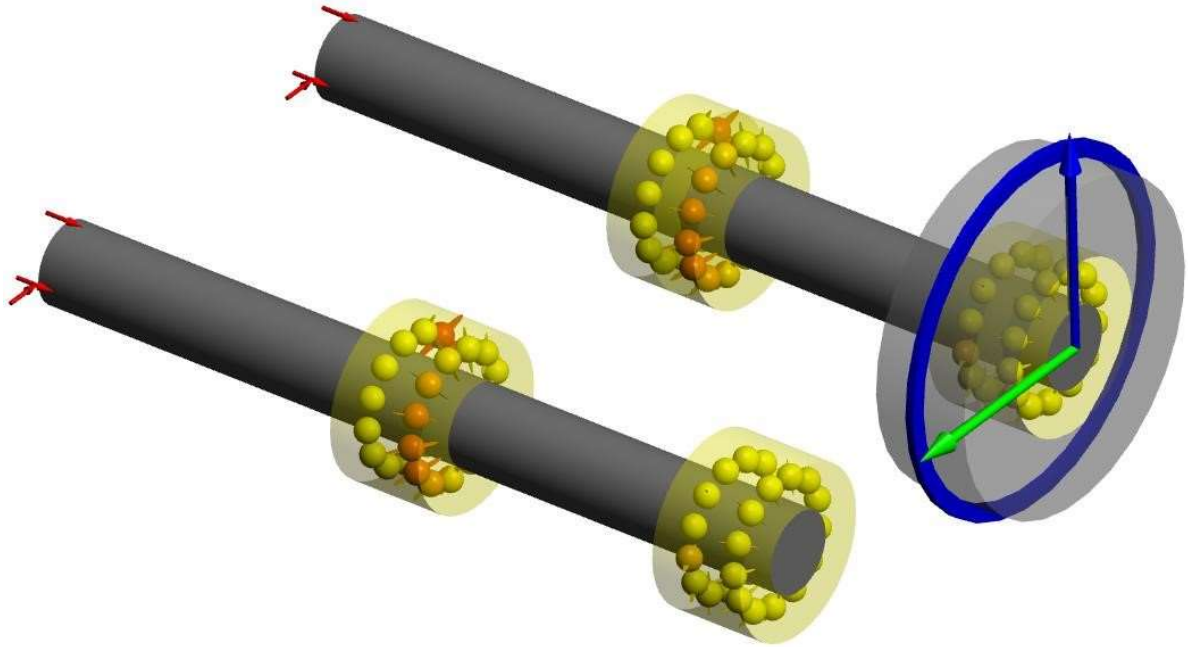
MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH−8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

Tutorial: Shafts calculation with angular contact ball bearing sets

このチュートリアルでは、シャフト上のアンギュラ玉軸受のセットをモデル化する 2 つの方法を示し、その主な違いを概説し、それぞれの長所と短所を探ります。このチュートリアルを実施するには、ダウンロードで入手可能な対応する計算ファイルが必要です。

