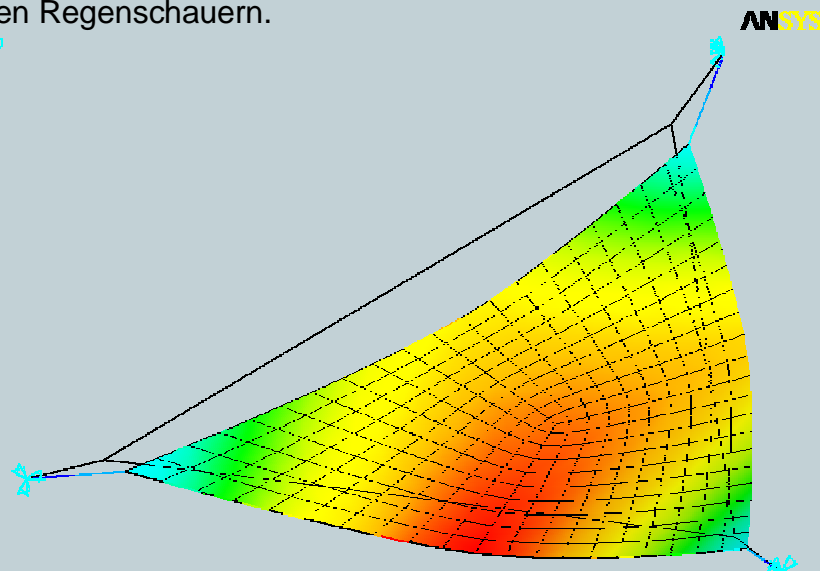


...In den Seilen hängen ... Instabile Membran-Seil Strukturen ?

Aufgabenstellung:

Die wirklich heißen Tage des Sommers in Deutschland scheinen vorüber und für so manchen unter uns, waren diese Tage nur im Schatten eines Sonnensegels erträglich. Und so wandelt sich die windstille Hitzeperiode in eine herbstlich steife Brise mit einigen Regenschauern.



Ob das Sonnensegel diese Belasten wohl aushalten wird ?

Segel für solche Anwendungen bestehen meist aus einer Stoff-Membran und seitlich befestigten Spannseilen, die allein durch Zugkräfte gehalten wird. Die vielleicht interessantere Halterung der Spannseile wollen wir hier außer Acht lassen und uns allein auf die Abbildung des Segels konzentrieren !

Typisch für solche Fragestellungen ist die anfängliche Instabilität der Struktur – die das Aufnehmen von Querkräften verhindert solange die Membran nicht vorgespannt ist.

Es stellt sich nun die Frage, wie man dieses numerische Problem in den Griff bekommen kann?

Lösung:

Es geht also vorrangig darum, einen Vorspannlastfall abzubilden, der das Modell hinreichend stabilisiert. Eine Möglichkeit der Umsetzung besteht darin, die gesamte Struktur geringfügig abzukühlen und somit Zugkräfte auf die Seile und die Membran zu erhalten. Um daran folgend auch Querkräfte aufnehmen zu können, ist es notwendig die Berechnung mit großen Deformationen durchzuführen!

Diese Weg wird anhand eines kleinen Beispielskriptes vorgestellt.

...In den Seilen hängen ... Instabile Membran-Seil Strukturen ?

Modellaufbau:

Im ersten Abschnitt des Skriptes wird eine 3-eckige Grundstruktur im Raum modelliert, an deren Ecken jeweils eine Linie die auslaufenden Spannseile abbilden wird.

```

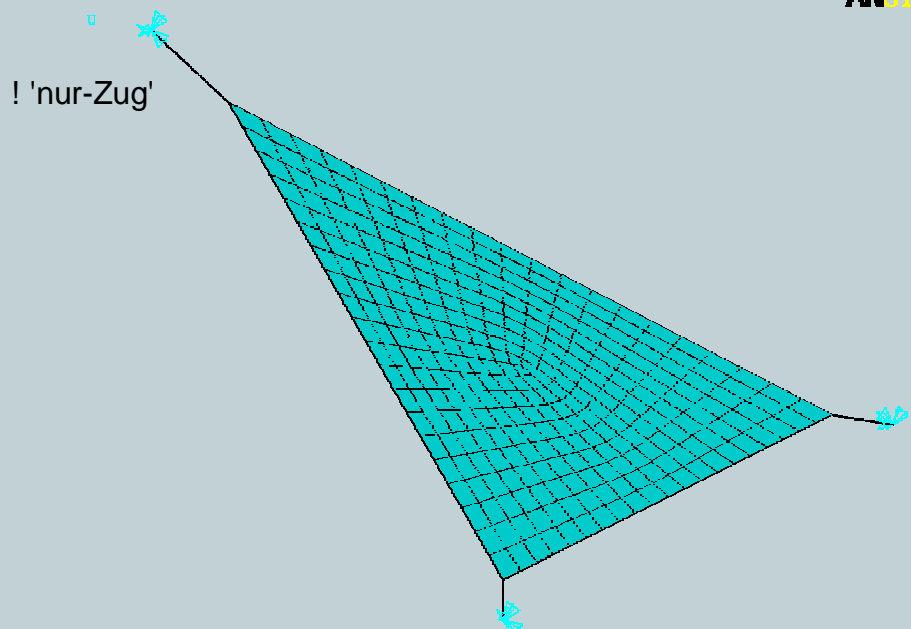
/prep7
*afun,deg
k,,
k,,5000
k,,2200,2500,1000
a,1,2,3
local,11,1,2500,tan(22.5)*2500,,,atan(1000/250
0)
kgen,2,all,,,500
l,1,4
l,2,5
l,3,6
    
```

