Dunakavics

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2022. X. évfolyam X. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

Hum Kristóf
Differenciális mobilis robot szimulációja és szabályozása MATLAB-környezetben 1. rész

Bacsa-Bán Anetta
A magyarországi szakképzés 2010 és 2020 között (háttér és körülmény)

Balog Barnabás–Balog Péter–Király Zoltán
INSPHAERA motion szimulátor kutatásfejlesztése

Kirchner István
Gyorsulva gyorsuló világegyetem?

Dunakavics

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2022. X. évfolyam X. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

Megjelelenik évente 12 alkalommal

Szerkesztőbizottság

András István, Bacsa-Bán Anetta, Balázs László,
Nagy Bálint, Németh István, Pázmán Judit, Rajcsányi-Molnár Mónika.

Felelős szerkesztő Németh István
Tördelés Duma Attila

Szerkesztőség és a kiadó címe 2400 Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/a.

Kiadja DUE Press, a Dunaújvárosi Egyetem kiadója
Felelős kiadó Dr. habil András István, rektor

http://dunakavics.due.hu
ISSN 2064-5007

Tartalom

HUM KRISTÓF
Differenciális mobilis robot szimulációja és szabályozása MATLAB-környezetben 1. rész 5

BACSA-BÁN ANETTA
A magyarországi szakképzés 2010 és 2020 között (háttér és körülmény) 21

BALOG BARNABÁS–BALOG PÉTER–KIRÁLY ZOLTÁN
INSPHAERA motion szimulátor kutatásfejlesztése 39

KIRCHNER ISTVÁN
Gyorsulva gyorsuló világegyetem? 51

Galéria
(Sóti István fotói) 60

HUM KRISTÓF *

Differenciális mobilis robot szimulációja és szabályozása MATLAB-környezetben

1. rész

Összefoglalás: Ez a dolgozat egy differenciális hajtású mobilis robot szimulációjával, irányításával foglalkozik, MATLAB-környezetben megvalósítva. Manapság egyre több teret kap a robotika, és dinamikus fejlődése során már a háztartásokban is megjelentek ezek a típusú robotok robotporszívók formájában. Emellett a differenciális hajtás egy egyszerű és költséghatékony fajtája a mobilis robotoknak, ezért elég közkedvelt is. A differenciális hajtás irányítása a kerekek szögsebességének változtatásával történik. A dolgozat Simulinkben és MATLAB-programozásban valósul meg. A MATLAB elsősorban egy programozási környezet és programnyelv, amihez számos területen hasznos keretrendszer, eszköztár, programkönyvtár érhető el, ami főként kutatók, mérnökök, és közgazdászok által használt. A Simulink egy MATLAB-alapú grafikus programozási eszköz többváltozós dinamikus rendszerek modellezésére, szimulálására és elemzésére használható program. A Simulinket széles körben használják például ipari automatizációban, digitális jelfeldolgozáshoz és modellalapú tervezéshez. A teljes szakdolgozat gyakorlati része MATLAB és Simulink környezetben készült. Dolgozatom során bemutatom a robot egyszerű vezérlését szimulációban, majd szimulált LIDAR-ból származó adatokon a SLAM-algoritmust mutatom be. Dolgozatom végén pedig egy olyan magas szintű navigációs és vezérlő algoritmus implementációját mutatom be, amivel a robot képes egy számára ismeretlen terület bejárására, a terület lefedésére, csakis a szenzorjaitól nyert információkra támaszkodva.
Kulcsszavak: MATLAB-környezet; differenciális hajtás; Simulink.

Abstract: This thesis is about the simulation and control of differential drive mobile robots implemented in MATLAB environment. Nowadays the usage of robotics is getting more and more widespread and besides its dynamic evolving these kinds of robots can be found in households as well, in form

* *Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Gépészmérnöki BSc hallgató*
Email: k..hum94@gmail.com

of robot vacuum cleaners. Moreover, differential drive is a simple and inexpensive type of mobile robot, therefore it is quite popular. To accomplish the control of these kinds of robots is simply done by changing the wheel's angular velocity. This thesis is implemented in Simulink and MATLAB. Primarily MATLAB is a programming environment and language with a lot of useful frameworks, tools, programming libraries, used mainly by engineers, scientists, economists. Simulink is a MATLAB-based graphical programming tool for simulating, model and analyzing multidomain dynamical systems. Simulink is widely used in industrial automation, digital signal processing, and model-based design. The whole practical part of the thesis was built in MATLAB and Simulink. At the beginning of my work, I present the simple control of the robot in simulation. Then I apply simulated LIDAR data for the SLAM algorithm. At the end of the Thesis, I present a higher-level navigation and control algorithm's implementation, wherewith the robot is capable to cover an unknown area from its perspective, relying upon only the sensors.
Keywords: MATLAB environment; differential drive; Simulink.

