HÁZI FELADAT – megoldási segédlet
Relatív kinematika
Két autó. 1. rész

1. Határozzuk meg, hogy milyennek észleli az *A* autóban ülő megfigyelő a *B* autó sebességét és gyorsulását abban a pillanatban, amikor az ábrán vázolt helyzetbe érnek.

1. lépés:
a vonatkoztatási rendszerek és a koordinátarendszerek felvétele

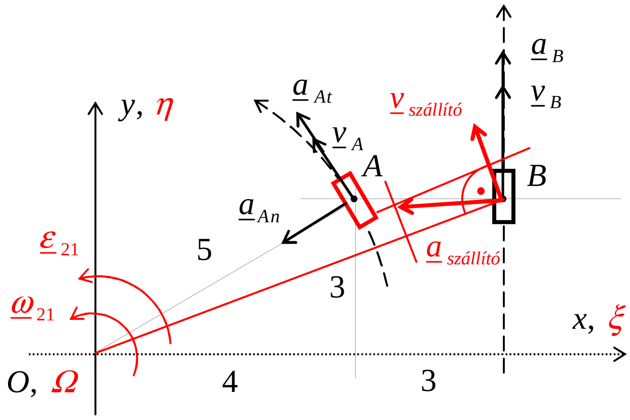
Jelölések:
- VR1: álló vonatkoztatási rendszer (1-es jelű merev test)
- VR2: mozgó vonatkoztatási rendszer (2-es jelű merev test)
- KR1: az álló vonatkoztatási rendszerhez mint merev testhez kötött koordinátarendszer
- KR2: a mozgó vonatkoztatási rendszerhez mint merev testhez kötött koordinátarendszer

VR1: a nyugvónak és merevnek tekintett környezet. A hozzá kötött KR1: $\{O;\, x, y, z\}$ térfix

VR2: az *A* jelű autó, mint merev test. A hozzá kötött KR2: $\{\Omega;\ \xi, \eta, \zeta\}$

Abban a pillanatban, amikor az autók az ábrán megadott helyzetben vannak, a két KR egymással fedésben van úgy, hogy az origók és a mozgás síkjára merőleges tengelyek tartósan fedésben vannak ($O = \Omega$ és $\zeta = z$), a mozgás síkjában lévő tengelyek pedig pillanatnyilag fedésben vannak ($x = \xi$ és $y = \eta$).

$$v_A = 18\,[\mathrm{km/h}] = 5\,[\mathrm{m/s}]$$
$$a_{At} = 2\,[\mathrm{m/s^2}]$$
$$v_B = 36\,[\mathrm{km/h}] = 10\,[\mathrm{m/s}]$$
$$a_B = 3\,[\mathrm{m/s^2}]$$



2. lépés:
a mozgó vonatkoztatási rendszer mint merev test mozgásállapotának meghatározása az álló vonatkoztatási rendszerhez képest, az adott pillanatban:

VR2-t úgy képzeljük el, mint egy végtelen nagyra[1] kiterjesztett tárcsát, amely az *O*-n átmenő tengely körül forog. Ezen a tárcsán az *A* autó nyugalomban van. Ez azt jelenti, hogy a képzeletbeli tárcsa és az *A* autó egy merev testet alkot. Ismert az autó *A* pontjának - és ezzel a tárcsa *A*-val jelölt pontjának - sebessége és tangenciális gyorsulása az adott pillanatban. Így a merev testekre vonatkozó

$$\underline{v}_A = \underline{v}_\Omega + \underline{\omega}_{21} \times \underline{r}_{\Omega A} \quad \text{és} \quad \underline{a}_A = \underline{a}_\Omega + \underline{\varepsilon}_{21} \times \underline{r}_{\Omega A} - \omega_{21}^2 \cdot \underline{r}_{\Omega A} \quad \text{összefüggésekből}$$

Sebességállapot[2]: $\underline{v}_\Omega = \underline{v}_O = \underline{0} \qquad \underline{\omega}_{21} = \dfrac{v_A}{OA}\underline{k} = \dfrac{5}{5}\underline{k} = 1\,\underline{k}$,

---

[1] Tulajdonképpen "elegendően nagyra" is elég. Legalább akkora kell legyen, hogy az *A* autó rajta legyen, egyébként érdektelen a mérete és az alakja.

[2] Az *OA* távolság azért 5 [m], mert a 3 és 4 egység befogójú derékszögű háromszög oldalai pythagoraszi számhármast alkotnak.

