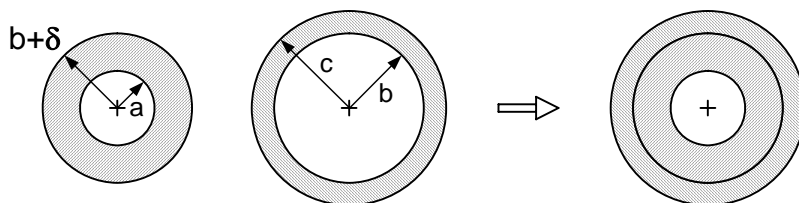


Kaksi samasta materiaalista valmistettua putkea asennetaan sisäkkäin ulommaista putkea lämmittämällä. Ennen asennusta sisäputken ulkosäde on määrän δ suurempi kuin ulkoputken sisäsäde. Putkien pituuden muutos voi tapahtua vapaasti. Voidaan osoittaa, että



$$q = \frac{E\delta}{b} \cdot \frac{(b^2 - a^2)(c^2 - b^2)}{2b^2(c^2 - a^2)}.$$

Laadi Mathcad-dokumentti, jossa annetaan lähtötietoina ylimitta δ , sisäpuolinen paine p , kimmomoduuli E , Poissonin vakio ν , sisäsäde a , liitossäde b ja ulkosäde c ja joka suorittaa alla kuvatut toiminnot. Palauta työselostus-dokumentti seuraavilla lähtötiedoilla lasketuna: $\delta = 0,075 \text{ mm}$, $E = 210 \text{ GPa}$, $\nu = 0,3$, $a = 50 \text{ mm}$, $b = 75 \text{ mm}$, $c = 100 \text{ mm}$ ja $p = 300 \text{ MPa}$.

a) Kirjoita putkiin **tartuntapaineesta q aiheutuvien** jännityskomponenttien $\sigma_{rq}(r)$ ja $\sigma_{\theta q}(r)$ sekä säteittäissiirtymän $u_{rq}(r)$ lausekkeet. Piirrä jännityskomponenttien $\sigma_{rq}(r)$ ja $\sigma_{\theta q}(r)$ sekä säteittäissiirtymän $u_{rq}(r)$ kuvaajat yhdistetyn putken seinämänpaksuuden matkalta ja tulosta niiden arvot kohdissa $r = a$, $r = b^-$, $r = b^+$ ja $r = c$. **1 p**

b) Putkiyhdistelmän kuormitukseksi tulee tartunnan lisäksi sisäpuolinen ylipaine p . Piirrä **ylipaineesta p aiheutuvien** jännityskomponenttien $\sigma_{rp}(r)$ ja $\sigma_{\theta p}(r)$ sekä säteittäissiirtymän $u_{rp}(r)$ kuvaajat yhdistetyn putken seinämänpaksuuden matkalta ja tulosta niiden arvot kohdissa $r = a$, $r = b^-$, $r = b^+$ ja $r = c$. **1 p**

c) Piirrä tartunnasta ja sisäpuolisesta paineesta aiheutuvien **yhteenlaskettujen** jännityskomponenttien $\sigma_r(r) = \sigma_{rq}(r) + \sigma_{rp}(r)$ ja $\sigma_{\theta}(r) = \sigma_{\theta q}(r) + \sigma_{\theta p}(r)$ sekä säteittäissiirtymän $u_r(r) = u_{rq}(r) + u_{rp}(r)$ kuvaajat yhdistetyn putken seinämänpaksuuden matkalta ja tulosta niiden arvot kohdissa $r = a$, $r = b^-$, $r = b^+$ ja $r = c$. **1 p**

d) Laske kohtiin b). ja c) liittyvät putken vertailujännitykset MLJH:n mukaan kohdissa $r = a$, $r = b^-$, $r = b^+$ ja $r = c$. **Selvitä, mitä hyötyä kutistusliitoksen käytöllä saavutetaan.** **1 p**