhteen vaunuun):

$$a_{\text{lat}} = a_k + \frac{2(a_{\text{tk}} - a_k)}{l_B} l_{\text{ld}} \text{ (kgf/t)}, \quad (8)$$

jossa a_k , a_{tk} ovat poikkisuuntaiset ominaishitausoimat, kun kuorman painopiste sijaitsee vaunun keskipisteen tai vastaavasti vaunun telikeskiö-palkin kautta kulkevassa pystysuorassa poikkitasossa (taulukko 24), kgf/t,

l_B on vaunun telikeskiöväli, m ja

l_{ld} on etäisyys kuorman painopisteestä vaunun poikittaiseen symmetriatasoon, m.

Jos pitkä kuorma tukeutuu kahteen vaunuun, a_{lat} :n arvo valitaan taulukosta 30.

Poikkisuuntaisten ominaishitausvoimien arvot

Kuorman sijainti	Poikkisuuntaisten ominaishitausvoimien arvot, kgf/t
Tukeutuu yhteen vaunuun. Kuorman painopiste sijaitsee pystysuorassa poikkitasossa, joka kulkee:	
- vaunun keskipisteen kautta, a_k	330
- telikeskiöpalkin kautta, a_{tk}	550
Tukeutuu kahteen vaunuun	400

10.2.3. Pystysuora hitausvoima F_v määritetään kaavalla:

$$F_v = a_v Q_{ld}/1000 \text{ (tf)}, \quad (9)$$

jossa a_v on pystysuora ominaishitausvoima kuorman yhtä tonnia kohden, kgf/t, joka määritetään kaavalla:

$$a_v = 250 + k l_{ld} + \frac{2140}{Q_{ld}^0} \text{ (kgf/t)}. \quad (10)$$

Jos vaunuun lastattavan kuorman paino on enintään 10 t, $Q_{ld}^0 = 10$ t. Kerroin k yhteen vaunuun tukeutuvassa kuormauksessa on 5, ja jos kuorma tukeutuu kahteen vaunuun, niin $k = 20$.

10.2.4. Tuulikuorma W_{wnd} lasketaan 50 kgf/m^2 :n suuruisen ominaistuulikuorman mukaan kaavasta:

$$W_{wnd} = 50 S_{wnd}/1000 \text{ (tf)}, \quad (11)$$

jossa S_{wnd} on kuorman purjepinta-ala (matalalaitaisen avovaunun sivulaidoista tai korkealaitavaunun sivuseinistä ulkonevan kuorman pinnan projektio vaunun pitkittäiseen symmetriatasoon), m^2 . Jos kyseessä on lieriömäinen pinta, S_{wnd} on puolet kuorman purjepinta-alasta.

10.3. Kitkavoimien määrittäminen

10.3.1. Yhteen tai kahteen vaunuun ilman kääntöalustoja tukeutuvan kuorman liikkumisen estävät kitkavoimat määritetään seuraavilla kaavoilla.

– pituussuunnassa:

$$F_{fr}^{lng} = Q_{ld} \mu \text{ (tf)}; \quad (12)$$

– poikittaissuunnassa:

$$F_{fr}^{lat} = Q_{ld} \mu (1000 - a_v)/1000 \text{ (tf)}, \quad (13)$$

jossa μ on toisissaan kiinni olevien kuorman ja vaunun (alustukien) pintojen välinen kitkakerroin.

Seuraavassa on esitetty käytettäväksi liasta, lumesta ja jäädä puhdistettujen kuorman ja alustukien tukipintojen sekä vaunun lattian välisen liukukitkakertoimen arvot (oletuksena on, että talvella lattialle on siroteltu ohuelti hiekkaa):

– puu/puu	0,45
– teräs/puu	0,40
– teräs/teräs	0,30
– teräsbetoni/puu	0,55
– pystyssä olevien teräsrullien (vanneteräksen) avoimet päädyt / puu	0,61

– öljytty teräslevypino/puu	0,21
– kumi/puu (pyöräkalusto)	0,50
– alumiini/puu	0,38
– lyijy tai sinkki/puu	0,37

Vierintäkitkakertoimenä käytetään arvoa 0,10.

Muiden kitkakerroin arvojen käyttö esim. eri materiaalipareille tai eri kosketusolosuhteissa on aina perusteltava tämän luvun liitteessä 2 esitetyllä tavalla.

Kääntöalustalle asetetun pitkän kuorman kitkavoimien määrittäminen on esitetty alempana tämän luvun liitteessä 1.

10.3.2. Kun matalalaitaisen avovaunun puu/metallilattialle ilman alustukia sijoitetun kuorman painopiste ja geometrinen keskipiste ovat samat (kuva 39), kuorman liikkumisen estävät kitkavoimat määritetään seuraavilla kaavoilla:

– pituussuunnassa:

$$F_{fr}^{lng} = F_{fr1}^{lng} + F_{fr2}^{lng} + F_{fr3}^{lng} \text{ (tf)}, \quad (14)$$

jossa F_{fr1}^{lng} , F_{fr2}^{lng} , F_{fr3}^{lng} ovat lattiaan tukeutumisaalueilla vaikuttavat kitkavoimat. Niiden arvot lasketaan seuraavilla kaavoilla:

$$F_{fr1}^{lng} = Q_{ld} \frac{a}{d} \mu_1 \text{ (tf)}; \quad (15)$$

$$F_{fr2}^{lng} = Q_{ld} \frac{b}{d} \mu_2 \text{ (tf)}; \quad (16)$$

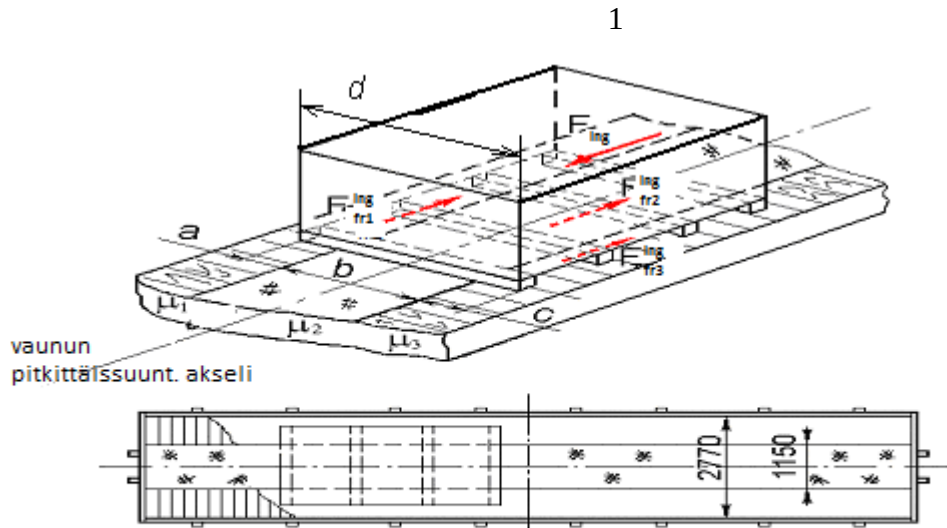
$$F_{fr3}^{lng} = Q_{ld} \frac{c}{d} \mu_3 \text{ (tf)}, \quad (17)$$

jossa μ_1 , μ_2 , μ_3 ovat kuormanosan ja vastaavan lattianosan väliset kitkakertoimet
 a/d , b/d ja c/d ovat vastaaviin lattianosiin kohdistuvat kuorman osapainot

