

# KUMILEVYLAAKERIEN SUUNNITTELU

TIE-JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
SILLANSUUNNITTELUTOIMISTO  
TVH 722044

HELSINKI 1979



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS

Sillansuunnittelutoimisto

Helsinki 13.12.1979

No Sss-500/Ta 180/7 1979  
Viite TVH:n kirje nro S-2583,  
25.11.1974

Kaikki tie- ja vesirakennuspiirit  
Suunnittelutoimistot/Jakeluluettelo

Asia Ohje "Kumilevylaakerien suunnittelu" TVH 722044

Viitekirjeellä lähetettiin asiakohdassa mainittu ohje sillansuunnittelussa käytettäväksi.

Ohjeeseen on tehty pieniä muutoksia koskien kumin liukumodulille asetettavia vaatimuksia ja kumilevylaakerin merkintää piirustuksissa. Samassa yhteydessä on uusittu kaavake TVH 722094, Tiedot laakerista.

Oheisena lähetetään edellä mainittu ohje sillansuunnittelussa käytettäväksi. Aikaisempi ohje poistetaan käytöstä.

Ohjetta ja siihen liittyviä kaavakkeita on saatavana TVH:n lomakevarastosta P1 20, 00131 Helsinki 13, puh. 90-7094471.

Osastopäällikkö

  
E.A. Hietanen

Toimiston päällikkö  
Yli-insinööri

  
Yrjö Punnonen

LIITTEENÄ: Julkaisu TVH 722044

TIEDOKSI: S  
+ ohje Rsr, 5 kpl  
Sss:n teknillinen henkilökunta  
Kirjasto/TOHKE, kohta C 2.3.2.3

MKu/MeK

Vastauksessa pyydetään viittaamaan kirjelmän numeroon ja päiväkseen

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
Sillansuunnittelutoimisto

OHJE  
12.12.1979

KUMILEVYLAAKERIEN SUUNNITTELU

SISÄLLYSLUETTELO

1. YLEISTÄ
2. MERKINNÄT
3. KUMILEVYLAAKERIN TOIMINTA JA RAKENNE
4. SUUNNITELMA JA LASKELMAT
5. VARMUUSTARKASTELU
6. LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT ARVOT
7. MUITA OHJEITA

KIRJALLISUUTTA

- LIITE 1. AINEIDEN LAATU
- LIITE 2. VAKIOKOKOISET KUMILEVYLAAKERIT
- LIITE 3. LASKUESIMERKKI

1. YLEISTÄ

- 1.1 Tämä ohje koskee siltojen maa- ja välituilla sekä päällysrakenteen nivelkohdissa tai siltojen muissa vastaavissa kohdissa, pääasiassa pystysuoran kuorman vastaanottamiseksi käytettäviä suorakaiteen muotoisia kumilevylaakereita. Käytettäessä kumilevylaakereita muissa sillan kohdissa, kuten esimerkiksi kansirakenteen ja maatuen välisessä pystysaumassa, on tätä ohjetta noudatettava soveltaen.
- 1.2 Tässä ohjeessa esitetyt vaatimukset täyttäviä kumilevylaakereita voidaan käyttää koko maassa. Kuitenkin laakerien toimintakyvyn säilyttämiseksi Oulun ja Kajaanin kautta vedetyn suoran pohjoispuolella ei tule käyttää sellaista kumiainetta, jonka liukumodulin kasvu on suurempi kuin 50 % kumin lämpötilan aletessa + 20°C:sta - 30°C:een.
- 1.3 Ohje perustuu kirjallisuusaineistoon, jota on täydennetty Suomen olosuhteet huomioon ottavilla tutkimus- ja koetuloksilla

2. MERKINNÄT

$a, b$	laakerin sivumitat ( $a \leq b$ )
$d$	nettokorkeus ( $d = nt + 2 t_u$ )
$h$	kokonaiskorkeus ( $h = d + (n+1) t_s$ )
$k_V, k'_V$	sivusuhteesta $a/b$ riippuvia taulukossa 3 an-
$k_\varphi, k'_\varphi, k_w$	nettuja kertoimia
$k_M, k'_M$	
$n$	sisempien kumilevyjen lukumäärä
$t$	sisempien kumilevyjen paksuus
$t_u$	uloimpien kumilevyjen paksuus
$t_s$	teräslevyjen paksuus
$u (u')$	laakerin yläpinnan siirtymä alapintaan nähden sivun $a$ ( $b$ ) suunnassa
$w$	laakerin keskimääräinen kokoonpuristuma pysty- suunnassa
$G$	kumiaineen liukumoduli
$H (H')$	vaakavoima sivun $a$ ( $b$ ) suunnassa
$H_{res}$	resultoiva vaakavoima
$M (M')$	kulmakiertymän $\varphi$ ( $\varphi'$ ) aiheuttama momentti
$V$	pystykuorma
$\gamma$	liukukulma kumissa
$\mu$	kitkakerroin
$\varphi (\varphi')$	laakerin yläpinnan kiertymä alapintaan nähden kiertymisen tapahtuessa sivun $b$ ( $a$ ) suuntaisen akselin ympäri
$\delta$	keskimääräinen puristusjännitys laakerin alla
$\tau (\tau')$	kumin leikkausjännitys sivun $a$ ( $b$ ) suunnassa

### 3. KUMILEVYLAAKERIN TOIMINTA JA RAKENNE

- 3.1 Kumilevylaakerin on toimittava moitteettomasti niissä olosuhteissa, joiden alaiseksi se rakenteessa joutuu. Kumilevylaakerin avulla voidaan
- siirtää pystykuormia rakenneosasta toiseen
  - tehdä mahdolliseksi toisiinsa liittyvien rakenneosien keskinäiset liikkeet
  - siirtää haluttu tai tietty osa vaakavoimia rakenneosasta toiseen
- 3.2 Kumilevylaakerin tulee kestää pitkään ilmaston vaikutusta sekä säilyttää toimintakykynsä vielä  $-40^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa.
- 3.3 Kumilevylaakeri voi vaakasuoriin siirtymiin nähden olla kiinteä tai liikkuva. Kiinteä laakeri on aikaansaatu estämällä laakerin ylä- ja alapinnan keskinäinen liike vaakasuunnassa.
- 3.4 Kumilevylaakeri muodostuu kumilevyistä ja niiden välissä olevista tasapaksuista teräslevyistä. Kumilevyt kiinnitetyvät teräslevyihin vulkanoimalla. Laakerien sivupintoihin on lisäksi vulkanoitu vähintään 2 mm paksu kumikerros. Ruostumattomia teräslevyjä käytettäessä voi sivupintojen kumikerros myös puuttua.
- 3.5 Kumilevylaakeriin käytettävän kumiaineen tulee täyttää liitteessä 1 mainitut laatuvaatimukset. Uloimpien kumilevyjen paksuuden on oltava vähintään 2,5 mm. Sisempien kumilevyjen tulee yleensä olla keskenään samanpaksuisia ja paksuudeltaan 5...12 mm. Laakerien kumikerrosten yhteenlasketun paksuuden tulee olla vähintään 1/10 ja enintään 1/5 laakerin pienemmästä sivumitasta.
- 3.6 Teräslevyjen on oltava vähintään laatua Fe 37 B SFS 200 ja paksuudeltaan vähintään 2 mm. Levyjen särmien on oltava pyöristettyjä kumin irtaantumisen välttämiseksi.



#### 4. SUUNNITELMA JA LASKELMAT

- 4.1 Siltasuunnitelman piirustuksissa esitetään tiedot, jotka riittävät yksikäsitteisesti määrittelemään käytettäväksi aiotun laakerin. Kumilevylaakerista esitetään kyseessä olevan tuen piirustuksessa laakerin koko ja käyttöaluetta koskeva tunnus, laakeripiirustuksen numero ja kyseistä kokoa olevien laakerien lukumäärä, esim. Kumilevylaakeri 200x400x52 PS, piir. nro..., 3 kpl. Käyttöaluetta koskevalla tunnuksella ilmoitetaan onko laakeri tarkoitettu käytettäväksi koko maassa (PS) tai ainoastaan Etelä-Suomen olosuhteissa, Oulu-Kajaani -linjan eteläpuolella (ES).
- 4.2 On pyrittävä käyttämään TVH:n siltaosaston tyyppi- ja piirustuksen nro R15/DB 52 mukaisia vakiolaakereita, joista on esitetty luettelo liitteessä 2.  
Käytettäessä muita kuin edellä mainittuja TVH:n vakiolaakereita on laakereista esitettävä piirustus, josta käyvät ilmi kaikki laakerin valmistamiseksi tarvittavat tiedot.
- 4.3 Laskelmissa esitetään kullekin laakerille yhteenvetotaulukko laakerin mitoista ja mitoitusarvoista sekä suoritetaan vaaditut varmuustarkastelut. Nämä tarkastelut voi tehdä sitä varten suunnitelluilla lomakkeilla liitteessä 3 esitetyn mallin mukaisesti. Laakeriin liittyvien rakenteiden mitoitusta varten esitetään tarvittaessa myös laakerin kautta siirtyvät tai sen muodonmuutoksista aiheutuvat voimat ja momentit sekä laakerin kokoonpuristuma ja siirtymät.
- 4.4 Tarkasteluja ei tarvitse yleensä suorittaa muuta kuin laakerin sen sivun suunnassa, jossa jännitykset ovat suuremmat. Jos kuitenkin jännitykset ja muodonmuutokset molempien sivujen suunnissa ovat suuria, eikä vaarallisinta suuntaa voida osoittaa, on tarkastelut tehtävä molemmissa suunnissa.
- 4.5 Eri tarkasteluissa on käsiteltävä sellaiset kuormayhdistelmät, jotka ovat vaikutukseltaan määrääviä. Yleensä kuitenkin riittää, että laakeri tutkitaan yhdistelmille, joissa vuorollaan kullakin osakuormalla on ääriarvo. Tutkittavien kuorma-

yhdistelmien lukumäärän vähentämiseksi voidaan usein myös menetellä siten, että tarkastelut suoritetaan yhdistelmillä, jotka on muodostettu edellä mainittujen yhdistelmien osakuormien ääriarvoista. Kokonaisuuden kannalta epätaloudellista ylimitoitusta on kuitenkin vältettävä. Tutkittavien kuormayhdistelmien koostumus tulee esittää.

