

- Merkitse vastauspapereihin: - opintojakson **koodi**, nimi ja tentin päivämäärä  
 - oma nimi **SELVÄSTI** ja allekirjoitus  
 - opintokirjan numero

**TENTISSÄ JAETAAN**

- TRT:n kaavakokoelma
- Eurokoodi 2:n taulukko materiaaliominaisuuksista
- yksi sivu kaavoja tehtäväpaperin liitteenä.

**TRT:n KAAVAKOKOELMA TULEE PALAUTTAA TENTIN JÄLKEEN.**

**OMAA KIRJALLISUUTTA EI SAA KÄYTTÄÄ.**

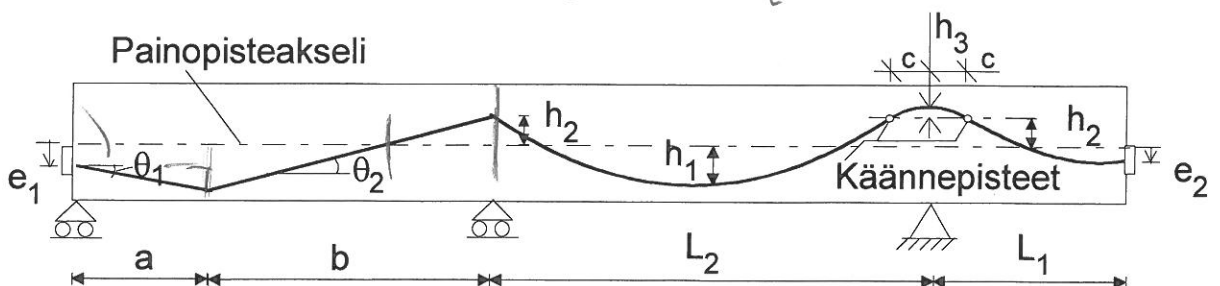
Hyväksytyyn suoritukseen tentissä vaaditaan 45% maksimipisteistä.

Jos teet laskelmissa yksinkertaistavia oletuksia, perustele ne ja arvioi yksinkertaistusten merkitystä. Materiaaliominaisuudet lasketaan jaetun eurokoodin taulukon avulla, jos niitä ei ole valmiiksi annettu. Kaikki mitat kuvissa ovat millimetreissä, ellei toisin mainita.

1. Selitä seuraavien käsitteiden merkitys (5 p)
- a) Tartunnallinen ja tartunnaton jänne
  - b) Betonin viruma
  - c) Leikkausvuo palkin osien liitospinnassa
  - d) Tartuntajänteellisen palkin ankkurointimurto
  - e) Jänneteräksen relaksaatio

2. Kuvan 1 jälkijännitettyssä palkissa jännevoima  $P$  otaksutaan vakioksi ankkureiden välillä. Jänne muodostuu murtoviivasta ja kolmesta paraabelista. Palkin oikeassa päässä jänteen tangentti on vaakasuora. Palkin korkeus on pieni verrattuna jänteiden pituuksiin.

$$q = \frac{2Ph}{L^2} \quad f = \frac{bPh}{L^2}$$



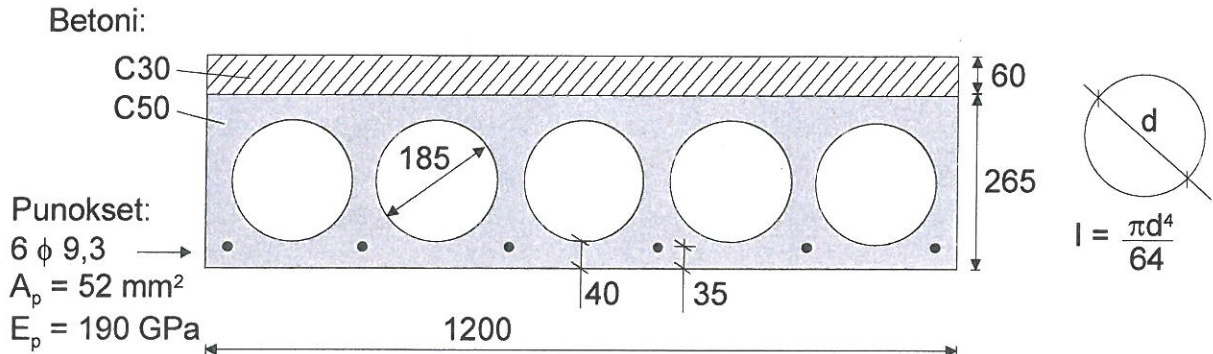
Kuva 1. Jälkijännitetty palkki.

