

## LEIKKAUSVOIMAN JA NORMAALIVOIMAN KUORMITTAMA TERÄSBETONIPALKKI

Jorma Pursiainen, Ritva Lehtonen ja  
Pekka Kanerva

Rakenteiden Mekaniikka Vol. 13  
No 1 1980 s. 20-29

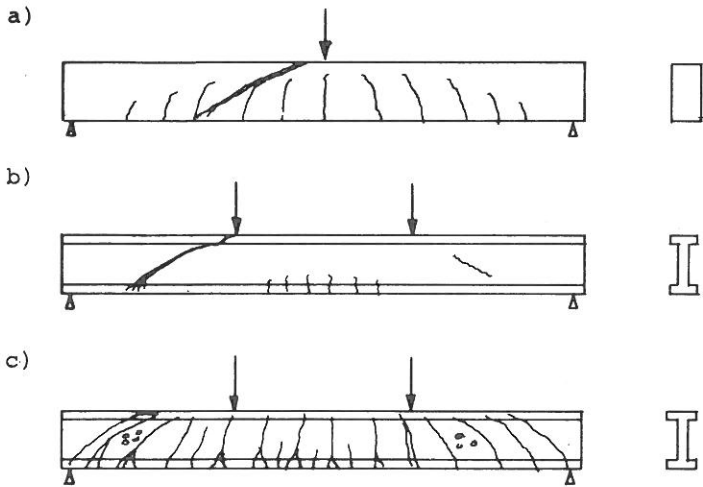
**YHTENNVETO:** Artikkelissa käsitellään normaalivoiman vaikutusta teräsbetonipalkin leikkauskapasiteettiin. Teräsbetonipalkin leikkauskapasiteetti määritetään yhteenlaskuperiaatteen mukaan betonin puristusvyöhykkeen, leikkausraudoituksen ja normaalivoiman osuuden summana. Artikkelissa vertaillaan kahden tutkijan sekä suomalaisten betoninormien antamia kaavoja kolmen TKK:lla tehdyn koesarjan antamiin tuloksiin.

### JOHDANTO

Teräsbetonipoikkileikkauksen oletetaan toimivan lineaarisesti kimmoisen yhdistetyn materiaalin tavoin, kunnes päävetojännitys jossain palkin pisteessä ylittää betonin vetolujuuden ja palkkiin muodostuu halkeama. Halkeaman sijainti ja muoto riippuu palkin poikkileikkauksen muodosta sekä momentin ja leikkausvoiman suhteesta.

Kun taivutusmomentti on suuri leikkausvoimaan verrattuna, palkkiin syntyy pääasiassa taivutushalkeamia. Kuormituksen lisääminen johtaa taivutusmurttoon. Pistekuorman kuormittamissa teräsbetonipalkeissa esiintyy taivutusmurtto silloin, kun leikkausjänteen suhde teholliseen korkeuteen on suurempi kuin seitsemän ( $a/d > 7$ ) /5/. Kun em. suhde on seitsemää pienempi, syntyy leveäuumaisessa poikkileikkauksessa ensin taivutushalkeamia, joista jokin tukea lähellä oleva halkeama laajenee vinoksi leikkaushalkeamaksi (kuva 1a). Kuormituksen lisääminen johtaa taivutus-leikkausmurttoon. Murtotapa esiintyy palkeilla, joissa leikkausjänne/tehollinen korkeussuhde on  $3 < a/d < 7$ .

Ohutuumaisissa poikkileikkauksissa saattaa päävetojännitys ylittyä ensiksi palkin uumassa, johon syntyy vino leikkaushalkeama (kuva 1b) tavallisesti tuen lähelle. Leikkausraudoittamaton poikkileikkaus murtuu ensimmäisen leikkaushalkeaman synnyttyä hauraasti leikkautuen kahteen osaan vinoa halkeamaa pitkin. Leikkausraudoitettu poikkileikkaus sensijaan kantaa kuormaa halkeaman syntymisen jälkeenkin ja murtuu kuormaa lisättäessä sitkeästi leikkausmurttona tai hauraasti uuman puristusmurttona betonin puristuslujuuden ylittyessä (kuva 1c), jos palkin uuma on ohut. Puristavan normaalivoiman vaikuttaessa leikkausraudoittamaton poikkileikkaus ei murre ensimmäisen leikkaushalkeaman muodostuessa.



