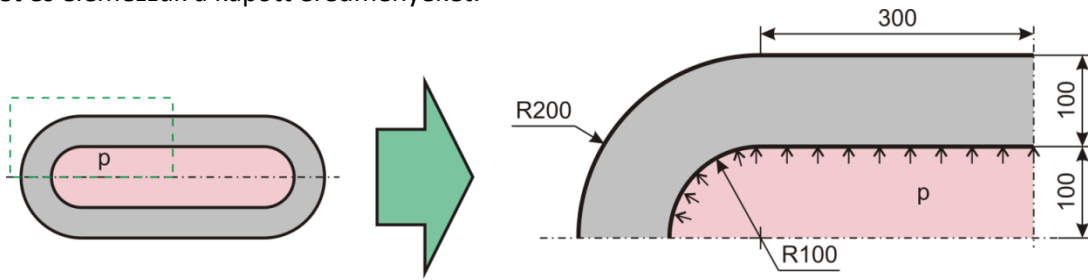


FELADAT LEÍRÁSA

Az alábbi vastagfalú tartály terhelése $p=300$ bar belső nyomás. Anyagának rugalmassági modulusza $E=200$ GPa, a Poisson-tényező értéke $0,3$. A tartály geometriai méretei az ábrán adottak. Határozzuk meg a falban ébredő feszültségeket és elemezzük a kapott eredményeket.



MEGOLDÁS ANSYS-BAN

ANSYS indítása, majd válasszunk munkakönyvtárat és *jobname*-t. A munkakönyvtár legyen pl D:\NEPTUNKOD.

Utility Menu -> File -> Change Directory ...

Utility Menu -> File -> Change Jobname ...

Utility Menu -> File -> Change Title ...

GEOMETRIA MEGADÁSA

A feladat megoldásánál felhasználjuk, hogy a probléma tengelyszimmetrikus, emiatt elég modellezni a meridiánsík általi metszetet. A szimmetria miatt elég csak a tartály negyedét modellezni. A geometriát [mm]-ben adjuk meg, emiatt a feszültségre kapott numerikus értékeket majd [Mpa]-ban fogjuk kapni!

Fontos: axisymmetric feladat esetén az ANSYS értelmezése szerint az Y-tengely a forgástengely, az X-irány pedig a radiális iránynak felel meg. A Z-irány pedig a tangenciális irány! Az $X < 0$ tartományra nem rajzolhatunk! Ezen elveket követve kell megrajzolnunk a geometriát.

Hét *keypoint* legyen a feladatban:

Main Menu -> Preprocessor -> Modeling -> Create -> Keypoints -> In Active CS

A felugró ablakban a *keypoint* sorszámát írjuk be és adjuk meg a koordinátáit. A Z-t hagyhatjuk üresen. Ha **Apply**-t nyomunk és nem **OK**-t akkor nem tűnik el az ablak.

A *keypoint*ok koordinátái:

keypoint	X	Y	Z
1	0	500	
2	0	400	
3	0	300	
4	100	300	
5	200	300	
6	100	0	
7	200	0	

A hengeres rész kontúrvonalának megadása:

Main Menu -> Preprocessor -> Modeling -> Create -> Lines -> Lines -> Straight Line

Definiáljuk a megadott *keypoint*ok között a vonalakat:

line	keypoint 1	keypoint 2
1	1	2
2	4	5
3	5	7
4	7	6
5	6	4

A külső és belső körív megadásának egy lehetséges módja:

Main Menu -> Preprocessor -> Modeling -> Create -> Lines -> Arcs -> By End KPs & Rad

Kattintsunk rá a körív kezdő és végpontjára (2. és 4. *keypoint*), majd **OK**, majd kattintsunk a körív középpontjára (3. *keypoint*) és **OK**. A felugró ablakban a RAD mezőben adjuk meg a körív sugarát (100) majd **OK**. Hasonló módon készítjük el a külső körívet is, ahol a sugár 200.

A következő lépés a síkfelületek (2db) megadása.

Main Menu -> Preprocessor -> Modeling -> Create -> Areas -> Arbitrary -> By Lines

Kattintsunk a köríves területet körbehatároló vonalakra majd **OK**. Ismételjük meg a lépést a hengeres részre is majd **OK**. Ezáltal definiáltunk két területet.

ANYAGTULAJDONSÁG MEGADÁSA

Main Menu -> Preprocessor -> Material Props -> Material Models / Structural / Linear / Elastic / Isotropic

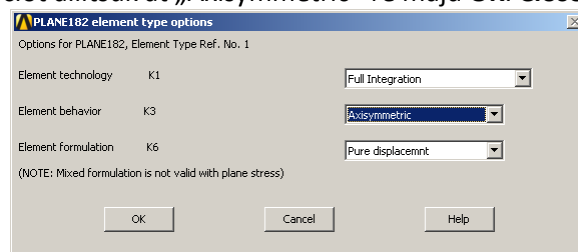
A felugró ablakban EX jelenti a rugalmassági moduluszt és PRXY a Poisson-tényezőt. Adjuk meg az értéküket: 200E3 (mivel [mm]-t használunk, emiatt a rugalmassági moduluszt [Mpa]-ban kell megadnunk!) és 0.3 majd **OK**.

ELEMTÍPUS MEGADÁSA

Síkbeli négycsomópontos elemet fogunk használni, *tengelyszimmetrikus* állapot modellezésével.

Main Menu -> Preprocessor -> Element Type -> Add/Edit/Delete / Add... / Structural / Solid / Quad 4 node 182

Az *Options...* menüben a K3-as opciót állítsuk át „Axisymmetric”-re majd **OK**. **Close**.



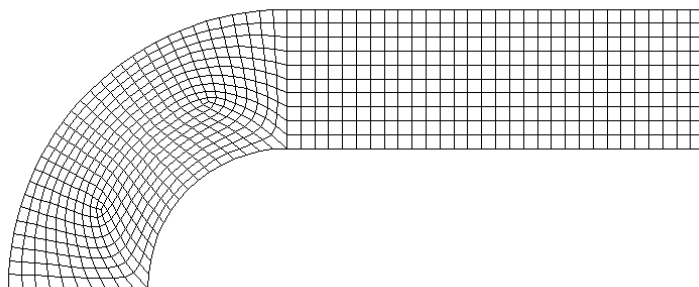
HÁLÓZÁS

Main Menu -> Preprocessor -> Meshing -> MeshTool

Elsőként a hálózáshoz használt elemhez hozzá kell rendelni az attribútumait: A felugró ablakban *Element Attributes*: itt most maradhat a Global mert most minden geometiához ugyanazon elemeket, anyagtípus rendeljük hozzá.

Elemméret megadása: A MeshTool ablakban a *Size Controls*: alatt az *Areas* mellett nyomjunk a **Set**-re majd a felugró ablakban *Pick All*. Az új ablakban a *SIZE* mezőbe írjunk be példaképp 10-et és **OK**.

Hálózás: A MeshTool ablakban kattintsunk a **Mesh** gombra majd a *Pick All*-ra. Ezzel kész a hálózás.



A köríves részen az elemfelosztás nem egyenletesen szabályos. Célszerűbb olyan elemfelosztást készíteni, ami jobban követi a geometriai sajátosságokat. Töröljük ezt a hálót:

Main Menu -> Meshing -> Clear -> Areas

Pick All.

