

ALKALMAZOTT MECHANIKA	Elméleti kérdések és válaszok MSc képzésben résztvevő mérnökhallgatók számára
--------------------------	--

(1) Mi a mechanika tárgya?

Anyagi rendszerek (testek) helyzet-változtatással járó mozgásainak és az ezeket létrehozó hatásoknak (erőknek) a vizsgálata.

A helyzet-változást általánosan értelmezzük: magában foglalja testek nyugalmi állapotát és alakváltozását is.

(2) Adja meg általánosan a mechanikai test modell definícióját!

Olyan idealizált test, vagy testekből álló rendszer, amelynek a vizsgálat szempontjából lényeges tulajdonságait megtartjuk, a többi tulajdonságát pedig elhanyagoljuk.

(3) Definiálja a merev test és a szilárd test fogalmát!

Merev test: Olyan test-modell, amelyben bármely két pont távolsága állandó.

A test pontjainak távolsága terhelés hatására sem változik meg.

Szilárd test: Olyan test-modell, amely alakváltozásra képes.

A test pontjainak távolsága terhelés hatására megváltozik.

(4) Definiálja anyagi pont és anyagi pontrendszer fogalmát!

Anyagi pont: 1. def.: Anyagi tulajdonságokkal rendelkező geometriai pont.

2. def.: Olyan test modell (merev test), amelynek helyzete egyetlen pontjának helyzetével egyértelműen megadható.

Anyagi pontrendszer: Anyagi pontok halmaza (összessége).

(5) Mi az erő (koncentrált erő) és az erőrendszer?

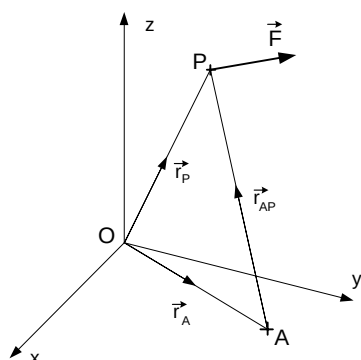
Az erő egy testnek egy másik testre gyakorolt hatása.

A koncentrált erő testek pontszerű érintkezése esetén jön létre.

Az erőrendszer valamely szempontból kapcsolatban álló – pl. ugyanarra a testre ható – erők halmaza (összessége).

(6) Mi a nyomaték? Definiálja koncentrált erő adott pontra számított nyomatékát!

A definícióhoz készítsen magyarázó ábrát!



A nyomaték az erő forgató hatása.

A pontra számított nyomaték vektor mennyiség.

Az $\vec{F}$ erő A pontra számított nyomatéka:

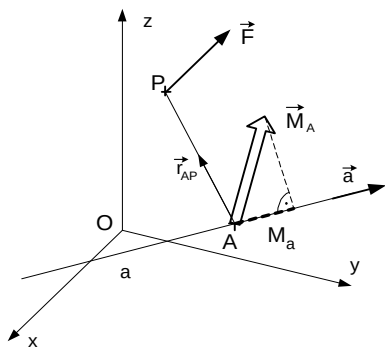
$$\vec{M}_A = \vec{r}_{AP} \times \vec{F}, \text{ ahol}$$

– $\vec{M}_A$ az $\vec{F}$ erő A pontra számított nyomatéka,

– $\vec{r}_{AP}$ az A pontból a P pontba mutató helyvektor és

– P a koncentrált erő támadáspontja.

- (7) Mi a nyomaték? Értelmezze koncentrált erő tengelyre számított nyomatékát!
Az értelmezéshez készítsen magyarázó ábrát!



A nyomaték az erő forgató hatása.

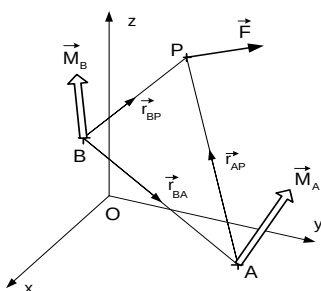
A tengelyre számított nyomaték skalár mennyiség.