## 5. VARMUUSTARKASTELUT

### 5.1 Laakerin luotettavuuden osoittamiseksi vaaditaan seuraavat tarkastelut:

- Jännitystarkastelu
- Muodonmuutostarkastelu
- Liukuvarmuustarkastelu

Jännitystarkasteluun, jolla osoitetaan, että laakerilla on riittävä varmuus murtoon nähden, kuuluu leikkausjännitystarkastelu ja puristusjännitystarkastelu. Muodonmuutostarkasteluun, jolla osoitetaan, etteivät laakerin muodonmuutokset tule haitallisiksi laakerin toiminnalle, kuuluu siirtymätarkastelu ja kokoonpuristumatarkastelu. Liukuvarmuustarkastelulla osoitetaan, että laakeri pysyy liukumatta paikallaan riittävällä varmuudella.

Laakerissa syntyvät jännitykset ja muodonmuutokset laske-  
taan tarkasteluissa luvussa 6 esitettyjä kaavoja, kertoimia  
ja materiaalivakioita käyttäen.

Tässä kappaleessa esitettyjen sallittujen arvojen käyttö  
edellyttää, että laakeri täyttää tämän ohjeen vaatimukset.

### 5.2 Leikkausjännitystarkastelu

Leikkausjännitystarkastelussa osoitetaan, ettei kumin suurin leikkausjännitys ylitä sallittua arvoa  $3,5 \text{ MN/m}^2$ .

### 5.3 Puristusjännitystarkastelu

Puristusjännitystarkastelussa osoitetaan, ettei keskimääräinen puristusjännitys laakerin alla ylitä taulukossa 1 annettuja arvoja.

TAULUKKO 1. Keskimääräisen puristusjännityksen sallitut arvot.

Laakerin pienempi sivumitta a (mm)	$b$ sall (MN/m <sup>2</sup> )
$\leq 200$	10
250	11
300	12
350	13
$\geq 400$	14

#### 5.4 Siirtymätarkastelu

Siirtymätarkastelussa osoitetaan, ettei liukukulman tangentti kummassakaan suunnassa ylitä arvoa 0,7. Kun alusrakenteen liikkeet otetaan huomioon, sallitaan kuitenkin arvo 1,0 mutta silloinkaan muiden kuormien yhteisvaikutuksesta syntyvä liukukulman tangentti ei saa ylittää arvoa 0,7.

#### 5.5 Kokoonpuristumatarkastelu

Kokoonpuristumatarkastelussa osoitetaan, ettei laakeri keskimmäisen kolmanneksen alueellaan irtoa alustastaan, ts. ehdon

$$w \leq \frac{a|\varphi| + b|\varphi|}{6} \quad (1)$$

tulee olla voimassa kaikilla kuormayhdistelmillä.

#### 5.6 Liukuvarmuustarkastelu

Vaakavoiman katsotaan siirtyvän päällysrakenteen ja laakerin sekä laakerin ja alusrakenteen välillä kitkan avulla. Jotta riittävä varmuus liukumista vastaan saavutetaan, tulee resuloivan horisontaalivoiman  $H_{res}$ , joka aiheutuu sekä välittömästi laakeriin kohdistuvista

vaakavoimista, että laakerin ylä- ja alapinnan siirtymäerosta, täyttää kaikilla kuormayhdistelmillä ehto

$$H_{res} = \sqrt{H^2 + H'^2} \leq \mu V \quad (2)$$

Jos ehto ei ole täytetty, on laakeri ankkuroitava.

Suurin sallittu kitkakerroin  $\mu$  riippuu kuormayhdistelmästä ja keskimääräisestä puristusjännityksestä taulukossa 2 esitetyllä tavalla. Taulukossa annetut arvot ovat voimassa kumilevylaakerin ollessa kahden betonipinnan välissä. Jos toinen tai molemmat pinoista ovat terästä, on sallittavan kitkakertoimen arvot pienennettävä puoleen.

TAULUKKO 2. Sallitut kitkakertoimien arvot.

Kuormayhdistelmän muodostavat kuormat	$\mu$		
	$\sigma = 2 \text{ MN/m}^2$	$\sigma = 10 \text{ MN/m}^2$	$\sigma = 14 \text{ MN/m}^2$
Jarru-, keskipako-, sivusysäys- ja tuulikuormat	0,30	0,14	0,10
Kaikki mahdolliset kuormat	0,46	0,30	0,22

Väliarvot suoraviivaisella interpoloinnilla

## 6. LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT ARVOT

6.1 Tässä kappaleessa esitetään voima- ja siirtymäsuureiden laskemiseksi tarvittavat kaavat sekä kertoimien ja ainevakioiden arvot.

### 6.2 Leikkausjännitys

6.21 Kumilevylaakeria kuormitettaessa syntyy kumilevyihin leikkausjännityksiä, joiden suuruus ei riipu ainoastaan kuormituksen suuruudesta ja kumilevyjen koosta, vaan myöskin

kumilevyjen muodosta. Leikkausjännityksillä on olennainen merkitys arvosteltaessa kumilevylaakerin kantokykyä.

Suurimmat leikkausjännitykset syntyvät laakerin ulkopinnoissa sivujen keskellä. Eri tekijöistä aiheutuvat suurimmat leikkausjännitykset voidaan laskea kaavoista (3)...(6) ja (3')...(6').

#### 6.22 Leikkausjännitykset pystykuormasta V

$$\tau_V = \frac{k_V t |V|}{a^2 b} \quad (3) \quad \tau'_V = k'_V \tau_V \quad (3')$$

#### 6.23 Leikkausjännitykset vaakavoimista H ja H' sekä laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisistä siirtymäeroista u ja u'

$$\tau_H = \left| \frac{H}{ab} \pm \frac{Gu}{d} \right| \quad (4) \quad \tau'_H = \left| \frac{H'}{ab} \pm \frac{Gu'}{d} \right| \quad (4')$$

Jos H(H') ja u(u') vaikuttavat samaan suuntaan, ovat kaavoissa (4) ja (4') voimassa ylemmät merkit.

#### 6.24 Leikkausjännitykset laakerin ylä- ja alapinnan välisistä kulmakiertymistä $\varphi$ ja $\varphi'$

$$\tau_\varphi = \frac{k_\varphi a^2 G |\varphi|}{dt} \quad (5) \quad \tau'_\varphi = \frac{k'_\varphi b^2 G |\varphi'|}{dt} \quad (5')$$

#### 6.25 Suurimmat leikkausjännitykset $\tau$ ja $\tau'$

$$\tau = \tau_V + \tau_H + \tau_\varphi \quad (6)$$

$$\tau' = \tau'_V + \tau'_H + \tau'_\varphi \quad (6')$$

#### 6.3 Puristusjännitys

Keskimääräinen puristusjännitys  $\sigma$  lasketaan lausekkeesta

$$\sigma = \frac{V}{ab} \quad (7)$$

#### 6.4 Liukukulman tangentti

Vaakavoimista  $H$  ja  $H'$  sekä laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisistä siirtymäeroista  $u$  ja  $u'$  kumiin syntyvien liukukulmien tangentti lasketaan lausekkeista

$$\tan \gamma = \left| \frac{H}{abG} \pm \frac{u}{d} \right| \quad (8) \quad \tan \gamma' = \left| \frac{H'}{abG} \pm \frac{u'}{d} \right| \quad (8')$$

Jos  $H$  ( $H'$ ) ja  $u$  ( $u'$ ) vaikuttavat samaan suuntaan, ovat kaavoissa (8) ja (8') voimassa ylempät merkit.