Kuva 1. Teräsbetonipalkin leikkausmurtumistavat  
 a) Taivutus-leikkausmurto  
 b) Uuman leikkausmurto  
 c) Uuman puristusmurto

Tässä artikkelissa tarkastellaan normaalivoiman, leikkausvoiman ja taivutusmomentin rasittamien teräsbetonipalkkien leikkausmurtokuormien määrittämistapoja sekä verrataan teoreettisia murtokuormia Teknillisessä korkeakoulussa vuosina 1972, 1973 ja 1975 suoritetun kokeiden tuloksiin.

#### NORMAALIVOIMAN, LEIKKAUSVOIMAN JA TAIVUTUSMOMENTIN RASITTAMAN TERÄSBETONIPALKIN LEIKKAUSKAPASITEETTI

Normaalivoiman, leikkausvoiman ja taivutusmomentin kuormittamassa teräsbetonipoikkileikkauksessa lasketaan poikkileikkauksen leikkauskapasiteetti ns. yhteenlaskuperiaatteen mukaan /3/. Alueessa, jossa esiintyy taivutus-halkeamia, saadaan palkin leikkauskapasiteetti kaavasta (1).

$$V_U = V_C + V_S + V_N + V_P \quad (1)$$

missä  $V_U$  = poikkileikkauksen leikkauskapasiteetti,

$V_C$  = poikkileikkauksen betonin osuus,

$V_S$  = leikkausraudoituksen osuus,

$V_N$  = jänne- ja normaalivoiman osuus ja

$V_P$  = paarteiden kaltevuuden sekä jännevoiman pystykomponentin osuus.

Leikkausraudoittamattomilla palkeilla tekijä  $V_S = 0$ .

Betonin puristusvyöhykkeen leikkauskapasiteetti  $V_C$  lasketaan nimellisen leikkausjännityksen  $\tau = \frac{V_C}{bD}$  avulla. Regan /7/ on johtanut  $V_C$  lausekkeeksi lähtien suorakaiteen muotoisen puristusvoiman leikkausjännityksen maksimiarvosta

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \frac{V_c}{bx} \quad (2)$$

missä  $V_c$  = puristuspuunnan leikkauskapasiteetti,  
 $b$  = palkin leveys ja  
 $x$  = neutraaliakselin korkeus palkin yläpinnasta.

Sijoittamalla tähän betonin leikkauslujuuden lauseke  $\tau_u = 0.4 f_{cu}^{\frac{2}{3}}$ , saadaan  $V_c$ :n lausekkeeksi /7/

$$V_c = 0.27 f_{cu}^{\frac{2}{3}} bx \quad (3)$$

missä  $f_{cu}$  = betonin kuutiolujuus  $N/mm^2$ .

Reganin mukaan korkeus  $x$  voidaan laskea kaavasta

$$\left(\frac{x}{d}\right) \approx 1.3 \left(\frac{100 \cdot A_s}{bd} \cdot \frac{1}{f_{cu}}\right)^{0.33} \quad (4)$$

missä  $d$  = vetoterästen painopisteen etäisyys palkin yläreunasta ja  
 $A_s$  = vetoteräsmäärä.

Lopulliseksi betonin puristusvyöhykkeen leikkauskapasiteetiksi saadaan tällöin

$$V_c = 0.35 \left[\frac{100 \cdot A_s}{bd} f_{cu}\right]^{0.33} bd \quad (5)$$

Regan on lisännyt kaavaan (5) puristuspuunnan leikkauskapasiteetin vaikuttavana tekijänä leikkausjänteen vaikutuksen. Tällöin puristusvyöhykkeen leikkauskapasiteetiksi saadaan /7/:n mukaan

$$V_c = 0.4 \left[\frac{100 \cdot A_s}{b_w d} \times \frac{V_d}{M} \times f_{cu}\right]^{0.33} b_w d \quad (6)$$

missä  $b_w$  = uuman leveys,

$V, M$  = ovat leikkausvoima ja momentti tarkasteltavassa kohdassa.