Bevezetés

Ebben az írásban egy differenciális hajtású mobilis robot szimulációját mutatom be MATLAB-környezetben. Szerkezeti felépítésében ez a legegyszerűbb jármű típusú robot. Nem igényel külön kormányzási mechanizmust, mivel elég csak megváltoztatni az egyik kerék forgási sebességét, és a jármű elfordul. Ezt a felépítést alkalmazzák például a robotporszívók esetében, mivel mozgékony, egyhelyben is képes körbefordulni.

Az első fejezetben ezt a robotot és annak kinematikai modelljét, főbb paramétereit és szenzorjait mutatom be. Továbbá írok a szabályzásról, a PID-szabályzóról, a polákoordináta-rendszerről és a koordináta transzformációról.

A következő fejezetben MATLAB-környezetben a kinematikai modell alapján a robot szimulációját elemzem. Utána egy egyszerű szabályzót mutatok be, amely megadott útvonalpontokon keresztül próbálja keresztülvezetni a robotot. Ezután egy LIDAR szimulációs lehetőségét mutatom be.

A dolgozat utolsó fejezetében a SLAM-ről írok általánosságban és a LidarSLAM algoritmusról. Ezután a Matlab Simulinkben levő PID-szabályzót szimulálom és elemzem. Végül egy területi bejárás-algoritmust mutatok be.

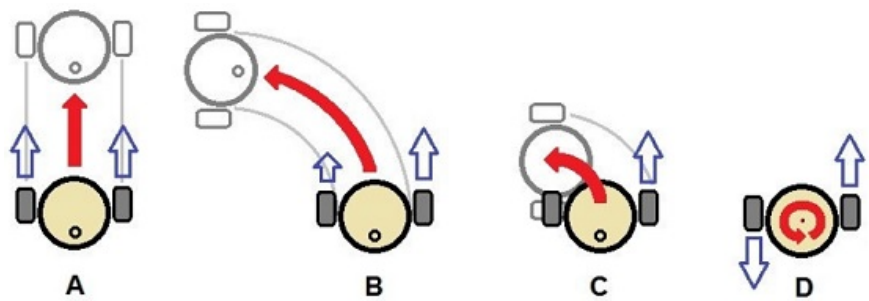
Mindig érdekelt a robotika és ez a dolgozat jó lehetőséget adott a téma elméleti hátterében való mélyebb elmerülésnek. A Matlab Simulink pedig jól használható a szimulációkra, mert könnyen lehet sokféle körülményt teremteni és a rendszer összes változója grafikonon szemléletesen ábrázolható. Továbbá a szimulációkat a könnyebb elemzéshez lehet lassítani vagy meg is lehet állítani.

Elméleti háttér

Differenciális hajtású robot

A differenciális hajtás a különböző oldalon lévő kerekek egymástól független meghajtását jelenti. Ezzel a független hajtással lehet a kormányzását megoldani. Az alábbi ábrán egy kétkerekű differenciális hajtású jármű mozgásának alapváltozatai láthatóak:

1. ábra. Differenciális hajtás [1]



Az ”A” változaton a két kerék ugyanakkor sebességgel forog, ezért a jármű elmozdulása egyenes vonalú. A ”B” jelű ábrán a mind a két kerék forog, de a jobb kerék gyorsabban, így bal irányba fordul és halad előre. A ” C” képen csak a jobb keréknek van hajtása, ezért a bal kerék talajjal érintkező pontja körül forog. A ”D” változaton a kerekek ellentétes irányba forognak egyenlő sebességgel, így a jármű a saját tengelye körül forog egyhelyben.

[1] *Differenciális hajtás.* Elérhető: https://robotepites.blog.hu/2017/12/06/vonalkoveto_robot_elso_resz

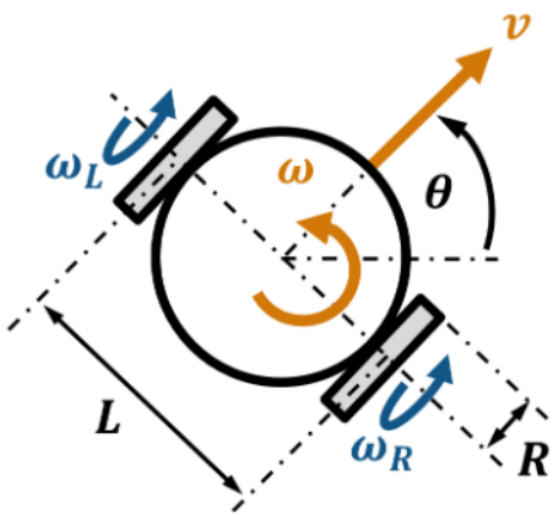
[2] *Mobile Robotics Simulation Toolbox*| *Mathworks.* Elérhető: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66586-mobile-robotics-simulation-toolbox

Szerkezeti felépítés

Ez a robot differenciális hajtású. Az *2. ábrán* látható szerkezet két kerékkel rendelkezik, valóságban jellemző még egy harmadik szabadon forgó támaszkerék is, ám egyre gyakoribbak az önegyensúlyozó differenciális hajtású járművek is.