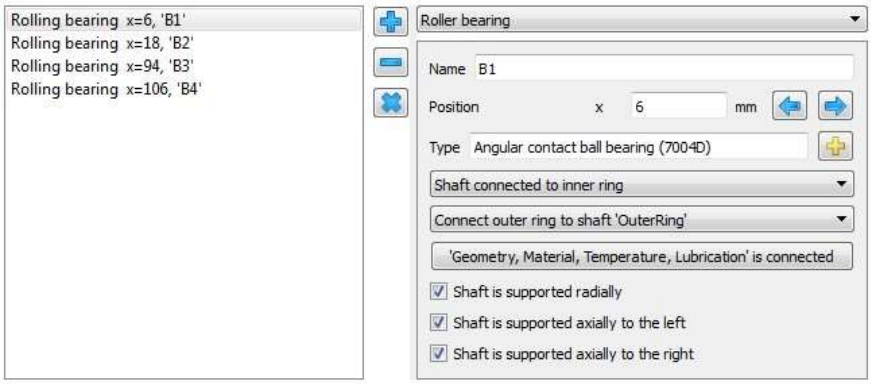


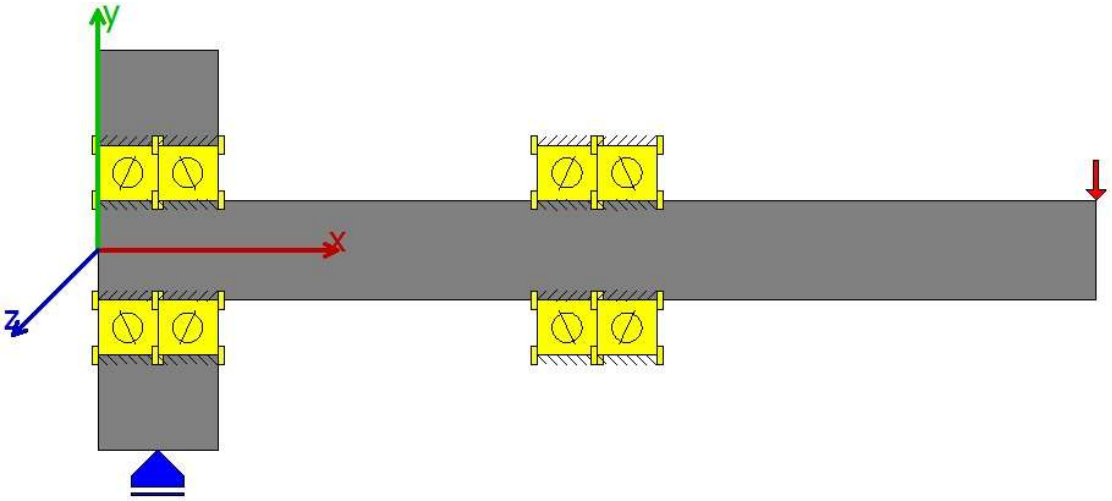
上の図からわかるように、同じ計算ファイル内にこれら 2 つの案を比較するために、2 つの独立したシャフトが作成されています。Fx成分とFy成分とからなる力要素は、両軸の一方の端部に配置されており、それらは背中合わせに配置された2組のベアリングによって支持されています。中央に配置されたベアリングセットは完全に固定されており、荷重の反対側の端に配置されたベアリングセットはシャフトをラジアル方向にのみサポートします。これら2つのベアリングセットの構成による境界条件は同等であることを意図しています。各案をもう少し詳しく見てみましょう。

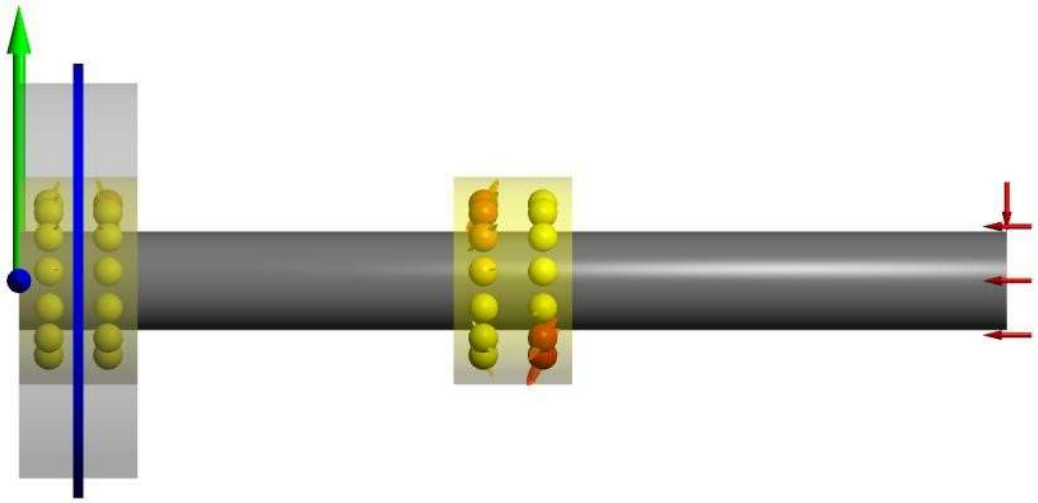
MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH–8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