Puristava normaalivoima lisää puristusvyöhykkeen leikkauskapasiteettia ja vetävä normaalivoima vastaavasti vähentää. Reganin mukaan saadaan normaalivoiman kuormittaman palkin leikkausmurtokuorma lausekkeesta /7/

$$V_u = V_0^* + V_u \left(\frac{V_c}{V_u}\right)^3 \quad (7)$$

tai yksinkertaistettuna

$$V_u = V_c + 0.33 V_0^*, \text{ kun } V_0^* \leq 1.35 V_c \quad (8)$$

$$V_u = V_0 + 0.10 V_c, \text{ kun } V_0^* > 1.35 V_c$$

missä  $V_0^* = M_0^* \frac{V}{M}$ ,  $M_0^*$  on momentti, joka yhdessä normaalivoiman kanssa aikaansaa jännityksettömän tilan betoniin terästen painopisteessä. Kaavoissa (7) ja (8) lasketaan  $V_c$  kaavan (6) mukaan.

Rechardt esittää leikkausraudoittamattoman palkin leikkausmurtokuormaksi lauseketta Pohjoismaiden Betoniyhdistyksen periaatteiden pohjalta /6/.

$$V_u = V_c + V_0 = V_c + \frac{M_0 V_u}{aV_u + M_N} \quad (9)$$

missä  $V_c = 0.3f_{ctk}(1+50\rho)b_w d$ ,

$\rho = A_s/b_w d \leq 0.02$

$M_0$  = momentti, joka yhdessä normaalivoiman kanssa aikaansaa jännityksettömän tilan betoniin reunassa

$a$  = leikkausjänne ja

$M_N = N_e$ , normaalivoiman aiheuttama momentti.

Ratkaisemalla  $V_u$  saadaan

$$V_u = \frac{1}{2} \left( \frac{M_0 - M_N}{a} + V_c \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{M_0 - M_N}{a} + V_c \right)^2 + \frac{M_N}{a}} \quad (10)$$

Leikkausmurtokuormalle voidaan antaa myös yksinkertaistettu approksimaatio /6/.

$$V_u = V_c + \frac{M_0}{a + \frac{M_N}{2V_c}}, \text{ kun } M_0 \geq 0 \quad (11)$$

$$V_u = V_c + \frac{M_0}{a + \frac{M_N}{V_c}}, \text{ kun } M_0 < 0$$

Uudessa betoninormiehdotuksessa /2/ lasketaan normaalivoiman rasittaman leikkausraudoittamattoman teräsbetonipalkin leikkauskapasiteetti kaavasta

$$V_u = V_{c0} \beta_1 \beta_2 \quad (12)$$

missä  $V_{c0} = 0.25 k(1+50\rho)f_{ctd} b_w d$ ,  $\rho < 0.02$

$$\beta_1 = \left( 1 + \left| \frac{M_0}{M_d} \right| \right) \leq 2$$

$$\beta_2 = \frac{V_d}{V_{d,red}} \leq 2$$

Kaavoissa on käytetty seuraavia merkintöjä:

$k = 1.6 - d[m] \geq 1$ ,

$f_{ctd}$  on betonin laskentavetolujuus ( $f_{ctd} = \frac{0.35}{\gamma_c} \sqrt{K[MN/m^2]}$ )

$M_d$  on tarkasteltavassa poikkileikkauksessa vaikuttava momentti

$V_d$  on tarkasteltavassa poikkileikkauksessa vaikuttava leikkausvoima  
 $V_{d,red}$  on leikkausvoima, jota laskettaessa enintään etäisyydellä  $2d$  tukilinjasta olevat kuormat on kerrottu luvulla  $a/2d$ , missä  $a$  on kuorman etäisyys