– poikkisuunnassa:

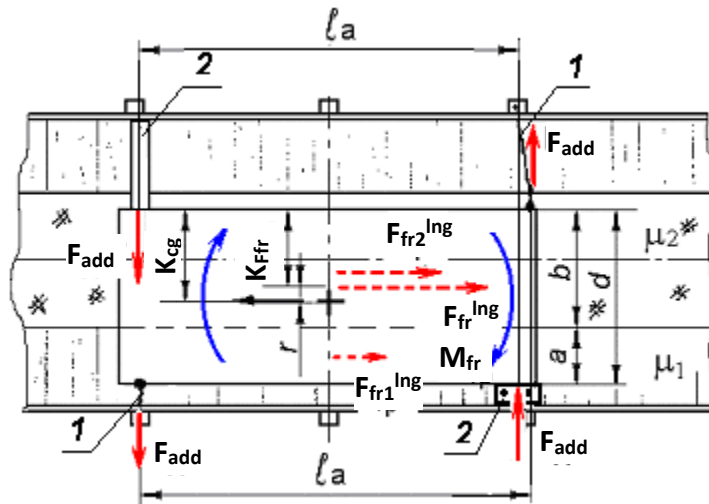
$$F_{fr}^n = Q_{ld} \left(\frac{a}{d} \mu_1 + \frac{b}{d} \mu_2 + \frac{c}{d} \mu_3 \right) (1000 - a_v) / 1000 \text{ (tf)}, \quad (18)$$

jossa a_v on kaavasta (10) laskettava pystysuora ominaishitausvoima, kgf/t.



Kuva 39 – Kuorman tukeutumisalueilla vaikuttavat kitkavoimat matalalaitaisen avovaunun puu/metallilattiaa vasten.

Matalalaitaisen avovaunun pitkittäiseen symmetriatasoon nähden epäsymmetrisesti sijoitettuun kuormaan voi lisäksi kohdistua vääntömomentti (M_{fr}) (kuva 40), joka vaikuttaa vaakatasossa kuorman painopisteen kautta kulkevan pystysuoran keskiviivan ympäri.



Kuva 40 – Matalalaitaisen avovaunun pitkittäiseen symmetriatasoon nähden epäsymmetrisesti sijaitsevan kuormaan kohdistuva vääntömomentti. Avovaunun lattia on puuta ja metallia.

1 – vetoside, 2 – välitukiklossi

Vääntömomentti M_{fr} määritetään kaavalla:

$$M_{fr} = F_{fr}^{lng} \cdot r \text{ (tfm)}, \quad (19)$$

jossa r on kitkavoiman F_{fr}^{lng} varsi, joka lasketaan seuraavan erotuksen absoluuttiarvona:

$$r = |K_{cg} - K_{fr}| \text{ (m)}, \quad (20)$$

jossa K_{cg} , K_{Ffr} ovat kuorman painopisteen ja kitkavoiman F_{fr}^{lng} vaikutuspisteen poikkisuuntaiset koordinaatit lattiaan tukeutumispinnan reunan suhteen, m.

$$K_{Ffr} = \frac{F_{fr1}^{lng} (b + a/2) + F_{fr2}^{lng} b/2}{F_{fr1}^{lng} + F_{fr2}^{lng}} \quad (m) \quad (21)$$

Kun $r = 0$, vääntömomentti puuttuu, jolloin mitoitus suoritetaan ainoastaan tasoliikkeen mukaan. Lisävoimat (F_{add}), jotka on saatava aikaan kiinnitysvälinein kuorman kääntymisen estämiseksi, määritetään kaavalla:

$$F_{add} = M_{fr} / l_a \quad (tf), \quad (22)$$

jossa l_a lisävoimien F_{add} vaikutuspisteiden kautta kulkevien pystytasojen välinen etäisyys, m.

Vetositeeseen syntyvän, lisävoimaa F_{add} vastaavan kuormituksen määrittämisessä otetaan huomioon vetositeen kallistuskulmat.

10.4. Kuormatun vaunun ja vaunukuorman vakauden määrittäminen

10.4.1. Kuormatun vaunun painopisteen korkeus (kuva 41) lasketaan kaavalla:

$$H_{cg}^0 = \frac{Q_{ld1} h_{cg1} + Q_{ld2} h_{cg2} + \dots + Q_{ldn} h_{cgn} + Q_t H_{cg}^v}{Q_{ld}^0 + Q_t} \quad (mm), \quad (23)$$

jossa Q_t on vaunun taarapaino, t,

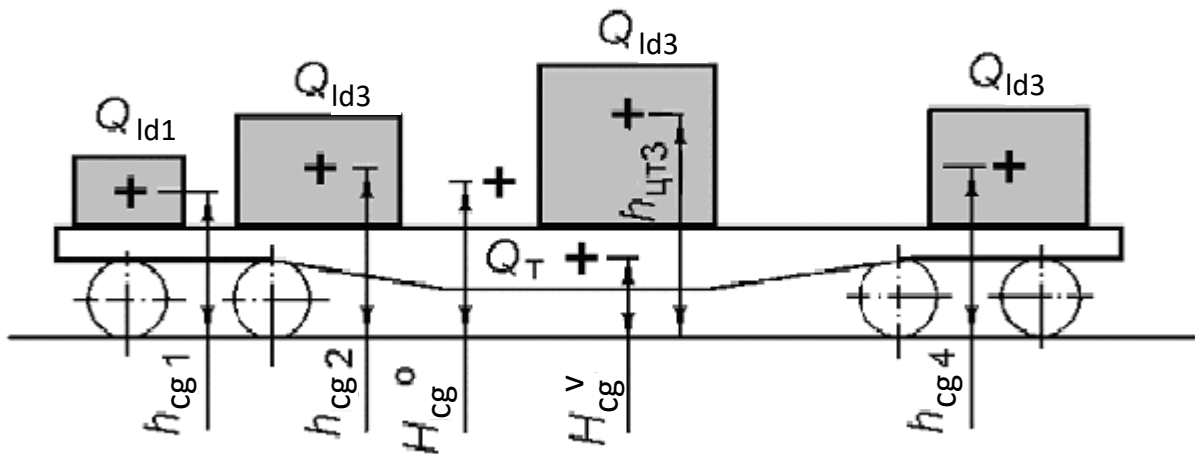
$h_{cg1}, h_{cg2}, \dots, h_{cgn}$ ovat kuormayksikköjen painopisteiden korkeudet kiskon selästä, mm ja

H_{cg}^v on tyhjän vaunun painopisteen korkeus kiskon selästä, mm (taulukko 31).