Alternative 1

この案では、4つの単列アンギュラ玉軸受で作成され、各セットに属する軸受が互いに隣り合って配置されるようにシャフトに沿って便利に配置されます。



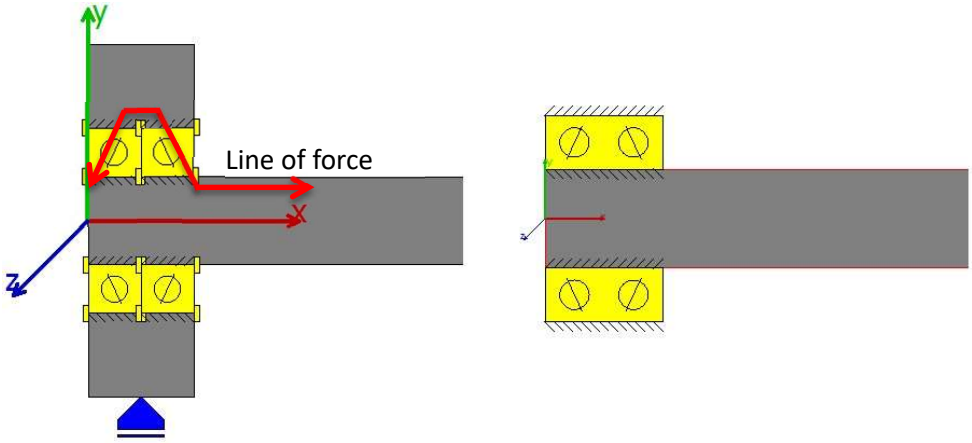




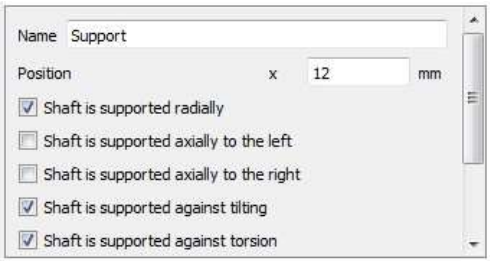
シャフトの中央に位置するベアリングの外輪をハウジングに接続し、それらのサポート条件に関するすべてのフラグを設定することによって、ベアリングセットは固定サポートとして機能します。

MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH−8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

しかし、位置決めされていないベアリングセットについては、2つの追加の要素によって、特別な実装が行われています、すなわち、外側に配置された一つのサポートによって半径方向に支持されている中空シャフト(「外側リング」)になります。実際の軸受の外輪は、中空シャフトに接続され、その目的は、互いに相対し合う自由な軸方向の動きを制限し、荷重経路として機能する、各々の軸受の共通のハウジングとして作用することです。したがって、位置決めされていないベアリングセットに属する 2 つのベアリングのサポート条件としては、固定のフラグを立てる必要があります。



中空シャフトの支持は、ベアリングセットの位置決めされていない境界条件をシミュレートするために使用されます。なぜなら、中空シャフトはラジアル方向にのみ固定され、同時にハウジングが全く同じようにするように、ベアリングセットをねじれや傾きから防ぎます:

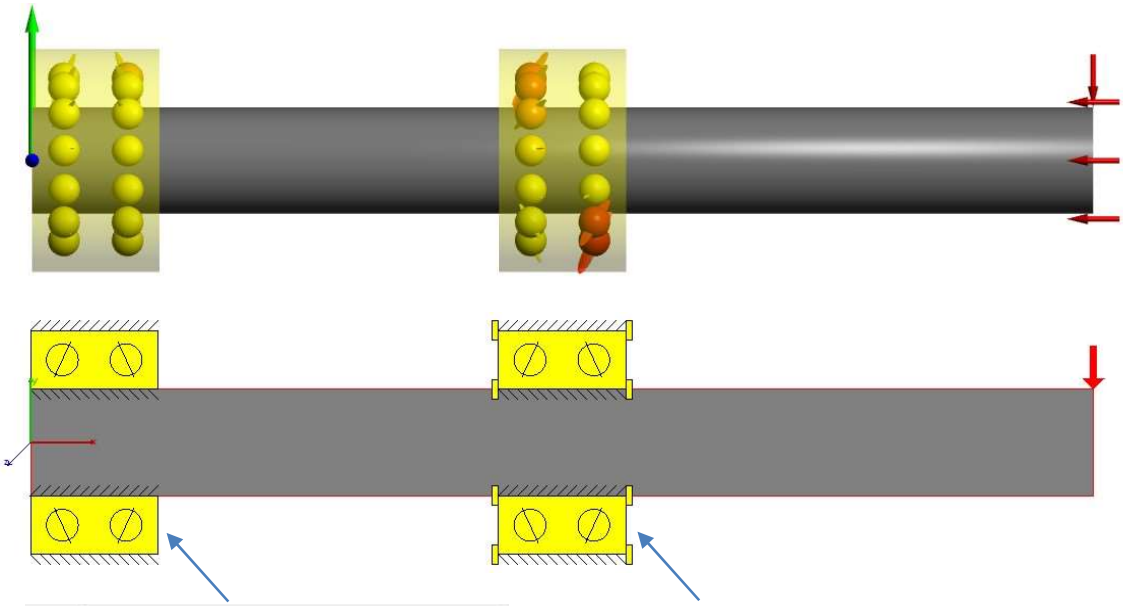


この方法は少し面倒かもしれませんが、セットを形成するボールの各列に関して、結果の詳細がわかりやすくなります。

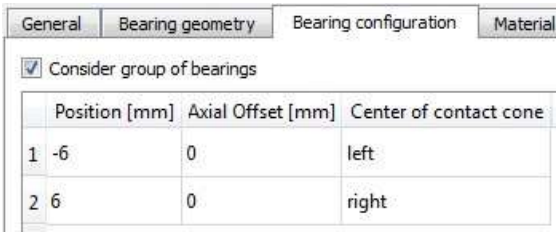
MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH−8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

Alternative 2

このケースの場合、最初に 2 つの単列アンギュラ玉軸受のみを定義する必要があります。よって、2 つのベアリングセットを作成するために、ソフトウェアオプション「ベアリング構成」を使用します。



両方のセットに対して、対応するベアリングが互いに隣接して配置されるようにベアリングのグループが考慮されます。より具体的には、各対のアンギュラ玉軸受は、グループの原点からの軸受中心の距離が軸受幅の半分、すなわちB ／ 2 ＝±6mmとなるように配置されます。



	Position [mm]	Axial Offset [mm]	Center of contact cone
1	-6	0	left
2	6	0	right

グループ原点の軸方向位置は、作成された単列アンギュラ玉軸受に対して与えられた値、すなわちx ＝ 12mmおよびx ＝ 100mmによって決定されます。

MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH–8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

ハウジングは外輪に直接接続され、その下で 2 つのボール列の変位が軸方向に制限され、この構成の結果として、セットは複列アンギュラ玉軸受として動作し、寿命が短くなります。

主な利点は、作成が簡単なことです。対照的に、特定の荷重条件下で 1 つの列が負荷されていない場合、この状況に関して詳細な数値データを得ることは不可能です。これは、荷重分散の図でしかわかりません。

Comparison of results

提示された案は、実際には非常によく似た結果をもたらすでしょう。このように、ベアリングセット「B5」はベアリングセット「B1～B2」の等価モデルであり、「B6」はベアリングセット「B3～B4」に対するものになります。