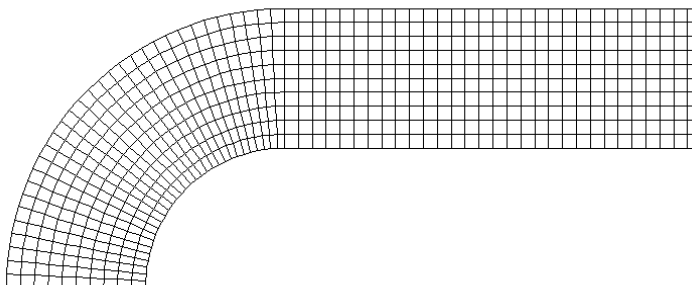
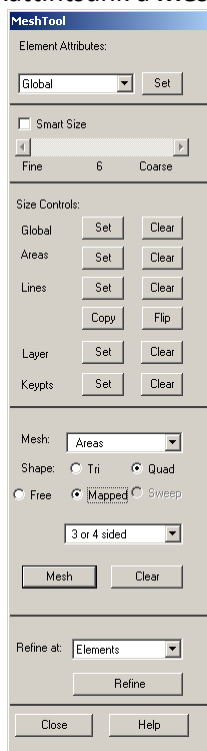
Készítsünk új hálót, más felosztási algoritmust használva. Elsőként plottolassuk ki az eddig definiált geometriai összetevőket:

Utility Menu -> Plot -> Multi-Plots

Hívjuk elő ismét a *MeshTool* ablakot.

Main Menu -> Preprocessor -> Meshing -> MeshTool

A Mesh gomb feletti részen állítsuk át a módszert *Mapped*-ra, és a legördülő menüben a „3 or 4 sided” legyen választva. Kattintsunk a **Mesh** gombra majd a *Pick All*-ra. Ezzel kész új hálózás.



KINEMATIKAI PEREMFELTÉTELEK MEGADÁSA

A szimmetria miatt az alsó élen az y-irányú elmozdulás gátolt:

Main Menu -> Solution -> Define Loads -> Apply -> Structural -> Displacement -> On Lines

Válasszuk ki egérrel az alsó élet majd **OK**. Az új felugró ablakban válasszuk az UY-t és **OK**.

További kinematikai peremfeltételek megadására nincs szükség, mivel a radiális irányú (X) kényszerről az gondoskodik, hogy *axisymmetric* az elemtípus, vagyis a megoldás során a szoftver „tudja”, hogy az Y tengely a forgástengely és ezáltal további kinematikai kötöttségünk van.

TERHELÉSEK MEGADÁSA

Main Menu -> Solution -> Define Loads -> Apply -> Structural -> Pressure -> On Lines

Válasszuk ki a két belső kontúrt és **OK**. A VALUE mezőben adjuk meg az értékét ([MPa]-ban !) 30, és **OK**.

MEGOLDÁS

Main Menu -> Solution -> Solve -> Current LS

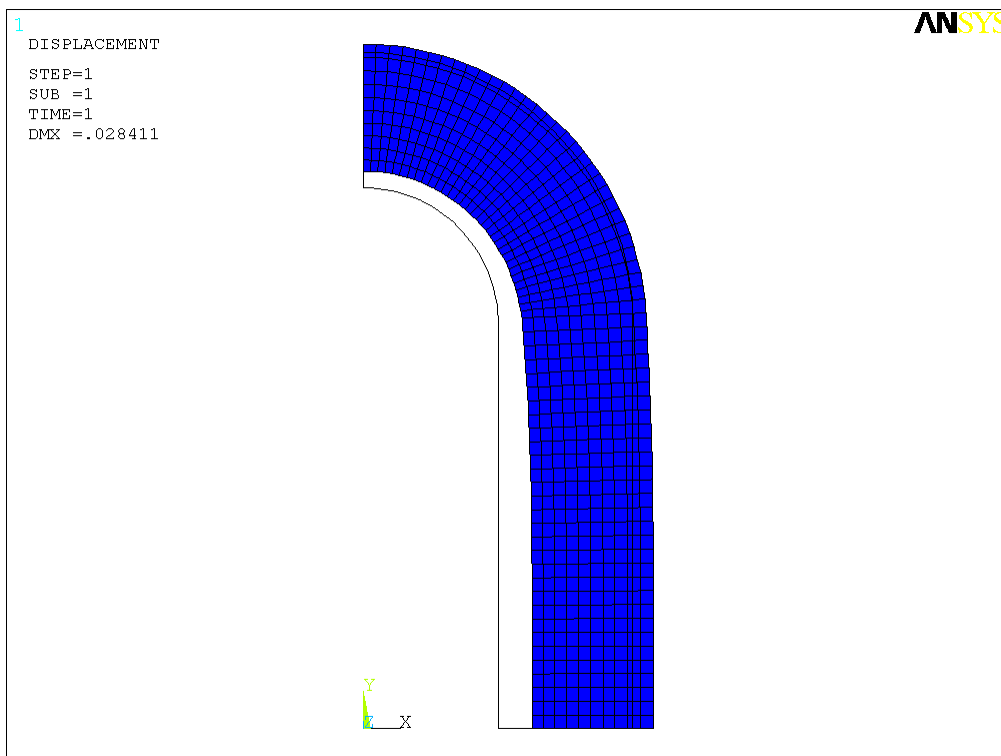
Felugró ablakban **OK**. Ha kész akkor az értesítés ablak jelenik meg, hogy „Solution is done!”. **Close**. A /STATUS ablakot is bezárhatjuk.

EREDMÉNYEK MEGJELENÍTÉSE

Deformált alak kirajzoltatása:

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Deformed Shape

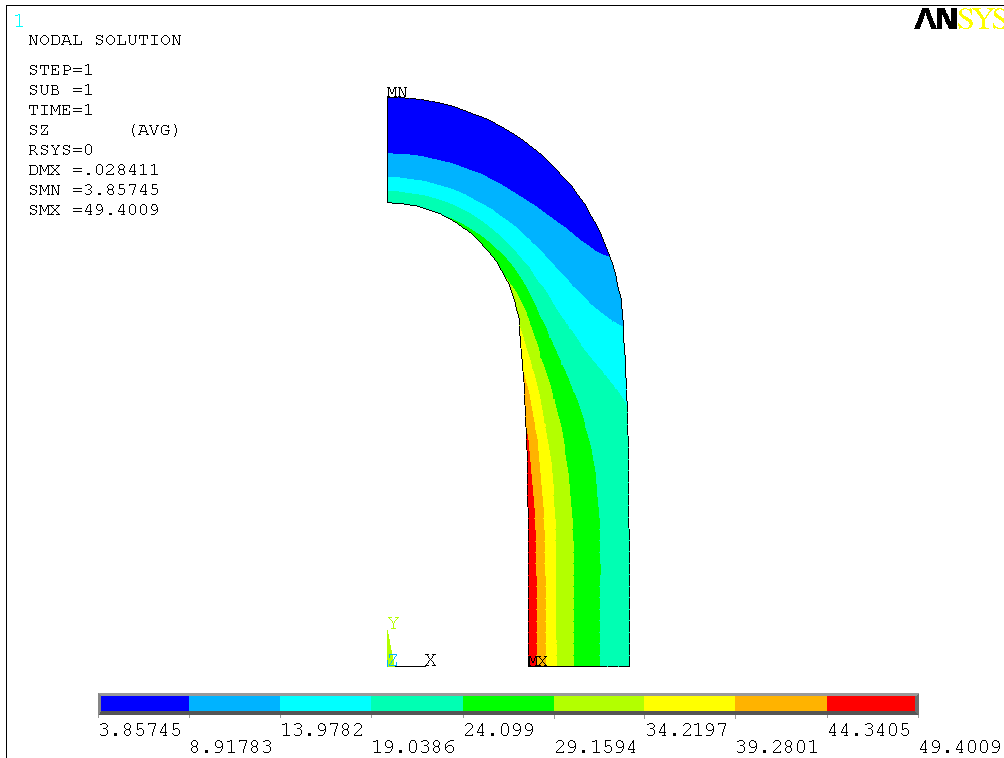
A felugró ablakban válasszuk ki a „Def + undef edge” opciót. **OK**.