#### 6.5 Kokoonpuristuma

$$w = \frac{k_w (nt^3 + 2t_u^3) v}{a^3 b G} \quad (9)$$

#### 6.6 Siirtymistä aiheutuvat vaakavoimat

Laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisistä siirtymäeroista  $u$  ja  $u'$  aiheutuvat vaakavoimat voidaan laskea lausekkeista

$$H = \frac{ab Gu}{d} \quad (10) \quad H' = \frac{ab Gu'}{d} \quad (10')$$

#### 6.7 Kulmakiertymistä aiheutuvat momentit

Kulmakiertymistä  $\varphi$  ja  $\varphi'$  aiheutuvat momentit voidaan laskea lausekkeista

$$M = \frac{k_M a^5 b G \varphi}{nt^3 + 2t_u^3} \quad (11)$$

$$M' = \frac{k_M' ab^5 G \varphi'}{nt^3 + 2t_u^3} \quad (11')$$

6.8 Kaavojen kertoimet

TAULUKKO 3. Kertoimien  $k$  riippuvuus sivusuhteesta  $a/b$ .

$a/b$	$k_V$	$k'_V$	$k_\rho$	$k'_\rho$	$k_w$	$k_M$	$k'_M$
.00	3.00	.740	.500	.000	1.00	.0167	.0000
.10	3.20	.741	.500	.104	1.07	.0168	.0007
.20	3.43	.742	.500	.192	1.14	.0157	.0022
.30	3.67	.748	.500	.266	1.23	.0151	.0041
.40	3.88	.766	.499	.326	1.34	.0146	.0088
.50	4.07	.795	.499	.371	1.46	.0141	.0073
.52	4.10	.802	.498	.379	1.48	.0140	.0076
.54	4.13	.809	.498	.386	1.51	.0139	.0078
.56	4.17	.816	.497	.393	1.54	.0138	.0081
.58	4.20	.824	.497	.400	1.57	.0137	.0083
.60	4.23	.832	.496	.406	1.60	.0136	.0086
.62	4.26	.840	.496	.411	1.63	.0135	.0088
.64	4.29	.848	.495	.417	1.66	.0134	.0090
.66	4.32	.856	.494	.422	1.69	.0133	.0092
.68	4.35	.864	.494	.427	1.72	.0132	.0094
.70	4.38	.873	.493	.431	1.76	.0131	.0096
.72	4.41	.881	.492	.435	1.79	.0130	.0098
.74	4.43	.890	.491	.439	1.83	.0129	.0099
.76	4.46	.899	.490	.443	1.87	.0128	.0101
.78	4.49	.907	.489	.446	1.90	.0127	.0102
.80	4.52	.916	.488	.450	1.94	.0126	.0104
.82	4.55	.925	.486	.453	1.98	.0125	.0105
.84	4.58	.933	.485	.456	2.02	.0124	.0107
.86	4.60	.942	.484	.458	2.06	.0123	.0108
.88	4.63	.950	.482	.461	2.10	.0122	.0109
.90	4.66	.959	.481	.463	2.15	.0121	.0111
.92	4.69	.967	.480	.466	2.19	.0120	.0112
.94	4.72	.975	.478	.468	2.23	.0119	.0113
.96	4.75	.984	.476	.470	2.28	.0118	.0114
.98	4.77	.992	.475	.471	2.32	.0117	.0115
1.00	4.80	1.000	.473	.473	2.37	.0116	.0116

Vakiokokoisille laakereille on kertoimien arvot laskettu valmiiksi ja merkitty ne näkyviin (liite 2)

## 6.9 Liukumoduli

Kumin liukumodulin suuruus riippuu kumin laadusta, kovuudesta, lämpötilasta sekä kuorman vaikutusajasta ja kumiaineen vanhene-  
misestä. Laakerien tyyppihyväksynnän yhteydessä hyväksytään  
TVL:n silloissa käytettäväksi laakereita, joiden kumin liuku-  
moduli  $+20^{\circ}\text{C}$  voi olla välillä  $0,6 \dots 1,2 \text{ N/mm}^2$ . Jos liukumodulin  
suuruudella mainittujen rajojen puitteissa ei ole merkitystä  
laakerin toiminnalle, voidaan leikkausjännitysten laskennassa  
käyttää vakioarvoa  $1,0 \text{ N/mm}^2$  kohdassa 5.2 mainitun sallitun  
arvon yhteydessä. <sup>1)</sup>

Liukumodulin suuruudelle  $-30^{\circ}\text{C}$ :ssa suhteessa liukumodulin arvoon  
 $+20^{\circ}\text{C}$ :ssa on asetettu vaatimus laakerin käyttöalueesta (koko  
maa tai Etelä-Suomi) riippuen, liite 1.

Laskettaessa siirtymäsuureita tai laakerista siirtyviä voimia,  
käytetään tarvittaessa liukumodulin alarajan tai ylärajan  
arvoja sen mukaan kumpi arvoista antaa määräävän vaikutuksen  
sekä otetaan huomioon lämpötilan muutoksesta aiheutuva liuku-  
modulin muutos.

Tarvittaessa erityistapauksissa voidaan määrätä käytettäväksi  
laakeria, jonka liukumoduli on tarkoin etukäteen määrätty.  
Asia ilmoitetaan näissä tapauksissa laakeria koskevissa teks-  
teissä piirustuksissa ja laakerin teknisiä tietoja koskevassa  
laskelmiin sisältyvässä lomakkeessa "Tiedot laakerista"  
TVH 722094.

1) Laskentaa on tässä yksinkertaistettu siten, ettei lämpöti-  
lan aiheuttamaa liukumodulin kasvua eikä ajan mukana tapah-  
tuvaa hiipuman vaikutusta oteta huomioon. Leikkausjännityk-  
sessä aiheutuva pieni virhe on otettu huomioon leikkausjän-  
nityksen sallittua arvoa valittaessa.



7. MUITA OHJEITA

- 7.1 Ulkoilman lämpötila laakereita asennettaessa otaksutaan samaksi asianomaisten normien määrittämän päällysrakenteen valu- tai asennuslämpötilan kanssa jos todellisesta lämpötilasta ei ole tietoa.
- 7.2 Jos laakerien sijainti on sellainen, että ne voidaan tarvittaessa vaihtaa, otaksutaan niiden suunnittelussa alusrakenteen liikkumisesta johtuvaksi vaakasuoraksi liikkeeksi laakeritasolla päätytuilla laakerilinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa  $\pm 10$  mm. Jos vaihtomahdollisuutta ei ole, otaksutaan kyseiseksi liikkeeksi laakeritasolla päätytuilla  $\pm 25$  mm kun rakenne perustetaan hiekalle tai paaluille ja  $\pm 10$  mm muilla perustamistavoilla. Välituilla kyseiseksi liikkeeksi otaksutaan  $\pm 5$  mm.
- 7.3 Jos teräslevyn paksuus on pienempi kuin  $1/5$  sisemmän kumilevyn paksuudesta, on teräslevyn jännitykset tarkastettava erikseen.
- 7.4 Laakerit on suunniteltava vaakasuoriksi, ellei erityisistä syistä muuta johdu.
- 7.5 Kumilevylaakereita voi tarvittaessa käyttää myös rinnakkain. Rinnakkaisten laakerien väliin tulee jättää riittävä ( $\geq 10$  mm) rako kumikerrosten laajenemisen mahdollistamiseksi. Rinnakkaisten laakereiden varmuustarkastelut tulee yleensä suorittaa laakerin kummankin sivun suunnassa.
- 7.6 Kumilevylaakereita ja muita laakereita ei saa käyttää samalla tuella.

KIRJALLISUUTTA

1. Rejcha, C., "Design of Elastomer Bearings", Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol. 9, No. 5, Oct. 1964, s. 64...78.
2. Topaloff, B., "Gummilager für Brücken", Bauingenieur 39 (1964), H. 2, s. 50...64.
3. Sallinen, A., "Neopren-laakerit-laakereiden käyttö sekä niiden mitoitus", Sillanrakennuksen kurssi, RIL 1965.
4. Kungl. väg- och vattenbyggnadsstyrelsen, Konstruktionsbyrån, "Provisoriska anvisningar för användning av speciella lagertyper i brokonstruktioner", Publikation 5101, Beteckning K587, Nov. 1966.
5. Franz, G., "Gummilager für Brücken", VDI-Zeitschrift Bd. 101 (1959), Nr. 12, Seite 471...478.
6. Suess, K. - Grote J., "Einige Versuche an Neoprene-Lagern", Bauingenieur 38 (1963), H. 4
7. Grote, J., "Neoprenelager - einige grundsätzliche Erwägungen", Kunststoffe im Bau 7/1968.
8. Saal, G. - Saal, H., Zur Neufassung der italienischen Vorschrift für Elastomere-Lager, Der Stahlbau 2/1973.

## AINEIDEN LAATU

Kumilevylaakereihin käytettävän kumin on oltava sellaista, että se sietää pitkään ilmaston vaikutusta ja säänvaihteluita sekä säilyy toimintakykyisenä vielä  $-40^{\circ}\text{C}$ :een lämpötilassa.