L: Tengelytávolság (m)
R: Hajtott kerekek sugara (m)
ωL és **ωR**: A bal és a jobb kerék szögsebessége (rad/s)
ω: A robot elfordulási szögsebessége (rad/s)
v: A robot előrehaladási sebessége (m/s)

2. ábra. Robot szerkezeti felépítése kinematikai szempontból [2]



Kinematikai modell

A robotikában gyakran különböző modellek által tudjuk becsülni a robotok állapotát. Legegyszerűbb (bonyolultságukat, számítási igényüket tekintve), viszont a valóságot jól közelítő modellek a kinematikai modellek. Kinematikai modellek esetében jellemzően csak a sebességekkel, elmozdulásokkal foglalkozunk, elhanyagolva például a tehetetlenséget, veszteségeket, így gyakran akár a valóságban lehetetlen értékek is felléphetnek, például végtelen gyorsulás. Annak ellenére, hogy egy bonyolultabb, dinamikai modell jellemzően pontosabb eredményt ad, mégis gyakori a kinematikai modellek alkalmazása akár a robotok belső funkcióinak megvalósításához is, hiszen jó közelítést tudnak adni, és a számítási igényük töredéke egy dinamikai modellnek.

A következőkben a differenciális hajtású mobilis robot kinematikai modelljét ismertetem.

Direkt kinematikai modell

$$v = \frac{R}{2}(\omega_R + \omega_L), \qquad \omega = \frac{R}{L}(\omega_R - \omega_L)$$

A kerekek szögsebességével számítható a jármű mozgását meghatározó két paraméter, a sebesség és az elfordulási sebesség. Ha a kerekek szögsebessége megegyező de ellentétes irányú, akkor a sebesség nulla lesz és a tengelye körül fog forogni a robot. Az R és L a járműre jellemző konstansok. A sebességet a két kerék futófelületi sebességének átlaga adja.

A szögsebességet tekintve, mivel a R és L pozitív konstansok, ezért hányadosuk is pozitív lesz. Tehát amennyiben ωR > ωL, akkor a szögelfordulás pozitív lesz, vagyis az *1-es ábra* alapján balra fog elfordulni. Ha a két érték egyenlő, akkor nulla lesz a szögelfordulás.

Inverz kinematikai modell

$$\omega_L = \frac{1}{R}\left(v - \frac{\omega L}{2}\right), \quad \omega_R = \frac{1}{R}\left(v + \frac{\omega L}{2}\right)$$

Amennyiben ismerjük a robot mozgási paramétereit, akkor ebből könnyen visszaszámítható a kerekek szögsebessége az inverz kinematikai modell alapján.

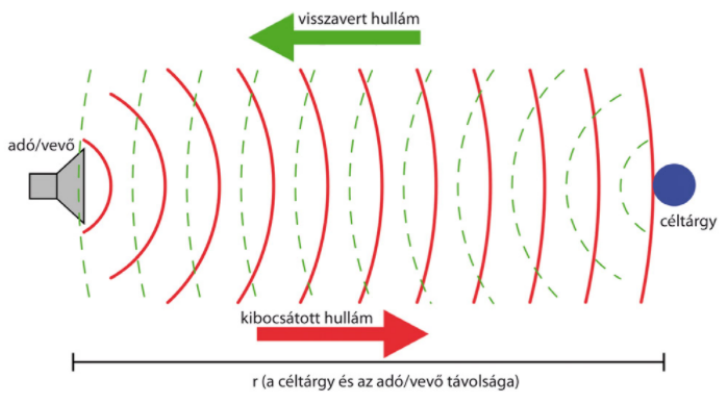
[3] *Ultrahangos távolságmérő szenzor* Elérhető: https://www.magyar-elektronika.hu/10005-tartalom/2377-ultrahangos-merestechnika

[4] *Planning algorithms* Elérhető: http://planning.cs.uiuc.edu/node659.html

Ultrahangos távolságmérő szenzor [3]

Manapság az ultrahangos érzékelési technikát széles körben alkalmazzák. A technológia fő előnye, hogy érintésmentes és a méréstechnika számos területén, csaknem mindenféle anyagú céltárgy detektálására alkalmas. Példa erre a folyadékok vagy ömlesztett szilárd anyagok szintjének mérése silókban vagy tartályokban. Az ultrahangos érzékelés másik területe a mozgó tárgyak megszámlálása. Ez lehet például egy italtöltő berendezésen az áthaladó palackok számlálása.

3. ábra. Ultrahangos távolságmérés működési elve [4]



A fenti ábrán látható az ultrahangos távolságmérés működése. Az eszközön van egy adó/vevő ami ultrahanghullámot bocsájt ki és egy tárgy visszaveri azt. Ez a mérés egy időadatot ad, amivel – a terjedési sebesség ismeretében – kiszámítja a tárgy távolságát.