Plottoltassuk ki a tangenciális (Z irány) normálfeszültségeket:

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Contour Plot -> Nodal Solu / Nodal Solution / Stress / Z-Component of stress

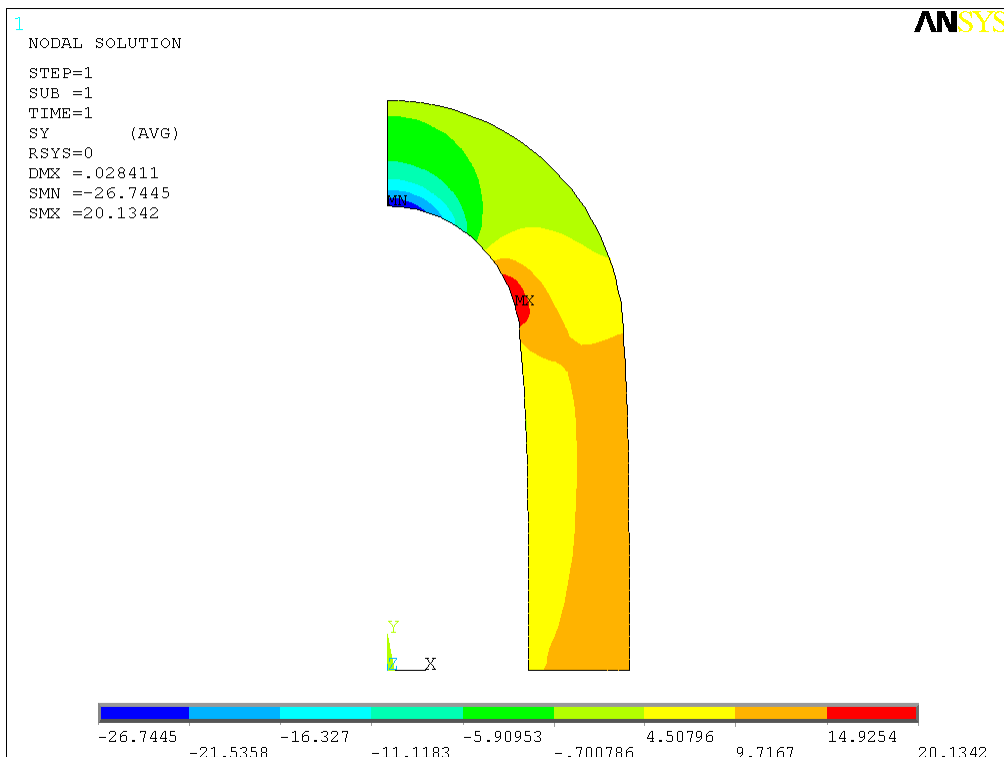
OK.



Plottoltassuk ki az Y-irányú normál feszültségeket (a hengeres szakaszon ezen feszültségek lesznek a meridián feszültségek):

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Contour Plot -> Nodal Solu / Nodal Solution / Stress / Y-Component of stress

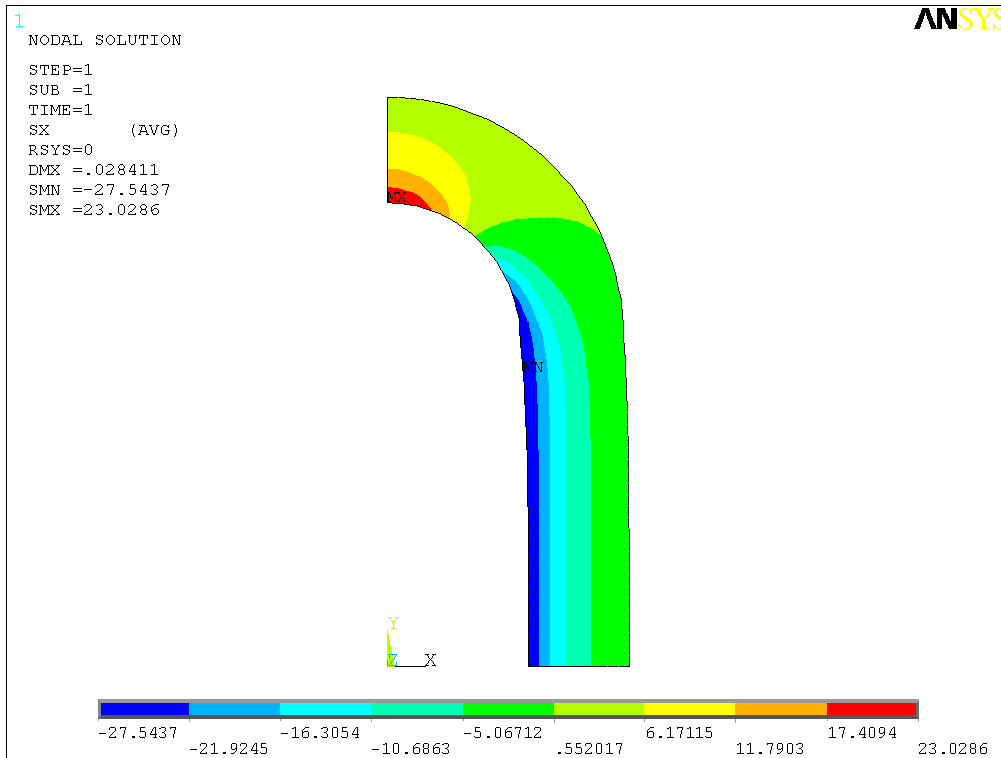
OK.



Plottoltassuk ki az X-irányú normál feszültségeket (a hengeres szakaszon ezek lesznek a radiális feszültségek):

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Contour Plot -> Nodal Solu / Nodal Solution / Stress / X-Component of stress

OK.



Nézzük meg a hengeres részen a falvastagság mentén a feszültségek eloszlását. Ehhez előbb definiálnunk kell egy PATH-t, aminek mentén szeretnénk az megoldásokat megjeleníteni.

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Define Path -> By Location

A felugró ablakban a Name mezőben adjunk nevet ennek a PATH-nak, pl „HENGFAL”. nPts (pontok száma melyekkel a PATH-t megadjuk) legyen 2, nSets (PATH-hoz rendelhető megoldások/változók száma) maradjon 30, nDiv (PATH-on belüli felosztás száma) pedig 20. **OK**.

By Location
 [PATH] Define Path specifications

Name Define Path Name : HENGFAL

nPts Number of points : 2

nSets Number of data sets : 30

nDiv Number of divisions : 20

NOTE: The number of specified points (nPts) must equal the number of defined points (PPATH command)

OK Cancel Help

Adjuk meg a két pont koordinátáit:

By Location in Global Cartesian
 [PPATH] Create Path points in Global Cartesian Coordinate System

NPT Path point number : 1

X,Y,Z Location in Global CS : 100 0

CS Interpolation CS : 0

NOTE: The number of defined path points must equal the number of specified points (PATH command)

OK Cancel Help

By Location in Global Cartesian
 [PPATH] Create Path points in Global Cartesian Coordinate System

NPT Path point number : 2

X,Y,Z Location in Global CS : 200 0

CS Interpolation CS : 0

NOTE: The number of defined path points must equal the number of specified points (PATH command)

OK Cancel Help

OK, OK, majd nyomjunk **Cancel**-t, hogy eltűnjön az ablak.

Következő lépésben a PATH-hoz hozzárendeljük a megjeleníteni kívánt megoldást:

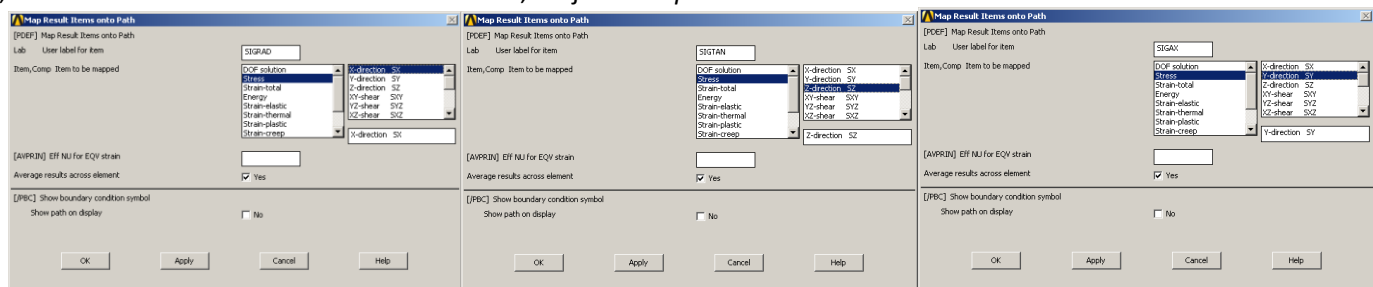
Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Map onto Path

A felugró ablakban a *Lab* mezőbe adjunk nevet a változóknak:

„SIGRAD”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az *SX*-t. **Apply**.