Gyorsulásállapot: $\underline{a}_\Omega = \underline{a}_O = \underline{0}, \quad \underline{\omega}_{21} = 1\,\underline{k}\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right], \quad \underline{\varepsilon}_{21} = \frac{a_{At}}{5}\underline{k} = 0,4\,\underline{k}\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right]$

3. lépés:
a megfigyelt test mozgásállapotának leírása az álló koordinátarendszerben, az adott pillanatban

A *B* jelű autó haladó mozgást végez a VR1-ben, nem forog, tehát szögsebessége és szöggyorsulása is nulla.

Sebességállapot: $\underline{\omega} = \underline{0}, \quad \underline{v}_B = 10\,\underline{j}\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ adott

Gyorsulásállapot: $\underline{\varepsilon} = \underline{0}, \quad \underline{a}_B = 3\,\underline{j}\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$ adott

4. lépés:
kapcsolat a B pont sebességének (és gyorsulásának) az álló és a mozgó vonatkoztatási rendszerben felírt alakjai között [3]:

$$\underline{v}_B = \underline{\beta}_B + \underline{v}_{szállító}$$
$$\underline{a}_B = \underline{\alpha}_B + \underline{a}_{szállító} + \underline{a}_{Coriolis}$$

Ezekben az egyenletekben $\underline{\beta}_B$ és $\underline{\alpha}_B$ az ismeretlenek, vagyis a *B* pontnak a mozgó VR-ból megfigyelt sebessége és gyorsulása. A szállító sebesség és a szállító gyorsulás, valamint a Coriolis gyorsulás sem ismert, de kiszámítható.

A szállító sebesség a mozgó VR azon pontjának sebessége az álló VR-ból megfigyelve, amelyik a vizsgált pillanatban a megfigyelt ponttal fedésben van. Jelen példában a végtelen nagy méretűre kiterjesztett, az *O*-n átmenő *z* tengely körül forgó képzeletbeli tárcsának a *B*-vel éppen fedésben lévő pontjának sebessége:
(valamint a szállító gyorsulás analóg értelmezésével):

$$\underline{v}_{szállító} = \cancel{\underline{v}_\Omega} + \underline{\omega}_{21} \times \underline{\rho}_{\Omega B} \qquad \underline{a}_{szállító} = \cancel{\underline{a}_\Omega} + \underline{\varepsilon}_{21} \times \underline{\rho}_{\Omega B} - \omega_{21}^2 \underline{\rho}_{\Omega B}$$

$$\underline{v}_{szállító} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 0 \end{bmatrix}\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right] \qquad \underline{a}_{szállító} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8,2 \\ -0,2 \\ 0 \end{bmatrix}\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$$

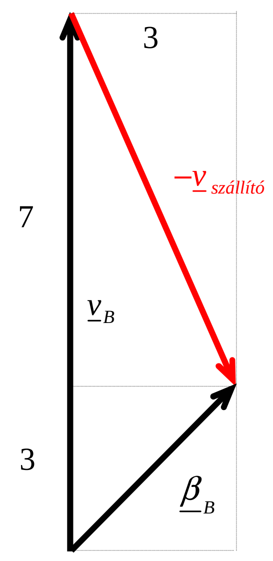
---

[3] Ezek az egyenletek nem függenek a KR megválasztásától. Számoláshoz konkrét KR-ben felírt egyenletekre van szükség, amik már KR függőek. Ezért valamely vektoregyenlet csak úgy írható fel koordinátás alakban, ha minden benne szereplő vektormennyiség ugyanabban a KR-ben van felírva. Mivel a fenti egyenletekben különböző VR-ekből megfigyelt mennyiségek szerepelnek, (latin és görög betűvel vannak megkülönböztetve egymástól), ügyelni kell arra, hogy az egy egyenletben szereplő összes vektor koordinátái ugyanabban a KR-ben legyenek felírva. Ezért vagy eleve a vizsgált pillanatban fedésben lévő KR-eket veszünk fel, (jelen esetben ezt tettük: így választottuk meg a KR-eket), vagy koordinátatranszformációt kell végrehajtani. Ez utóbbi nem kerülhető meg, ha a mozgásnak nem csak egy adott időpillanatára vonatkozik a kérdés, hanem egy időintervallumra.

$$\underline{v}_B = \underline{\beta}_B + \underline{v}_{szállító}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_x \\ \beta_y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \boxed{\underline{\beta}_B = \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]}$$

Grafikusan: $\underline{\beta}_B = \underline{v}_B + \left(-\underline{v}_{szállító}\right)$