Az $\vec{F}$ erő a tengelyre számított nyomatéka:

$$M_a = \vec{M}_A \cdot \vec{e}_a, \text{ ahol}$$

- M_a az $\vec{F}$ erő a tengelyre számított nyomatéka,
- $\vec{e}_a = \vec{a}/|\vec{a}|$ az a tengely irány egységvektora és
- $\vec{M}_A$ az erőnek az a tengely A pontjára számított nyomatéka: $\vec{M}_A = \vec{r}_{AP} \times \vec{F}$

- (8) Adja meg az összefüggést egy erő két pontra számított nyomatéka között!
Az értelmezéshez készítsen magyarázó ábrát!



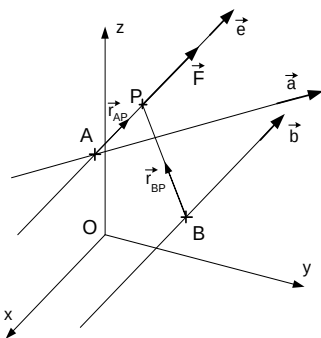
$$\vec{M}_B = \vec{M}_A + \vec{r}_{BA} \times \vec{F},$$

vagy

$$\vec{M}_B = \vec{M}_A + \vec{F} \times \vec{r}_{AB},$$

ahol A és B a tér két tetszőleges pontja.

- (9) Mely geometriai alakzatokra nem ad az $\vec{F}$ erő nyomatékot? Állításait igazolja!
A bizonyításokhoz készítsen magyarázó ábrát!



- Az erő hatásvonalán levő pontokra.

Bizonyítás: $\vec{M}_A = \vec{r}_{AP} \times \vec{F} = \vec{0}$, mert $\vec{r}_{AP} \parallel \vec{F}$.

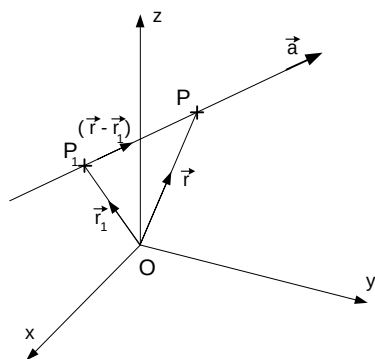
- Az erő hatásvonalát metsző a tengelyre.

Bizonyítás: $M_a = \vec{M}_A \cdot \vec{e}_a = 0$, mert $\vec{M}_A = \vec{0}$

- Az erő hatásvonalával párhuzamos b tengelyre.

Bizonyítás: $M_b = \vec{M}_B \cdot \vec{e}_b = 0$, mert $\vec{M}_B$ merőleges $\vec{e}_b = \vec{b}/|\vec{b}|$ -vel, a b tengely irány egységvektorával és $\vec{e}_b$ párhuzamos $\vec{e}$ -vel, az $\vec{F}$ erő irány egységvektorával.

- (10) Magyarázó ábrával vezesse le a tengely egyenletének Plücker-vektoros alakját!
Adja meg az egyenletben szereplő mennyiségek jelentését!



$\vec{a} \parallel (\vec{r} - \vec{r}_1)$, ezért

$$\vec{a} \times (\vec{r} - \vec{r}_1) = \vec{0},$$

$$\vec{a} \times \vec{r} - \vec{a} \times \vec{r}_1 = \vec{0}.$$

$$\text{Jelölés: } \vec{b} = -\vec{a} \times \vec{r}_1 = \vec{r}_1 \times \vec{a}$$

A tengely egyenlete: $\vec{a} \times \vec{r} + \vec{b} = \vec{0}$, ahol

- $\vec{a}$ a tengely irányvektora és
- $\vec{b}$ az $\vec{a}$ irányvektor O pontra számított nyomatéka.

- (11) Értelmezze általános (szétszórt) erőrendszer redukált (eredő) vektorkettőjét!

Eredő erővektor:

$$\vec{F}(A) = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

Eredő nyomatékvektor:

$$\vec{M}_A = \sum_{i=1}^n (\vec{M}_i + \vec{r}_{AP_i} \times \vec{F}_i)$$

ahol: n – az erőrendszer alkotó koncentrált erők / koncentrált nyomatékok száma,

A – a tér adott pontja,

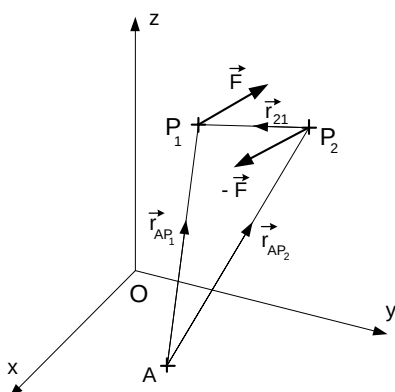
$\vec{F}_i$ – az erőrendszer i jelű koncentrált erővektora,

$\vec{M}_i$ – az erőrendszer i jelű koncentrált nyomatékvektora,

$\vec{r}_{AP_i}$ – az A pontból az erő támadáspontjába mutató helyvektor.