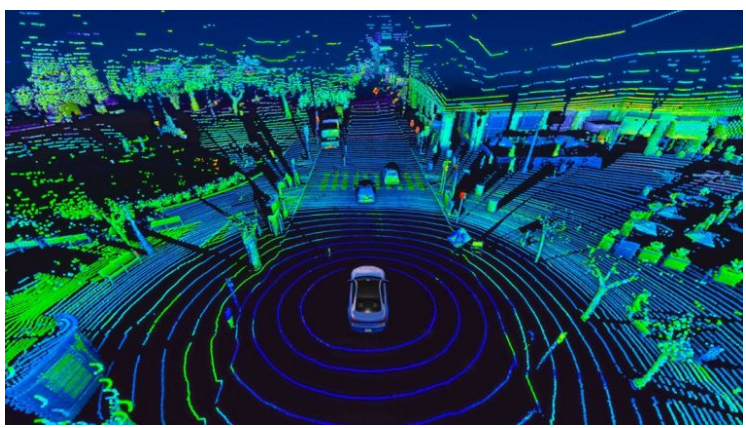
LIDAR

A LIDAR működése

A következőkben a LIDAR-szenzort mutatom be. Ez az elnevezés az angol Light Detection and Ranging kifejezésből származik, ami lézeralapú távérzékelést jelent. Ez az eszköz több fénynyalábbal határozza meg a szenzor és a visszaverő felület között levő távolságot. Nagyon gyors ütemben, nagyon sok mérést végez el egy meghatározott térbeli mintázat szerint. Ezt az eljárást lézerszkennelésnek nevezik.

A LIDAR az ultraibolya, látható fény vagy infravörös tartományban működhet.

4. ábra. LIDAR [5]



A LIDAR alapját képző lézerfény a terjedés irányában lévő tárgyakról, objektumokról visszaverődik. A szenzor rögzíti az egyes impulzusok kibocsátása és visszaverődése között eltelt időt, amiből meghatározható így az egyes irányokba a távolság a szenzor és az objektum között. Az elektromágneses energia terjedési sebessége közel konstans, így a kibocsátás és a tárgy által visszavert hullám a szenzorhoz való visszaérkezésig eltelt időből meghatározható tárgy a műszertől való távolsága.

[5] *LIDAR*
Elérhető: https://www.gim-international.com/content/article/multibeam-lidar-for-mobile-mapping-systems

A LIDAR felhasználása

A LIDAR-t számos területen használják:
– *Felszínmodellek:*
Terepi információk gyűjtésére használják (domborzat, felszíni objektumok).
– *Medertopográfiai modell:*
A vizek medrének felméréséhez használják. Kedvező feltételek mellett (alapvetően a víz tisztaságától függően) lézerenergia 70 méteres mélységbe is eljut.
– *Városmodellezés:*
Az urbanizáció, iparosodás és a vele járó infrastruktúra gyors fejlődésével szükségessé váltak az épületekre, a terepre és más terepi tárgyakra vonatkozó naprakész, pontos háromdimenziós adatok.
– *Erdészeti alkalmazás:*
Az erdőterületek fafajainak és erdőállomány meghatározásában segít. A LIDAR-os felmérés során a kibocsátott impulzus egy része a fakoronáról reflektálódik, míg egy része eljut a földfelszínig és innen verődik vissza, ami jól elkülöníthető tulajdonságú jel lesz, így könnyen felmérhető az adott terület.
– *Autóipari fejlesztésekben:*
Modern vezetéssegítő funkciók, önvezető autók fejlesztésesénél nagy szerepe van.
– *Robotporszívók:*
Egy egyszerűbb, egysíkban észlelő, egy nyalábos LIDAR-szenzor térképezi fel az adott területet, amivel a robot könnyebben tájékozódik.

A szabályozás

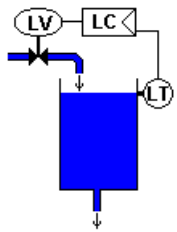
A szabályzás a környezetünkben számtalan helyen felfedezhető és egyre gyakoribb az előfordulása. A szabályozás az irányítás egyik fajtája. Irányítási rendszerek két csoportba sorolhatók: vezérlés és szabályozás. A vezérlés nyitott körű, nincs visszahatás a vezérelt folyamatra. A szabályozás ezzel szemben zártkörű, és a célja, hogy egy adott jellemzőt elvárt értékre állítsa.

A szabályozás alapja

A szabályozás egy irányítási módszer, ahol egy paramétert egy kívánt szinten próbáljuk tartani úgy, hogy ha az eltér a megfelelő értéktől, akkor beavatkozik. A beavatkozás hatására pedig a kívánt szint fele mozdítja az értéket. Sokféle szabályozás van és sokfajta szabályozás-igénylő rendszer van. Ezekhez nem mind-

egy milyen fajtát választunk. Az elérni kívánt szintet egyes esetekben nagyon pontosan kell eléri, de van amikor csak egy minimum és/vagy egy maximum értéken belül kell tartani.