Tarkastellaan vain sellaisia vaikutuksia, jotka aiheuttavat betoniin taivutusta tai aksiaalista voimaa. Määritä jännevoimasta aiheutuvat, betonia kuormittavat voimavaikutukset suuruudeltaan ja suunnaltaan käyttäen kuvan geometriaa, Piirrä kuva vaikutuksista. (4 p)

## Rak-43.3110 Betonirakenteiden suunnittelu

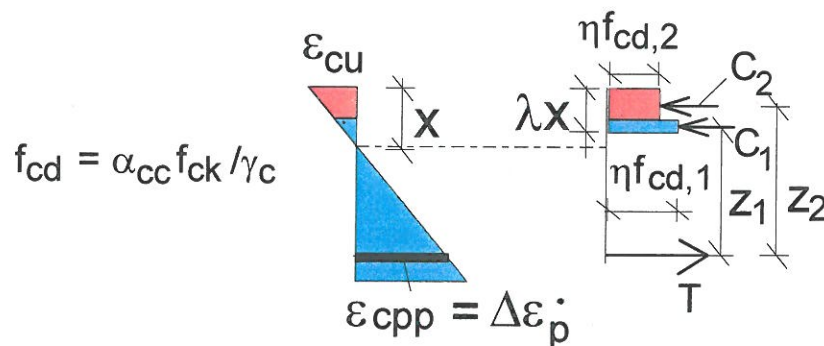
Tentti 25.5.2012

3. Kuvan 2 liittorakenteessa alaosa on esijännitetty kuudella punoksella. Punoksen poikkileikkauksen ala on  $52 \text{ mm}^2/\text{punos}$ . Päistään nivelellisesti tuetun laatan jänneväli on 5,0 m. Alaosan yläpinta voidaan katsoa sileäksi yläosaa valettaessa ja laatan pään lähellä betoni säilyy halkeilemattomana murtoon saakka.



Kuva 2. Jälkijännitetty palkki.

- a) Laske valusauman leikkausjännitys hyötykuormasta  $q_{Ed} = 10 \text{ kN/m}^2$ . Käytä apuna sivun 3 opastusta. (4 p)
- b) Onko valusaumassa merkittävää murtumisriskiä leikkausjännityksen johdosta? (1 p)
4. Edellisen tehtävän liittolaatta. Lisätietoja:
- \* Teräksen 0,1-raja on 1630 MPa, myötölujenemista ei oteta huomioon
  - \* Alkujännitys on 1100 MPa ja jännityshäviöt ovat 18 %
  - \* Materiaalien osavarmuusluvut ovat  $\gamma_c = 1,50$ ,  $\gamma_p = 1,15$
  - \* Kuvan 3 laskentamallissa on  $\alpha_{cc} = 0,85$ ,  $\lambda = 0,80$ ,  $\eta = 1,00$ ,  $\epsilon_{cu} = 0,0035$



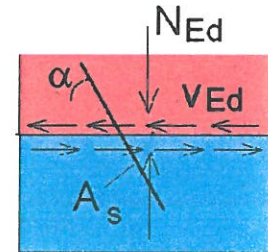
Kuva 3. Eurokoodi 2:n laskentamalli taivutusmurtoa varten.

- a) Selvitä laskemalla, tapahtuuko taivutusmomentin kasvaessa teräksen vetomurto, betonin puristusmurto vai tasapainomurto. (4 p)
- b) Laske liittopoikkileikkauksen eurokoodi 2:n mukainen taivutuskestävyys  $M_{Rd}$  murtorajatilassa (2 p).

$$\tau = \frac{(ES)_{ylä} V}{(EI)b} = \frac{S_{m,ylä} V}{I_m b}$$

### Valusauman leikkauskestävyys

Kuvan 101 valusaumaan kohdistuu puristava jännitys  $\sigma_n$  ja leikkausjännitys  $v_{Ed}$ . Sauman poikki kulkee rauditus jonka pinta-ala on sauman pintayksikköä kohti  $\rho$ . EC2:n mukaan sauman leikkauskestävyys on leikkausjännityksenä ilmaistuna:



$$v_{Rai} = \min\{0,5f_{cd}; cf_{ctd} + \mu\sigma_{cn} + \rho f_{yd}(\mu \sin \alpha + \cos \alpha)\}$$

Tehokkuuskerroin  $\gamma = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$  (NDP eli kansallisesti valittavissa)

Kuva 101.