A redukált vektorkettős nyomatéki tér vonatkozásában egyértelműen jellemzi az erőrendszert.

- (12) Adja meg erőpár (koncentrált nyomaték) értelmezését, kiszámítását és legfontosabb tulajdonságát! Készítsen magyarázó ábrát!



Értelmezés: Olyan speciális erőrendszer, amely két, azonos nagyságú, ellentétes irányú és párhuzamos hatásvonalú erőből áll.

Kiszámítás:

$$\vec{M}_A = \vec{r}_{AP_1} \times \vec{F} - \vec{r}_{AP_2} \times \vec{F} = (\vec{r}_{AP_1} - \vec{r}_{AP_2}) \times \vec{F}$$

$$\vec{M}_A = \vec{r}_{21} \times \vec{F} = \vec{M}_B$$

Tulajdonság: Erőpár nyomatéka a tér bármely pontjára ugyanannyi.
Erőpár homogén nyomatéki vektorteret hoz létre.

- (13) Értelmezze két erőrendszer egyenértékűségét!

Két erőrendszer egymással egyenértékű, ha azonos nyomatéki vektorteret hoznak létre.

Jelölés: $(E') \stackrel{M}{=} (E'')$

Az $\stackrel{M}{=}$ jel arra utal, hogy az egyenlőség a nyomatéki tér vonatkozásában áll fenn.

- (14) Adja meg két erőrendszer egyenértékűségének kritériumait!

1. kritérium:

$$\vec{F}' = \vec{F}'',$$

$$\vec{M}'_A = \vec{M}''_A,$$

ahol

A a tér tetszőleges, rögzített pontja.

2. kritérium:

$$\vec{M}'_A = \vec{M}''_A,$$

$$\vec{M}'_B = \vec{M}''_B,$$

$$\vec{M}'_C = \vec{M}''_C,$$

ahol

A, B, C három, nem egy egyenesre eső pont.

3. kritérium:

$$M'_i = M''_i,$$

ahol

$(i = 1, 2, \dots, 6)$ egymástól lineárisan független tengely.

(15) Adja meg az egyensúlyi erőrendszer értelmezését!

Egy erőrendszer akkor egyensúlyi, ha zérus nyomatéki vektorteret hoz létre.

Jelölés: $(E) \stackrel{M}{=} (0)$

Az $\stackrel{M}{=}$ jel arra utal, hogy az egyenlőség a nyomatéki tér vonatkozásában áll fenn.

(16) Adja meg egy erőrendszer egyensúlyának kritériumait!

1. kritérium:

$$\vec{F} = \vec{0},$$

$$\vec{M}_A = \vec{0},$$

ahol

A a tér tetszőleges,
rögzített pontja.

2. kritérium:

$$\vec{M}_A = \vec{0},$$

$$\vec{M}_B = \vec{0},$$

$$\vec{M}_C = \vec{0},$$

ahol

A, B, C három, nem egy
egyenesre eső pont.

3. kritérium:

$$M_i = 0,$$

ahol

$i = 1, 2, \dots, 6$ egymástól
lineárisan független tengely.

(17) Adja meg tengelyek lineáris függetlenségének feltételét!