Kumiaineen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

Ominaisuus	Vaatus	Koestusmenetelmä
Kovuus 1)	50...65° IRH	SIS 162201
Liukumoduli $+20^{\circ}\text{C}$ :ssa	0,6...1,2 N/mm <sup>2</sup>	Kumilevylaakerien tyyppi hyväksyntä/ TVH
Liukumoduli $-30^{\circ}\text{C}$ :ssa	Enintään 1,50-kertainen $+20^{\circ}\text{C}$ arvoon verrattuna	
-Kumilevylaakeri PS: Soveltuu käytettäväksi koko maassa -Kumilevylaakeri ES: Soveltuu käytettäväksi Oulu-Kajaani linjan eteläpuolella	Enintään 2,0-kertainen $+20^{\circ}\text{C}$ arvoon verrattuna	
Vetomurtolujuus	Vähintään 14 N/mm <sup>2</sup>	SIS 162202
Murtovenymä	Vähintään 300 %	SIS 162202
Jäännöspuristuma $+70^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa	Enintään 40 %	SIS 162204
Muutokset vanhennettaessa		SIS 162205
- kovuuden muutos	Enintään 10° IRH	
- vetomurtolujuuden muutos	Enintään 25 %	
- murtovenymän muutos	Enintään 40 %	
Otsonikestävyys <sup>2)</sup> koekappaleen ollessa 20 % venytyksessä, 168 h, 50 pphm:n <sup>3)</sup> otsonipitoisuudessa	Koekappaleeseen ei saa syntyä silmin havaittavia halkeamia	SIS 162210

1) Yleensä käytetään kumia, jonka kovuus on 60° IRH (International Rubber Hardness)

2) Otsonikestävyysvaatus koskee ainoastaan laakerin pintakumia

3) pphm = parts per hundredmillion (sadasmiljoonasosa)

Leveys a (mm)	Pituus b (mm)	Kokonais- korkeus h (mm)	Nettokor- keus d (mm)	Sisennät kumilevyt		Teräslevyt		k <sub>v</sub> k' <sub>v</sub>	k <sub>φ</sub> k' <sub>φ</sub> k <sub>w</sub>	k <sub>M</sub> k' <sub>M</sub>
				Paksuus t (mm)	Määrä (kpl)	Paksuus t <sub>s</sub> (mm)	Määrä (kpl)			
200	250	30	21	8	2	3	3	4,52	0,488	0,0126
		41	29	8	3	3	4	0,916	0,450	0,0104
		52	37	8	4	3	5		1,94	
200	300	30	21	8	2	3	3	4,33	0,494	0,0133
		41	29	8	3	3	4	0,859	0,424	0,0093
		52	37	8	4	3	5		1,70	
200	400	30	21	8	2	3	3	4,07	0,499	0,0141
		41	29	8	3	3	4	0,795	0,371	0,0073
		52	37	8	4	3	5		1,46	
250	400	41	29	8	3	3	4	4,27	0,496	0,0135
		52	37	8	4	3	5	0,842	0,413	0,0088
		63	45	8	5	3	6		1,64	
300	400	52	37	8	4	3	5	4,45	0,490	0,0129
		63	45	8	5	3	6	0,894	0,441	0,0100
		74	53	8	6	3	7		1,85	
		85	61	8	7	3	8			
350	450	54	38	11	3	4	4	4,49	0,489	0,0127
		69	49	11	4	4	5	0,906	0,446	0,0102
		84	60	11	5	4	6		1,90	
		99	71	11	6	4	7			

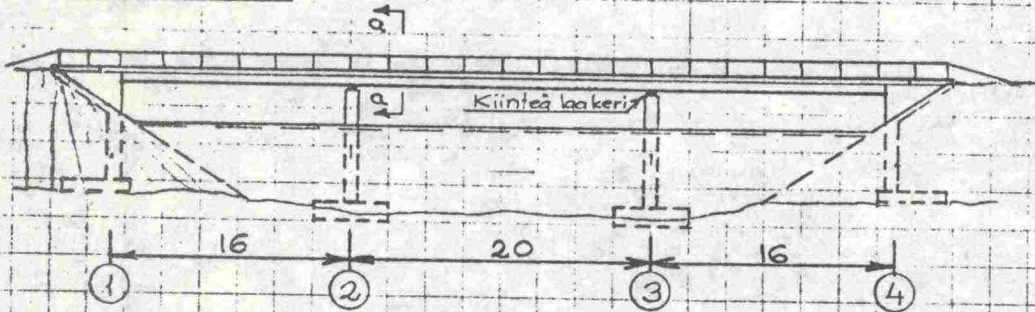
TVH/S/S

LAAKERIT  
Laskuesimerkki

Aaju

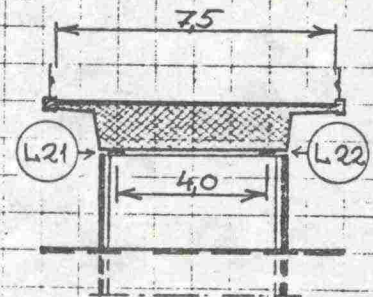
30.9.1974

1 (5)

1. Sillan mitat

Silta on 3-aukkoinen jatkuva teräs-  
betoninen palkkisilta.

Tuilla ①, ② ja ④ kumilevylaakerit (2 kpl).  
Tuella ③ kiinteä lyijylevylaakeri.  
Tuella ④ samanlaiset laakerit kuin  
tuella ①.

2. Yksiköt

Pituudet m tai mm, voimat MN.

3. Palkin jäykkyys

Poikkileikkauksen  $J = 0,75 \text{ m}^4$   
 Betonin  $E = 36000 \text{ MN/m}^2$   
 Hiipumaluku = 2

Lyhytaikaisessa kuormituksessa  
 $EJ = 27000 \text{ MNm}^2$   
 Pitkäaikaisessa  $EJ = 9000 \text{ MNm}^2$

4. Kuormat

1. Pysyvä kuorma
2. Nauhakuorma/PKM
3. Akselikuorma/PKM
4. Erikoiskuorma/RKN
5. Kutistuminen
6. Lämpötilan muutos
7. Tuen siirtyminen

Tuen siirtymisessä otetaan huomioon jarrukuorman aiheuttamasta tuen 3. pilarin taipumisesta johtuva siirtymä, jonka suuruudeksi arvioidaan  $\pm 8 \text{ mm}$  sillan suunnassa.

Kumilevylaakerien kuormien sillan poikkisuunnassa katsotaan olevan niin pieniä, että niitä (sivusysäys, jäänpaine, tuuli) ei oteta tarkemmin huomioon. Laakerien laskemisessa voidaan sillain rajoittua vain sillan suuntaiseen tarkasteluun.

5. Laskentamenetelmä

Tukireaktioiden ja taivutusmomenttien laskemisessa käytetään apuna teosta Zellerer, E., "Durchlaufträger. Einflusslinien und Momentenlinien", Berlin/München 1967.

6. Pysyvä kuorma

$q = 0,18 \text{ MN/m}$ . Kokonaistukireaktio jakaantuu tasan kummallekin laakerille  $\Rightarrow$  kerroin 0,5.

$$A_{11} = 0,5 \cdot 0,3716 \cdot 0,18 \cdot 16 = 0,54 \text{ MN}$$

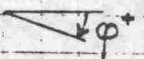
$$A_{21} = 0,5 \cdot 1,2534 \cdot 0,18 \cdot 16 = 1,80 \text{ MN}$$

$$M_{1-2}^0 = \frac{1}{8} q l_1^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,18 \cdot 16^2 = 5,76 \text{ MNm}$$

$$M_2 = -0,1284 \cdot 0,18 \cdot 16^2 = -5,9167 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{q l_1^3}{24 E J} + \frac{M_2 l_1}{6 E J} = \frac{1}{3 E J} \cdot (M_{1-2}^0 + \frac{1}{2} M_2) = \frac{16}{3 \cdot 9000} \cdot (5,76 - \frac{1}{2} \cdot 5,9167) = 1,66 \text{ ‰}$$

$$\varphi_2 = \frac{-1}{3 E J} \cdot (M_{1-2}^0 + M_2) = \frac{-16}{3 \cdot 9000} \cdot (5,76 - 5,9167) = 0,09 \text{ ‰}$$

7. Nauhakuorma/PKM

$$q = 2 \cdot 0,009 = 0,018 \text{ MN/m}$$

$$e = (\frac{1}{2} \cdot 7,5 - 3,0) = 0,75 \text{ m}$$

Otaksutaan, että

- palkin vääntöjäykkyys  $EJ_t = \infty$ .

- kaikilla tuilla on samantaiset laakerit ja yhtäläinen tuenta.

- laakeriväli on 4,0 m.