Taulukko 31

Erityyppisten vaunujen purjepinta-alat, painopisteiden korkeudet sekä p- ja q-kertoimien arvot

Vaunutyyppe	Purjepinta- ala, m ²	Tyhjän vaunun painopisteen korkeus kiskon selästä, m	Kertoimien arvot	
			p	q
4-akselinen korkealaitavaunu: - korin tilavuus enintään 77 m ³ - korin tilavuus 83-88 m ³	34 37	1,13 1,13	5,61 5,61	0,11 0,11
4-akselinen matalalaitainen avovaunu, telikeskiöväli 9720 mm: - nostetut laidat - avonaiset laidat	13 7	0,8 0,8	3,34 3,34	0,10 0,10
4-akselinen matalalaitainen avovaunu, telikeskiöväli 14400 mm: - nostetut laidat - avonaiset laidat	16 11	0,8 0,8	4,11 4,11	0,08 0,08
4-akselinen matalalaitainen avovaunu, telikeskiöväli 14720 mm	9	0,8	3,30	0,08



Kuva 41 – Kuorman ja vaunun yhteisen painopisteen korkeuden määrittäminen

10.4.2. Vaunun poikittaisvakavuus tarkistetaan, mikäli kuormatun vaunun painopisteen korkeus (tai kuormatun yhteenkytkeytyn vaunuryhmän, jossa kuorma tukeutuu yhteen vaunuun) kiskon selästä on yli 2300 mm tai mikäli kuormatun vaunun purjepinta-ala on yli 50 m².

Kuormatun vaunun poikittaisvakavuus on riittävä, jos seuraava ehto toteutuu:

$$\frac{P_c + P_v}{P_{st}} \leq 0,55, \quad (24)$$

jossa P_{st} on kiskoon kohdistuva pyörän staattinen kuormitus, tf ja

$P_c + P_v$ on pyörään kohdistuva keskipakoisvoiman ja tuulikuorman aiheuttama pystysuora lisäkuormitus, tf.

Staattinen kuormitus P_{st} määritetään seuraavilla kaavoilla.

Jos kuorma sijaitsee symmetrisesti vaunun pitkittäiseen ja poikittaiseen symmetriatasoihin nähden:

$$P_{st} = \frac{Q_t + Q_{ld^0}}{n_p} \quad (tf) \quad (25)$$

Epäkeskisyyttä vain vaunun poikkisuunnassa:

$$P_{st} = \frac{1}{n_p} (Q_t + Q_{ld^0} (1,0 - \frac{b_{off}}{S})) \quad (tf) \quad (26)$$

Epäkeskisyyttä vain vaunun pituussuunnassa (pätevä vähemmän kuormittuneelle telille):

$$P_{st} = \frac{2}{n_p} \left(\frac{Q_t}{2} + Q_{ld^0} (0,5 - \frac{l_{off}}{l_B}) \right) \quad (tf) \quad (27)$$

Epäkeskisyyttä pituus- ja poikkisuunnassa (pätevä vähemmän kuormittuneelle telille):

$$P_{st} = \frac{2}{n_p} \left(\frac{Q_t}{2} + Q_{ld^0} (0,5 - \frac{l_{off}}{l_B}) (1,0 - \frac{b_{off}}{S}) \right) \quad (tf), \quad (28)$$

jossa n_p on kuormaa kantavan vaunun pyörien määrä ja

$2S = 1580 \text{ mm}$ on pyöräkerran kulkuympyröiden välinen etäisyys.

Keskipakoisvoimien ja tuulikuorman aiheuttama pyörään kohdistuva pystysuora lisäkuormitus lasketaan kaavalla:

$$P_c + P_v = \frac{1}{n_p S} (0,075(Q_t + Q_{ld}^0) H_{cg}^0 + W_{lat} h + 1000p) (tf), \quad (29)$$

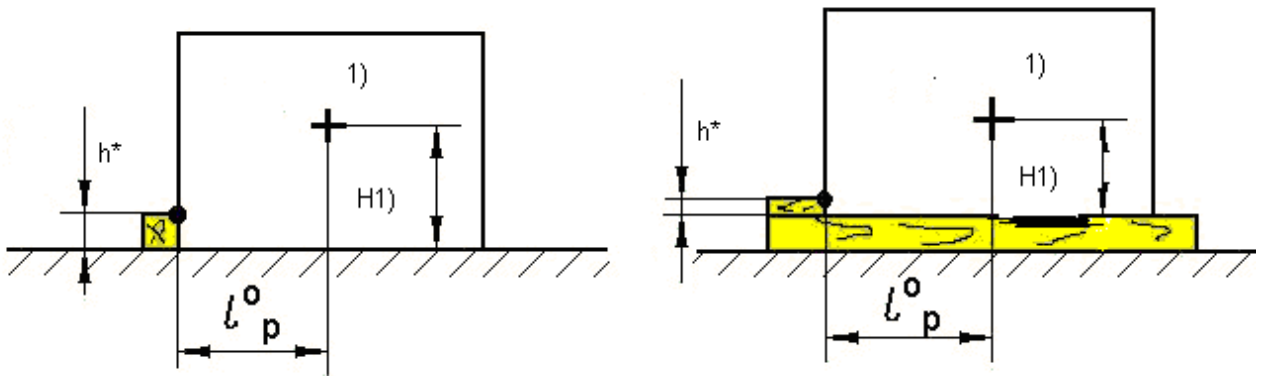
jossa W_{lat} on vaunun korista ulkoneviin kuormanosiin vaikuttava tuulikuorma, tf,
 h on kuorman purjepinta-alan geometrisen keskipisteen korkeus kiskon selästä, mm ja
 p on kerroin, jolla otetaan huomioon kuormaa kantavaan vaunuun ja sen teleihin kohdistuva tuulikuorma sekä kuorman painopisteen siirtymä jousituksen muodonmuutoksen seurauksena. p – kertoimen arvot saadaan taulukosta 25.

Kun kuorma tuetaan kahden vaunun kannatukselle, pitkiä kuormia kantavien vaunuryhmien vakauseroitto on selostettu tämän luvun kohdassa 12.

10.4.3. Siirtymän lisäksi kuorma saattaa olla vaarassa kaatua kuljetuksen aikana. Kuorman vakauseroitto kaatumista vastaan lasketaan seuraavilla kaavoilla:

- pituussuuntainen kaatuminen (kuva 42):

$$\eta_{lng} = \frac{l_{lng}^0}{a_{lng} (h_{cg} - h_{stb}^{lng})} \quad (30)$$



Kuva 42 – Pituussuuntaisen kaatumisen estävien tukien sijoitteluvaihtoehdot

1) - kuorman painopiste, H1) – kuorman painopisteen korkeus, h^* - alustukien taso

- poikkisuuntainen kaatuminen (kuva 43):

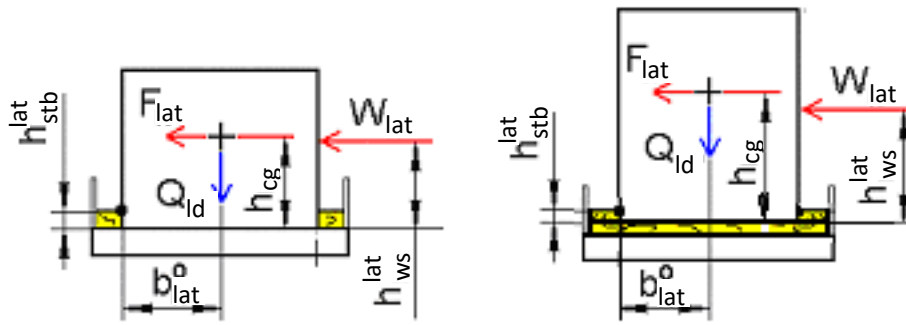
$$\eta_{lat} = \frac{Q_{ld} b_{lat}^0}{F_{lat} (h_{cg} - h_{stb}^{lat}) + W_{lat} (h_{ws}^{lat} - h_{stb}^{lat})}, \quad (31)$$

jossa l_{lng}^0 , b_{lat}^0 ovat lyhimät etäisyydet kuorman painopisteen vaakatasoprojektiosta pituus- tai vastaavasti poikkisuuntaiselle kaatumissärmälle, mm,

h_{cg} on kuorman painopisteen korkeus vaunun lattian tai alustukien tasosta, mm,

h_{stb}^{lng} , h_{stb}^{lat} on pitkittäisen/poikittaisen kaatumista estävän tuen korkeus lattian tai alustukien tasosta, mm ja

h_{ws}^{lat} on kuorman purjepinta-alan keskipisteen korkeus vaunun lattian tai alustukien tasosta, mm.