Leikkausraudoitetun palkin murtokuorma lasketaan kaavan (1) mukaan, missä  $V_s$  lasketaan ristikkoanalogian mukaisesti. Kaavoja (7), (8), (10) ja (11) vastaavat leikkausraudoitettujen palkkien murtokuormat saadaan siis lisäämällä termi

$$V_s = 0.9d \frac{A_{sv}}{s} f_{yd} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (13)$$

missä  $A_{sv}$  on leikkausraudoituksen pinta-ala,

$s$  on hakaväli ja  $\alpha$  on haan ja palkin pituusakselin välinen kulma ja

$f_{yd}$  on hakaterästen myötölujuus

Betoninormiehdotuksen mukaan leikkausraudoitetun palkin puristusvyöhykkeen ottama osuus lasketaan kaavasta

$$V_c = 0.5 b_w d \frac{f_{ctd}}{\gamma_c} \beta_1 \beta_2 \quad (14)$$

Leikkausraudoittamattoman teräsbetonipalkin leikkaukskapasiteetti lasketaan kimmoteorian mukaisella jännitystarkastelulla niissä osissa palkkia, joissa ei esiinny taivutushalkeamia (vrt. kuva 1b).

Palkin neutraaliakselin kohdalla vaikuttava päävetojännitys saadaan kaavan (15) mukaan /8/.

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_N + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_N - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (15)$$

missä  $\sigma_N$  on normaalivoiman aiheuttama puristusjännitys poikkileikkauksen painopisteessä,

$\sigma_y$  on taivutuksesta aiheutuva jännitys poikkileikkauksen painopisteessä,

$\tau = \frac{VS}{Ib_w}$ , leikkausvoiman aiheuttama leikkauksjännitys palkin neutraaliakselilla

$S$  on staattinen momentti neutraaliakselin suhteen

$I$  on palkin jäyhyysmomentti

$b_w$  on palkin (uuman) leveys

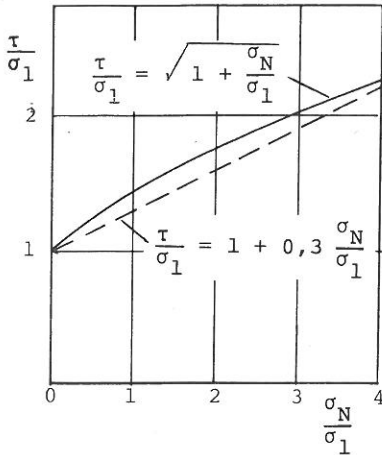
Sijoittamalla  $\tau$ :n lauseke kaavaan (15) ja korottamalla neliöön sekä otaksumalla taivutusjännitys nolaksi ( $\sigma_y = 0$ ), saadaan

$$\sigma_1^2 = \frac{\sigma_N^2}{4} + \sigma_1 \sigma_N = \frac{\sigma_N^2}{4} + \left(V \frac{S}{Ib_w}\right)^2 \quad (16)$$

Kun päävetojännitys merkitään yhtä suureksi betonin vetomurtolujuuden kanssa ( $\sigma_1 = f_{ctk}$ ), saadaan leikkausmurtokuormaksi

$$V_u = V_c + V_n = \frac{I_b w}{S} \sqrt{f_{ctk}^2 + f_{ctk} \sigma_N} \quad (17)$$

Kaava (17) voidaan korvata kuvan 2 perusteella likiarvokaavalla /8/



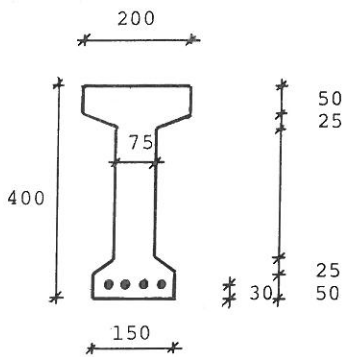
$$V_n + V_c = \frac{I_b}{S} (f_{ctk} + 0,3\sigma_N) \quad (18)$$

Tehdyissä kokeissa on kuitenkin saatu pienempiä leikkauskapasiteetin arvoja kuin kaava (17) edellyttää. Tämä johtunee betonin kutistumisjännityksistä /6/.