Silloin kokonaistukireaktiosta menee toiselle laakerille

$$\left( \frac{100}{2} + \frac{100 \cdot 0,75}{4,0} \right) \% = 70 \% \text{ ja toiselle } 30 \% \Rightarrow \text{kertoimet } 0,7 \text{ ja } 0,3.$$



$$A_{11} = 0,7 \cdot 0,4398 \cdot 0,018 \cdot 16 = 0,09 \text{ MN}$$

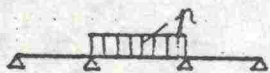
$$A_{21} = 0,7 \cdot 0,6217 \cdot 0,018 \cdot 16 = 0,13 \text{ MN}$$

$$M_{1-2}^0 = \frac{1}{8} q l_1^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,018 \cdot 16^2 = 0,576 \text{ MNm}$$

$$M_2 = -0,0602 \cdot 0,018 \cdot 16^2 = -0,2774 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{16}{3 \cdot 27000} \cdot (0,576 - \frac{1}{2} \cdot 0,2774) = 0,09 \text{ ‰}$$

$$\varphi_2 = \frac{-16}{3 \cdot 27000} \cdot (0,576 - 0,2774) = -0,06 \text{ ‰}$$



$$A_{11} = -0,7 \cdot 0,0849 \cdot 0,018 \cdot 16 = -0,02 \text{ MN}$$

$$A_{21} = 0,7 \cdot 0,7099 \cdot 0,018 \cdot 16 = 0,14 \text{ MN}$$

Aaku

30.9.1974

3 (5)

$$M_2 = -0,0849 \cdot 0,018 \cdot 16^2 = -0,3912 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{M_2 l_1}{6EJ} = \frac{-0,3912 \cdot 16}{6 \cdot 27000} = -0,04\%$$

$$\varphi_2 = -2\varphi_1 = 0,08\%$$



$$A_{11} \approx 0$$

$$A_{21} = -0,7 \cdot 0,0783 \cdot 0,018 \cdot 16 = -0,02 \text{ MN}$$

$$M_2 = 0,0167 \cdot 0,018 \cdot 16^2 = 0,0770 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{0,0770 \cdot 16}{6 \cdot 27000} = 0,01\%$$

$$\varphi_2 = -0,02\%$$

### 8. Vaikutusviivat

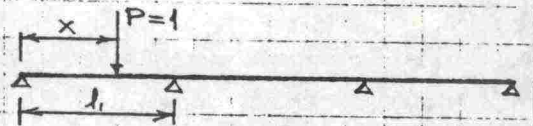
Tarvittavat vv:t ovat vv.  $A_1$ , vv.  $A_2$ , vv.  $\varphi_1$  ja vv.  $\varphi_2$ . Näistä kaksi ensimmäistä saadaan suoraan em. lähdeteoksesta, kuten myös vv.  $M_2$ , jota tarvitaan vv.  $\varphi_1$ :n ja vv.  $\varphi_2$ :n määrittämisessä.

$$\text{vv. } \varphi_1 = \text{vv. } \varphi_{12} + \frac{1}{6EJ} \cdot \text{vv. } M_2 \quad \text{vv. } \varphi_2 = -\text{vv. } \varphi_{21} - \frac{1}{3EJ} \cdot \text{vv. } M_2$$

$$\text{vv. } \varphi_{12} = k_1 \left( \frac{x}{l_1} \right) \cdot \frac{l_1^2}{6EJ}$$

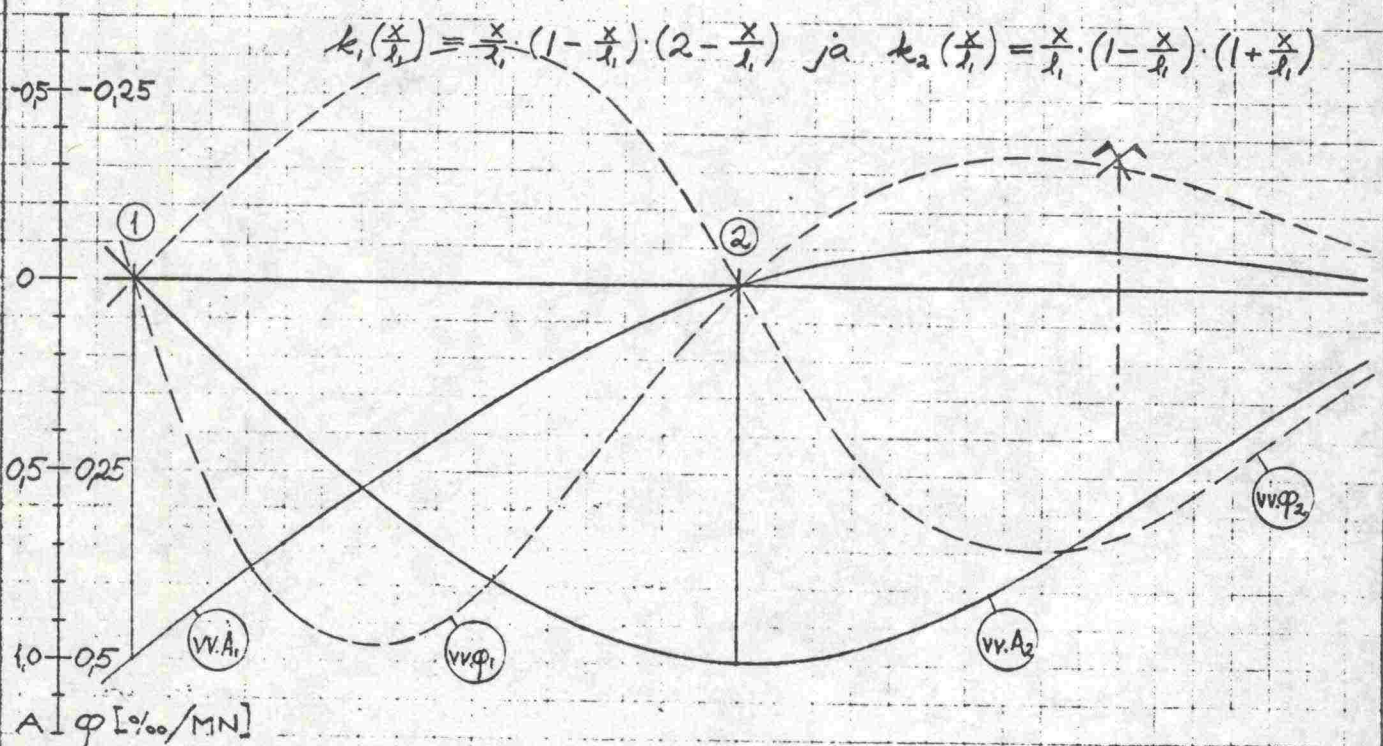
$$\text{vv. } \varphi_{21} = k_2 \left( \frac{x}{l_1} \right) \cdot \frac{l_1^2}{6EJ}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{vv. } \varphi_{12} = k_1 \left( \frac{x}{l_1} \right) \cdot \frac{l_1^2}{6EJ} \\ \text{vv. } \varphi_{21} = k_2 \left( \frac{x}{l_1} \right) \cdot \frac{l_1^2}{6EJ} \end{array} \right\} \text{ kun } 0 \leq x \leq l_1$$



muuten  $\text{vv. } \varphi_{12} = \text{vv. } \varphi_{21} = 0$ .

$$k_1 \left( \frac{x}{l_1} \right) = \frac{x}{l_1} \cdot \left( 1 - \frac{x}{l_1} \right) \cdot \left( 2 - \frac{x}{l_1} \right) \quad \text{ja} \quad k_2 \left( \frac{x}{l_1} \right) = \frac{x}{l_1} \cdot \left( 1 - \frac{x}{l_1} \right) \cdot \left( 1 + \frac{x}{l_1} \right)$$



TVH/S/S

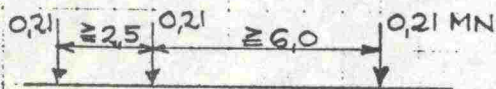
LAAKERIT  
Laskuesimerkki

Aaju

30.9.1974

4 (5)

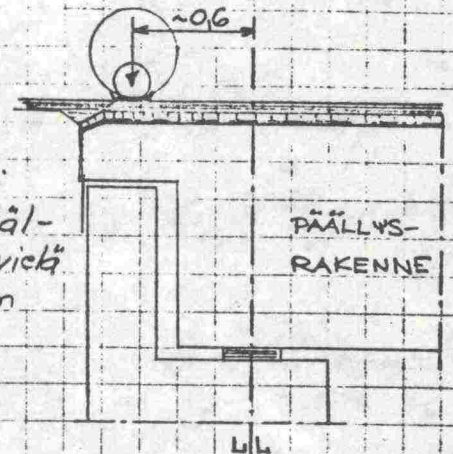
## 9. Akselikuorma/PKM



2 ryhmää

$$\begin{aligned} \max A_{11} &= 0,7 \cdot 0,42 \cdot (1,05 + 0,85 + 0,42) = 0,68 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_1 &= 0,42 \cdot (-0,03 + 0,09 + 0,46) = 0,22\% \\ \min A_{11} &= 0,7 \cdot 0,42 \cdot (-0,09 + -0,11 - 0,08) = -0,08 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_1 &= 0,42 \cdot (-0,145 + -0,17 - 0,125) = -0,18\% \end{aligned}$$

Huom! Akseli kuormittaa päällysrakennetta vielä ollessaan 0,6 m laakerilinjan takana.