Kuva 43 – Poikkisuuntaisen kaatumisen estävien tukien sijoitteluvaihtoehdot

Jos η_{lng} ja η_{lat} –kertoimet ovat vähintään 1,25, kuorma on riittävän vakaa, eikä vaadi lisäkiinnityksiä kaatumisen varalle.

Jos η_{lng} tai η_{lat} –kerroin on alle 1,25, kuorman vakaus on varmistettava asianmukaisin kiinnityksin:

- Kuormat, joissa η_{lng} tai η_{lat} –kerroin on alle 0,8 sekä kuormat, joissa molemmat sekä η_{lng} että η_{lat} ovat alle 1,0, kuljetetaan metallikasetteja, kehikkoja, pyramideja tai muita vastaavia erikoisratkaisuja käyttäen, joiden rakenteen ja parametrit rahdinlähettäjä perustelee laskelmilla.

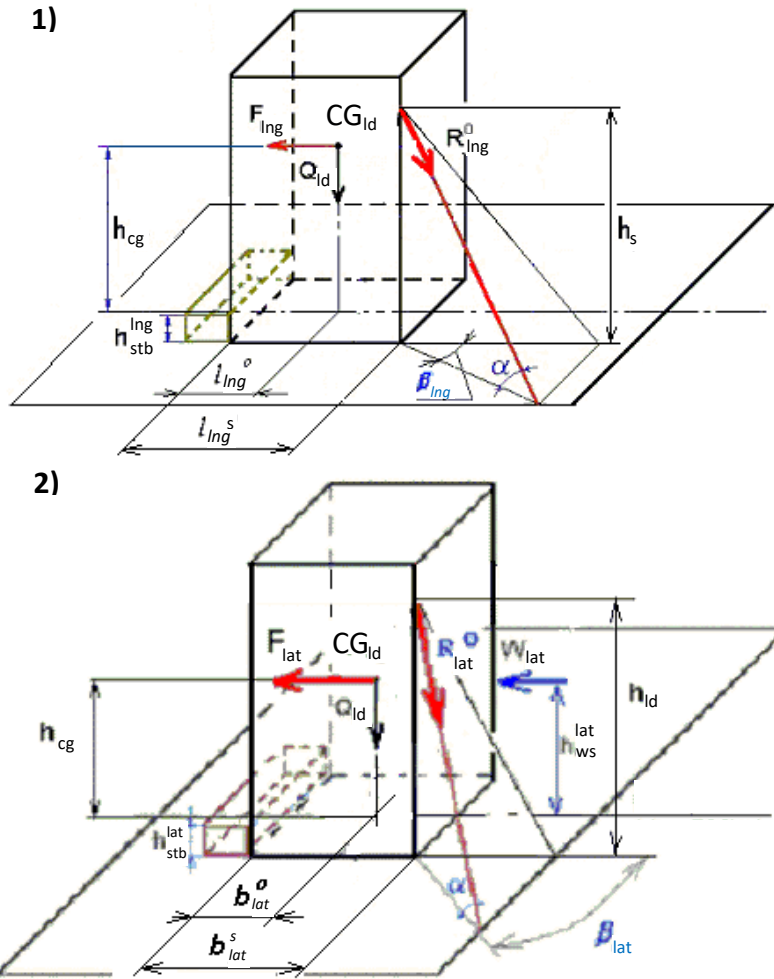
- Jos η_{lng} tai η_{lat} –kerroin on vähintään 0,8 mutta enintään 1,0, kannattaa kuorman siirtymän ja kaatumisen estävät kiinnitykset toteuttaa erillisillä, toisistaan riippumattomilla pyritään vetoside asettamaan niin, että sen vaakaprojektio on kohtisuorassa vaunun pitkittäiseen symmetriatasoon nähden ja vetositeen kiinnityskohta kuormassa on mahdollisimman korkealla.

- Jos η_{lng} tai η_{lat} –kerroin on vähintään 1,01, mutta enintään 1,25, saa kuorman siirtymän ja kaatumisen estävät kiinnitykset toteuttaa samoilla kiinnitysvälineillä, joihin kohdistuu niin pitkittäisiä kuin poikittaisia hitausvoimia.

Kun kuorma on kiinnitetty vetositein, niissä oleva kaatumista vastustava kuormitus lasketaan kaavoilla:

- pituussuunnassa (kuva 44-1):

$$R_{\text{lng}}^o = \frac{1,25 F_{\text{lng}} (h_{\text{cg}} - h_{\text{stb}}^{\text{lng}}) - Q_{\text{ld}} l_{\text{lng}}^o}{n_s^{\text{lng}} (h_s \cos \alpha \cos \beta_{\text{lng}} + l_{\text{lng}}^s \sin \alpha)} \quad (\text{tf}); \quad (32)$$



Kuva 44 – Kuorman kiinnittäminen kaatumista vastaan vetositein:

- 1) – pituussuunnassa
- 2) – poikkisuunnassa

– poikkisuunnassa (kuva 44 - 2)):

$$R_{lat}^0 = \frac{1,25(F_{lat}(h_{cg} - h_{stb}^{lat}) + W_{lat}(h_{ws}^{lat} - h_{stb}^{lat})) - Q_{Id} b_{lat}^0}{n_s^{lat} (h_s \cos \alpha \cos \beta_{lat} + b_{lat}^s \sin \alpha)} \quad (tf) \quad (32a)$$

Kaavoissa 32 ja 32a:

α vetositeen ja lattiatason välinen kulma

β_{ing} , β_{lat} vetositeen vaakatasoprojektion ja vaunun pitkittäisen tai vastaavasti poikkittaisen symmetriatason välinen kulma

n_s^{ing} , n_s^{lat} samansuuntaisten vetositeiden lukumäärä

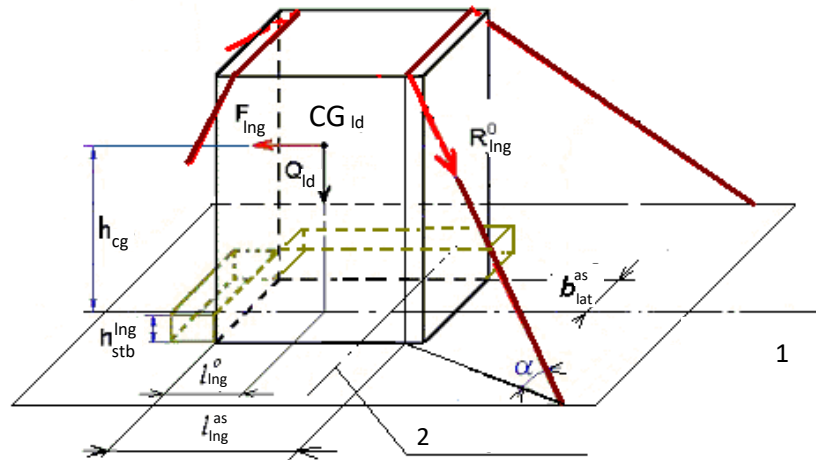
l_{ing}^s , b_{lat}^s etäisyys kuormassa olevasta vetositeen kiinnityspisteestä pituus- tai vastaavasti poikkisuuntaisen kaatumissärmän kautta kulkevaan pystytasoon, mm

h_s kuormassa olevan kiinnityskohdan korkeus vaunun lattian (alustuen) tasosta, mm.