- Parametrit  $c$  ja  $\mu$  riippuvat pinnan karheudesta
- $f_{ck}$  ja  $f_{cd}$  ovat betonin puristuslujuuden ominaisarvo ja mitoitusarvo
- $f_{ctd}$  ja  $f_{yd}$  ovat betonin ja teräksen vetolujuuden mitoitusarvot
- $\alpha$  on sauman ja teräksen välinen kulma. Jos  $\alpha < 45^\circ$  tai  $\alpha > 90^\circ$ , raudoitusta ei oteta huomioon ( $\rho = 0$ )
- $\sigma_n$  on valusaumaa vastaan kohtisuora normaalijännitys (puristus positiivinen). Jos  $\sigma_n$  on vetoa, se asetetaan nolaksi.

Saumojen luokittelu:

	$c$	$\mu$
Hyvin sileä	0,025– 0,10	0,5
Sileä	0,20	0,6
Karhea	0,45	0,7
Vaarnattu kuvan 97 mukaan	0,50	0,9

Taulukko 3.1 Betonin lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet

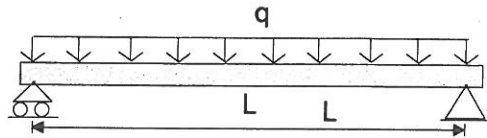
Betonin lujuusluokka												Analyttinen yhteys/viittaus			
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck, cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk, 0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5 % fraktiili
$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk, 0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95 % fraktiili
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)^{0,3}]$ ( $f_{cm}$ MPa)
$\epsilon_{c1}$ (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	ks. kuvaa 3.2 $\epsilon_{c1} (\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0,31} \leq 2,8$
$\epsilon_{cu1}$ (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	ks. kuvaa 3.2 kun $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu1} (\text{‰}) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
$\epsilon_{c2}$ (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	ks. kuvaa 3.3 kun $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c2} (\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$
$\epsilon_{cu2}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	ks. kuvaa 3.3 kun $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu2} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
$n$	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	ks. kuvaa 3.4 kun $f_{ck} \geq 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
$\epsilon_{c3}$ (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	ks. kuvaa 3.4 kun $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c3} (\text{‰}) = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
$\epsilon_{cu3}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	ks. kuvaa 3.4 kun $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu3} (\text{‰}) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

Alkuperäisen standardin taulukon rivillä 8 viimeisessä sarakkeessa oleva virhe on korjattu käännökseen (korjauslehti N\_0649)

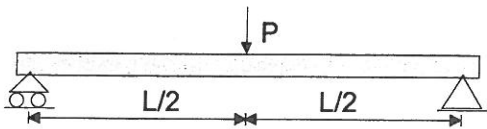
## Taipumien laskenta

Taipumat  $f$  ratkaistaan differentiaaliyhtälöstä

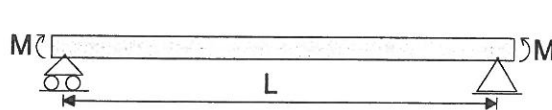
$$f'' = -\kappa = -\frac{M}{EI} = -\frac{M}{E_0 J_m}$$



$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

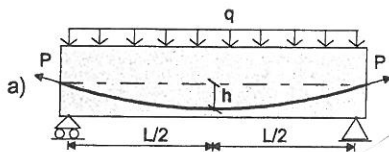


$$f = \frac{1}{48} \frac{PL^3}{EI}$$

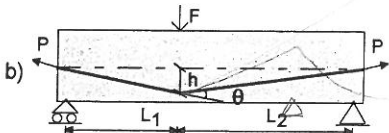


$$f = \frac{1}{8} \frac{ML^2}{EI}$$

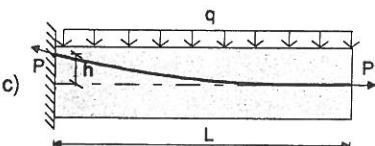
Ehto tasapainotukselle:



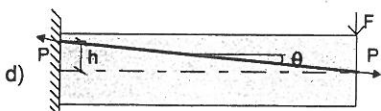
$$q = \frac{8 \cdot Ph}{L^2}$$



$$F = P \sin \theta \approx P \tan \theta \approx P \theta$$



$$q = \frac{2Ph}{L^2}$$



$$F = P \sin \theta \approx P \tan \theta = \frac{Ph}{L}$$