Az $\vec{a}_i \times \vec{r} + \vec{b}_i = \vec{0}$, $i = 1, 2, \dots, 6$ tengelyek lineárisan függetlenek, ha az $\vec{a}_i$ és $\vec{b}_i$ Plücker vektoraik koordinátáiból felírt determináns nem nulla:

$$\begin{vmatrix} a_{1x} & a_{2x} & a_{3x} & a_{4x} & a_{5x} & a_{6x} \\ a_{1y} & a_{2y} & a_{3y} & a_{4y} & a_{5y} & a_{6y} \\ a_{1z} & a_{2z} & a_{3z} & a_{4z} & a_{5z} & a_{6z} \\ b_{1x} & b_{2x} & b_{3x} & b_{4x} & b_{5x} & b_{6x} \\ b_{1y} & b_{2y} & b_{3y} & b_{4y} & b_{5y} & b_{6y} \\ b_{1z} & b_{2z} & b_{3z} & b_{4z} & b_{5z} & b_{6z} \end{vmatrix} \neq 0.$$

(18) Ismertesse a statika főtételeit (merev testekből álló rendszer tartós nyugalomban maradásának szükséges feltételét)!

Egy merev testekből álló rendszer csak akkor lehet tartós nyugalomban, ha a rá ható külső erőrendszer egyensúlyi.

(19) Ismertesse a merev testekből álló rendszer tartós nyugalomban maradásának elégséges feltételét!

Egy merev testekből álló rendszer tartós nyugalomban maradásának az az elégséges feltétele, hogy a rendszer megtámasztása ne tegy lehetővé a rendszer merevtestszerű mozgását.

(20) Mi a statika feladata?

A statika feladata merev testekből álló rendszerek esetén a támasztóerők és a belső erők meghatározása statikai egyensúlyi egyenletek felhasználásával.

(21) A mechanikában milyen testeket tekintünk rúdnak? Mi a rúd mechanikai modellje?

A mechanikában rúdnak olyan testet tekintünk, amelynek egyik mérete lényegesen nagyobb, mint a másik kettő.

A rúd mechanikai modellje a rúd középvonala (súlyponti szála).

- (22) Adja meg a rúd keresztmetszetének és középvonalának definícióját! Milyen feltételek teljesülése esetén beszélünk prizmatikus rúdról?

A keresztmetszet a rúd legnagyobb méretére merőleges metszet. A rúd középvonala a keresztmetszetek súlypontjai által meghatározott vonal. Egy rúd akkor prizmatikus, ha keresztmetszetei azonos alakúak és térbeli elhelyezkedésűek.

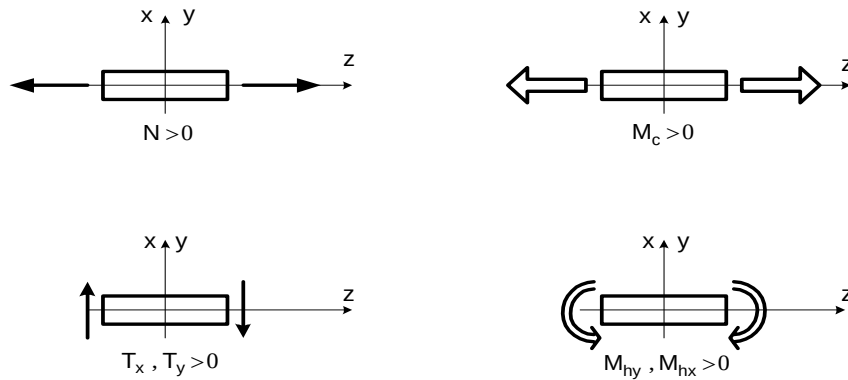
- (23) Értelmezze rúd igénybevételét! Adja meg a rúd $+z$ normálisú keresztmetszetében az $\vec{F}_s$ és $\vec{M}_s$ eredő vektorkettőst!

Az igénybevételek a rúd keresztmetszetén megoszló belső erőrendszer súlypontba redukált eredő vektorkettőisének skaláris koordinátái.

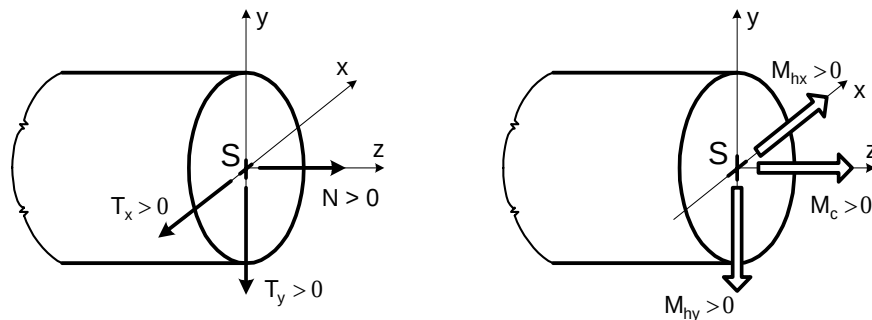
$$\vec{F}_s = -T_x \vec{e}_x - T_y \vec{e}_y + N \vec{e}_z$$

$$\vec{M}_s = M_{hx} \vec{e}_x - M_{hy} \vec{e}_y + M_c \vec{e}_z$$

- (24) Szemléltesse síkbeli ábrákon az igénybevételek előjelének értelmezését!