Kun kuorman kaatumisen estämiseksi käytetään alassidontaa (kuva 45), noudatetaan seuraavia vaatimuksia:

- alassidonnat tehdään kohtisuoraan vaunun pitkittäiseen symmetriatasoon nähden

- pituussuuntainen kaatuminen estetään vähintään kahdella alassidonnalla
- alassidontojen tulee sijaita symmetrisesti kuorman painopisteen suhteen
- mikäli alassidonta tehdään tasossa, joka ei ole samansuuntainen vaunun poikittaisen symmetriatason kanssa (vinosidonta), on varmistettava sidonnan liikkumattomuus kuormassa.



Kuva 45 – Kuorman kaatumisen estävä alassidonta

1 – vaunun pituussuuntainen akseli, 2 – vaunun pitkittäissuuntainen akseli

Mikäli kaatumisen estoratkaisuna käytetään alassidontaa, siteissä oleva kuormitus lasketaan seuraavilla kaavoilla:

- pituussuunnassa

$$R_{\text{ing}}^0 = \frac{1,25 F_{\text{ing}} (h_{\text{cg}} - h_{\text{stb}}^{\text{ing}}) - Q_{\text{id}} l_{\text{ing}}^0}{2n_{\text{as}}^{\text{ing}} l_{\text{ing}}^{\text{as}} \sin \alpha} \quad (\text{tf}); \quad (33)$$

- poikkisuunnassa

$$R_{\text{lat}}^0 = \frac{1,25(F_{\text{lat}} (h_{\text{cg}} - h_{\text{stb}}^{\text{lat}}) + W_{\text{lat}} (h_{\text{ws}}^{\text{lat}} - h_{\text{stb}}^{\text{lat}})) - Q_{\text{id}} b_{\text{lat}}^0}{2n_{\text{as}}^{\text{lat}} b_{\text{lat}}^{\text{as}} \sin \alpha} \quad (\text{tf}), \quad (33a)$$

jossa $n_{\text{as}}^{\text{ing}}$, $n_{\text{as}}^{\text{lat}}$ on samansuuntaisten siteiden lukumäärä, $l_{\text{ing}}^{\text{as}}$ on etäisyys kuormaa kaartavasta siteestä pitkittäiskaatumissärmän kautta kulkevaan pystytasoon, mm ja $b_{\text{lat}}^{\text{as}}$ on etäisyys kuorman painopisteen lattiatasoprojektioista poikittaiskaatumissärmän kautta kulkevaan tasoon, mm. Muut merkinnät kuten kaavoissa 32 ja 32a.

10.5. Kiinnitysvälineiden valinta ja mitoitus. Enimmäiskuormitus, tf Uudelleenkäytettävät kiinnitysvälineet

Kuorman muodosta, teknisistä arvoista, mahdollisten siirtymien luonteesta ja muista tekijöistä riippuen se kiinnitetään vetositeillä, alassidonnoilla, tuki- ja välitukiklosseilla, kuljetustuilla tai muilla kiinnitysvälineillä (taulukko 32).

Pyörä- ja telaketjukuluston, jonka kuormaus perustuu kuormaus suunnitelmaan, vaakatasossa kääntyvä osa sekä koottu tai osittain purettu puomi kiinnitetään kuorman teknisen aineiston vaatimalla tavalla sekä Kuormausmääräysten luvun 7 kohdan 8 tai luvun 8 kohtien 2.6.2 ja 2.6.3 ohjeita noudattaen.

Kiinnitysvälineiden valintasuosituksukset

Kuorma	Kuorman mahdolliset siirtymät	Kiinnitysvälinesuosituksukset
Tasapohjaiset kappaleetavarat	Pitkittäis- tai poikittaissiirtymät	Tuki- ja välitukiklossit, veto- ja alassidonta
	Pituus- tai poikkisuuntainen kaatuminen	Veto- ja alassidonta, tukiklossit kasetit, kehikot, pyramidit jne.
Lieriömäiset kyljelleen asetettavat kuormat	Pitkittäis- tai poikittaissiirtymät	Tuki- ja välitukiklossit, veto- ja alassidonta
	Vierintä vaunun pituus- tai poikittaissuunnassa	Tukiklossit, kuljetusalustat; veto- ja alassidonta
Pyöräkalusto	Vierintä vaunun pituus- tai poikittaissuunnassa	Tukiklossit, vetosidonta, uudelleenkäytettävät pyörävasteet
	Pitkittäis- tai poikittaissiirtymät	Tuki- ja välitukiklossit, vetosidonta
Tasapohjaiset pinottavat kuormat	Koko pinon tai eri yksikköjen pitkittäis- tai poikittaissiirtymät	Tuki- ja välitukiklossit, kiinni-, veto- ja alassidonta, suojakilvet, pylväät, kehikot ja kasetit
Pitkät kuormat	Pitkittäis- tai poikittaissiirtymät	Veto- ja alassidonta, suojakilvet ja pylväät
	Poikkisuuntainen kaatuminen	Veto- ja alassidonta, pönkät, tukiklossit ja kuljetusalustat

10.5.1. Kiinnitysvälineisiin kohdistuvat pituussuuntainen ΔF_{lng} ja poikkisuuntainen ΔF_{lat} kuormitukset määritetään kaavoilla:

$$\Delta F_{\text{lng}} = F_{\text{lng}} - F_{\text{fr}}^{\text{lng}} \text{ (tf)} \quad (34)$$

$$\Delta F_{\text{lat}} = n (F_{\text{lat}} + W_{\text{lat}}) - F_{\text{fr}}^{\text{lat}} \text{ (tf)}, \quad (35)$$

jossa n on kerroin, joka on 1,0 mikäli kuorma ja kiinnitys suunnitellaan kuormausmääraysten mukaisesti, tai 1,25 kuormaussuunnitelman mukaisesti.