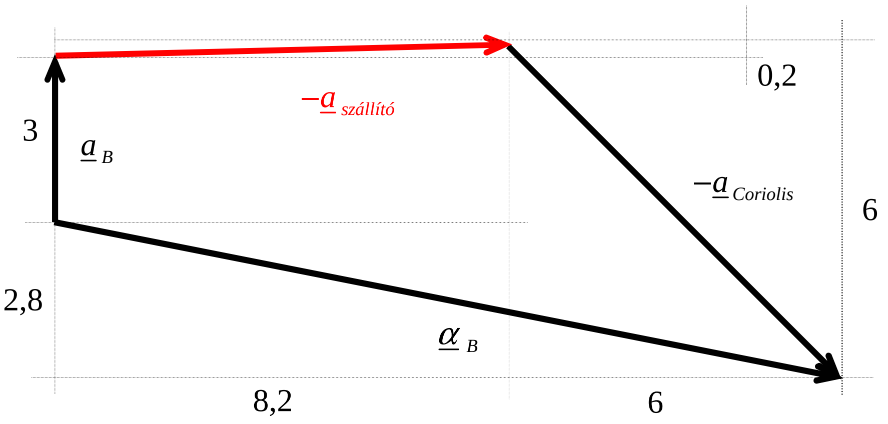
A Coriolis gyorsulás:

$$\underline{a}_{Coriolis} = 2 \cdot \underline{\omega}_{21} \times \underline{\beta}_B = 2 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6 \\ 6 \\ 0 \end{bmatrix} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

$$\underline{a}_B = \underline{\alpha}_B + \underline{a}_{szállító} + \underline{a}_{Coriolis}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{Bx} \\ \alpha_{By} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -8,2 \\ -0,2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -6 \\ 6 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \boxed{\underline{\alpha}_B = \begin{bmatrix} 14,2 \\ -2,8 \\ 0 \end{bmatrix} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]}$$

Grafikusan: $\underline{\alpha}_B = \underline{a}_B + \left(-\underline{a}_{szállító}\right) + \left(-\underline{a}_{Coriolis}\right)$



2. Határozzuk meg, hogy milyen szögsebességgel és szöggyorsulással látja forogni az *A* autóban ülő megfigyelő a *B* autót, ugyanebben a pillanatban.

Kapcsolat egy merev test szögsebességének egy mozgó, (VR2), és egy álló (VR1) vonatkoztatási rendszerből megfigyelt szögsebességei között:

$$\underline{\omega}_1 = \underline{\omega}_2 + \underline{\omega}_{21}$$

ahol

$\underline{\omega}_1$ a megfigyelt test szögsebessége az 1-es jelű (VR1) vonatkoztatási rendszerhez képest

$\underline{\omega}_2$ a megfigyelt test szögsebessége a 2-es jelű (VR2) vonatkoztatási rendszerhez képest

$\underline{\omega}_{21}$ a VR2-nek, a mozgó vonatkoztatási rendszernek mint merev testnek a szögsebessége az álló vonatkoztatási rendszerhez, VR1-hez képest.

Alkalmazva a példában:

A *B* jelű merev test haladó mozgást végez, vagyis nem forog a környezethez képest, vagyis az álló VR1 vonatkoztatási rendszerhez képest, ezért $\underline{\omega}_1 = \underline{0}$.

Így a *B* autónak az *A* autóhoz képesti szögsebessége: $\boxed{\underline{\omega}_2 = -\underline{\omega}_{21} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]}$.

Hasonlóan, a szöggyorsulások kapcsolatára vonatkozó összefüggésből a *B* autónak az *A* autóhoz képesti **szöggyorsulása** $\underline{\varepsilon}_2 = -\underline{\varepsilon}_{21}$, ugyanis:

Az általános összefüggés:

$$\underline{\varepsilon}_1 = \underline{\varepsilon}_2 + \underline{\omega}_{21} \times \underline{\omega}_2 + \underline{\varepsilon}_{21}$$

Alkalmazva a példában:

$\underline{\varepsilon}_1 = \underline{0}$ mert a *B* autó nem forog a környezethez képest (haladó mozgást végez)

az $\underline{\omega}_{21} \times \underline{\omega}_2$ tag síkbeli mozgásnál mindig nulla, mert mindkét szögsebességvektor merőleges a mozgás síkjára

ebből $\underline{0} = \underline{\varepsilon}_2 + \underline{\varepsilon}_{21} \quad \rightarrow \quad \boxed{\underline{\varepsilon}_2 = -\underline{\varepsilon}_{21} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0,4 \end{bmatrix} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right]}$