- (25) Szemléltesse térbeli ábrákon az igénybevételek előjelének értelmezését!



- (26) Írja fel az yz síkban terhelt egyenes rúd egyensúlyi egyenleteit differenciális alakban!

$$\frac{dT_y}{dz} = f_y(z), \quad \frac{dM_{hx}}{dz} = -T_y(z),$$

ahol $f_y(z)$ a megoszló terhelés sűrűsége,
 $T_y(z)$ a nyíróerő és
 $M_{hx}(z)$ a hajlítónyomaték.

(27) Írja fel az yz síkban terhelt egyenes rúd egyensúlyi egyenleteit integrál alakban!

$$T_y(z) - T_{y0} = \int_{z_0}^z f_y(\zeta) d\zeta, \quad M_{hx}(z) - M_{hx0} = - \int_{z_0}^z T_y(\zeta) d\zeta,$$

ahol $f_y(z)$ a megoszló terhelés sűrűsége,

$T_y(z)$ és T_{y0} a nyíróerő a z , illetve a z_0 pontban,

$M_{hx}(z)$ és M_{hx0} a hajlítónyomaték a z , illetve a z_0 pontban.

(28) Adja meg a tenzor értelmezését és tulajdonságait!

Értelmezés: A tenzor homogén, lineáris, vektor-vektor függvény által megvalósított leképezés (hozzárendelés): $\vec{w} = f(\vec{v}) = \underline{\underline{T}} \cdot \vec{v}$

Tulajdonságok: a) Homogén: ha $\vec{v} = \vec{0}$, akkor $\vec{w} = \vec{0}$.

b) Lineáris:

A $\vec{w}_1 = f(\vec{v}_1)$ és $\vec{w}_2 = f(\vec{v}_2)$ jelölést bevezetve, fennáll az alábbi összefüggés:

$$\vec{w} = f(\lambda_1 \vec{v}_1 + \lambda_2 \vec{v}_2) = \lambda_1 f(\vec{v}_1) + \lambda_2 f(\vec{v}_2) = \lambda_1 \vec{w}_1 + \lambda_2 \vec{w}_2.$$

(29) Adja meg a $\underline{\underline{T}}$ tenzor és a $\underline{\underline{T}}^T$ transzponált tenzor diadikus értelmezését derékszögű deszkartesi koordináta-rendszerben!

Tenzor: $\underline{\underline{T}} = (\vec{a} \circ \vec{e}_x + \vec{b} \circ \vec{e}_y + \vec{c} \circ \vec{e}_z),$

Transzponált tenzor: $\underline{\underline{T}}^T = (\vec{e}_x \circ \vec{a} + \vec{e}_y \circ \vec{b} + \vec{e}_z \circ \vec{c}),$

ahol $\vec{a}$ az $\vec{e}_x$, $\vec{b}$ az $\vec{e}_y$, és $\vec{c}$ az $\vec{e}_z$ vektorok kép vektorai.

(30) Adja meg a szimmetrikus és a ferdeszimmetrikus tenzor értelmezését!

Szimmetrikus a tenzor, ha egyenlő a transzponáltjával: $\underline{\underline{T}} = \underline{\underline{T}}^T.$

Ferdeszimmetrikus a tenzor, ha egyenlő a transzponáltja mínusz egyszeresével $\underline{\underline{T}} = -\underline{\underline{T}}^T.$

(31) Ismertesse a tenzorok felbontásának tételét!