Kuormitus voi kohdistua yhteen tai useampaan kiinnitysvälinetyyppiin:

$$\Delta F_{\text{lng}} = \Delta F_{\text{lng}}^{\text{s}} + \Delta F_{\text{lng}}^{\text{kl}} + \Delta F_{\text{lng}}^{\text{as}} \text{ (tf)} \quad (36)$$

$$\Delta F_{\text{lat}} = \Delta F_{\text{lat}}^{\text{s}} + \Delta F_{\text{lat}}^{\text{kl}} + \Delta F_{\text{lat}}^{\text{as}} \text{ (tf)}, \quad (37)$$

jossa $\Delta F_{\text{lng}}^{\text{s}}$, $\Delta F_{\text{lat}}^{\text{s}}$, $\Delta F_{\text{lng}}^{\text{kl}}$, $\Delta F_{\text{lat}}^{\text{kl}}$, $\Delta F_{\text{lng}}^{\text{as}}$, $\Delta F_{\text{lat}}^{\text{as}}$ ovat pituus- tai poikkisuuntaisen kuormituksen osat, jotka kohdistuvat vastaavasti vetositeisiin, parruihin/klosseihin ja alassidontaan.

Suunniteltaessa kuorman pitkittäissiirtymän estävää kiinnitysratkaisua on pyrittävä siihen, että kuorman paikallaan pysyminen saadaan varmistettua jollakin yhdellä kiinnitysvälinetyypillä.

Jos kitkakerroin μ_2 alustuen ja lattian välillä on pienempi kuin kitkakerroin μ_1 kuorman ja alustuen välillä ($\mu_2 < \mu_1$), kitkavoimien $F_{\text{fr}}^{\text{lng}}$ ja $F_{\text{fr}}^{\text{lat}}$ toteutuminen edellyttää, että aluspuut naulataan vaunun lattiaan. Naulamäärä alustukien kiinnitykselle lasketaan kaavalla:

$$n_{\text{nl}}^{\text{lat}} = 1000 Q_{\text{ld}}(\mu_1 - \mu_2) / R_{\text{nl}} \text{ (kpl)}, \quad (38)$$

jossa R_{nl} on yhteen naulaan kohdistuva enimmäiskuormitus, otetaan taulukosta 35.

10.5.2. Kun kuorman paikallaan pysyminen varmistetaan vetositein (kuva 46a), vetositeissä olevat kuormitukset määritetään seuraavilla kaavoilla ottaen huomioon kuormitusvoimien pystykomponenttien aiheuttama kitkavoimien kasvu:

– pituussuunnassa vaikuttavista voimista:

$$R_s^{lng_i} = \frac{\Delta F_{lng}}{\Sigma(n_s^{lng_i} (\mu \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_{lng_i}))} (tf) \quad (39)$$

– poikkisuunnassa vaikuttavista voimista:

$$R_s^{lat_i} = \frac{\Delta F_{lat}}{\Sigma(n_s^{lat_i} (\mu \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_{lat_i}))} (tf), \quad (40)$$

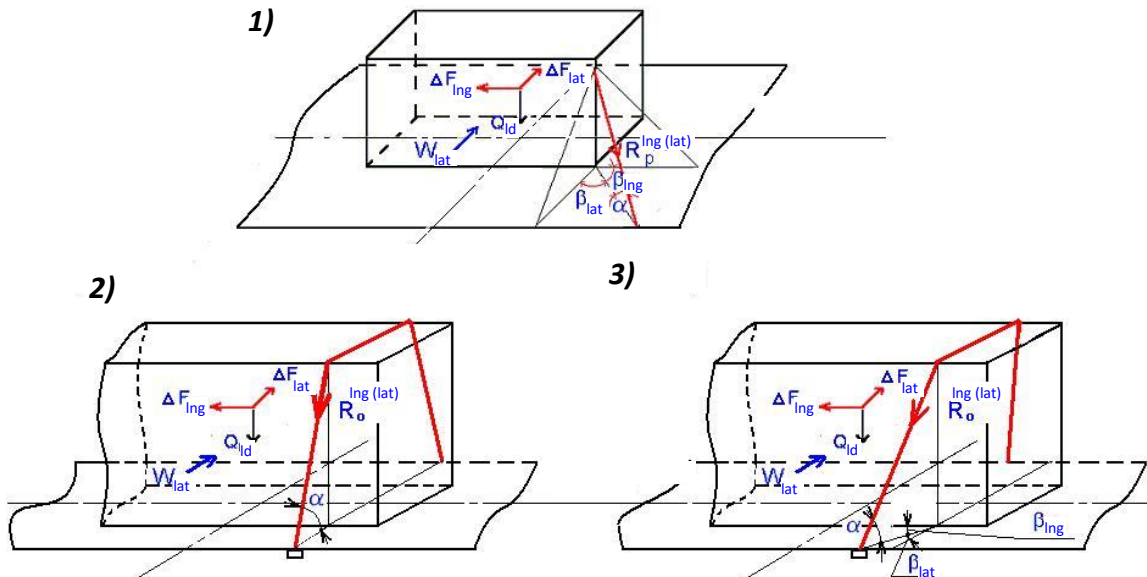
jossa $R_s^{lng_i}$, $R_s^{lat_i}$ on kuormitus vetositeessä nro i ja $n_s^{lng_i}$, $n_s^{lat_i}$ on samanaikaisesti ja samaan suuntaan vetävien vetositeiden lukumäärä, joiden kulmat α_i , β_{lng_i} ja β_{lat_i} ovat samat

α_i on vetositeen nro i ja vaunun lattian välinen kulma

β_{lng_i} , β_{lat_i} on vetositeen nro i lattiatasoprojektion sekä vaunun pitkittäisen tai vastaavasti poikittaisen symmetriatason välinen kulma

μ on kitkakerroin kuorman ja vaunun lattian (alustuen) keskenään kosketuksissa olevien pintojen välillä.

Jos vetositeitä käytetään estämään sekä kuorman siirtymistä että sen kaatumista, ne tulee mitoittaa summakuormitusten $(R_s^{lng} + R_{lng}^o)$ ja $(R_s^{lat} + R_{lat}^o)$ perusteella.



Kuva 46 – Veto- ja alassidonnan kuormituskaaviot mitoitus varten
1) – vetosidonta 2) – alassidonta 3) - vinosidonta

Vetositeen lankojen määrä tai sen poikkipinta määritetään suuremman kuormituksen $(R_s^{lng} + R_{lng}^o)$ tai $(R_s^{lat} + R_{lat}^o)$ perusteella taulukoista 33 ja 34.

Jos käytetään metallilankaisia vetositeitä, jotka liittyvät samaan kuormaan ja ovat samansuuntaisia ja joiden pituuksissa on yli 2-kertainen ero tai jos niiden ja vaunun lattian väliset kulmat ovat erisuuruisia, vetositeet mitoitetaan tämän luvun liitteessä 3 esitetyn menetelmän mukaan. Yli 4 metriä pitkä metallilangasta tehty vetosidonta ei ole suositeltavaa.