前述のように、案1によってモデル化されたベアリングセットを配置することは、より詳細な情報を提供することになるでしょう。たとえば、対応するセットの両方の列の傾斜角 'rz'を知ることは可能ですが、案 2 でモデル化されたセットの 'rz'は近似値になります（緑色のボックス内を参照）。

Bearing set B5 vs. Bearing set B1-B2

Bearing set B5

Axial load	Fx	0	N	Displacement	ux	0.00470661	mm	
Radial load	Fy	686.769	N	Displacement	uy	0.00688737	mm	
Radial load	Fz	0	N	Displacement	uz	0	mm	
Moment	My	0	Nm	Rotation angle	ry	0	mrad	
Moment	Mz	1.09752	Nm	Rotation angle	rz	0.242075	mrad	
Speed inner ring	ni	2000	rpm	☑ Inner ring rotates to load				
Speed outer ring	ne	0	rpm	☐ Outer ring rotates to load				
Temperature of shaft	Ti	20	°C	Temperature of housing	Te	20	°C	

Bearing set B1-B2

Bearing B1

Axial load	Fx	211.203	N	Displacement	ux	0.00540115	mm	
Radial load	Fy	289.478	N	Displacement	uy	0.00535232	mm	
Radial load	Fz	0	N	Displacement	uz	0	mm	
Moment	My	0	Nm	Rotation angle	ry	0	mrad	
Moment	Mz	-2.07751	Nm	Rotation angle	rz	0.291881	mrad	
Speed inner ring	ni	2000	rpm	☑ Inner ring rotates to load				
Speed outer ring	ne	0	rpm	☐ Outer ring rotates to load				
Temperature of shaft	Ti	20	°C	Temperature of housing	Te	20	°C	

MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH–8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

Bearing B2

Axial load	Fx	-211.203	N	Displacement	ux	0.00544349	mm	
Radial load	Fy	411.815	N	Displacement	uy	0.00885729	mm	
Radial load	Fz	0	N	Displacement	uz	0	mm	
Moment	My	0	Nm	Rotation angle	ry	0	mrad	
Moment	Mz	2.82009	Nm	Rotation angle	rz	0.263604	mrad	
Speed inner ring	ni	2000	rpm	☑ Inner ring rotates to load				
Speed outer ring	ne	0	rpm	☐ Outer ring rotates to load				
Temperature of shaft	Ti	20	°C	Temperature of housing	Te	20	°C	

Bearing set B6 vs. Bearing set B3-B4

Bearing set B6

Axial load	Fx	-300	N	Displacement	ux	0.013473	mm	
Radial load	Fy	-1691.61	N	Displacement	uy	-0.0146194	mm	
Radial load	Fz	1.20851e-08	N	Displacement	uz	0	mm	
Moment	My	0	Nm	Rotation angle	ry	0	mrad	
Moment	Mz	-40.6619	Nm	Rotation angle	rz	-1.33663	mrad	
Speed inner ring	ni	2000	rpm	☑ Inner ring rotates to load				
Speed outer ring	ne	0	rpm	☐ Outer ring rotates to load				
Temperature of shaft	Ti	20	°C	Temperature of housing	Te	20	°C	

Bearing set B3-B4

Bearing B3

Axial load	Fx	929.608	N	Displacement	ux	0.0142107	mm	
Radial load	Fy	585.026	N	Displacement	uy	-0.00524127	mm	
Radial load	Fz	0	N	Displacement	uz	0	mm	
Moment	My	0	Nm	Rotation angle	ry	0	mrad	
Moment	Mz	-6.07224	Nm	Rotation angle	rz	-1.11182	mrad	
Speed inner ring	ni	2000	rpm	☑ Inner ring rotates to load				
Speed outer ring	ne	0	rpm	☐ Outer ring rotates to load				
Temperature of shaft	Ti	20	°C	Temperature of housing	Te	20	°C	