Minden tenzor felbontható egy szimmetrikus és egy ferdeszimmetrikus rész összegére:

$$\underline{\underline{T}} = \underline{\underline{T}}_{sz} + \underline{\underline{T}}_{fsz} = \frac{1}{2}(\underline{\underline{T}} + \underline{\underline{T}}^T) + \frac{1}{2}(\underline{\underline{T}} - \underline{\underline{T}}^T).$$

(32) Adja meg a mechanikai test modell értelmezését!

Olyan, idealizált tulajdonságokkal rendelkező test, amely a valóságos testnek a vizsgálat szempontjából leglényegesebb tulajdonságait tükrözi.

A test lényegesnek tartott tulajdonságait megtartjuk, a lényegtelennek ítélt tulajdonságokat pedig elhanyagoljuk.

(33) Mi a szilárdságtan?

A terhelés előtt és terhelés után is tartós nyugalomban levő, alakváltozásra képes testek kinematikája, dinamikája és anyagszerkezeti viselkedése.

(34) Definiálja az alakváltozás fogalmát!

Alakváltozásról beszélünk, ha terhelés hatására a test pontjai egymáshoz képest elmozdulnak és anyagi geometriai alakzatai (pl. hossz, szög, felület, térfogat) megváltoznak.

(35) Milyen esetben beszélünk rugalmas, illetve képlékeny alakváltozásról?

Rugalmas az alakváltozás, ha a terhelés hatására alakváltozott test a terhelés megszüntetése (a tehermentesítés) után visszanyeri eredeti alakját.

Képlékeny az alakváltozás, ha a terhelés hatására alakváltozott test a tehermentesítés után nem nyeri vissza eredeti alakját.

(36) Adja meg a kis elmozdulások és a kis alakváltozások értelmezését!

Kis elmozdulás esetén a test pontjainak elmozdulása nagyságrendekkel kisebb a test jellemző geometriai méreteinél.

Kis alakváltozások esetén a test alakváltozását jellemző mennyiségek lényegesen kisebbek, mint egy: $\varepsilon \ll 1, \gamma \ll 1$.

(37) Adja meg az alakváltozási jellemzők értelmezését!

a) $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ - fajlagos nyúlások.

Pl. az ε_x az egységnyi, x irányú hosszak a terhelés hatására bekövetkező megváltozása.

Az ε_x akkor pozitív, ha az egységnyi hossz a terhelés hatására megnövekszik.

b) $\gamma_{xy} = \gamma_{yx}, \gamma_{yz} = \gamma_{zy}, \gamma_{zx} = \gamma_{xz}$ - fajlagos szögtorzulások.

Pl. az γ_{xy} az egymással 90° -os szöget bezáró x és y irányok szögének a terhelés hatására bekövetkező megváltozása.

Az γ_{xy} akkor pozitív, ha a 90° -os szög a terhelés hatására csökken.

(38) Adja meg az alakváltozási tenzor definícióját diadikus alakban és írja fel az alakváltozási tenzor mátrixát derékszögű descartesi koordináta-rendszerben!

a) Az alakváltozási tenzor diadikus alakban: $\underline{\underline{A}} = (\vec{\alpha}_x \circ \vec{e}_x + \vec{\alpha}_y \circ \vec{e}_y + \vec{\alpha}_z \circ \vec{e}_z)$,

ahol az alakváltozási vektorok az alábbi alakúak:

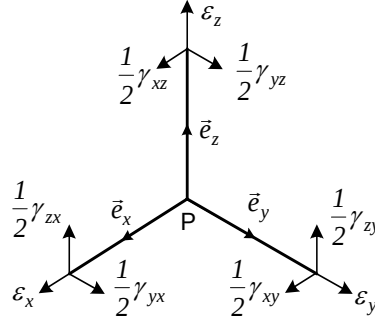
$$\begin{aligned}\vec{\alpha}_x &= \varepsilon_x \vec{e}_x + \frac{1}{2} \gamma_{yx} \vec{e}_y + \frac{1}{2} \gamma_{zx} \vec{e}_z, \\ \vec{\alpha}_y &= \frac{1}{2} \gamma_{xy} \vec{e}_x + \varepsilon_y \vec{e}_y + \frac{1}{2} \gamma_{zy} \vec{e}_z, \\ \vec{\alpha}_z &= \frac{1}{2} \gamma_{xz} \vec{e}_x + \frac{1}{2} \gamma_{yz} \vec{e}_y + \varepsilon_z \vec{e}_z.\end{aligned}$$

és $\circ$ a diadikus szorzás jele.

b) Az alakváltozási tenzor mátrixa:

$$[\underline{\underline{A}}] = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{bmatrix}.$$

(39) Szemléltesse az alakváltozási tenzort az elemi triéderen!