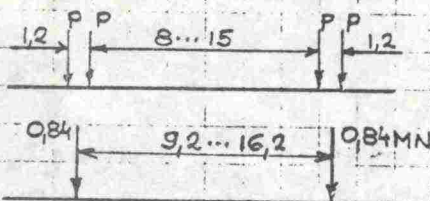


$$\begin{aligned} \max \varphi_1 &= 0,42 \cdot (0,40 + 0,475 + 0,245) = 0,47\% \\ \text{vast. } A_{11} &= (0,3 \dots 0,7) \cdot 0,42 \cdot (0,73 + 0,55 + 0,17) = 0,18 \dots 0,43 \text{ MN} \\ \min \varphi_1 &= -0,18\% \quad \text{Vast. } A_{11} = -0,04 \dots -0,08 \text{ MN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max A_{21} &= 0,7 \cdot 0,42 \cdot (0,94 + 0,99 + 0,86) = 0,82 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_2 &= 0,42 \cdot (-0,22 - 0,04 + 0,32) = 0,03\% \\ \min A_{21} &= 0,7 \cdot 0,42 \cdot (-0,10 - 0,12 - 0,06) = -0,08 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_2 &= 0,42 \cdot (-0,07 - 0,08 - 0,04) = -0,08\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max \varphi_2 &= 0,42 \cdot (0,29 + 0,34 + 0,25) = 0,37\% \\ \text{vast. } A_{21} &= (0,3 \dots 0,7) \cdot 0,42 \cdot (0,91 + 0,79 + 0,40) = 0,26 \dots 0,62 \text{ MN} \\ \min \varphi_2 &= 0,42 \cdot (-0,15 - 0,31 - 0,28) = -0,31\% \\ \text{vast. } A_{21} &= (0,3 \dots 0,7) \cdot 0,42 \cdot (0,27 + 0,75 + 0,88) = 0,24 \dots 0,56 \text{ MN} \end{aligned}$$

## 10. Erikoiskuorma/RKN



$$P = 1,4 \cdot 0,30 = 0,42 \text{ MN}$$

← Laskelmissa käytettävä korviketuorma.

Mahdollinen epäkeskeisyys poikkisuunnassa  $\approx (0,5 \cdot 7,5 - 2,5) = 1,25 \text{ m}$   
Silloin kokonaistukireaktiosta menee toiselle laakerille

$$\left( \frac{100}{2} + \frac{100 \cdot 1,25}{4,0} \right) \% \approx 80\% \text{ ja toiselle } 20\% \Rightarrow \text{kertoimet } 0,8 \text{ ja } 0,2.$$

$$\begin{aligned} \max A_{11} &= 0,8 \cdot 0,84 \cdot (1,00 + 0,34) = 0,90 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_1 &= 0,84 \cdot (0 + 0,41) = 0,34\% \\ \min A_{11} &= 0,8 \cdot 0,84 \cdot (-0,09 - 0,08) = -0,11 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_1 &= 0,84 \cdot (-0,14 - 0,12) = -0,22\% \end{aligned}$$



Aaju

30.9.1974

5 (5)

$$\max \varphi_1 = 0,84 \cdot (0,38 + 0,22) = 0,50\%$$

$$\text{vast. } A_{11} = (0,2 \dots 0,8) \cdot 0,84 \cdot (0,75 + 0,15) = 0,15 \dots 0,60 \text{ MN}$$

$$\min \varphi_1 = -0,22\% \quad \text{Vast. } A_{11} = -0,03 \dots -0,11 \text{ MN}$$

$$\max A_{21} = 0,8 \cdot 0,84 \cdot (0,90 + 0,89) = 1,20 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_2 = 0,84 \cdot (-0,28 + 0,31) = 0,03\%$$

$$\min A_{21} = 0,8 \cdot 0,84 \cdot (-0,09 - 0,06) = -0,10 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_2 = 0,84 \cdot (-0,06 - 0,04) = -0,08\%$$

$$\max \varphi_2 = 0,84 \cdot (0,31 + 0,20) = 0,43\%$$

$$\text{vast. } A_{21} = (0,2 \dots 0,8) \cdot 0,84 \cdot (0,89 + 0,32) = 0,20 \dots 0,81 \text{ MN}$$

$$\min \varphi_2 = 0,84 \cdot (-0,17 - 0,24) = -0,34\%$$

$$\text{vast. } A_{21} = (0,2 \dots 0,8) \cdot 0,84 \cdot (0,32 + 0,93) = 0,21 \dots 0,84 \text{ MN}$$

11. Kutistuminen

$$E_s = 100 \cdot 10^{-6} \quad U_{11} = +100 \cdot 10^{-6} \cdot 36 \text{ m} = +3,6 \text{ mm}$$

$$U_{21} = +100 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \text{ m} = +2,0 \text{ mm}$$

12. Lämpötilan nousu

$$\Delta t = +10^\circ\text{C} \quad (+10^\circ\text{C} \rightarrow +20^\circ\text{C}) \quad \therefore U_{11} = -3,6 \text{ mm}$$

$$U_{21} = -2,0 \text{ mm}$$

13. Lämpötilan lasku

$$\Delta t = -30^\circ\text{C} \quad (+10^\circ\text{C} \rightarrow -20^\circ\text{C}) \quad \therefore U_{11} = +10,8 \text{ mm}$$

$$U_{21} = +6,0 \text{ mm}$$

14. Jarrukuorma

$$U_{11} = U_{21} = \pm 8 \text{ mm}$$

15. Tuen siirtyminen

$$U_{11} = U_{21} = \pm 10 \text{ mm} \quad (\text{laakerit vaihdettavissa})$$

16. Yhteenveto

Edellä lasketut voima- ja siirtymäarvot siirretään kumi-levy-laakerien laskulomakkeiden (liite 1) taulukoihin "Laakerin kuormat".

Tilite: TVH/S/s

Silta: Esimerkkisilta

№ (TVH) 1234

Kunta: Helsinki

KUMILEVYLAAKERIT

Liite 1

Suunn. Aaja

Tark. (TVH)

Päiväys: 30.9.1974

Sivu 1 (11)

## YLEISTIEDOT SILLASTA

Sillatyyppi: 3-aukkoinen jatkuva teräsbetoninen palkki-silta.

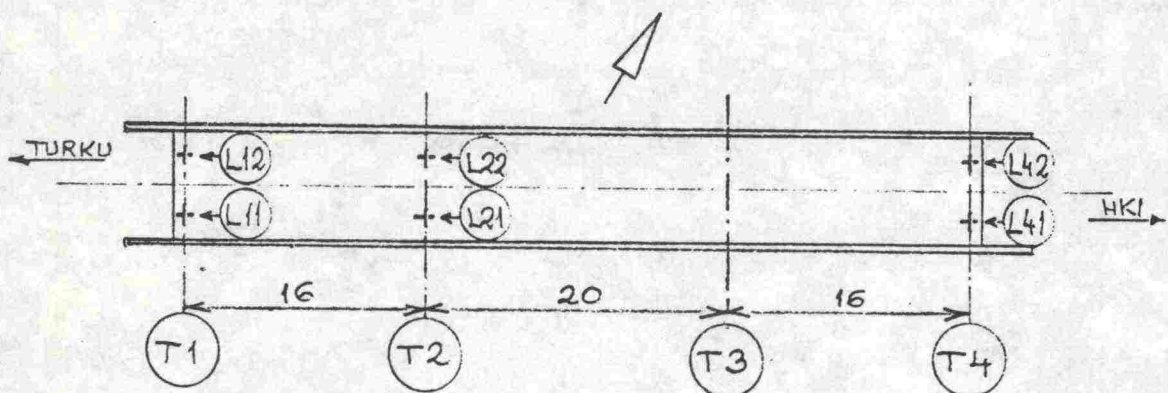
Jännemitat: 16 + 20 + 16 m

Hyöd. leveys: 7,5 m

Vinous: Ogon

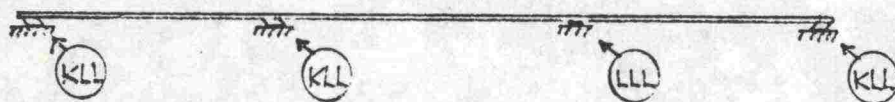
## SILLAN LAAKEROINTI

Yleiskuva päältä sekä tukien ja laakerien numerointi:



Tuella 3 kiinteä lyijylevylaakeri. Muualla 2kpl kumilevy-laakereita/tuki.  
Huom! L42 = L41 = L12 = L11 ja L22 = L21.

Sivukuva sillan laakeroinnista:



KLL = kumilevylaakeri

LLL = lyijylevylaakeri

HUOM! Laakerien tilausta varten tulee tämän sivun kaksois-kappale liittää irrallisena laskelmien mukaan.