Bearing B4

Axial load	Fx	-1229.61	N	Displacement	ux	0.0143822	mm	
Radial load	Fy	-2291.16	N	Displacement	uy	-0.0208981	mm	
Radial load	Fz	-3.71506e-08	N	Displacement	uz	0	mm	
Moment	My	0	Nm	Rotation angle	ry	0	mrad	
Moment	Mz	-16.4334	Nm	Rotation angle	rz	-1.62806	mrad	
Speed inner ring	ni	2000	rpm	☑ Inner ring rotates to load				
Speed outer ring	ne	0	rpm	☐ Outer ring rotates to load				
Temperature of shaft	Ti	20	°C	Temperature of housing	Te	20	°C	

MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH−8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

B1−B2 のラジアル力「Fy」とシャフトの「Outer ring」のサポート力を見ることは注目に値します（下の写真の赤い四角を参照）。B1 と B2 のラジアル力「Fy」の合計は、サポートで結果として生じるラジアル力に等しいはずですが、実際にはそれは少し高くなっています：

$$0.701\ kN = \mathrm{Fy}_{\mathrm{B1}} + \mathrm{Fy}_{\mathrm{B2}} \neq \mathrm{Fy}_{\mathrm{support}} = 0.695\ kN$$

この式が満たされないのは、外輪の重量が考慮されており、それに対応する力がベアリングの力に対抗しているためです。正しい式は次のとおりです。

$$\mathrm{Fy}_{\mathrm{B1}} + \mathrm{Fy}_{\mathrm{B2}} - \mathrm{F}_{weight} = \mathrm{Fy}_{\mathrm{support}}$$

Name	L10h [h]	Lnmh [h]	L10rh [h]	Lnmrh [h]	pmax [MPa]	SF	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
◢ Shaft 1												
B1	311331	6981100	363791	9281168	1396.61	27.20	0.211	0.289	0.000	0.00	0.00	-2.08
B2	123311	1384480	110794	1157026	1674.74	15.77	-0.211	0.412	0.000	0.00	-0.00	2.82
B3	7469	18416	13520	43433	1959.75	9.84	0.930	0.585	-0.000	0.00	-0.00	-6.07
B4	716	763	634	651	2909.12	3.01	-1.230	-2.291	-0.000	0.00	0.00	-16.43
◢ OuterRing												
Support							0.000	0.695	0.000	0.00	0.00	1.48
◢ Shaft 2												
B5	107293	1556997	101953	1379827	1639.64	16.81	-0.000	0.687	-0.000	0.00	-0.00	1.10
B6	640	698	601	628	2916.07	2.99	-0.300	-1.692	0.000	0.00	0.00	-40.66

案 2（B5 および B6）から得られた寿命の比較として、組み合わせ軸受の総寿命は、次のように単列の寿命（B1−B2 および B3−B4）から計算できるが判ります。

$$L_{10}[h] = \left[\sum L_{10,i}^{-\frac{10}{9}}\right]^{-\frac{9}{10}}$$

したがって、セット B1-B2:

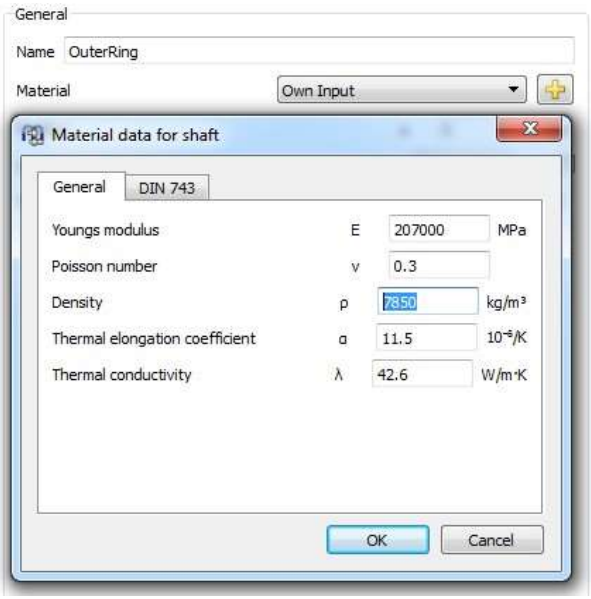
$$L_{10,B1B2} = [L_{10,B1}^{-\frac{10}{9}} + L_{10,B2}^{-\frac{10}{9}}]^{-9/10} = [363791^{-\frac{10}{9}} + 110794^{-\frac{10}{9}}]^{-9/10} = 89548.5\ h$$