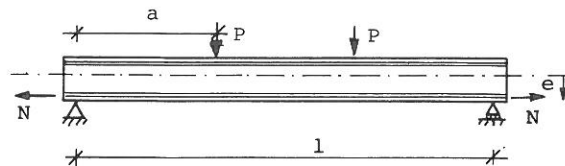
Kuva 2. Leikkausjännityksen ja normaalijännityksen välinen yhteys

#### KOKEELLINEN TUTKIMUS

Teknillisessä korkeakoulussa on tehty vuosina 1972, 1973 ja 1975 koesarjat normaalivoiman vaikutuksesta teräsbetonipalkin leikkauskapasiteettiin. Kaikissa kokeissa käytettiin samaa I-poikkileikkausta, joka on esitetty kuvassa 3. Kuvassa 4 on periaatekuva kojärjestelyistä. Taulukossa 1 on esitetty eri koesarjassa käytetyt muuttujat ja muuttujien arvojen vaihteluvälit.



Kuva 3. Käytetty poikkileikkaus /1/.



Kuva 4. Kojärjestelyt /1/.

Taulukko 1. Kokeissa I, II, III käytetyt muuttujat ja muuttujien vaihteluvälit /1/, /4/, /6/.

Koesarja	Koekappaleiden lukum.	Normaalivoima N[kN]	Epäkeskisyys e[mm]	Leikkausjänne a[m]	Leikkausteräksset A 400 H A <sub>sv</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	Veto-teräksset A 400 H A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Betonin suunnittelulujuus K[MN/m <sup>2</sup> ]
I	13	-80...+80	-156...184	1.3	-	707	30
II	12	-219...0	-41...84	1.3	-	0...707	50
III	12	-80, 0	-156, 184	1.1, 1.3, 1.5	209	763	33

Koesarjoissa I ja III käytettiin ulkoista normaalivoimaa ja koesarjan II palkit olivat esijännitettyjä. Jänneteräksinä käytettiin punoksia St 1600/1800 ja jännittämättöminä teräksinä sekä hakoina betoniterästä A 400 H.

Taulukossa 2 on esitetty koetulokset palkkikohtaisesti.

Taulukko 2. Koetulokset /1/, /4/, /6/.

	Betonin puristuslujuus K <sub>15</sub> f <sub>c</sub> MN/m <sup>2</sup>	Betonin halkaisulujuus f <sub>ct</sub> MN/m <sup>2</sup>	Vetoraudoitus Jännittämättömät A 400 H	Jänneteräksset		Leikkausraudoitus A 400 H	Murtovoima/jännevoima P kN	Normaalivoiman epäkeskisyys e mm	Leikkausjänne a mm	Leikkausalkema-kuorma V <sub>r</sub> kN	Murtokuorma V <sub>u</sub> kN	Murtotapa
				Alateräksset St 1600/1800	Yläteräksset St 1600/1800							
I	1	31.9	2.53	4 ϕ 15	-	-	0	-	1300	32.5	35	LV
	2	30.6	2.34	-	-	-	-40	-	183.7	37.5	64	LD
	3	36.2	2.80	-	-	-	-80	-	183.7	47.5	79	"
	4	33.0	2.69	-	-	-	-40	-	13.7	37.5	58	"
	5	32.8	2.12	-	-	-	-80	-	13.7	40	79	"
	6	31.3	2.68	-	-	-	-40	-	-156.3	35	37.5	LV
	7	34.7	1.91	-	-	-	-80	-	-156.3	40	40	"
	8	32.6	2.20	-	-	-	+40	-	183.7	33	33	"
	9	33.6	2.28	-	-	-	+80	-	183.7	36	36	"
	10	31.5	2.14	-	-	-	+30	-	-156.3	24.5	25	"
	11	36.1	2.88	-	-	-	+40	-	-156.3	27.5	33	"
	12	33.2	2.57	-	-	-	+30	-	13.7	33	36	"
	13	30.5	2.56	-	-	-	+60	-	13.7	27.5	30.5	"
II	1	47.8	3.46	-	2 ϕ 1/4"	1 ϕ 1/4"	-54.7	-22.7	83.7	-	26	T
	2	47.4	2.94	-	4 -"	2 -"	-108.9	-44.9	83.7	-	50	TL
	3	48.6	1.90	2 ϕ 15	2 -"	2 -"	-39.4	-39.4	13.7	-	35	66 L
	4	47.5	2.74	-	4 -"	4 -"	-78.2	-78.2	13.7	-	45	55 "
	5	43.2	2.76	4 ϕ 15	1 -"	2 -"	-28.0	-55.5	-41.3	-	37.5	45 "
	6	50.6	3.25	3 ϕ 15	2 -"	4 -"	-55.7	-109.0	-41.3	-	42.5	60 "
	7	48.5	2.95	4 ϕ 15	-	-	0	0	-	-	40	40 "
	8	49.7	2.75	2 ϕ 15	3 ϕ 5	2 ϕ 5	-55.4	-22.4	83.7	-	45	65 "
	9	45.4	2.92	-	8 -"	4 -"	-153.6	-64.3	83.7	-	55	70 "
	10	49.6	2.88	2 ϕ 15	8 -"	4 -"	-194.4	-64.7	38.7	-	58	65 D *
III	1	32.2	2.37	3 ϕ 18	-	-	0	-	-	35	80	LP
	2	30.0	2.48	-	-	-	-80	-	183.7	-	50	90 "
	3	29.4	3.05	-	-	-	-80	-	-156.3	-	35	79 T
	4	32.2	1.96	-	-	-	0	-	-	1500	30	70 LP
5	29.5	2.32	-	-	-	-80	-	183.7	-	45	80 "	
6	41.1	3.35	-	-	-	-80	-	-156.3	-	40	77 "	
7	41.6	2.64	-	-	-	0	-	-	1100	35	90 LP	
8	43.3	2.99	-	-	-	-80	-	183.7	-	55	124 "	
9	35.7	2.64	-	-	-	-80	-	-156.3	-	40	103 "	
10	37.4	3.04	-	-	-	0	-	-	-	35	37.5 L	
11	42.7	3.02	-	-	-	-10	-	183.7	-	52.5	95 TV	
12	39.3	3.22	-	-	-	-80	-	-156.3	-	40	45 L	