3. Ismételjük meg a feladat megoldását, más koordinátarendszer választással.
Most is az *A* jelű autóból figyeljük a *B* jelű autó mozgását. A megoldás lépései is ugyanazok, a különbség az, hogy a mozgó koordinátarendszert másképp vesszük fel:

1. lépés:
a vonatkoztatási rendszerek és a koordinátarendszerek felvétele

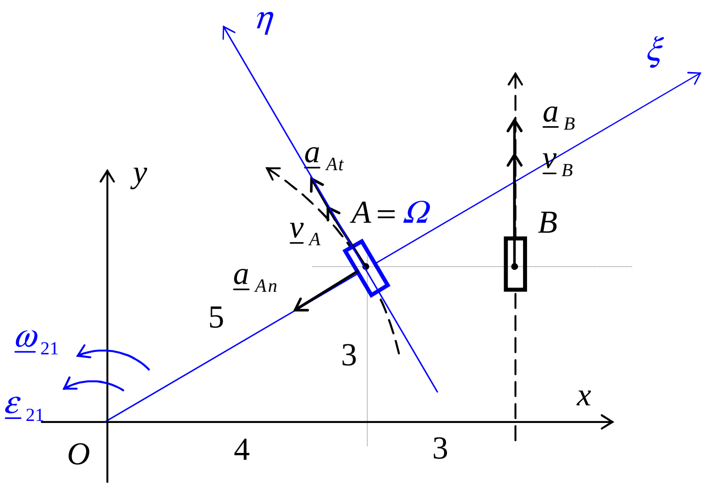
Jelölések:
VR1: álló vonatkoztatási rendszer (1-es jelű merev test)
VR2: mozgó vonatkoztatási rendszer (2-es jelű merev test)
KR1: az álló vonatkoztatási rendszerhez mint merev testhez kötött koordinátarendszer
KR2: a mozgó vonatkoztatási rendszerhez mint merev testhez kötött koordinátarendszer

VR1: a nyugvónak és merevnek tekintett környezet. A hozzá kötött KR1: $\{O;\, x, y, z\}$ térfix

VR2: az *A* jelű autó, mint merev test. A hozzá kötött KR2: $\{\Omega;\ \xi, \eta, \zeta\}$

A mozgó koordinátarendszer origóját az *A* autó középpontjában rögzítjük, a mozgás síkjában fekvő tengelyeit pedig az autó oldalára merőlegesen, illetve az autó haladási irányában. A ζ tengely párhuzamos a térfix *z* tengellyel, és az *A* autóval együtt mozog, önmagával párhuzamosan.

$v_A = 18\,[\text{km/h}] = 5\,[\text{m/s}]$
$a_{At} = 2\,[\text{m/s}^2]$
$v_B = 36\,[\text{km/h}] = 10\,[\text{m/s}]$
$a_B = 3\,[\text{m/s}^2]$



2. lépés:
a mozgó vonatkoztatási rendszer mint merev test mozgásállapotának meghatározása az álló vonatkoztatási rendszerhez képest, az adott pillanatban:

VR2 merev test, ismert az $A = \Omega$ pontjának a sebessége. Ennek a sebességnek a koordinátái a KR2-ben egyszerűen felírhatók:

$$\underline{v}_\Omega = \underline{v}_A = \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \\ 0 \end{bmatrix}_{\xi,\eta,\zeta}$$

Ismert az $A = \Omega$ pont gyorsulása is, igaz, nem közvetlenül, de meg lehet határozni a rendelkezésre álló adatokból: adott a sebesség, adott a tangenciális gyorsulás és ismert a pálya görbületi sugara.
Az *A* pont normális gyorsulásának iránya: *A*-ból *O* felé mutat, nagysága pedig:

$$a_{An} = \frac{v_A^2}{\overline{OA}} = \frac{5^2}{5} = 5\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$$

Ezzel az $A=\Omega$ pont gyorsulásvektora, a KR2 koordinátarendszerben felírva:

$$\underline{a}_{\Omega}=\underline{a}_{A}=\underline{a}_{At}+\underline{a}_{An}=\begin{bmatrix}0\\2\\0\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}-5\\0\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-5\\2\\0\end{bmatrix}_{\xi,\eta,\zeta}$$