LAAKERIN KUORMAT

Sivu Esimerkkisilla

No(TVH) 1234

KUMILEVYLAAKERIT

Liite 1

Tuki 1 Laakeri 11

Sivu 2 (11)

Rivi	Kuorman nimi	V [MN]	H [ ]	H' [ ]	u [mm]	u' [ ]	1000 φ	1000 φ
1	Pysyvä kuorma	0,54					1,66	
2	Nauhak./PKM kent. 1	0,09					0,09	
3	--- --- --- 2	-0,02					-0,04	
4	--- --- --- 3	0					0,01	
5	Akselik./PKM asento 1	0,68					0,22	
6	--- --- --- 2	-0,08					-0,18	
7	--- --- --- 3	0,18					0,47	
8	--- --- --- 4	0,43					0,47	
9	--- --- --- 5	-0,04					-0,18	
10	Erik.k./RKN asento 1	0,90					0,34	
11	--- --- --- 2	-0,11					-0,22	
12	--- --- --- 3	0,15					0,50	
13	--- --- --- 4	0,60					0,50	
14	--- --- --- 5	-0,03					-0,22	
15	Kutistuminen				+ 3,6			
16	Lämpötilan nousu				- 3,6			
17	--- lasku				+ 10,8			
18	Jarrukuorma				± 8,0			
19	Tuen siirtyminen				± 10,0			
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
(ΣV) <sub>max</sub> ; (ΣH) <sub>max</sub> ; (ΣH') <sub>max</sub> jne		1,44			22,4 <sup>u</sup>		2,23	
(ΣV) <sub>min</sub> ; (ΣH) <sub>min</sub> ; (ΣH') <sub>min</sub> jne		0,43			-11,6 <sup>u</sup>		1,44	

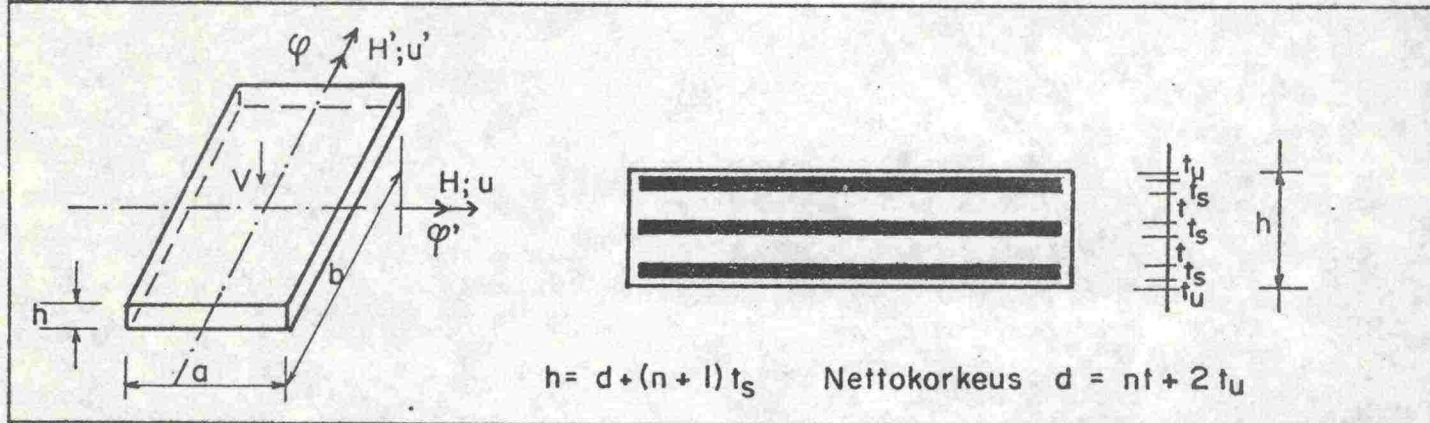
HUOMAUTUKSIA: <sup>u</sup> ilman tuen siirtymää.

TIEDOT LAAKERISTA sivu 3(II)

Silta *Esimerkkisilta*  
piiri, kunta

SUUNNITELMA  
nro 12345

<b>KUMILEVYLAAKERI</b>	Tuki nro	Laakeri nro
Ulkomitat	Levyjen mitat	Nettokorkeus
a = 300 mm	t = 8 mm	n = 4
b = 400 mm	t <sub>u</sub> = 2,5 mm	d = 37 mm
h = 52 mm	t <sub>s</sub> = 3 mm	d/a = 0,12



**KUMIAINE**

Liukumoduli laskelmissa

- G +20°C:ssa: - leikkausjännitykset ..... 1,0 N/mm<sup>2</sup>
- siirtymät, voimat ..... N/mm<sup>2</sup>
- G - 30°C:ssa: Enintään 2,0-kertainen verrattuna arvoon + 20°C:ssa

Onko mahdollista käyttää laakeria, jonka liukumoduli  kyllä  
+ 20°C:ssa on välillä 0,6... 1,2 N/mm<sup>2</sup>  ei

**HUOMAUTUKSIA :** *Vakiokokoinen laakeri*

LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT KERTOIMET				
$k_v$	$k_v'$	$k_\varphi$	$k_\varphi'$	$k_w$
4,45	—	0,490	—	1,85
$p_v = \frac{k_v t}{a}$	$p_v' = k_v' p_v$	$p_\varphi = \frac{k_\varphi a^2}{dt}$	$p_\varphi' = \frac{k_\varphi' b^2}{dt}$	$p_w = k_w \left(1 + \frac{2t_u^3}{nt^3}\right) \frac{nt^2}{a^2}$
0,119	—	149	—	0,0053

**HUOM.** Laakerien tilausta varten tulee tämän sivun kaksoiskappale liittää irrallisena laskelmien mukaan

JÄNNITYSTARIKASTELU

Sivu: **Esimerkkisilta**  
**KUMILEVYLAAKERIT**  
 Tuki **1**      Luukki **11**

No (TVH) **1234**  
 Liite **1**  
 Sivut **4 (11)**

Rivi	$\tau_v = \frac{P_v V}{ab}$	$\tau_H = \frac{H + G_u}{ab \cdot d}$	$\tau_\varphi = p_\varphi G_\varphi$	$\tau = \tau_v + \tau_H + \tau_\varphi$	$\tau'_v = \frac{P'_v V}{ab}$	$\tau'_H = \frac{H' + G'_u}{ab \cdot d}$	$\tau'_\varphi = p'_\varphi G'_\varphi$	$\tau' = \tau'_v + \tau'_H + \tau'_\varphi$	$\sigma = \frac{V}{ab}$
1	0,54		0,25						4,50
2	0,09		0,01						0,75
3	-0,02		-0,01						-0,17
4	0		0						0
5	0,68		0,03						5,67
6	-0,08		-0,03						-0,67
7	0,18		0,07						1,50
8	0,43		0,07						3,58
9	-0,04		-0,03						-0,33
10	0,89		0,05						7,50
11	-0,11		-0,03						-0,92
12	0,15		0,07						1,25
13	0,60		0,07						5,00
14	-0,03		-0,03						-0,25
15		+ 0,10							
16		- 0,10							
17		+ 0,29							
18		± 0,22							
19		± 0,27							
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
$ \Sigma \tau_v _{max}; (\Sigma \sigma)_{max}$	1,43	0,88	0,30	2,61					12,0
$ \Sigma \tau_v _{max}; (\Sigma \sigma)_{min}$	1,43	0,88	0,30	2,61					3,6
$ \Sigma \tau_\varphi _{max}$	1,06	0,88	0,33	2,27					—
<b>SALL. JÄNNITYS (dimensio MN/m<sup>2</sup>)</b>				<b>3,5</b>					<b>12,0</b>

MUODONMUUTOSTARKASTELU

Sijainti: *Esimerkkisilta*

N:o (TVH) 1234

KUMILEVYLAAKERIT

Liite 1

Tuki 1

Laakeri 11

Sivu 5 (11)

Rivi	KOKOONPURISTUMATARKASTELU					SIIRTYMÄTARKASTELU	
	w = $\frac{p_w V t}{abG}$	w <sub>φ</sub> =				tan γ = $\frac{H}{abG} + \frac{u}{d}$	tan γ' <sup>2</sup> = $\frac{H'}{abG} + \frac{u'}{d}$
		$\frac{aφ + bφ'}{6}$	$\frac{aφ - bφ'}{6}$	$\frac{-aφ + bφ'}{6}$	$\frac{-aφ - bφ'}{6}$		
1	0,19	0,08			-0,08		
2	0,03	0			0		
3	-0,01	0			0		
4	0	0			0		
5	0,24	0,01			-0,01		
6	-0,03	-0,01			0,01		
7	0,06	0,02			-0,02		
8	0,15	0,02			-0,02		
9	-0,01	-0,01			0,01		
10	0,32	0,02			-0,02		
11	-0,04	-0,01			0,01		
12	0,05	0,03			-0,03		
13	0,21	0,03			-0,03		
14	-0,01	-0,01			0,01		
15						0,10	
16						-0,10	
17						0,29	
18						± 0,22	
19						± 0,27	
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
(Σw) <sub>min</sub> , (Σtan γ) <sub>min</sub>	0,15			0,07		0,61	
(Σw) <sub>max</sub> , (Σtan γ) <sub>max</sub>	0,24			0,11		( 0,22 )	( )
SALLITTU				Σw <sub>φ</sub> ≤ Σw		0,7	(1,0)

LIUKUVARMIUUSTARKASTELU

Silta: *Esimerkkisilta*  
 KUMILEVYLAAKERIT  
 Tuki 1 Laakeri 11

N:o(TVH) 1234  
 Liite 1  
 Sivu 6 (11)