LV = leikkausvetomurto

L = leikkausmurto

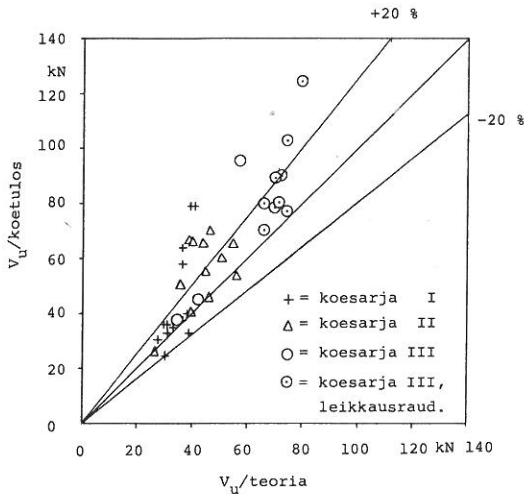
LP = leikkauspuristumurto

D = diagonaalimurto

T = taivutusmurto

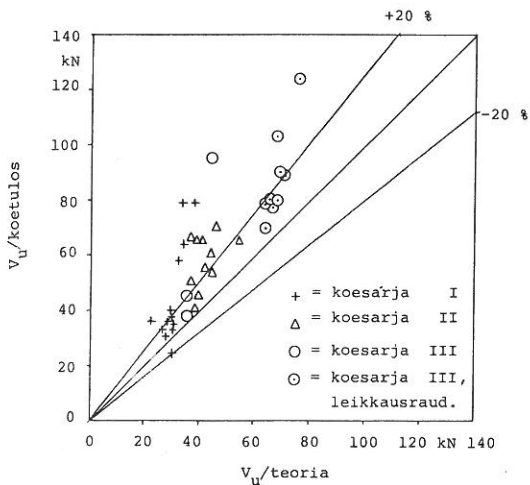
\* = tartunta on murtunut

KOETULOSTEN VERTAILU TEOREETTISIIN ARVOIHIN

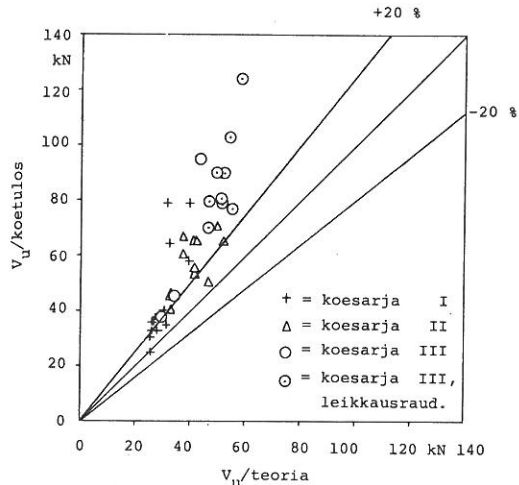


Kuva 5. Koetulosten ja kaavan (8) välinen vertailu. Vaaka-akselilla on kaavan mukaan laskettu teoreettinen leikkausmurtokuorma ja pystyakselilla vastaavan palkin koetus.

Artikkelin alussa on esitetty kaavoja normaalivoiman vaikutuksesta leikkauskapasiteettiin. Kaavojen (8) ja (11) antamia tuloksia on verrattu kokeissa saatuihin tuloksiin lähteessä /6/. Kuvassa 5 on esitetty koetulosten ja Reganin kaavan (8) tulokset. Kuvassa 6 on vastaava vertailu Rechartd'in kaavalla (11). Kuvassa 7 on koetuloksia verrattu betoninormiehdotuksen /2/ kaavoihin (12) ja (14) käyttämällä betonin osavarmuuskerrointa  $\gamma_c = 1.3$  ja teräksen osavarmuuskerrointa  $\gamma_s = 1.1$ .



Kuva 6. Koetulosten ja kaavan (11) välinen vertailu.



Kuva 7. Koetulosten ja kaavojen (12) ja (14) välinen vertailu.