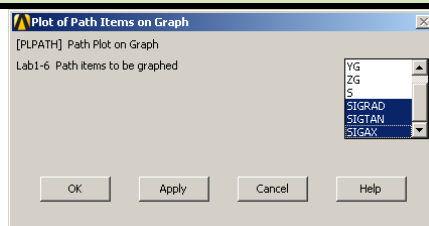
„SIGTAN”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az *SZ*-t. **Apply**.

„SIGAX”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az *SY*-t. **OK**.

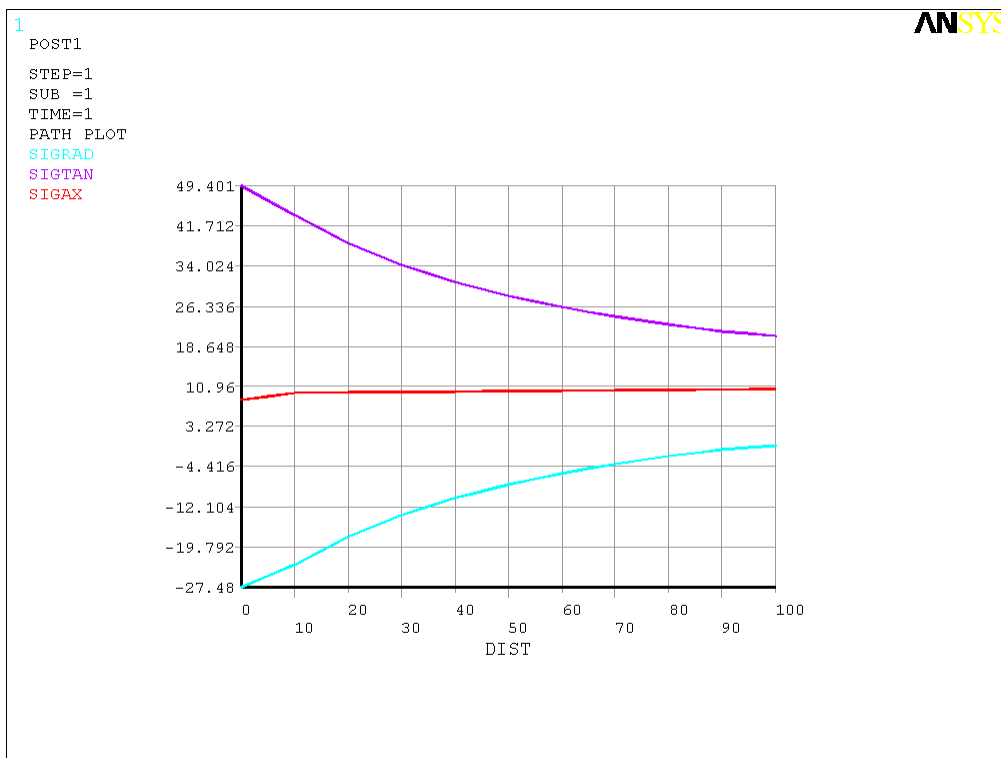


Plottoltassuk ki egy diagramba feszültségeloszlást a *PATH* mentén:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Plot Path Item -> On Graph



A felugró ablakban választjuk ki a *SIGRAD*, *SIGTAN*, *SIGAX* lehetőségeket majd **OK**.



A megoldásokon látszik, miképpen változnak ezen feszültségek a falvastagság mentén.

Fontos észrevenni, hogy a belső paláston a radiális feszültségre nem -30 Mpa-t kaptunk, pedig az előírt feszültségi peremfeltétel értéke $-p$. A háló finomításával egyre jobban megközelíthetjük a $-p$ értéket. Ugyanez a jelenség igaz a külső peremre is ahol zérus érték a pontos radiális feszültség.

Jól látható, hogy ennél a vastagfalúnak tekinthető tartálynál már nem igaz a vékonyfalú tartályokra alkalmazott membrán feszültségi állapot feltételezés, miszerint a falvastagság mentén a feszültségeloszlás állandó! Az axiális irányú feszültségre jó közelítést kaphatunk az alábbi elemi számítással:

$$A_{belső} = 100^2 \pi = 31415,926 \text{ mm}^2$$

$$A_{körgyűrű} = (200^2 - 100^2) \pi = 94247,78 \text{ mm}^2$$

$$F_{axiális} = p \cdot A_{belső} = 30 \cdot 31415,926 = 942477,8 \text{ N}$$

$$\sigma_{axiális} = F_{axiális} / A_{körgyűrű} = 10 \text{ MPa}$$

Közelítőleg ezt az eredményt kaptuk.

Tisztán hengeres rész deformációja esetén a feszültségi főirányok a radiális, tangenciális és axiális irányoknak felelnek meg. Jelen példánál nem tisztán hengeres részt vizsgálunk, ugyanis a gömbsüveges résznek hatása van a hengeres részben lévő feszültségeloszlásra is. Viszont a hengeres rész HENGFAL keresztmetszete viszonylag távol van már a gömbsüveges rész zavaró hatásától, emiatt az itt lévő radiális, tangenciális és axiális feszültségek közelítőleg a főfeszültségekkel egyenlőek. Erről meggyőződhetünk ha kirajzoltatjuk a főfeszültségek eloszlását a fal mentén és összevetjük az eredményeket a korábbi SIGRAD, SIGTAN és SIGAX megoldásokkal.

Rendeljük hozzá a vizsgált PATH-hoz a további megoldásokat is:

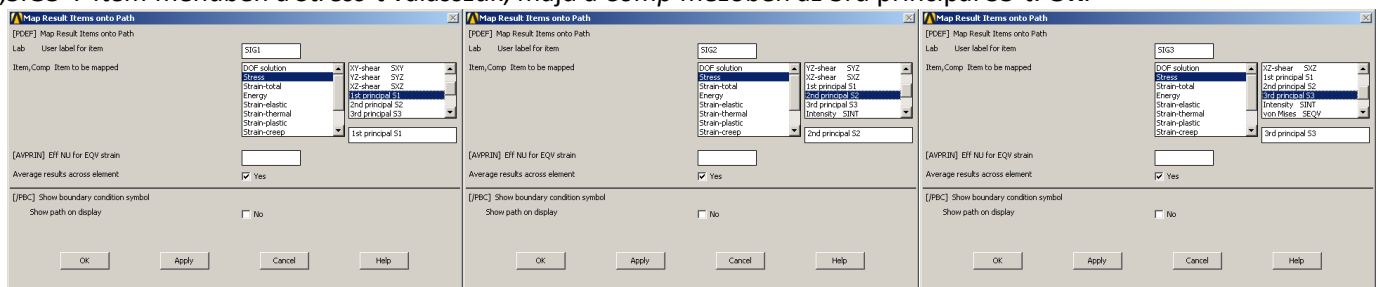
Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Map onto Path

A felugró ablakban a *Lab* mezőbe adjunk nevet a változóknak:

„SIG1”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az 1st principal S1-t. **Apply**.