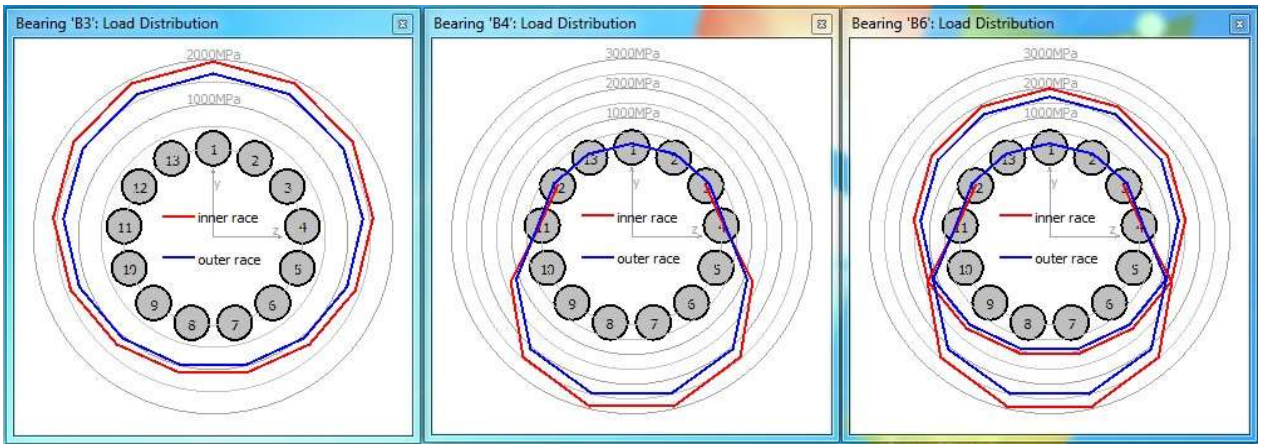
そして、セット B3-B4:

$$L_{10,B3B4} = [L_{10,B3}^{-\frac{10}{9}} + L_{10,B4}^{-\frac{10}{9}}]^{-9/10} = [13520^{-\frac{10}{9}} + 634^{-\frac{10}{9}}]^{-9/10} = 615.54\ h$$

MESYS AG
Technoparkstrasse 1
CH–8005 Zürich
info@mesys.ch
T: +41 44 455 68 00

モデル化の観点から、重量を考慮すると、シャフト「Outer ring」によって、案1のシステムはアキシアル方向に追加の望ましくないモード形状を有することになります。この影響を避けるために、シャフトの「Outer ring」の密度を $\rho = 0$ kg / m 3 に設定します。



Finally we can see how the pressures of Alternative 2 will have similar values to the ones of Alternative 1. The slight differences in the values are mainly due to the different load distribution that arise when considering the tilting angles at different points in the calculation. Anyway, both alternatives can be independently used with no problems for the same purpose:

最後に、案 2 の圧力が案 1 の圧力とどのように似ているかを確認できます。値のわずかな違いは、主に計算のさまざまなポイントで傾斜角度を考慮したときに生じる荷重分布の違いによるものです。ともかく、両方の選択案は同じ目的のために問題なく独立して使用することができます。