5. ábra. Folyadékszint-szabályzás [2]



Az *5. ábrán* egy tartályban folyadékszint-szabályzás látható. A szerkezet tartalmaz:
– **LV** – szelep
– **LT** – szinttávadó
– **LC** – szabályzó

A szinttávadó méri a folyadék szintjét, és ha a kívánt érték alá esik, akkor a szabályozó nyit a szelepen. Ha újra elegendő folyadék van a tartályban, akkor a szelep zár.

A PID-szabályzó

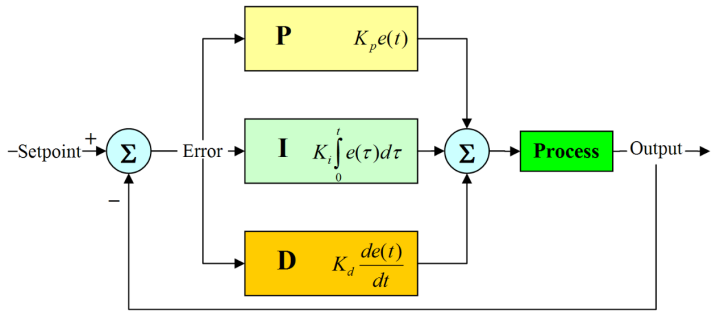
Napjainkban a legelterjedtebb irányítási algoritmus szabályzókörökben a PID-szabályzó. Lineáris rendszereknél, párhuzamos kompenzáción alapul. Három arányos tagból áll össze:
– P: proportional, proporcionális vagy arányos tag,
– I: integral, intergráló tag,
– D: derivative, deriváló tag.

Ezzel a három taggal a jelenlegi (P), a múltbeli(I) és a jövőbeni (D) hibákra próbál reagálni.

[2] *Mobile Robotics Simulation Toolbox*| *Mathworks.* Elérhető: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66586-mobile-robotics-simulation-toolbox

[6] *PID-ábra* Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/PID_szab%C3%A1lyoz%C3%B3

6. ábra. A PID-szabályzó blokkdiagramja [6]



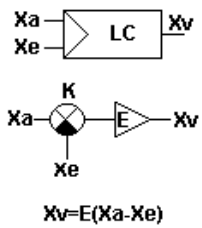
A fenti ábrán a PID-szabályzó blokkdiagramja látható. Ezen a három tag egyszerre érvényesül. A PID-szabályzó egy gyakran használt szabályzó típus, mivel viszonylag sok, változó felhasználási területnél lehet vele jó eredményt elérni. Ezt a tulajdonságát annak köszönheti, hogy jól hangolható.

A fenti ábrán látható Kp-, Ki-, Kd-paraméterek, állandói egy behangolt szabályzónak, ezzel adható meg, hogy egymáshoz képest, illetve önmagukban, milyen erősséggel vegyenek részt a beavatkozó jel beállításában. A megfelelő eredmény érdekében ezeknek az értékeknek a beállítása a hangolás. Ez történhet manuálisan, próbálgatva, figyelve a rendszer válaszának változását, oszcillációt mértéket. Illetve vannak automatikus hangolási módszerek, amelyek képesek különböző gerjesztésekkel, visszamérve a rendszer reagálását, megfelelő paramétereket beállítani.

A proporcionális tag (P)

Elnevezése a proportional (magyarul arányos) szóból ered. Mindig csak az aktuális hibából számítja a végrehajtó jelet.

7. ábra. P-típusú szabályzó belseje [7]



A fenti képen a szabályzó belseje látható, melynek részei és bekötései:
– **K** – különbségképző,
– **E** – erősítő,
– **Xa** – alapjel,
– **Xe** – szinttávadó jel,
– **Xv** – végrehajtó je.l

A szabályzón [6] belül mindig van egy alapjel (**Xa**) és egy erősítő (**E**). A különbségképző bemenetére adjuk az alapjelet (**Xa**), azaz, hogy mekkora szintet szeretnénk tartani. A másik bemenetre kerül a „kivonandó", a szinttávadó jele (**Xe**). A különbségképző kimenete az erősítő bemenetére megy, az erősítő kimenete pedig a szabályozó kimenete. Ennek neve végrehajtójel **(Xv**).

