

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

**TENTISSÄ JAETAAN**

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

**TRT:n KAAVAKOKOELMA JA EUROKODI 2:N TAULUKKO TULEE PALAUTTAA TENTIN JÄLKEEN.**

**OMAA KIRJALLISUUTTA EI SAA KÄYTTÄÄ.**

Hyväksytyyn suoritukseen tentissä vaaditaan 45% maksimipisteistä.

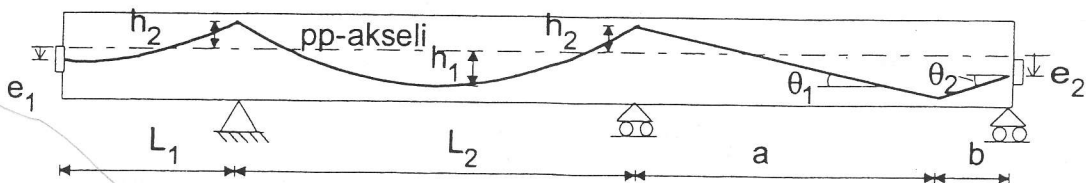
Jos teet laskelmissa yksinkertaistavia oletuksia, perustele ne ja arvioi yksinkertaistusten merkitystä. Materiaaliominaisuudet lasketaan jaetun eurokoodin taulukon avulla, jos niitä ei ole valmiiksi annettu.

Kaikki mitat kuvissa ovat millimetreissä, ellei toisin mainita.

1. Selitä seuraavien käsitteiden merkitys (6 p)

- Brutto poikkileikkaus, netto poikkileikkaus ja muunnettu poikkileikkaus
- Aktiivi- ja passiiviankkuri
- Tartuntajänne ja tartunnaton jänne
- Jänne ohjausvoima
- Aktiivinen ja passiivinen rauditus
- Kuorman tasapainottaminen

2. Kuvan 1 ankkurijännepalkissa jännevoima  $P$  oletetaan vakioksi ankkureiden välillä. Jänne muodostuu murtoviivasta ja kahdesta paraabelin kaaresta. Palkin oikeassa päässä jänteellä on vaakasuora tangenti. Palkin korkeus on pieni suhteessa palkin pituuteen.



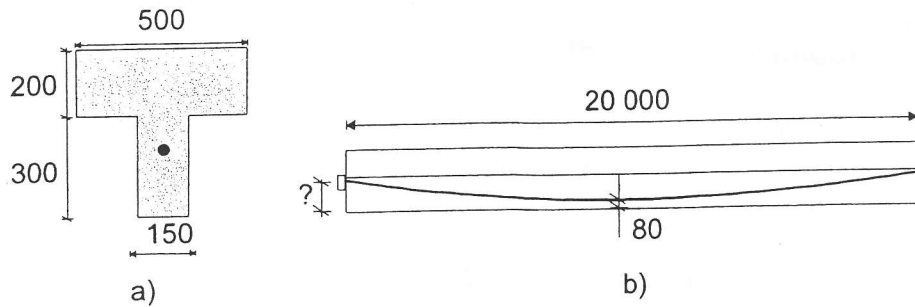
Kuva 1. Ankkurijännepalkki.

- Määritä tukien välillä ja palkin päissä  $P$ :n betoniin kohdistamien voimavaikutuksien suuruus ja suunta lausuttuna  $P$ :n ja kuvassa 1 annettujen mittojen avulla. Piirrä kuva (3 p)
- Miksi kuvan jännegeometria ei sellaisenaan kelpaa tavanomaiseen ankkurijännepalkkiin? Miten sitä pitäisi muuttaa? (1 p)

# Rak-43.3110 Betonirakenteiden suunnittelu

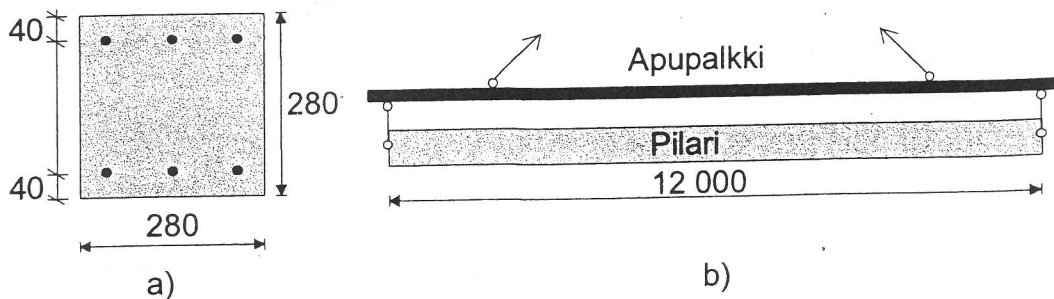
Tentti 28.8.2009

- c) Miksi  $P$ :stä tukien kohdalle aiheutuvia, palkkia vastaan kohtisuoria voimia ei tarvitse ottaa huomioon palkin mitoituksessa?. (1 p)
3. Kuvan 2 ankkurijännepalkissa jännevoima  $P$  tasapainottaa palkin oman painon. Betonin paino on  $25 \text{ kN/m}^3$ .