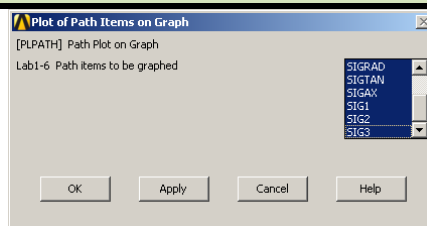
„SIG2”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az 2nd principal S2-t. **Apply**.

„SIG3”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az 3rd principal S3-t. **OK**.



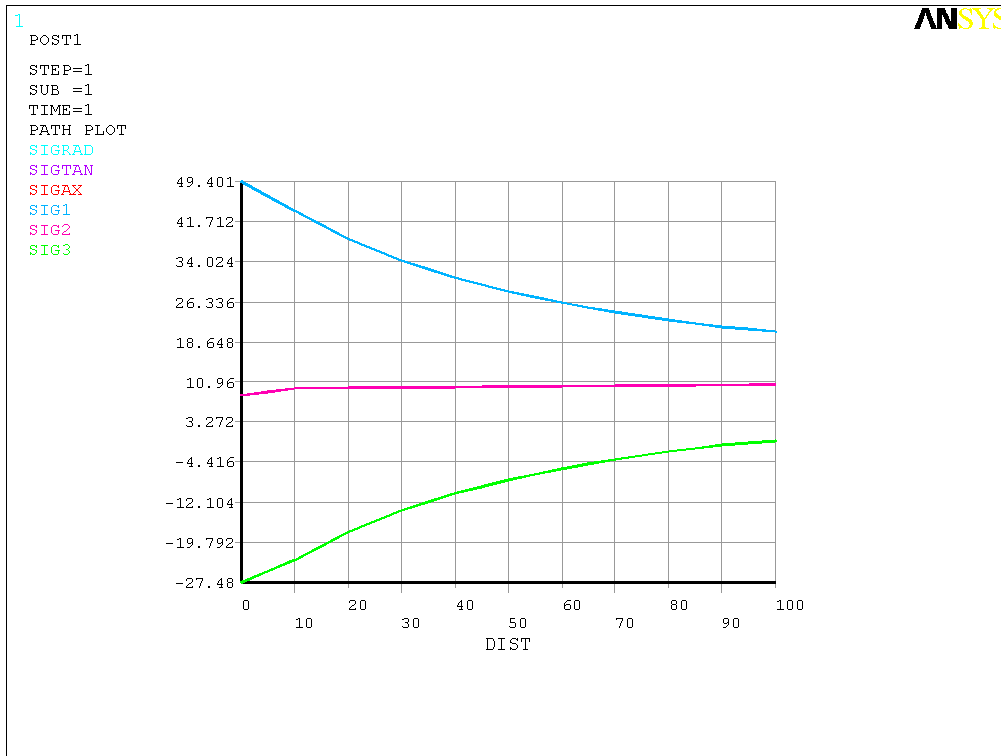
Plottoltassuk ki egy diagramba a feszültségeloszlást a PATH mentén:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Plot Path Item -> On Graph



A felugró ablakban választjuk ki a SIGRAD, SIGTAN, SIGAX, SIG1, SIG2, SIG3 lehetőségeket majd **OK**.

A kapott diagramon az eltérések elenyészőek, vonalvastagságon belüliek.



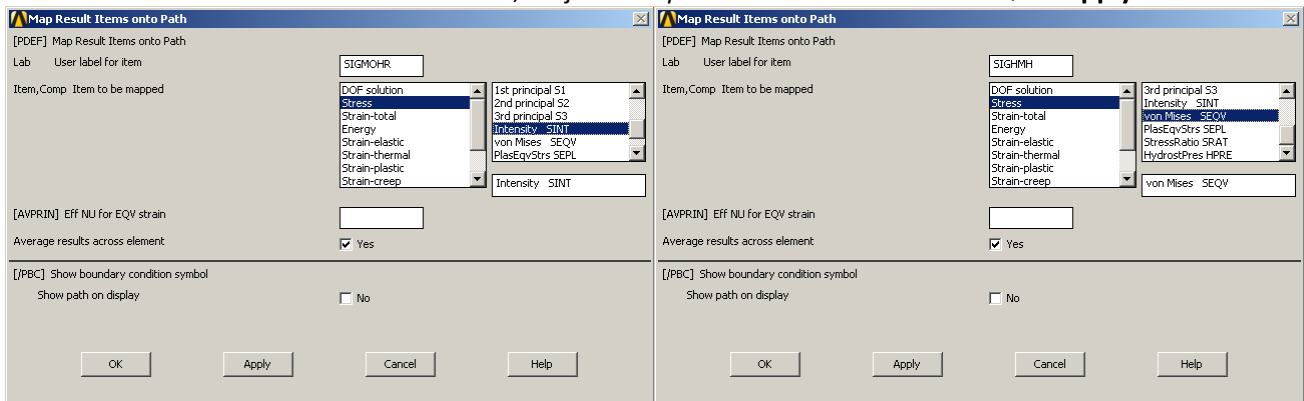
A Mohr-féle egyenértékű feszültség definíciószerűen a legnagyobb és a legkisebb főfeszültségek különbsége. A fenti ábrán jól látható, hogy ez az érték a belső paláston lesz a legnagyobb. Rendeljük hozzá a megadott PATH-hoz ezt a megoldást is, és érdekességképpen a HMH-féle egyenértékű feszültséget is:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Map onto Path

A felugró ablakban a *Lab* mezőbe adjunk nevet a változóknak:

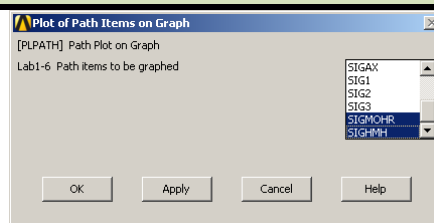
„SIGMOHR”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az Intensity SINT-t. **Apply**.

„SIGMHM”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az von Mises SEQV-t. **Apply**.

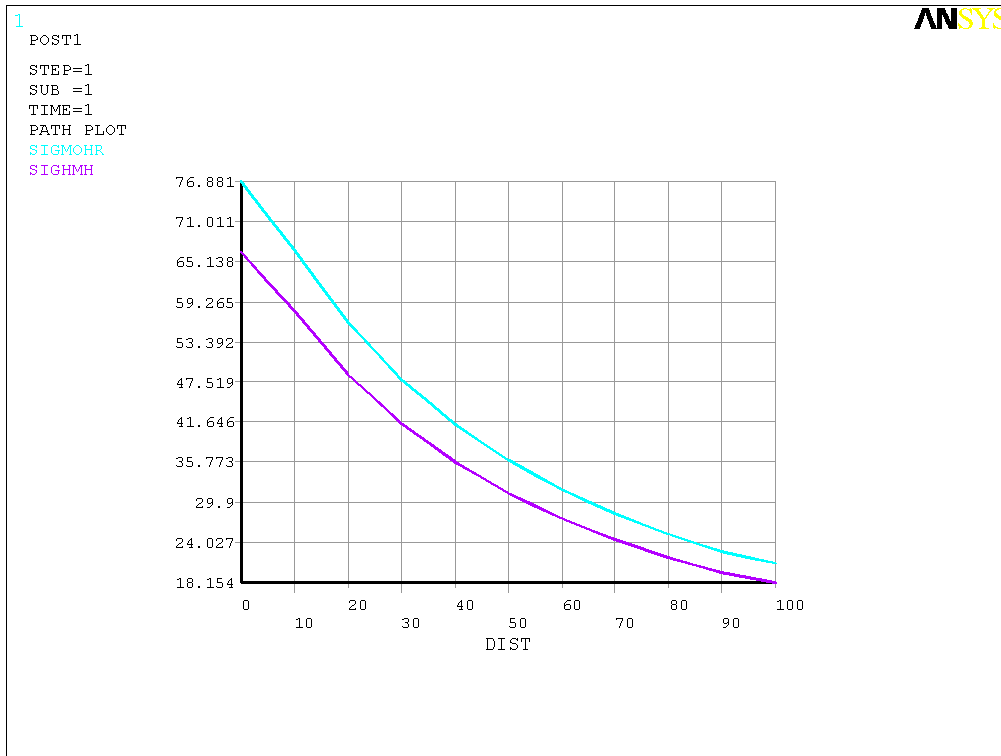


Plottoltassuk ki egy diagramba a feszültségeloszlást a PATH mentén:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Plot Path Item -> On Graph



A felugró ablakban válasszuk ki a SIGMOHR és SIGMHM lehetőségeket majd **OK**.