(40) Hogyan számíthatók az alakváltozási tenzorból az adott $\vec{n}$ és $\vec{m}$ ($\vec{n} \cdot \vec{m} = 0$) egységvektorokkal megadott irányokhoz tartozó fajlagos nyúlások és szögtorzulások?

A fajlagos nyúlások számítása:

$$\varepsilon_n = \vec{n} \cdot \underline{\underline{A}} \cdot \vec{n}, \quad \varepsilon_m = \vec{m} \cdot \underline{\underline{A}} \cdot \vec{m}.$$

A fajlagos szögtorzulások számítása:

$$\frac{1}{2}\gamma_{nm} = \frac{1}{2}\gamma_{mn} = \vec{n} \cdot \underline{\underline{A}} \cdot \vec{m} = \vec{m} \cdot \underline{\underline{A}} \cdot \vec{n}.$$

Az összefüggésekben $\cdot$ a skaláris szorzás jele.

(41) Adja meg az alakváltozási főtengek és főnyúlások értelmezését!

Ha $\vec{\alpha}_e = \varepsilon_e \vec{e}$ és minden $\vec{m} \perp \vec{e}$ -re fennáll, hogy $\gamma_{me} = 2 \vec{m} \cdot \vec{\alpha}_e = 0$, akkor $\vec{e}$ alakváltozási főtengely (alakváltozási főirány) és ε_e főnyúlás.

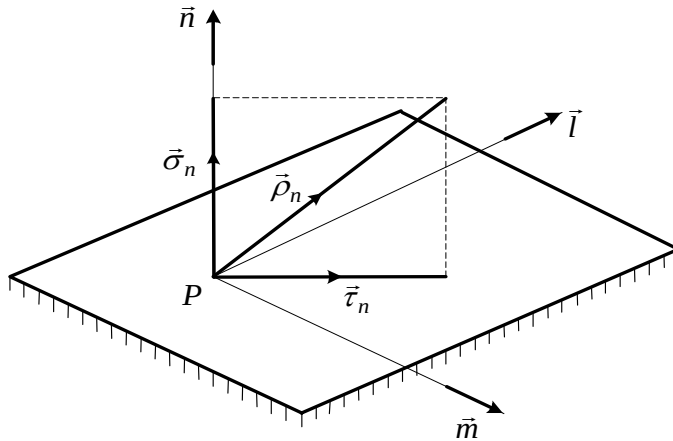
Megjegyzések:

- Az ε_e is lehet zérus ($\vec{\alpha}_e = \vec{0}$),
- Minden P pontban létezik legalább három főirány, amelyek kölcsönösen merőlegesek egymásra.

(42) Mi a feszültség?

A feszültségvektor a testben terhelés hatására fellépő, felület mentén megoszló belső erőrendszer sűrűségvektora.

(43) Hogyan számíthatók ki a feszültségvektor összetevői? Az összetevőkre bontást ábrán is szemléltesse!



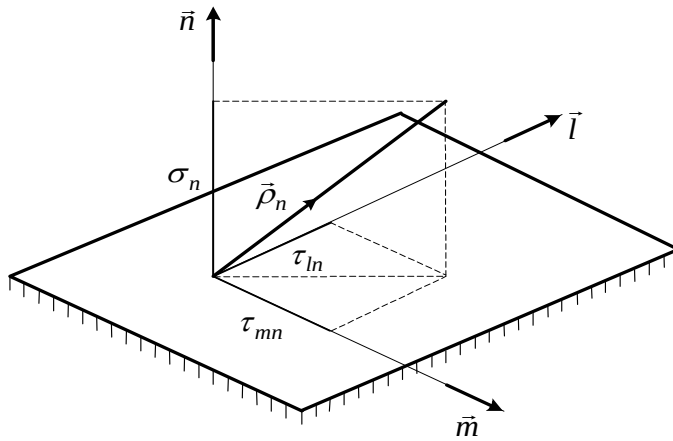
A normál feszültségi összetevő:

$$\vec{\sigma}_n = \sigma_n \vec{n} = (\vec{n} \cdot \vec{\varrho}_n) \cdot \vec{n}$$

A csúsztató feszültségi összetevő:

$$\vec{\tau}_n = \vec{\varrho}_n - \sigma_n \vec{n} = (\vec{n} \times \vec{\varrho}_n) \times \vec{n}$$

- (44) Hogyan számíthatók ki a feszültségvektor koordinátái? A koordinátákra bontást ábrán is szemléltesse!