Az integráló tag (I)

Ez a tag arányos a hibajel időtartamával és nagyságával is. A hibajelet integrálva megkapjuk az offset hibát. Az integráló tag kimenetelét az erősítés és az összegzett hiba szorzatával kapjuk meg. Ezt alább láthatjuk:

[6] *PID-ábra*
Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/PID_szab%C3%A1lyoz%C3%B3

[7] *PID-szabályzó, szabályzás*
Elérhető: https://pid.hu/?module=KnowledgebasePost&ID=23

[6] *PID-ábra* Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/PID_szab%C3%A1lyoz%C3%B3

8. ábra. Az integráló tag számítása [6]

$$I_{\text{out}} = K_i \int_0^t e(\tau)\, d\tau$$

Ahol:
– I_{out}: integráló tag kimenete,
– K_i: erősítés,
– e: hibajel,
– t: pillanatnyi idő,
– τ: integrálási idő.

A differenciáló tag (D)

A hibajel meredekségéből következtetni lehet a hiba jövőbeli változására. Ezt használja ki a differenciáló rész úgy, hogy a veszi a hibajel első deriváltját az idő függvényében és megszorozza a differenciáló tag erősítésével. Ezt láthatjuk az alábbi ábrán:

9. ábra. A hiba változása [6]

$$D_{\text{out}} = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

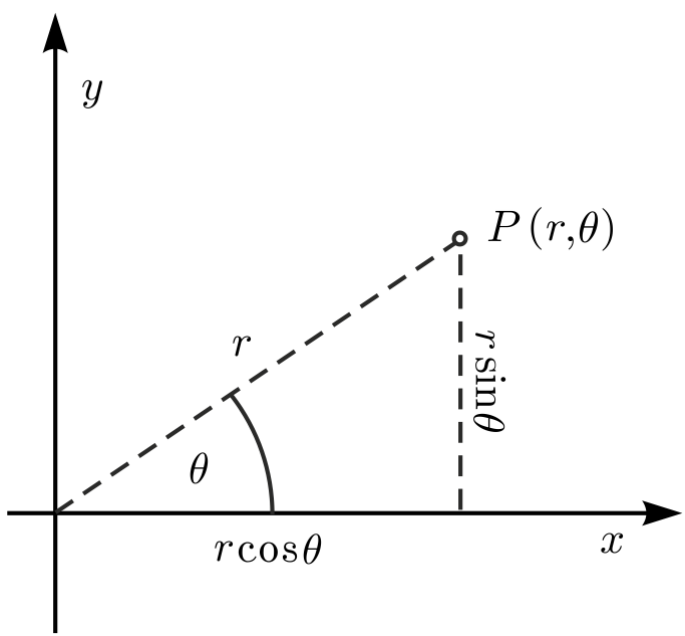
Ahol:
– e: hibajel,
– t: pillanatnyi idő,
– K_d : erősítés,
– D_{out}: differenciáló tag kimenetele.

A Polárkoordináta-rendszer

A koordináta-rendszert a térben vagy síkban lévő pontok egyértelmű megahatározására használjuk. Ezeket a pontokat sokféleképpen meglehet határozni. A legelterjedtebb a Descartes-féle koordináta-rendszer, ami két koordinátával ad meg egy pontot a síkban. A két koordináta értéke a ponttól a két tengelyvonalra vetített egyenes metszéspontjainak az origótól való távolságai.

A LIDAR-ok esetében sokkal kézenfekvőbb a Descartes helyett Polárkoordináta-rendszerrel számítani, illetve jellemzően ebben a formátumban tárolják a LIDAR-méréseket. Egy 360˚-os lézerszkenner egy, az origótól mért távolságot és egy bázistengellyel bezárt szöget szerez a mérései során, ezért ezekkel az adatokkal kell egy koordináta-rendszerben ábrázolnia az észlelt pontot. A polárkoordináta-rendszer ezeket az adatokat használja.

10. ábra. Polárkoordináta-rendszer [7]



[7] *Polárkoordináta-rendszer* Elérhető: https://gyires.inf. unideb.hu/KMITT/d03/ch03s02.html

[8] *Polárkoodináta-rendszer* Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%A1rkoordin%C3%A1ta-rendszerPol%C3%A1rkoordin%C3%A1ta-rendszer

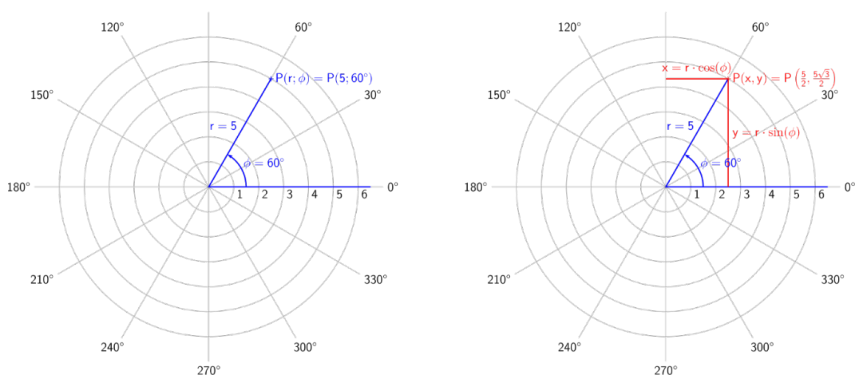
Polárkoordinátákat egyszerűen átlehet váltani derékszögű x,y koordinátákra. Ezekhez az alábbi két szögfüggvényeket kell alkalmazni:

11. ábra. koordináta átváltás [8]

$$\begin{cases} x = r \cdot \cos\varphi \\ y = r \cdot \sin\varphi \end{cases}$$

Ahol:
– x: vízszintes koordináta,
– y: függőleges koordináta,
– r: a pont origótól mért távolsága,
– φ: az r-nek az x tengellyel bezárt szöge.