Vizsgáljuk meg a hengeres rész mentén a feszültségek alakulását a belső paláston. Ezzel a kiértékeléssel képet kaphatunk arról, hogy a hengeres rész és a gömbüveg rész találkozásának mekkora zavaró hatása van a feszültségeloszlásra.

A szilárdságtani tanulmányok során a forgástest alakú membránok feszültségképleteinek alkalmazásakor is megjegyeztük, hogy azon helyeken ahol a görbületi sugarak ugrásszerűen változnak ott a képletek érvényességüket veszítik!

Készítsünk új PATH-t: .

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Define Path -> By Location

A felugró ablakban a Name mezőben adjunk nevet ennek a PATH-nak, pl „HENGBELS”. nPts (pontok száma melyekkel a PATH-t megadjuk) legyen 2, nSets (PATH-hoz rendelhető megoldások/változók száma) maradjon 30, nDiv (PATH-on belüli felosztás száma) pedig 20. **OK**.

Adjuk meg a két pont koordinátáit:

OK, OK, majd nyomjunk **Cancel**-t, hogy eltűnjön az ablak.

Következő lépésben a PATH-hoz hozzárendeljük a megjeleníteni kívánt megoldást:

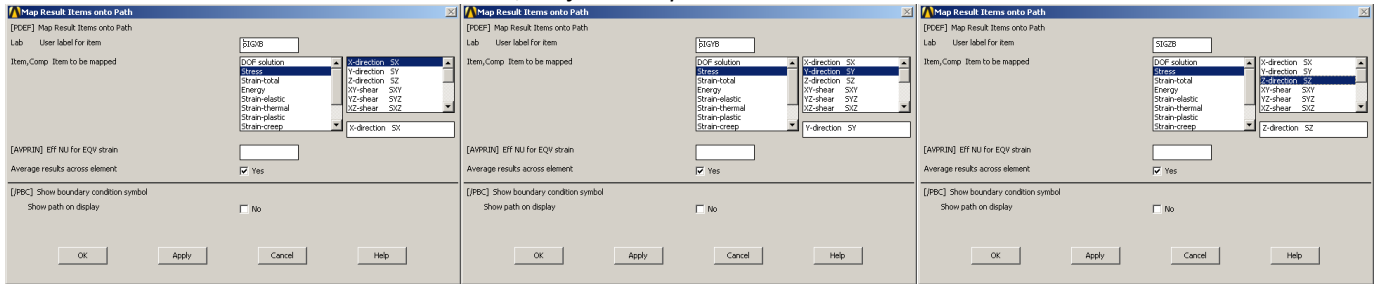
Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Map onto Path

A felugró ablakban a *Lab* mezőbe adjunk nevet a változóknak:

„SIGXB”. *Item* menüben a *Stress*-t válasszuk, majd a *Comp* mezőben az SX-t. **Apply**.

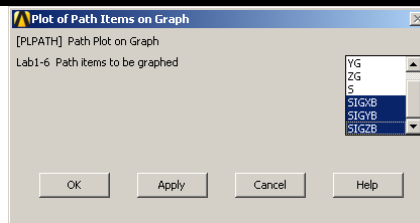
„SIGYB”. *Item* menüben a *Stress*-t válasszuk, majd a *Comp* mezőben az SY-t. **Apply**.

„SIGZB”. *Item* menüben a *Stress*-t válasszuk, majd a *Comp* mezőben az SZ-t. **OK**.

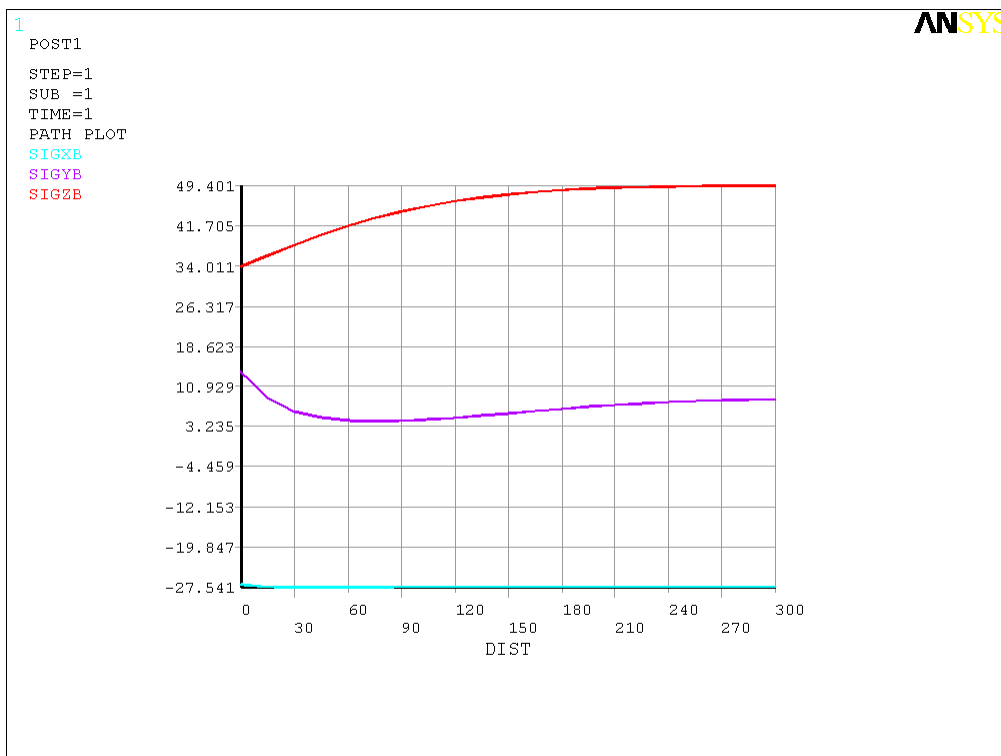


Plottoltassuk ki egy diagramba feszültségeloszlásokat a PATH mentén:

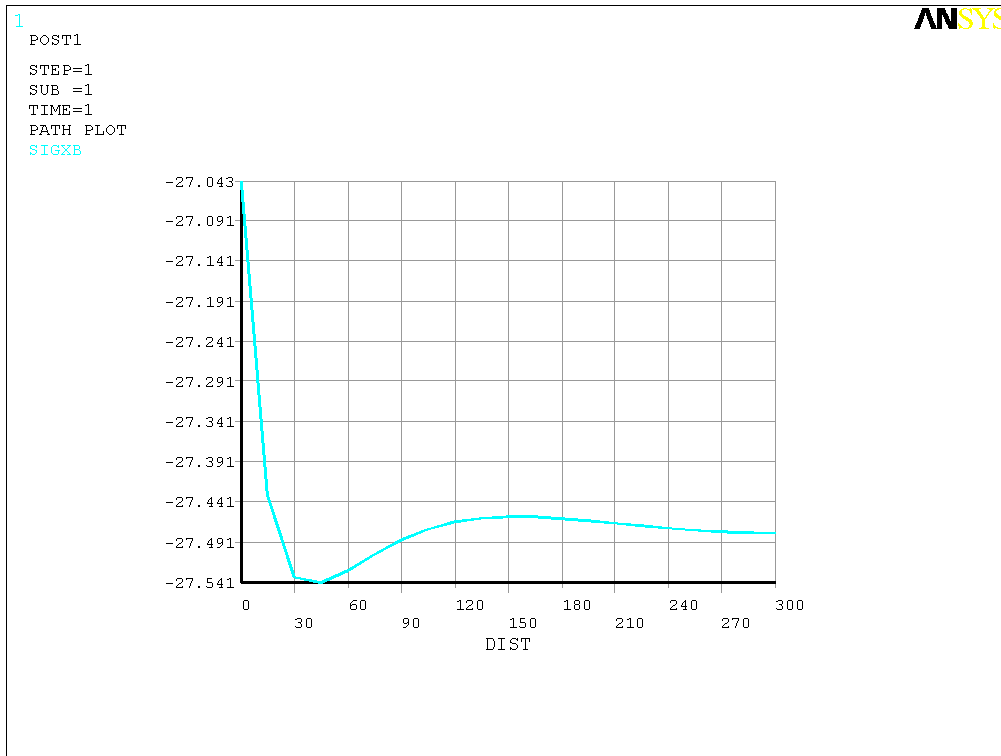
Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Plot Path Item -> On Graph



A felugró ablakban válasszuk ki a SIGXB, SIGYB, SIGZB lehetőségeket majd **OK**.