A VR2 mint merev test szögsebességének és szöggyorsulásának meghatározása a VR1 álló környezethez képest:
Ugyanúgy kell eljárni, mint az 1.-es pontban, vagyis gondolatban ki kell terjeszteni az *A* autó tartományát úgy, hogy legyen olyan pontja, amelyik az *O* ponttal fedésben van. Az így megkonstruált VR2 merev test a térfix *O* ponton átmenő, *x-y* síkra merőleges *z* tengely körül forog, ezért az *O* ponttal fedésben lévő pontjának nulla a sebessége és a gyorsulása. Ezzel ismert a VR2 merev test két pontjának a sebessége és a gyorsulása, amiből a szögsebesség és a szöggyorsulás a
$\underline{v}_A=\underline{v}_O+\underline{\omega}_{21}\times\underline{r}_{OA}$ és $\underline{a}_A=\underline{a}_O+\underline{\varepsilon}_{21}\times\underline{r}_{OA}-\omega_{21}^2\cdot\underline{r}_{OA}$ összefüggésekből meghatározható.

Ezek a $z=\zeta$ tengelybe esnek, így alakjuk ugyanaz a KR1-ben felírva, mint a KR2-ben:

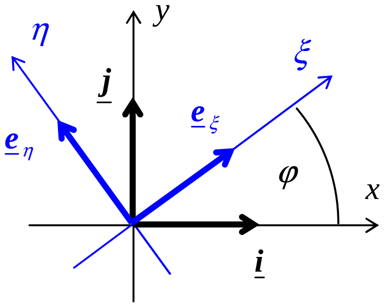
$$\underline{\omega}_{21}=\begin{bmatrix}0\\0\\1\end{bmatrix}_{x,y,z}=\begin{bmatrix}0\\0\\1\end{bmatrix}_{\xi,\eta,\zeta}\quad\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]\qquad\qquad \underline{\varepsilon}_{21}=\begin{bmatrix}0\\0\\0,4\end{bmatrix}_{x,y,z}=\begin{bmatrix}0\\0\\0,4\end{bmatrix}_{\xi,\eta,\zeta}\quad\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right]$$

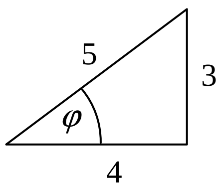
Rendelkezésre állnak a mozgó VR-nek mint merev testnek a **mozgásállapotát** megadó vektorok:

Sebességállapot: $\underline{v}_A=\underline{v}_{\Omega},\ \ \underline{\omega}_{21}$
Gyorsulásállapot: $\underline{a}_A=\underline{a}_{\Omega},\ \ \underline{\varepsilon}_{21},\ \ \underline{\omega}_{21}$

Ezekre a 4.lépésben lesz szükség, a *B* pont két, egymáshoz képest mozgó VR-ből megfigyelt sebességei (és gyorsulásai) közötti kapcsolat felírásához. Mivel azok az egyenletek mindkét VR-ből megfigyelt vektormennyiségeket tartalmaznak, numerikus számításokhoz csak úgy lehet őket használni, ha a bennük szereplő vektorok koordinátái ugyanarra a koordinátarendszerre vonatkoznak. Legyen ez a koordinátarendszer a KR1, és transzformáljuk az $A=\Omega$ pont sebességét és gyorsulását a KR1-be.

Segédábrák a transzformációs mátrix felírásához:





$$\cos\varphi=\frac{4}{5}=0,8$$

$$\sin\varphi=\frac{3}{5}=0,6$$

$$\underline{\underline{T}}_{KR2\to KR1}=\begin{bmatrix}\cos\varphi & -\sin\varphi & 0\\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0,8 & -0,6 & 0\\ 0,6 & 0,8 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

Ezzel:

$$\underline{v}_A=\underline{v}_{\Omega}=\underline{\underline{T}}_{KR2\to KR1}\cdot\left[\underline{v}_A\right]_{KR2}=\begin{bmatrix}0,8 & -0,6 & 0\\ 0,6 & 0,8 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}0\\5\\0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-3\\4\\0\end{bmatrix}_{x,y,z}\quad\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

$$\underline{a}_A = \underline{a}_\Omega = \underline{\underline{T}}_{KR2\to KR1} \cdot \left[\underline{a}_A\right]_{KR2} = \begin{bmatrix} 0,8 & -0,6 & 0 \\ 0,6 & 0,8 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -5 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5,2 \\ -1,4 \\ 0 \end{bmatrix}_{x,y,z} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

3. lépés:
a megfigyelt test mozgásállapotának leírása az álló koordinátarendszerben, az adott pillanatban

A *B* jelű autó haladó mozgást végez a VR1-ben, nem forog, tehát szögsebessége és szöggyorsulása is nulla.