Kuva 2. Ankkurijännepalkki. a) Poikkileikkaus. b) Sivukuva.

- a) Mikä geometrinen käyrän muoto (sanallinen kuvaus riittää) soveltuu jännteelle ja mille korkeudelle (laske lukuarvo) jänne tulee ankkuroida? (2 p)
- b) Miten suuri tulee jännevoiman olla ennen jänneiden lukitusta, jotta oman painon tasapainotus 18% jännityshäviöiden jälkeen toteutuisi? (2 p)
4. Kuvan 3 jännitetty pilari valetaan vaakasuorassa asennossa. Tartuntajänneet  $6 \phi 12,5 \text{ mm}$  ( $A_p = 93 \text{ mm}^2$  / jännepunos,  $E_p = 190 \text{ GPa}$ ) laukaistaan, kun betoni on kolmen vuorokauden ikäisenä saavuttanut 70 prosenttia 28 vrk:n lujuudestaan C50. Jänneiden alkujännitys on 1300 MPa. Betonin tilavuuspaino on  $25 \text{ kN/m}^3$ .



Kuva 3. Esijännitetty pilari. Mitat millimetreissä. a) Poikkileikkaus. b) Nosto.

a) Arvioi kaavan

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = E_p \varepsilon_{cs}(t, t_0) + 0,8 \Delta\sigma_{pr} + E_p \varphi(t, t_0) \frac{\sigma_{c,0P}}{E_{cm}}$$

avulla jänneiden jännityshäviöt 3 vrk:n ja kuukauden kuluttua valusta, kun pilarin oletetaan lepäävän alustallaan kitkattomasti. Loppukutistumaksi  $\varepsilon_{cs}(50,0)$  arvioidaan  $-0,04 \%$  ja virumaluvun loppuarvoksi  $\varphi(50,3) = 3,0$ . Tuhannen tunnin relaksaatio  $\rho_{1000}$  on  $2,5 \%$ . Käytä apuna seuraavaa taulukkoa. (3 p)

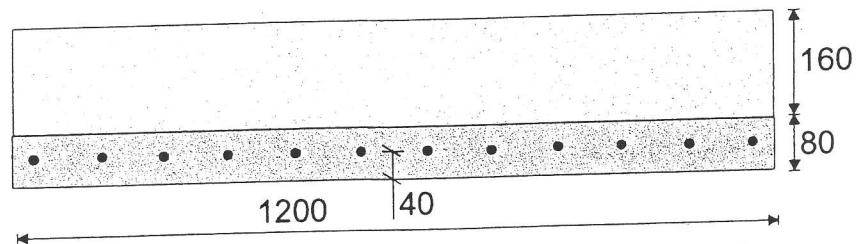
Rak-43.3110 Betonirakenteiden suunnittelu  
Tentti 28.8.2009

t	3 d	1 kk
Relaksaatio	$0,65\rho_{1000}$	$0,95\rho_{1000}$
Kutistuma	$0,15 \varepsilon_{cs}(50,0)$	$0,4 \varepsilon_{cs}(50,0)$
Viruma	-	$0,4 \varphi(50,3)$

b) Pilari nostetaan päistään 28 vrk:n kuluttua valusta. Laske betonin ylä- ja alapinnan jännitys pilarin keskikohtalla. Voiko betoni haljeta taiputuksessa noston aikana? (2 p)

5.

Kuvan 4 kuorilaatan alaosa valetaan hetkellä  $t = 0$ . Siinä on keskeisesti 12 tartuntajännepunosta, joiden teräksen kimmomoduuli on  $E_p = 198$  GPa. Alkujännitys on 1100 MPa ja poikkileikkausala/punos  $52 \text{ mm}^2$ . Kun alaosa on kovettunut sylinterilujuuteen  $f_{ck} = 30$  MPa hetkellä  $t_1$ , jänneet laukaistaan ja alaosa sahataan 6,7 m pituisiksi elementeiksi, jotka kovettuvat varastossa tasaisella alustalla koko pituudeltaan tuettuna hetkeen  $t_2$ .