A normál feszültség koordináta:

$$\sigma_n = \vec{n} \cdot \vec{\sigma}_n = (\vec{n} \cdot \vec{\varrho}_n)$$

A csúsztató feszültségi koordináták:

$$\tau_{mn} = \vec{m} \cdot \vec{\varrho}_n = \vec{m} \cdot \vec{\tau}_n$$

$$\tau_{ln} = \vec{l} \cdot \vec{\varrho}_n = \vec{l} \cdot \vec{\tau}_n$$

- (45) Adja meg a feszültségi tenzor definícióját diadikus alakban és írja fel a feszültségi tenzor mátrixát derékszögű descarteszi koordináta-rendszerben!

a) A feszültségi tenzor diadikus alakban: $\underline{\underline{T}} = (\vec{\varrho}_x \circ \vec{e}_x + \vec{\varrho}_y \circ \vec{e}_y + \vec{\varrho}_z \circ \vec{e}_z),$

ahol a feszültségi vektorok az alábbi alakúak:

$$\vec{\varrho}_x = \sigma_x \vec{e}_x + \tau_{yx} \vec{e}_y + \tau_{zx} \vec{e}_z,$$

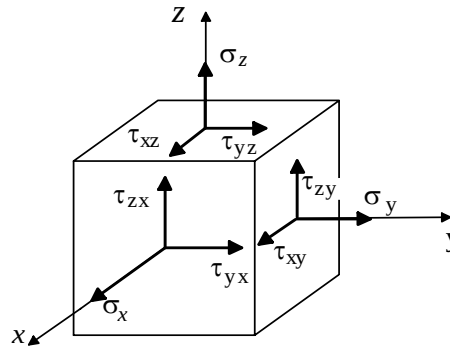
$$\vec{\varrho}_y = \tau_{xy} \vec{e}_x + \sigma_y \vec{e}_y + \tau_{zy} \vec{e}_z,$$

$$\vec{\varrho}_z = \tau_{xz} \vec{e}_x + \tau_{yz} \vec{e}_y + \sigma_z \vec{e}_z.$$

- b) A feszültségi tenzor mátrixa:

$$[\underline{\underline{T}}] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}.$$

- (46) Szemléltesse a feszültségi tenzort az elemi kockán!



- (47) Hogyan számíthatók a feszültségi tenzorból az adott $\vec{n}$ normálisú síkon fellépő σ_n és τ_{mn} feszültség koordináták?

A normál feszültségi koordináta:

$$\sigma_n = \vec{n} \cdot \vec{\varrho}_n = \vec{n} \cdot \underline{\underline{T}} \cdot \vec{n}.$$

A csúsztató feszültségi koordináta:

$$\tau_{mn} = \tau_{nm} = \vec{m} \cdot \vec{\varrho}_n = \vec{n} \cdot \underline{\underline{T}} \cdot \vec{m} = \vec{m} \cdot \underline{\underline{T}} \cdot \vec{n}.$$

Az összefüggésekben $\cdot$ a skaláris szorzás jele.

- (48) Adja meg a feszültségi főirányok és főfeszültségek értelmezését!

Ha az $\vec{e}$ egységvektorra $\perp$ elemi felületen $\vec{\tau}_e = \vec{0}$ és ebből következően $\vec{\varrho}_e = \sigma_e \vec{e}$, akkor az $\vec{e}$ feszültségi főtengely (feszültségi főirány) és σ_e főfeszültség, valamint az $\vec{e}$ -re $\perp$ elemi felület síkja főfeszültségi sík.

Megjegyzések:

- A σ_e is lehet zérus ($\vec{\varrho}_e = \vec{0}$).
- Minden P pontban létezik legalább három főirány, amelyek kölcsönösen merőlegesek egymásra.