Taulukko 33

Rautalangasta tehtyjen kiinnitysvälineiden enimmäiskuormitukset
langan paksuudesta ja lankojen määrästä riippuen (kgf)

Lankoja kpl	Langan paksuus, mm									
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,3	6,5	7,0	7,5	8,0
2	<u>270</u>	<u>350</u>	<u>430</u>	<u>530</u>	<u>620</u>	<u>680</u>	<u>730</u>	<u>850</u>	<u>970</u>	<u>1100</u>
	440	560	680	840	980	1080	1150	1350	1550	1750
4	<u>540</u>	<u>700</u>	<u>860</u>	<u>1060</u>	<u>1240</u>	<u>1360</u>	<u>1460</u>	<u>1700</u>	<u>1940</u>	<u>2200</u>
	880	1120	1360	1680	1960	2160	2300	2700	3100	3500
6	<u>810</u>	<u>1050</u>	<u>1290</u>	<u>1590</u>	<u>1860</u>	<u>2040</u>	<u>2190</u>	<u>2550</u>	<u>2910</u>	<u>3300</u>
	1320	1680	2040	2520	2940	3240	3450	4050	4650	5250
8	<u>1080</u>	<u>1400</u>	<u>1720</u>	<u>2120</u>	<u>2480</u>	<u>2720</u>	<u>2920</u>	<u>3400</u>	<u>3880</u>	<u>4400</u>
	1760	2240	2720	3360	3920	4320	4600	5400	6200	7000

Huomautus: Osoittajassa kuormaussuunnitelman mukaista kiinnitystä vastaavat luvut. Nimittäjässä kuormausmääräysten mukaista kiinnitystä vastaavat luvut.

10.5.3. Jos kuorman pitkittäis- tai poikittaissiirtymän estämiseen käytetään vaunun poikittaisen symmetriatason kanssa samansuuntaisessa tasossa tehtyä alassidontaa (kuva 46-2)), alassidonnassa oleva kuormitus lasketaan seuraavilla kaavoilla:

- pituussuunnassa vaikuttavista voimista:

$$R_{as}^{ing} = \frac{\Delta F_{ing}^{as}}{2 n_{as} \mu \sin \alpha} \quad (tf) \quad (41)$$

- poikkisuunnassa vaikuttavista voimista:

$$R_{as}^{lat} = \frac{\Delta F_{lat}^{as}}{2 n_{as} \mu \sin \alpha} \quad (tf), \quad (42)$$

jossa n_{as} on sidontakertojen määrä.

Kuorman pituus- ja poikkisuuntaisen siirtymän estämiseen saa käyttää ns. vinosuuntaista alassidontaa eli sidontaa, jonka taso on kohtisuorassa vaunun pitkittäiseen symmetriatasoon nähden, muttei ole samansuuntainen vaunun poikittaisen symmetriatason kanssa (kuva 46-3)).

Tällöin kuorman kiinnitys mitoitetaan seuraavasti:

- pituussuunnassa: mitoitus tapahtuu tämän luvun kohdan 11.5.2 mukaisesti, jolloin oletuksena on, että jokainen alassidontan sivuhaara vastaa yhtä vetosidettä. Alassidontahaaroissa oleva kuormitus määritetään kaavalla:

$$R_{as}^{lng} = 1,2 R_s^{lng} (tf), \quad (43)$$

jossa R_s^{lng} on vetositeessä oleva kuormitus, joka on laskettu kaavalla (39), kun $n_s^{lng} = 2 n_{as}$
– poikkisuunnassa: mitoitus tapahtuu kaavalla

$$R_{as}^{lat} = \frac{\Delta F_{lat}^{as}}{2 n_{as} \mu \sin \alpha \cos \beta_{lat}} (tf), \quad (44)$$

jossa β_{lat} on alassidontahaaran lattiatasoprojektion ja vaunun poikittaisen symmetriatason välinen kulma.

10.5.4. Veto- ja alassidonnassa siteiden (paitsi lankasiteet) poikkipinta-ala lasketaan kaavalla:

$$S = \frac{1000 R}{[\sigma]} (cm^2), \quad (45)$$

jossa R on veto- tai alassidonnassa siteessä oleva kuormitus, tf ja
[σ] on sallittu vetojännitys, joka otetaan taulukosta 34 teräslajin mukaan.

Taulukko 34

Teräskiinnitysosien suurimmat sallitut jännitykset kuormituslajeittain

Kuormituslaji	Suurin sallittu jännitys kgf/cm ²
Veto / puristus	1650
Ks. edellinen	1850
Taivutus	1650
Ks. edellinen	1850
Leikkaus	1200
Litistytminen	2500
Veto (koskee pultteja)	1400

10.5.5. Kun kuorman siirtymän estämiseen käytetään klosseja naulaamalla ne vaunun lattiaan kiinni, naulamäärä/tuki- tai välituliklossi lasketaan kaavoilla:

– pituussuuntaisten voimien kompensointi:

$$n_{nl} = \frac{1000 \Delta F_{lng}^{kl}}{n_{kl}^{lng} R_{nl}} (kpl) \quad (46)$$

– poikkisuuntaisten voimien kompensointi:

$$n_{nl} = \frac{1000 \Delta F_{lat}^{kl}}{n_{kl}^{lat} R_{nl}} (kpl), \quad (47)$$

jossa n_{kl}^{lng} , n_{kl}^{lat} yhtäaikaaisesti samassa suunnassa vaikuttavien klossien määrä ja
 R_{nl} on suurin sallittu naulakohtainen kuormitus, joka otetaan taulukosta 35.

Suurin sallittu naulakohtainen kuormitus

Naulan paksuus, mm	Naulan pituus, mm	Suurin sallittu naulakohtainen kuormitus, kgf
4,0	100-120	47
5,0	100-150	75
6,0	150-200	108
8,0	250	192

10.5.6. Lieriömuotoiset kuormat tai pyöräkalusto kiinnitetään vierintää vastaan klosseilla, uudelleenkäytettävillä tukivälineillä (esim. kuljetustuki, tukikehikko tai pyörävaste) tai tukiparruilla/-klosseilla yhdistettynä veto- tai alassidontaan. Jos lieriömuotoisten kuormien tai pyöräkaluston kiinnitykseen vierintää vastaan ei käytetä muuta kuin puuklosseja tai uudelleenkäytettäviä tukivälineitä, lasketaan tuentakorkeus (kuva 47) seuraavilla kaavoilla:

– vierintä vaunun pituussuunnassa:

$$h_t^{\text{lng}} = r \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (1,25 a_{\text{lng}})^2}} \right) \text{ (mm)} \quad (48)$$

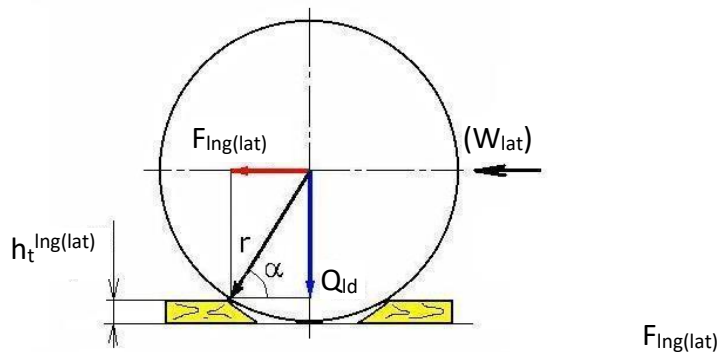
– vierintä vaunun poikkisuunnassa:

$$h_t^{\text{lat}} = r \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} \right) \text{ (mm)}, \quad (49)$$

jossa

$$\varepsilon = 1,25 (a_{\text{lat}}/1000 + W_{\text{lat}}/Q_{\text{ld}}), \quad (50)$$

jossa r on kuorman vierintäympyrän säde, mm; 1,25 on kuorman vierintävakauden varmuuskerroin.