Kuva 4. Kuorilaatta.

Yhden 6,7 m pitkän elementin päälle valetaan hetkellä  $t_2$  160 mm paksuinen betoninen pintakerros niin, että laatta lepää hallin lattialla koko pituudeltaan tuettuna kuukauden valun jälkeen. Tämän jälkeen hetkellä  $t_3$  laatta tuetaan päistään niin, että jänneväli on 6,5 m ja sen päälle asetetaan tasainen hyötykuorma  $q = 10 \text{ kN/m}^2$ .

$1740 \text{ kNm}$   
 $1,936 \text{ m}$

a) Laske kuorman  $q$  aiheuttama hetkellinen muutos liittorakenteen ala- ja yläpinnan jännitystilaan sekä taipumaan, kun

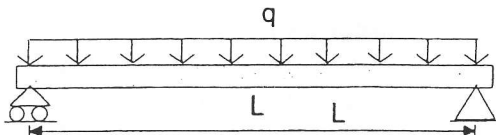
- alaosan betonin lujuus on  $f_{ck} = 50$  MPa
- yläosan betonin lujuus on  $f_{ck} = 30$  MPa. (4 p)

b) Perustele, miksi esijännityksen suuruudella on tietty merkitys a)-kohdassa? (1 p)

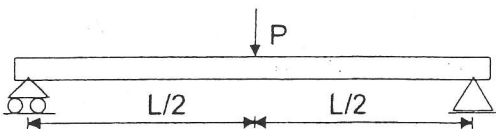
## Taipumien laskenta

Taipumat  $f$  ratkaistaan differentiaaliyhtälöstä

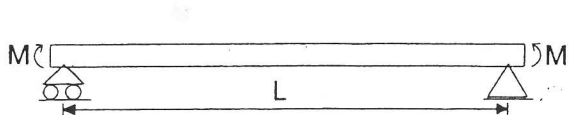
$$f'' = -\kappa = -\frac{M}{EI} = -\frac{M}{E_0 J_m}$$



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

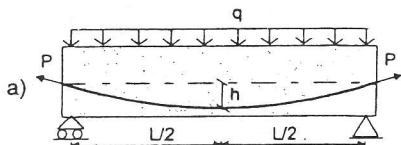


$$f = \frac{1}{48} \frac{PL^3}{EI}$$

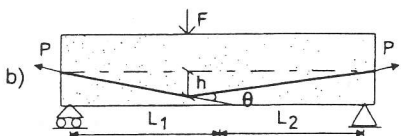


$$f = \frac{1}{8} \frac{ML^2}{EI}$$

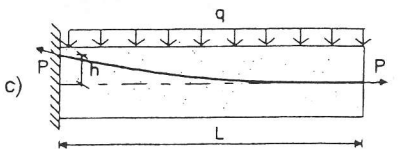
Ehto tasapainotukselle:



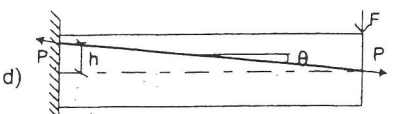
$$q = \frac{8 \cdot Ph}{L^2}$$



$$F = P\theta = P \left( \frac{h}{L_1} + \frac{h}{L_2} \right) = Ph \left( \frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2} \right)$$



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



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

Taulukko 3.1 Betonin lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet

Betonin lujuusluokka		Analyttinen yhteysviittaus													
		12	15	20	24	27	30	35	40	45	50	55	60	70	80
$f_{ck}$ (MPa)		15	20	24	27	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck, cube}$ (MPa)		20	25	28	29	30	33	35	36	37	38	39	41	42	44
$f_{cm}$ (MPa)		24	28	33	34	35	38	40	41	42	44	46	48	49	50
$f_{ctm}$ (MPa)		1,6	1,9	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)		1,1	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)		2,0	2,5	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
$E_{cm}$ (GPa)		27	29	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31
$\epsilon_{c1}$ (‰)		1,8	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
$\epsilon_{cu1}$ (‰)		3,5													
$\epsilon_{c2}$ (‰)		2,0													
$\epsilon_{cu2}$ (‰)		3,5													
$n$		2,0													
$\epsilon_{c3}$ (‰)		1,75													
$\epsilon_{cu3}$ (‰)		3,5													

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