Kuvissa on esitetty myös leikkausraudoitettujen palkkien (koesarja III, 9 kpl) teoreettisten ja kokeellisten leikkausmurtokuormien vertailu. Teoreettiset murtokuormat on laskettu lisäämällä kaavoihin (8) ja (11) hakojen osuus /6/

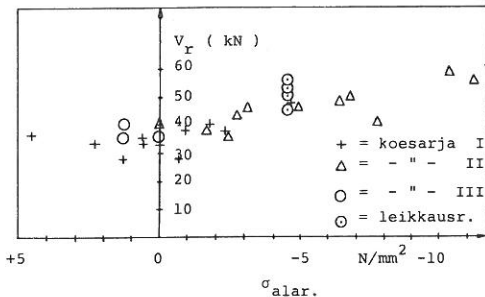


$$V_s = 0.9 \frac{A_{sv}}{s} d f_{yk} = 32.6 \text{ kN} \quad (19)$$

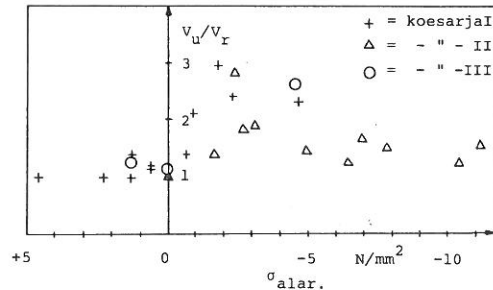
ja kaavaan (14)  $V_s/\gamma_s = 25.4 \text{ kN}$ .

Kuvista havaitaan Reganin ja Rechartt'in kaavojen antavan varmallalla puolella olevia tuloksia. Betoninormien antamat tulokset ovat luonnollisesti varmallalla puolella, koska leikkauskapasiteettia on vähennetty materiaalien osavarmuuskertoimilla. Lisäksi leikkausraudoituksen vaikutus leikkauskapasiteettiin on normissa arvioitu varsin varovaisesti.

Normaalivoimaa ja epäkeskisyyden vaikutusta palkin leikkauskapasiteettiin esittävät kuvat 8 ja 9. Kuvassa 8 on leikkaushalkeamakuorman riippuvuus normaalivoiman aiheuttamasta alareunan jännityksestä ja kuvassa 9 leikkausmurtokuorman suhde leikkaushalkeamakuormaan alareunan jännityksen funktiona  $V_u/V_r$ .