12. ábra. A polárkoordináta átváltása [8]



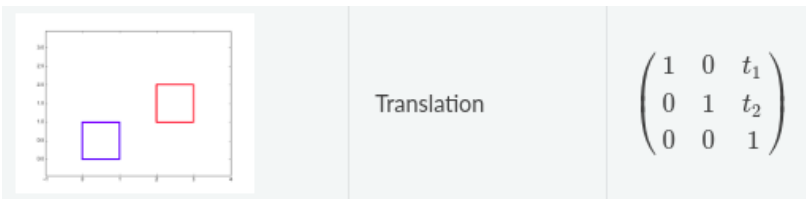
Koordináta-transzformáció

Ebben a fejezetben a szükség lesz koordináta-traszformációt használni a robot koordinátáinak a világkoordinátarendszerben való elhelyezéséhez. Koordináta-transzfor-

mációról akkor beszélünk, ha a tárgyunkat egy új koordináta-rendszerbe szeretnénk elhelyezni, a régiek ismeretében. Ilyenkor a tárgy változatlan marad, csupán a nézőpontunkat változtatjuk meg.

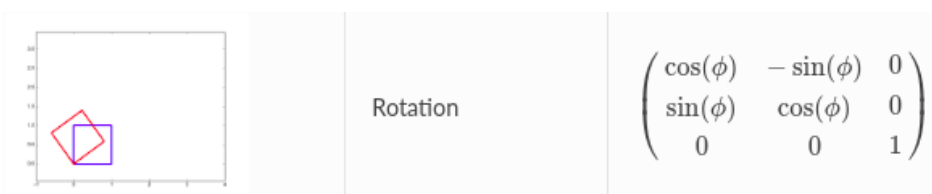
A következő mátrixok 2D-ra értelmezett koordináta-transzformációk. Mivel ezek 3x3-as mátrixok, ahhoz, hogy 2D koordinátákat tudjunk számolni, először homogén koordinátává kell alakítani a pontot. Ez a gyakorlatban annyit tesz, hogy egy 1-es kerül a koordináta végére, tehát [x y] = [x y 1]. Így már lehet szorozni a 3x3-as mátrixszal.

13. ábra. Eltolás [9]



A fenti mátrixot akkor tudjuk alkalmazni, ha a két koordinátarendszer tengelyei párhuzamosak, azonban az origó nem egy pontba esik. t1, t2 paraméterben megadva az origók közötti eltolást, megkapjuk az eltolási mátrixot.

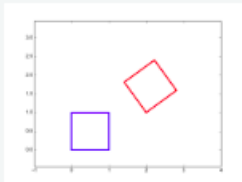
14. ábra. Forgatás [9]



A fenti mátrixot akkor alkalmazzuk, ha a koordináta tengelyek egy origóba esnek, azonban valamilyen Φ szögű elforgatás van a két koordináta-rendszer között.

[9] *Koordináta-transzformáció* Elérhető: https://staff.fnwi.uva.nl

15. ábra. Eltolás és forgatás [9]



Rigid Body

$$\begin{pmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) & t_x \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Amennyiben forgatást és eltolást is alkalmazunk, akkor az előző két mátrix szorzásával kapjuk meg a transzformációs mátrixot.

(A cikk 2. részét a következő számban közöljük.)

[9] *Koordináta-transzformáció* Elérhető: https://staff.fnwi.uva.nl

BACSA-BÁN ANETTA *

A magyarországi szakképzés 2010 és 2020 között (háttér és körülmény)

Összefoglalás: A magyarországi szakképzés 2010 és 2020 között időszakát két aspektusból kívánom megközelíteni egyrészt áttekinteni mindazokat a főbb jogszabályi változásokat, amelyek a szakképzés rendszerét, struktúráját és mozgásterét megadták, valamint képet adni arról, hogy a szakképzés e hatásai mit eredményeztek a szakképzés intézményeiben a tanulói és oktatói létszámok alakulására, képzési lehetőségekre.
Kulcsszavak: Magyar szakképzési rendszer, szakképzés szabályozása, szakképzés intézményrendszere, statisztikák.