Kuva 47 – Kuorman kiinnittäminen tukiklosseilla vierintää vastaan

Yhden tukiklossin naulamäärä lasketaan kaavoilla:

– vierintä vaunun pituussuunnassa:

$$n_{\text{nl}}^{\text{lng}} = \frac{1000 F_{\text{lng}} (1 - \mu_1 \tan \alpha)}{n_{\text{kl}}^{\text{lng}} R_{\text{nl}}} \text{ (kpl)} \quad (51)$$

– vierintä vaunun poikkisuunnassa:

$$n_{nl}^{lat} = \frac{1000 (F_{lat} + W_{lat}) (1 - \mu_1 \operatorname{tg} \alpha)}{n_{kl}^{lat} R_{nl}} \quad (\text{kpl}), \quad (52)$$

jossa μ_1 on liukukitkakerroin tukiklossin ja sen vastapinnan (vaunun lattian tai alustuen) välillä, johon klossi on kiinnitetty.

10.5.7. Jos lieriömuotoinen kuorma on kiinnitetty vierintää vastaan tukiklosseilla yhdistettynä alassidontaan (kuva 48), määritetään alassidonnassa oleva kuormitus seuraavalla kaavalla:

$$R_{lat}^{as} = \frac{1,25[F_{lat} (D/2 - h_{stb}^{lat}) + W_{lat} (h_{ws}^{lat} - h_{stb}^{lat})] - Q_{ld} b_{lat}^0}{n_{as}^{lat} b_{kaat}} \quad (\text{tf}), \quad (53)$$

jossa n_{as}^{lat} on alassidontojen lukumäärä,

D on kuorman halkaisija, mm ja

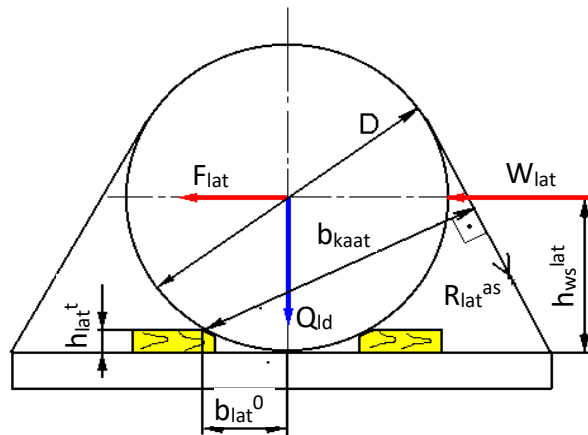
b_{kaat} on kaatumissärmän ja alassidonnan välisen lyhimmän janan projektiio vaunun poikittaiseen symmetriatasoon, mm.

Kuormitukset lieriökuorman vierinnän estävissä vetositeissä lasketaan kaavoilla 32 ja 32a.

Tukiklossien korkeus on tällöin:

- pituussuuntaisen vierinnän esto: vähintään $0,1 D$
- poikkisuuntaisen vierinnän esto: vähintään $0,05 D$.

Yhden tukiklossin kiinnitykseen käytettävä naulamäärä lasketaan kaavoilla 51 ja 52.



Kuva 48 – Lieriömuotoisen kuorman kiinnittäminen vierintää vastaan tukiklosseilla ja metallilankasiteillä (alassidonta)

10.5.8. Irrotettavien puusta tehtyjen kiinnitysvälineiden ja lattialankkujen taivutus-, puristus- ja painumismitoitus lasketaan kaavoilla:

$$\sigma_{taiv} = \frac{M}{W} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (54)$$

$$\sigma_{pur} = \frac{1000 F}{S_o} \quad (\text{kgf/cm}^2), \quad (54a)$$

jossa M on taivutusmomentti, kgf cm

$W = bh^2 / 6$ on poikkipinnaltaan suorakaiteen muotoisen klossin taivutuksen vastustusmomentti, cm^3 .

b on klossin leveys, cm,

h on klossin korkeus, cm,

F on kiinnitysosaan vaikuttava puristus- tai litistymiskuormitus, tf ja

S_o on kuormituksen **F** vastaanottavien osien kokonaispinta-ala, cm^2 . Kuormitus **F** määritetään tuki- ja välitukiklosseille kaavoilla 34 ja 35 ja alus- ja välituille (-puille) seuraavalla kaavalla:

$$F = Q_{ld} + F_v + 2n R \sin \alpha \text{ (tf)}, \quad (54b)$$

jossa **n** on sellaisten alassidontojen tai vetosideparien määrä, jotka estävät kuorman liikkumasta pituus- tai/ja poikkisuunnassa ja vetävät samassa suunnassa samanaikaisesti ja

R on vetositeessä tai alassidonnassa vaikuttava kuormitus, tf.

Matalalaitaisen avovaunun lattia tehdään 1. laatuluokan kuusi- tai mäntylankuista, joiden paksuus on 48 – 55 mm ja leveys 150 mm.

Jännitykset eivät saa ylittää havupuulajeille (kuusi tai mänty) määrättyjä enimmäisarvoja, ks. taulukko 36.

Taulukko 36

Havupuulajeille (kuusi tai mänty) sallitut enimmäisjännitykset

Jännityksen tyyppi	Suurin sallittu jännitys, kgf/cm ²	
	irrotettavat kiinnitysosat	vaunun osat
Taivutus	120	85
Puusyiden suuntainen veto	85	60
Puusyiden suuntainen puristus tai painuminen	120	85
Puristus tai painuminen puusyiden poikkisuuntaan	18	12
Paikallinen puusyiden poikkisuuntainen litistymisen pituuden osalla (mikäli osan vapaan päään pituus on vähintään 100 mm:n kuitenkin vähintään osan paksuuden suuruinen)	30	20
Paikallinen litistymisen pulttien aluslevyjen alla kuormituksen välittyessä puusyiden poikkisuuntaan (kohtisuoraan tai vähintään 60° kulmassa)	40	—
Lohkeaminen vinouraliitoksesta edellyttäen, että lohkeaman pituus on enintään 2 x liitettävän elementin täyspaksuus tai 10 x uurteen syvyys:		
puusyiden suuntaisesti	12	—
puusyiden poikkisuuntaan	6	—
Puusyiden suuntainen lohkeama lape-syrjäliitoksesta edellyttäen, että lohkeaman pituus on enintään 5 x elementin täysi paksuus liitoskohdassa liitoskulman ollessa:		
alle 30°	6	—
vähintään 30°	4	—
Leikkaus puusyiden poikkisuuntaan	55	40

Käytettäessä muita puulajeja taulukon 36 jännityksen suurin sallittu arvo kerrotaan taulukosta 37 saatavalla muuntokertoimella.

Muuntokertoimet enimmäisjännitysten määrittämiseen muille puulajeille

Puulaji	Muuntokerroin enimmäisjännityksen määrittämiseen		
	Veto, taivutus, puristus tai puusyiden suuntainen painuminen	Puristus ja painuminen puusyiden poikkisuuntaan	Lohkeaminen
Lehtikuusi	1,2	1,2	1,0
Mänty, kuusi, pihta	0,8	0,8	0,8
Tammi, saarni, valkopyökki, vaahtera, valeakaasia	1,3	2,0	1,6
Koivu	1,1	1,6	1,3