Zur Vernetzung der Struktur werden Schalenelemente mit der Membran-Option (Shell181) und Verbindungselemente zur Übertragung reiner Zugkräfte (LINK10) verwendet.

```

et,1,181,1,,2      ! Schale mit Membransteifigkeit
r,1,1.5
mp,ex,1,5e3
mp,prxy,1,0.3
mp,dens,1,.15e-9
mp,alpx,1,2e-5
et,2,10           ! 'nur-Zug'
mp,ex,2,8e3
mp,prxy,2,0.3
mp,dens,2,.05e-9
mp,alpx,2,2e-5
r,2,3

esize,250
mshk,1
amesh,all
type,2
real,2
mat,2
esize,,1
lmesh,all
    
```



...In den Seilen hängen ... Instabile Membran-Seil Strukturen ?

Berechnung:

Um später an den Seilenden ziehen zu können, werden die Knotenkoordinatensysteme der Endknoten der Link10-Elemente entsprechend ausgerichtet.

Für den Vorspannlastfall werden diese Endpunkte zunächst in alle Richtungen fix gelagert .

```
ksel,s,,,4,6
nslk
nrot,all           ! Drehen der Endknoten
cm,lager,node
d,all,all         ! Lagerung
```

Mit der Definition einer Temperaturlast als Last für alle Knoten (oder alternativ mit tunif für das ganze Modell) kann der Lastfall zur Stabilisierung gelöst werden.

```
/solu
alls
!1. Schritt zur Stabilisierung
tref,0
bf,all,temp,-15
nlgeom,on         !Große Verformung
einschalten
nsub,5,50,1
solve
```

Im Lastfall 2 werden dann reale Belastungen implementiert, die hier als Vorspannung an den Seilenden (Verschiebeweg 30 mm) und Eigengewicht gegeben sind.

```
!2. Schritt Vorspannung der Struktur
cmsel,s,lager
acel,,,9810
d,all,ux,30
alls
solve
```

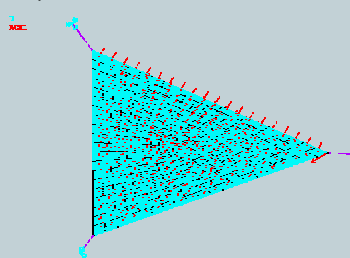
Da der Solution-Prozessor von ANSYS nicht verlassen wurde, setzt der 2. Lastschritt auf dem stabilen Zustand aus Lastfall auf!

...In den Seilen hängen ... Instabile Membran-Seil Strukturen ?

Berechnung:

Um auch die Auswirkungen der Windlast zu simulieren, wird im 3. Lastfall ein Druck auf die Segelfläche aufgebracht (die Seile können vernachlässigt werden).

```
!3. Schritt Windlast
esel,s,ename,,181
sfe,all,,press,,.5e-3
alls
solve
```



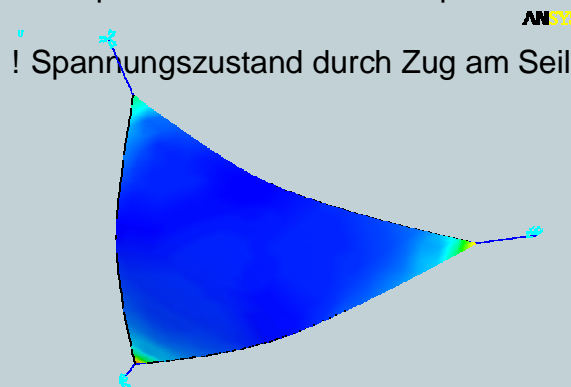
Aufgrund der Stabilisierung und der Lasten der Abspannung, konvergiert auch dieser Lastfall in wenigen Schritten.

Zur Beurteilung der Haltbarkeit sind anschließend die Spannungen und die Zugkräfte in den Spannseilen zu überprüfen.

```
/post1
set,first
plns,s,eqv
set,next
plns,s,eqv
```

! Vorspannzustand durch Temperatur

! Spannungszustand durch Zug am Seil



```
set,last
nset,s,d,uy,0
esln,s
etab,ff,smisc,1
alls
pletab,ff
```

! Kraft in den Seilen unter Windlast

Je nach verwendetem Material und Größe der Windlast wird das Sonnensegel dann auch für die kommenden Sonnentage ein willkommener Schattenspender sein.

Ergänzend dazu ist sicher auch die Beurteilung des Verhaltens unter Wasserlasten (Regenschauern) eine weitergehend interessante Aufgabe. Hinweise zur Lösung folgen in einem der kommenden Newsletter von CADFEM.