Kuva 8. Leikkaushalkeamakuorman riippuvuus normaalivoiman aiheuttamasta alareunan jännityksestä  $V_u/V_r$ .



Kuva 9. Leikkausmurtokuorman suhde leikkaushalkeamakuorman alareunan jännityksen funktiona  $V_u/V_r$ .

Kuvasta 8 nähdään, että puristava normaalivoima, joka aiheuttaa puristusjännityksen palkin alareunaan, lisää leikkaushalkeamakuormaa lievästi. Kuvasta 9 nähdään, että palkki murtuu leikkaushalkeaman synnyttyä jos normaalivoimaa ei ole tai se aiheuttaa vetoa palkin alareunaan. Pieni puristusjännitys palkin alareunassa lisää palkin leikkausmurtokuormaa 1.2...2 kertaiseksi leikkaushalkeamakuormaan verrattuna ja suuri puristusjännitys n. 1.1...1.3 kertaiseksi.

Yleisesti voidaan todeta, että leikkausraudoittamattomissa palkeissa leikkausmurtokuorma kasvaa normaalivoiman vaikutuksesta, kun normaalivoima on puristusta ja vaikuttaa neutraaliakselilla tai sen alapuolella. Normaalivoiman aiheuttaessa vetojännityksen palkin alareunassa, leikkauskapasiteetti on sama kuin palkissa, jossa normaalivoima ei vaikuta. Koetulosten perusteella vaikuttaa betoninormiehdotuksen lisäkerroin  $\beta_1$  liian optimistiseltä, kun puristava normaalivoima vaikuttaa neutraaliakselin yläpuolella aiheuttaen vain vähän puristusta tai jopa vetoa palkin vetoreunalle. Tällöin normaalivoima ei vaikuta ensimmäisen taivutushalkeaman syntymiseen eikä se siten suurena palkin leikkauskapasiteettia. Puristavan normaalivoiman

epäkeskeisyyden voisi ottaa huomioon seuraavalla lisäehdolla: jos puristava normaalivoima aiheuttaa poikittaisen kuorman kanssa samansuuntaisen momentin on kertoimella arvo  $\beta_1 = 1$ .

#### LOPPUPÄÄTELMÄT

Koetulosten vertailu esitettyjen laskukaavojen mukaan saatuihin murtokuoriin osoittaa, että laskukaavat kuvaavat ainakin puristavan normaalivoiman vaikutuksen leikkausmurtokuomaan riittävän luotettavasti. Vetävän normaalivoiman vaikutusta ei voida arvioida koetulosten puuttuessa. Vetovoiman vaikutus erikoisesti haattomien palkkien leikkauslujuuteen tulisi vielä kokeellisesti tutkia.

#### LÄHDEKIRJALLISUUS

- [1] Alanko, M: Ulkoisen normaalivoiman vaikutus teräsbetonipalkin leikkauskestävyyteen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööri-osasto. Otaniemi 1973.
- [2] Ehdotus betonirakenteita koskeviksi ohjeiksi. Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki 1979. Julkaisematon normiluonnos.
- [3] Hedman, O & Losberg, A: Dimensionering av betongkonstruktioner med hänsyn till tvärkraften. Nordisk Betong 5-1975. s. 19...29.
- [4] Kukko, H: Osittain jännitetty teräsbetonipalkki. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööri-osasto. Otaniemi 1973.
- [5] Park, R & Paulay, T: Reinforced concrete structures. New York 1975. 769 s.
- [6] Rautakivi, P: Normaalivoiman ja leikkausraudoituksen vaikutus teräsbetonipalkin leikkauskestävyyteen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööri-osasto. Otaniemi 1976.
- [7] Regan, P.E & Yu, C.W: Limit state design of structural concrete. London 1973, 325 s.
- [8] Tuomioja, M: Jännebetonipalkin leikkauskestävyyden laskeminen. Rakennustekniikka 8.127. No 6, lokakuu 1971. s. 477-482.

*Jorma Pursiainen, dipl.ins., Ritva Lehtonen, ins. ja Pekka Kanerva, prof.,  
Teknillinen korkeakoulu, Rakennusinsinööri-osasto*