Rivi	$H_a = H + \frac{abGu}{d}$	$H_b = H + \frac{abGu'}{d}$	$H_{res} = \sqrt{H_a^2 + H_b^2}$	$\sigma = \frac{V}{ab}$	$\mu$	$\frac{H_{res}}{\mu \sigma ab}$
1				4,50		
2				0,75		
3				-0,17		
4				0		
5				5,67		
6				-0,67		
7				1,50		
8				3,58		
9				-0,33		
10				7,50		
11				-0,92		
12				1,25		
13				5,00		
14				-0,25		
15	0,012					
16	-0,012					
17	0,035					
18	±0,026					
19	±0,032					
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
$ \sum H_{oi} _{max}$	0,105		0,105	3,58	0,43	0,57
$ \sum H_{bi} _{max}$						
$(\sum \sigma)_{min}$	0,105		0,105	3,58	0,43	0,57
SALLITTU ARVO						≤ 1

LAAKERIN KUORMAT

Silta: *Esimerkkisilta*

N:o(TVH) 1234

KUMILEVYLAAKERIT

Liite 1

Tuki 2

Laakeri 21

Sivu 7 (11)

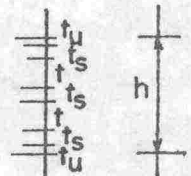
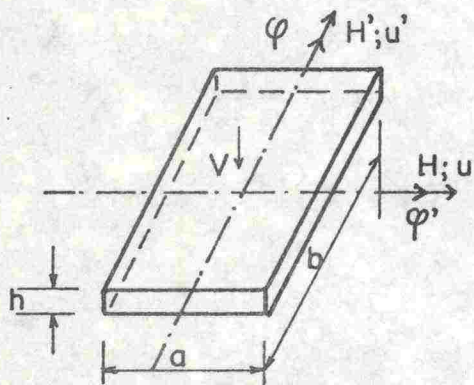
RIVI	Kuorman nimi	V. [MN]	H [ ]	H' [ ]	u [mm]	u' [ ]	1000 $\varnothing$	1000 $\varnothing$
1	<i>Pysyvä kuorma</i>	1,80					0,09	
2	<i>Nauhak./PKM kent. 1</i>	0,13					-0,06	
3	<i>--- --- --- 2</i>	0,14					0,08	
4	<i>--- --- --- 3</i>	-0,02					-0,02	
5	<i>Akselik./PKM asento 1</i>	0,82					0,02	
6	<i>--- --- --- 2</i>	-0,08					-0,08	
7	<i>--- --- --- 3</i>	0,26					0,37	
8	<i>--- --- --- 4</i>	0,62					0,37	
9	<i>--- --- --- 5</i>	0,24					-0,31	
10	<i>--- --- --- 6</i>	0,56					-0,31	
11	<i>Erik.k./RKN asento 1</i>	1,20					0,03	
12	<i>--- --- --- 2</i>	-0,10					-0,08	
13	<i>--- --- --- 3</i>	0,20					0,43	
14	<i>--- --- --- 4</i>	0,81					0,43	
15	<i>--- --- --- 5</i>	0,21					-0,34	
16	<i>--- --- --- 6</i>	0,84					-0,34	
17	<i>Kutistuminen</i>				2,0			
18	<i>Lämpötilan nousu</i>				-2,0			
19	<i>--- --- laaku</i>				6,0			
20	<i>Jarrukuorma</i>				$\pm 8,0$			
21	<i>Tuen siirtyminen</i>				$\pm 10,0$			
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
	$(\Sigma V)_{\max}; (\Sigma H)_{\max}; (\Sigma H')_{\max}$ jne	3,00			16,0"		0,54	
	$(\Sigma V)_{\min}; (\Sigma H)_{\min}; (\Sigma H')_{\min}$ jne	1,70			-10,0"		-0,30	

HUOMAUTUKSIA: *Ilman tuen siirtymää.*



TIEDOT LAAKERISTA	sivu 8(11)
Silta <i>Esimerkkisilta</i> piiri, kunta	SUUNNITELMA nro 12345

KUMILEVYLAAKERI	Tuki nro 2	Laakeri nro 21
Ulkomitat	Levyjen mitat	Nettokorkeus
a = 400 mm	t = 11 mm	n = 4
b = 550 mm	t <sub>u</sub> = 2,5 mm	d = 49 mm
h = 69 mm	t <sub>s</sub> = 4 mm	d/a = 0,12



$$h = d + (n + 1) t_s \quad \text{Nettokorkeus } d = nt + 2t_u$$

### KUMIAINE

Liukumoduli laskelmissa

-G +20°C:ssa: - leikkausjännitykset ..... 1,0 N/mm<sup>2</sup>  
- siirtymät, voimat ..... 1,0 N/mm<sup>2</sup>

-G -30°C:ssa: Enintään 2,0-kertainen verrattuna arvoon +20°C:ssa

Onko mahdollista käyttää laakeria, jonka liukumoduli  kyllä  
+20°C:ssa on välillä 0,6... 1,2 N/mm<sup>2</sup>  ei

HUOMAUTUKSIA : *Erikoislaakeri*

### LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT KERTOIMET

$k_v$	$k_v'$	$k_\varphi$	$k_\varphi'$	$k_w$
4,42	—	0,492	—	1,80
$p_v = \frac{k_v t}{a}$	$p_v' = k_v' p_v$	$p_\varphi = \frac{k_\varphi a^2}{dt}$	$p_\varphi' = \frac{k_\varphi' b^2}{dt}$	$p_w = k_w \left(1 + \frac{2t_u^3}{nt^3}\right) \frac{nt^2}{a^2}$
0,122	—	146	—	0,0055

HUOM. Laakerien tilausta varten tulee tämän sivun kaksoiskappale liittää irrallisena laskelmien mukaan

JÄNNITYSTARKASTELU

Silta: *Esimerkkisilta*  
 KUMILEVYLAAKERIT  
 Tuki **2** Laakeri **21**

N:o (TVH) **1234**  
 Liite **1**  
 Sivu **9** (11)

Rivi	$\tau_v = \frac{\rho_v V}{ab}$	$\tau_H = \frac{H + \bar{G}_u}{ab \cdot d}$	$\tau_\varphi = \rho_\varphi \bar{G}_\varphi$	$\tau = \tau_v + \tau_H + \tau_\varphi$	$\tau'_v = k'_v \tau_v$	$\tau'_H = \frac{H'}{ab} + \frac{\bar{G}_u'}{d}$	$\tau'_\varphi = \rho'_\varphi \bar{G}'_\varphi$	$\tau' = \tau'_v + \tau'_H + \tau'_\varphi$	$\sigma = \frac{V}{ab}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
$ \Sigma \tau _{\max}; (\Sigma \sigma)_{\max}$	$\leq 1,66$								13,6
$ \Sigma \tau_H _{\max}; (\Sigma \sigma)_{\min}$		$\leq 0,53$		$< 2,3$					7,7
$ \Sigma \tau_\varphi _{\max}$			$\leq 0,08$						
SAI. L. JÄNNITYS (dimensio MN/m <sup>2</sup> )				3,5					14,0

MUODONMUUTOSTARKASTELU

Silta: *Esimerkkisilta*

N:o (TVH): 1234

KUMILEVYLAAKERIT

Liite 1

Tuki 2

Laakeri 21

Sivu 10 (11)

Rivi	KOKOONPURISTUMATARKASTELU				SIIRTYMÄTARKASTELU		
	w =	w <sub>φ</sub> =				tang <sub>y</sub> =	tang <sub>y</sub> ' =
	$\frac{p_w V t}{abG}$	$\frac{a\varphi + b\varphi^3}{6}$	$\frac{a\varphi - b\varphi^3}{6}$	$\frac{-a\varphi + b\varphi^3}{6}$	$\frac{-a\varphi - b\varphi^3}{6}$	$\frac{H}{abG} + \frac{u}{d}$	$\frac{H'}{abG} + \frac{u'}{d}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
$(\Sigma w)_{\min}, (\Sigma tang)_{\max}$	> 0,46					0,33	
$(\Sigma w_{\varphi})_{\max}, (\Sigma tang)_{\max}$				< 0,04		( 0,53 )	( )
SALLITTU				$\Sigma w_{\varphi} \leq \Sigma w$		0,7	(1,0)

LIUKUVARMUUSTARKASTELO

Silta: *Esimerkkisilta*

N:o (TVH) 1234

KUMILEVYLAAKERIT

Liite 1

Tuki 2 Laakeri 21

Sivu 11 (11)

Rivi	$H_a = H + \frac{abGu}{d}$	$H_b = H' + \frac{abGu'}{d}$	$H_{res} = \sqrt{H_a^2 + H_b^2}$	$\sigma = \frac{V}{ab}$	$\mu$	$\frac{H_{res}}{\mu \sigma ab}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
$ \Sigma H_a _{max}$	0,117		0,117	7,73	0,345	0,20
$ \Sigma H_b _{max}$						
$(\Sigma \sigma)_{min}$	0,117		0,117	7,73	0,345	0,20
SALLITTU ARVO						$\leq 1$