A megoldásokon látszik, hogy a hengeres rész és a gömbsüveg találkozási pontjától távolabbi részen (jobb oldali rész az ábrán) a megoldások egyre jobban állandósulnak. A radiális feszültség (SIGXB) változása a tangenciális és axiális feszültségekhez képest lényegesen kisebb. Ha csak a SIGXB-t plottoltatjuk ki akkor az alábbi ábrát kapjuk:



Szabályos gömbhéj esetén a tangenciális és meridián feszültségek azonosak a geometriából adódóan. Vizsgáljuk meg ennél a feladatnál a tangenciális és meridián jellegű feszültségek eloszlását a falvastagság mentén abban a „keresztmetszetben”, amely legtávolabb van a gömbsüveg és hengeres rész találkozásától. Készítsünk új PATH-t: .

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Define Path -> By Location

A felugró ablakban a Name mezőben adjunk nevet ennek a PATH-nak, pl „GOMB”. nPts (pontok száma melyekkel a PATH-t megadjuk) legyen 2, nSets (PATH-hoz rendelhető megoldások/változók száma) maradjon 30, nDiv (PATH-on belüli felosztás száma) pedig 20. **OK**.

Adjuk meg a két pont koordinátáit:

OK, OK, majd nyomjunk **Cancel**-t, hogy eltűnjön az ablak.

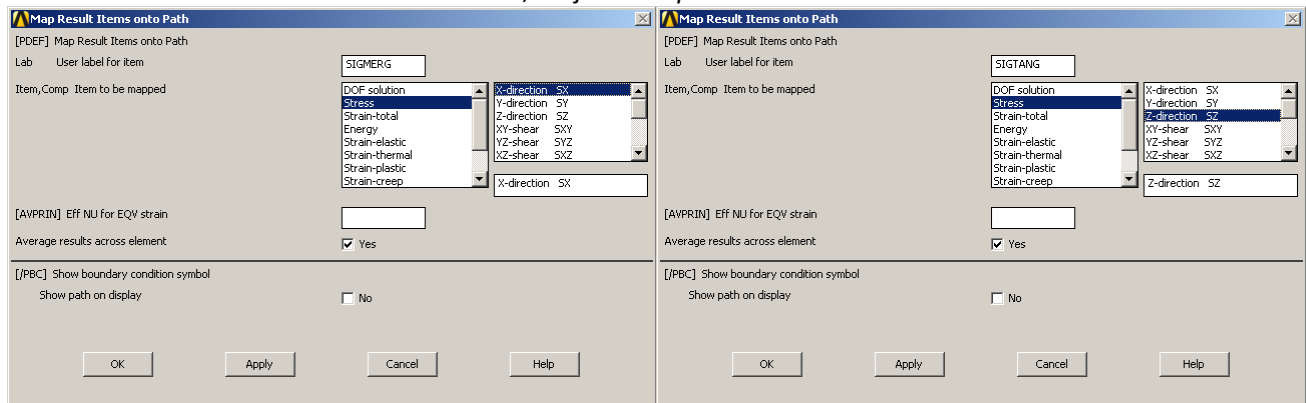
Következő lépésben a PATH-hoz hozzárendeljük a megjeleníteni kívánt megoldást:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Map onto Path

A felugró ablakban a *Lab* mezőbe adjunk nevet a változóknak:

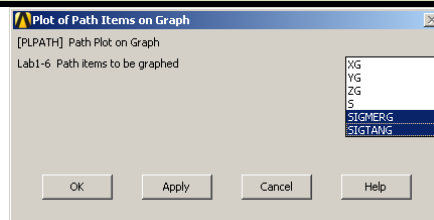
„SIGMERG”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az *SX*-t. **Apply**.

„SIGTANG”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az *SZ*-t. **OK**.

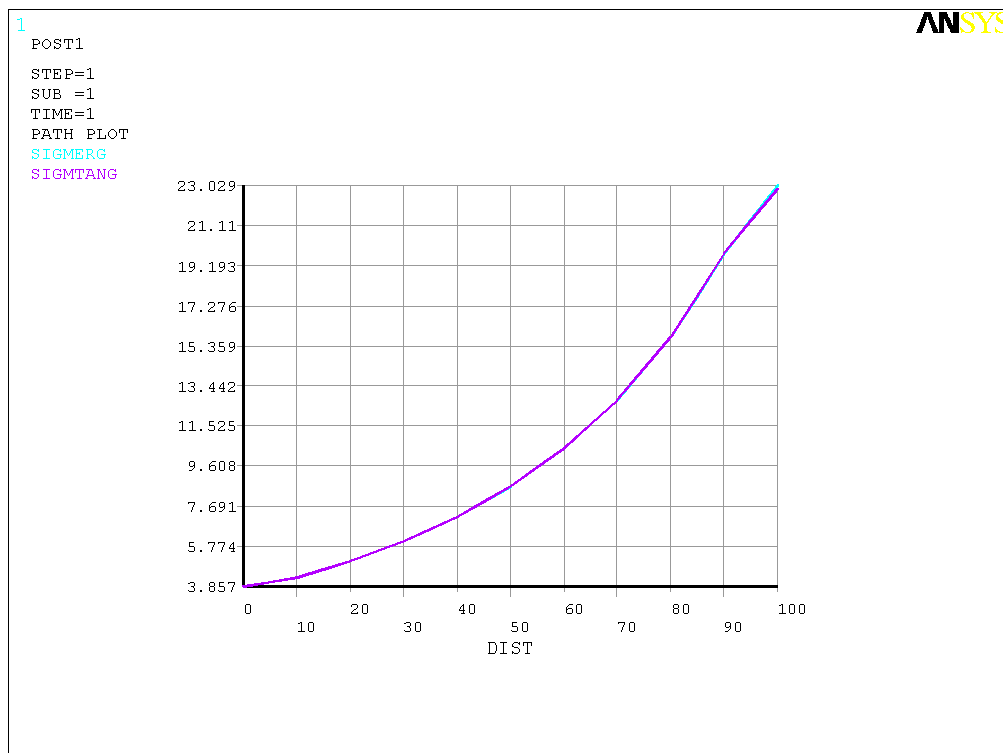


Plottoltassuk ki egy diagramba feszültségeloszlásokat a *PATH* mentén:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Plot Path Item -> On Graph



A felugró ablakban választjuk ki a *SIGMERG* és *SIGTANG* lehetőségeket majd **OK**.

