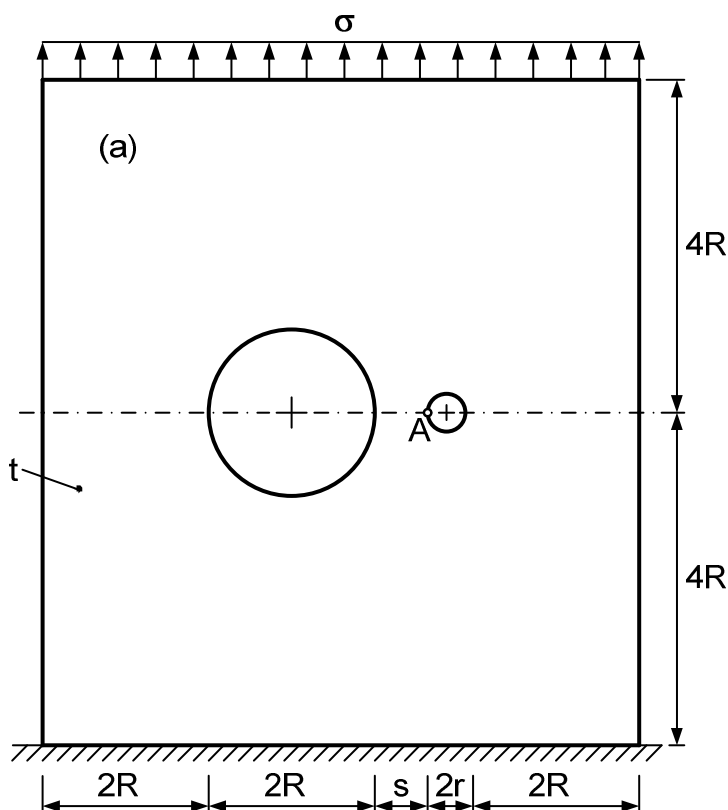


MATERIAALIEPÄLINEAARINEN ANALYYSI

Työssä tarkastellaan oheisen kuvan (a) suorakulmiolevyä, jossa on kaksi ympyräreikää. Levyn alareuna on jäykästi kiinnitetty ja kuormituksena on työvaiheissa 1 ja 2 reunakuormitus σ sekä työvaiheessa 3 levyn yläreunan siirtymä $8R$ ylöspäin.



Levyn mitat ovat:

$t = \text{_____ mm}$

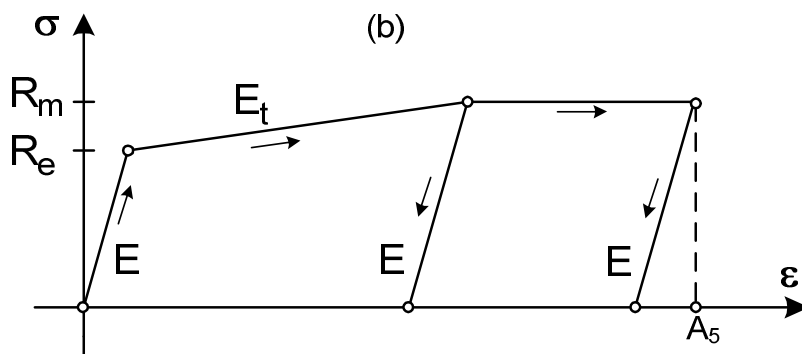
$R = \text{_____ mm}$

$R/r = 5$

$s/r = \text{_____}$.

Levy on työvaiheissa 1 ja 2 terästä S355, jonka jännitys-venymäkäyrä on seuraavalla sivulla olevan kuvan (b) mukainen murtoviiva (lineaarisesti kimmoinen, lineaarisesti myötölujittuva materiaali). Materiaalivakiot ovat $E = 210 \text{ GPa}$, $\nu = 0,3$, $R_e = 355 \text{ MPa}$, $R_m = 520 \text{ MPa}$, $E_t = 30 \text{ GPa}$ ja $A_5 = 22 \%$ (E_t on tangenttimoduuli ja A_5 murtovenymä). Täydennä kuvassa (b) oleva taulukko laskemalla murtoviivaan merkittyjä kulmapisteitä vastaavat pysyvän venymän arvot.