Sebességállapot: $\underline{\omega} = \underline{0}, \quad \underline{v}_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix}_{x,y,z} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$ adott

Gyorsulásállapot: $\underline{\varepsilon} = \underline{0}, \quad \underline{a}_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix}_{x,y,z} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$ adott

4. lépés:
kapcsolat a B pont sebességének (és gyorsulásának) az álló és a mozgó vonatkoztatási rendszerben felírt alakjai között:

$$\underline{v}_B = \underline{\beta}_B + \underline{v}_{szállító}$$
$$\underline{a}_B = \underline{\alpha}_B + \underline{a}_{szállító} + \underline{a}_{Coriolis}$$

Ezekben az egyenletekben $\underline{\beta}_B$ és $\underline{\alpha}_B$ az ismeretlenek, vagyis a *B* pontnak a mozgó VR-ból megfigyelt sebessége és gyorsulása. A szállító sebesség és a szállító gyorsulás, valamint a Coriolis gyorsulás sem ismert, de a rendelkezésre álló adatokból, a definíció alapján kiszámíthatók:

A szállító sebesség a mozgó VR (mint merev test) azon pontjának sebessége (az álló VR-ból megfigyelve), amelyikkel a vizsgált pillanatban a megfigyelt pont éppen fedésben van.

$$\underline{v}_{szállító} = \underline{v}_\Omega + \underline{\omega}_{21} \times \underline{\rho}_{\Omega B}$$

$$\underline{v}_{szállító} = \begin{bmatrix} -3 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 0 \end{bmatrix}_{x,y,z} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$$

Ezzel:

$$\underline{v}_B = \underline{\beta}_B + \underline{v}_{szállító}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{Bx} \\ \beta_{By} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \to \quad \boxed{\underline{\beta}_B = \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix}_{x,y,z} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]}$$

A szállító gyorsulás a mozgó VR (mint merev test) azon pontjának gyorsulása (az álló VR-ból megfigyelve), amelyikkel a megfigyelt pont a vizsgált pillanatban fedésben van.

$$\underline{a}_{szállító} = \underline{a}_{\Omega} + \underline{\varepsilon}_{21} \times \underline{\rho}_{\Omega B} - \omega_{21}^2 \underline{\rho}_{\Omega B}$$

$$\underline{a}_{szállító} = \begin{bmatrix} -5,2 \\ -1,4 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - 1 \cdot \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8,2 \\ -0,2 \\ 0 \end{bmatrix}_{x,y,z} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

A Coriolis gyorsulás:

$$\underline{a}_{Coriolis} = 2 \cdot \underline{\omega}_{21} \times \underline{\beta}_B = 2 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6 \\ 6 \\ 0 \end{bmatrix} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

Ezzel:

$$\underline{a}_B = \underline{\alpha}_B + \underline{a}_{szállító} + \underline{a}_{Coriolis}$$

$$\underline{\alpha}_B = \underline{a}_B - \underline{a}_{szállító} - \underline{a}_{Coriolis}$$

$$\underline{\alpha}_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -8,2 \\ -0,2 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -6 \\ 6 \\ 0 \end{bmatrix} = \boxed{\begin{bmatrix} 14,2 \\ -2,8 \\ 0 \end{bmatrix}_{x,y,z} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]}$$

A szögsebesség és szöggyorsulás számítása minden részletében megegyezik az előbbiekben ismertetettel.

A feladat ***fizikai megfogalmazása*** ugyanaz, mint az 1.-es pontban. A ***számítási segédeszköz*** különböző: másmilyen koordinátarendszert kötöttünk a mozgó vonatkoztatási rendszerhez. Ez nem befolyásolja a végeredményt. Ugyanazokat a kinematikai mennyiségeket kaptuk, mint az előbb, vagyis az autó mozgása ugyanolyannak látszik egy adott mozgásállapotú másik autóból nézve, akárhogyan választottunk koordinátarendszert.

Hogy milyennek észleli egy mozgó megfigyelő az autó mozgását, az függ annak a vonatkoztatási rendszernek a mozgásállapotától, amelyiken a megfigyelő ül, de nem függ a hozzá rögzített koordinátarendszer megválasztásától. A koordinátarendszer MATEMATIKAI SEGÉDKONSTRUKCIÓ, a vonatkoztatási rendszer pedig egy FIZIKAILAG MEGHATÁROZOTT objektum.