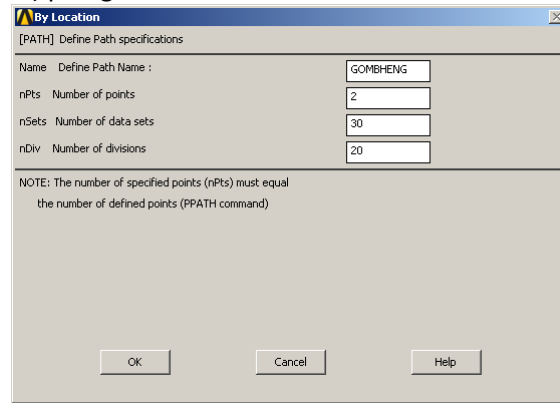


Az ábra szerint a két megoldás a megjelenítési pontosságon belül van, ami igazolja a kezdeti sejtésünket. Ha ugyanezt a kiértékelést abban a keresztmetszetben vizsgáljuk meg ahol a gömbsüveg rész és a hengeres rész találkozik akkor azt várhatjuk, hogy a különbség már számottevőbb lesz. Vizsgáljuk meg.

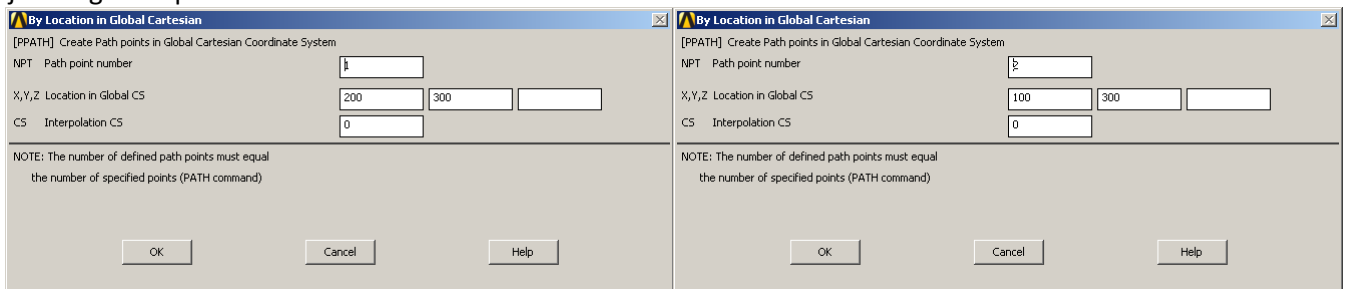
Készítsünk új *PATH*-t: .

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Define Path -> By Location

A felugró ablakban a Name mezőben adjunk nevet ennek a PATH-nak, pl „GOMBHENG”. nPts (pontok száma melyekkel a PATH-t megadjuk) legyen 2, nSets (PATH-hoz rendelhető megoldások/változók száma) maradjon 30, nDiv (PATH-on belüli felosztás száma) pedig 20. **OK**.



Adjuk meg a két pont koordinátáit:



OK, OK, majd nyomjunk **Cancel**-t, hogy eltűnjön az ablak.

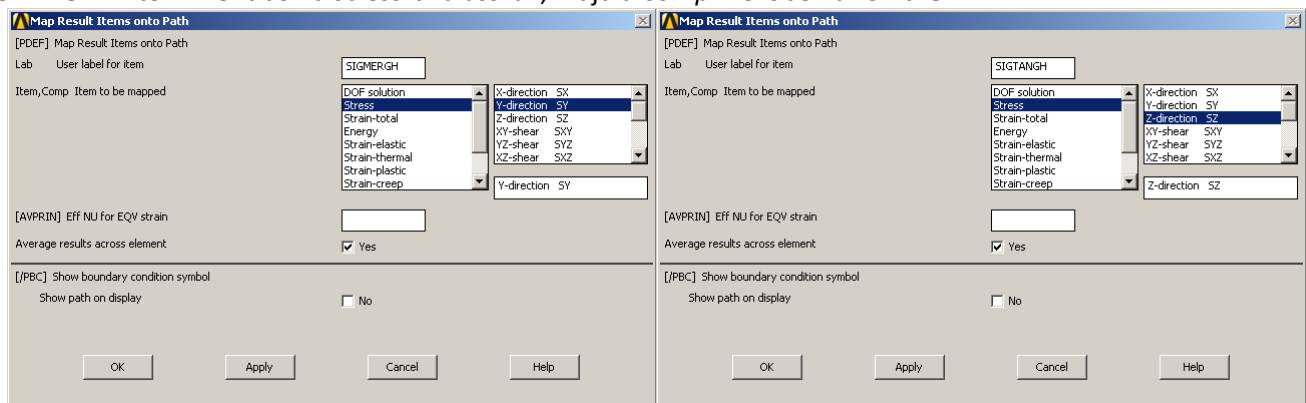
Következő lépésben a PATH-hoz hozzárendeljük a megjeleníteni kívánt megoldást:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Map onto Path

A felugró ablakban a *Lab* mezőbe adjunk nevet a változóknak:

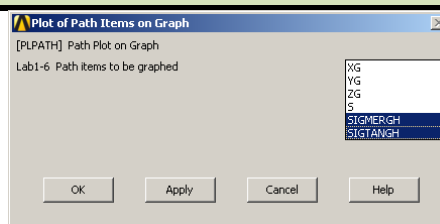
„SIGMERGH”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az *SY*-t. **Apply**.

„SIGTANGH”. *Item* menüben a *Stress*-t választjuk, majd a *Comp* mezőben az *SZ*-t. **OK**.

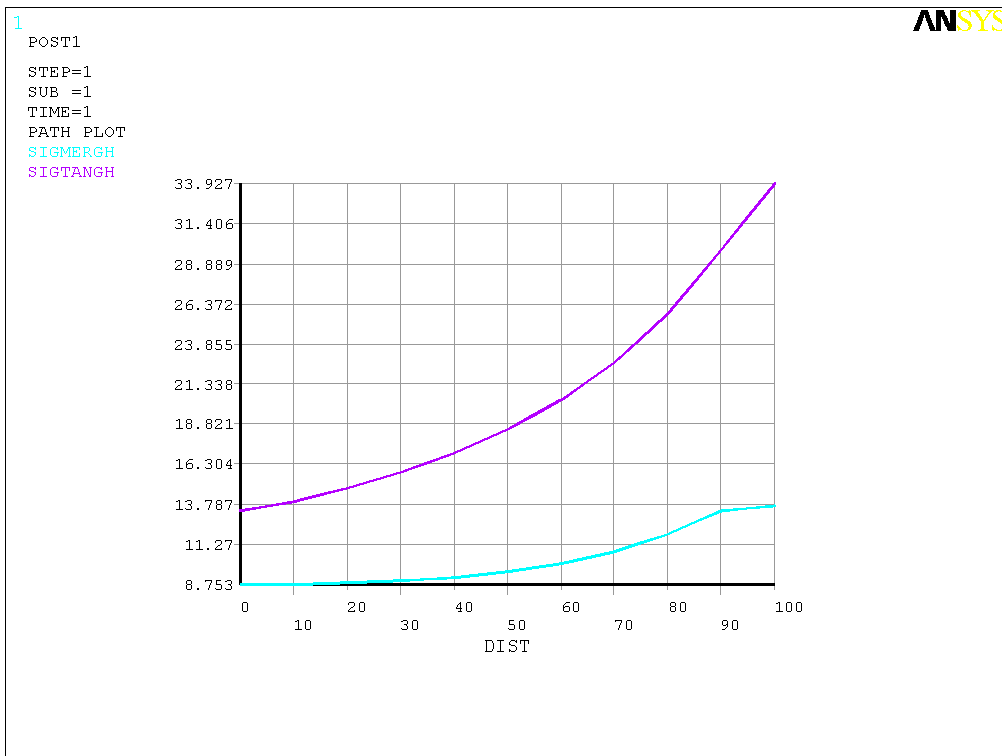


Plottoltassuk ki egy diagramba feszültségeloszlásokat a PATH mentén:

Main Menu -> General Postproc -> Path Operations -> Plot Path Item -> On Graph



A felugró ablakban válasszuk ki a SIGMERGH és SIGTANGH lehetőségeket majd **OK**.



Itt már látszik, hogy lényeges az eltérés a meridián és tangenciális feszültségek között.