Levy on työvaiheessa 3 kumia, jonka materiaalimalli on 2-parametrinen Mooney-Rivlin materiaali. Materiaalivakiot ovat $C_{10} = 0,1724 \text{ MPa}$, $C_{01} = 0,0483 \text{ MPa}$ ja $D_1 = 0 \text{ MPa}^{-1}$.



Jännitys/MPa	Pysyvä venymä
355	
520	
520	

Projektikaavio:

Poimitaan Toolboxista Static Structural (ANSYS).

Materiaalit:

Tee ensin tarvittavat materiaalmallit. Avaa materiaalien hallinnan käyttöliittymä esim. kaksoisklikkaamalla projektikaavion Engineering Data solua. Avautuvassa käyttöliittymässä on kuusi ikkunaa. Vasemmassa reunassa on Toolbox-ikkuna. Keskellä on allekkain ikkunat Engineering Data Sources, Outline of [Sourcen nimi] ja Properties of Outline Row [rivin n:o] [materiaalin nimi]. Jos ikkuna Engineering Data Sources ei ole näkyvissä keskellä ylhäällä, ota se näkyviin työkalurivin painikkeesta (sisältää kirjojen kuvia). Oikeassa reunassa on allekkain ikkunat Table of Properties Row [rivin n:o] [ominaisuuden nimi] ja Chart of Properties Row [rivin n:o] [ominaisuuden nimi].

Lisää ensin Engineering Data Sources ikkunassa oma Data Source (anna nimeksi Omat materiaalit) tähdellä merkityllä alarivillä A-sarakkeen ruudussa. Tallenna Omat materiaalit C-sarakkeen painikkeesta ja varmista, että B-sarakkeen (kynä) ruutu on ruksattuna, jolloin omia materiaaleja voidaan lisätä ja editoida.

Lisää sitten Outline of Omat materiaalit ikkunassa materiaali Teräs S355 tähdellä merkityllä alarivillä A-sarakkeen ruudussa. Ota sitten Toolboxista ominaisuudet Linear Elastic > Isotropic Elasticity ja Plasticity > Multilinear Isotropic Hardening kaksoisklikkaamalla niiden kuvakkeita. Valitut ominaisuudet tulevat näkyviin alimpaan Properties of Outline [rivin n:o] [materiaalin nimi] ikkunaan, anna tarvittavat materiaalitiedot tässä ikkunassa tai Table of Properties Row [rivin n:o] [ominaisuus] ikkunassa.

Lisää vielä edellä kuvatulla periaatteella materiaali Kumi ja ota sille Toolboxista ominaisuus Hyperelastic > Mooney-Rivlin 2 Parameter ja anna tarvittavat materiaalitiedot.

Tallenna Omat materiaalit Engineering Data Sources ikkunan C-sarakkeesta ja ota B-sarakkeen ruudusta ruksi pois. Klikkaa Outline of Omat materiaalit ikkunassa B sarakkeen + merkkejä, jolloin C-sarakkeeseen tulee kirjan kuva (tehty materiaali tulee projektin käyttöön). Klikkaa lopuksi menurivillä Return to Project painiketta.

Geometria:

Koska kyseessä on tasojännitystilatehtävä, muuta analyysin tyyppi kaksiulotteiseksi. Klikkaa Geometry solua oikealla näppäimellä ja valitse Properties. Muuta avautuvassa ikkunassa kohta Analysis Type arvoon 2D.

Mallinna levyn keskipinta Design Modelerilla XY-tasolle (Sketch ja Concept menu, anna myös levyn paksuus pinnan Details ikkunassa).

Elementtiverkko:

Siirry Mechanicaliin projektikaavion Model solun avulla ja generoi oletuselementtiverkko. Tihennä verkkoa kuvassa (a) olevan pisteen A läheisyydessä (todennäköinen jännityshuippu). Tee ensin uusi koordinaatisto valitsemalla Outline > Coordinate Systems > Insert > Coordinate System ja määrittele tehdyn koordinaatiston origo Details ikkunassa pisteeseen A vaihtoehdolla Define by > Global Coordinates. Valitse sitten Outline > Mesh > Insert > Sizing ja sen Details ikkunassa Scope > Geometry kohdassa tihennyskohteeksi pienen ympyrän kehä sekä Definition > Type kohdassa Sphere of Influence. Valitse Sphere Center edellä tehdyn koordinaatiston origoon, anna sopiva Sphere Radius sekä Element Size. Päivitä lopuksi verkko.

Työvaiheet:

1. Lineaarinen staattinen analyysi.

Tarkista Outline > Geometry > Details kohdassa, että 2D Behavior on asennossa Plane Stress (tasojännitystila).

Valitse materiaaliksi Outline > Geometry > Surface Body > Details ikkunassa Teräs S355. Määrittele alareunan jäykkä tuenta (Fixed Support) ja reunakuormitus σ (Pressure, anna sopiva alkuarvaus, esim. 10 MPa)

Selvitä kokeilemalla se reunakuormituksen arvo σ (MPa), jolla myötö levyssä alkaa.

Tarkastele levyn jännityksiä ja siirtymiä myötön alkamishetkellä.

Määritä laskennan tuloksista reikien loven muotoluku ja vertaa sitä jaetusta käyrästä saatavaan arvoon.

2. Materiaaliepälineaarinen analyysi, plastinen materiaali.

2D analyysin tyyppi on edelleen tasojännitystila ja levyn materiaali Teräs S355.

Tarkista, että Outline > Geometry > Surface Body > Details ikkunan Material kohdassa Nonlinear Effects on asennossa Yes.

Aseta Outline > Analysis Settings > Details ikkunan Step Controls alueen kentän Auto Time Stepping arvoksi Off ja sen jälkeen kenttä Define By arvoon Substeps ja kenttä Number of Substeps arvoon 10. Kuormitus lisätään näin 10 askeleella, jolloin on mahdollista seurata esim. myötämisen etenemistä kuormituksen kasvaessa.

Selvitä kokeilemalla levyn murtokuormituksen arvo σ (MPa) (laskenta ei mene läpi, jos kuormitus on murtokuormitusta suurempi.

Tarkastele levyn jännityksiä, siirtymiä ja pysyviä venymiä kuormituksen kasvaessa.

3. Materiaaliepälineaarinen analyysi, hyperelastinen materiaali.

2D analyysin tyyppi on edelleen tasojännitystila.

Valitse materiaaliksi Outline > Geometry > Surface Body > Details ikkunassa Kumi ja varmista, että Material kohdassa Nonlinear Effects on asennossa Yes.

Poista yläreunan reunakuormitus ja aseta pystysuuntainen siirtymäkuormitus (Displacement) arvoon 8R.

Aseta Outline > Analysis Settings > Details ikkunan Solver Control alueen kentän Large Deflection arvoon On.

Käytä kohdassa 2 määriteltyä kuormituksen askellusta (10 kuormitusaskelta).

Tarkastele levyn jännityksiä, venymiä ja siirtymiä kuormituksen kasvaessa.

Työselostus:

Harjoitustyöstä laaditaan työselostus, josta selviävät työn kulkuun liittyvät keskeiset seikat, saadut tulokset ja niistä tehdyt päätelmät. Työselostuksen sisältö ja mukaan liitettävät dokumentit ja kuvat tulee opiskelijan itse päättää.

Harjoitustyön arvioinnissa otetaan huomioon tehdyn työn määrä, tulosten ja päätelmien oikeellisuus, mutta myös työselostuksen kattavuus ja ulkoasu.