Abstract: I will approach vocational training in Hungary between 2010 and 2020 from two aspects, on the one hand, to review all the main legislative changes that gave the system, structure and scope of vocational training, and to give an idea of what these effects of vocational training require in vocational training institutions for students and teachers on the development of staff numbers and training opportunities.
Keywords: Hungarian vocational training system, regulation of vocational training, institutional system of vocational training, statistics

* *Dunaújvárosi Egyetem, Tanárképző Intézet*
Email: bacsa@uniduna.hu

A szakképzés törvényi/jogszabályi szabályozásának változásai

A fenti időszak határait két törvényi változás jelöli ki elsősorban: a 2011-es szakképzési törvény (CLXXXVII. törvény) és a 2019-ben elfogadott szakképzési törvény (LXXX. törvény). E két törvény mellett, több jogszabályváltozás is formálta a szakképzés egészét.

A szakképzésről szóló 2011. évi CLXXXVII. törvényt a *„munkaerőpiac és a gazdaság által keresett és elismert szakképesítéseknek az esélyegyenlőség elve érvényesítésével történő megszerzésének biztosítása, a globális és a nemzetgazdaság igényeinek kielégítésére egyaránt alkalmas, rugalmas, a foglalkoztathatóságot elősegítő szakképzési rendszer működésének elősegítése, valamint az Alaptörvényben meghatározott művelődéshez és munkához való jog érvényesülése céljából" alkotta az Országgyűlés.*

A törvényben megfogalmazottak szerint a szakképzett munkaerő felkészítése lehetséges az iskolai rendszerű szakképzésben a közoktatás részeként, történhet a felsőfokú szakképzést jelentő felsőoktatási keretekben, valamint folyhat az iskolarendszeren kívüli szakképzés keretei között.

A törvényben meghatározásra kerül, hogy a szakképzés tartalmi szempontból irányulhat:

– Szakképzési Hídprogram keretében megszerezhető részszakképesítés,
– az állam által elismert szakképesítés megszerzésére, továbbá
– munkakör betöltéséhez szükséges, foglalkozás, tevékenység gyakorlására képesítő végzettség megszerzésére
– szakmai tevékenység magasabb szintű gyakorlásához, a mestervizsgához szükséges ismeretek elsajátítására irányuló képzésre,
– a kamarai gyakorlati oktatói képzésre és a kamarai gyakorlati oktatói vizsgára,
– valamint a törvény az általános iskolai oktatást nyújtó iskolában, a szakközépiskolában, a szakgimnáziumban és a szakiskolában folyó pályaorientációra, a pályaorientációs, életpálya-tanácsadási szolgáltatásban részt vevőkre és a pályaorientációs tanácsadást nyújtókra, továbbá a pályakövetési rendszert működtető szervre és azokra, akiknek a pályakövetési rendszerrel szemben adatszolgáltatási kötelezettségük áll fenn.

A törvény lehetőséget biztosít az első, állam által elismert szakképesítés megszerzésére ingyenesen az állami, iskolai rendszerű szakképzés keretein belül – meghatározott feltételekkel – a szakképző iskolai tanulók számára.

A törvény meghatározza a *szakképzés intézményeit,* amelyek a következők:

– a szakközépiskola,
– a szakiskola, beleértve a speciális szakiskolát és a készségfejlesztő speciális szakiskolát is (a továbbiakban

a szakközépiskolával együtt: szakképző iskola),
– az állami felnőttképzési intézmény, valamint
– a felnőttképzésről szóló törvényben meghatározott, iskolarendszeren kívüli szakmai képzést folytató intézmény.

A szakképző iskola a szakképzési feladata hatékonyabb ellátása érdekében térségi integrált szakképző központ (TISZK) keretében működik. A 2016/2017-es tanévtől aztán ez a kidolgozott rendszer alakul majd át.

Megnevezésük szerint: a szakgimnáziumok (előző szakközépiskolák), az új típusú szakközépiskolák (előző szakiskolák), szakiskolák (előzőleg sajátos nevelésű igényű tanulókat tanító szakiskolák), valamint a posztszekunder szakirányú továbbképzések. [1]

[1] Cedefop-Refernet [2016]: *Vocational Education and Training in Europe.* Hungary.

A törvény lényeges és új eleme a duális képzés igényének megfogalmazása, amely régi magyar hagyományokon és német mintákon egyaránt alapul. A duális képzési forma alapvetően egy olyan együttműködési forma, amely a gazdasági és a képzési szereplők igényeinek összehangolásán alapul. A duális képzés során az elméleti oktatás az iskolákban, míg a szakmai gyakorlati képzés vállalati, munkaerő-piaci képzőhelyeken történik. E duális folyamat során az iskolák feladata az általános műveltség és a szakelméleti ismeretek átadására irányul, míg, a vállalati képzés elsősorban a gyakorlati képességeket fejleszti. Ebben a képzési formában a szakmai képzés egy olyan szoros együttműködésben jön létre, amely a gazdaság és a munkaerő-piac összekapcsolódásán túl a diákok számára a piacképes szakmai tudás megszerzését nagy mértékben elősegíti. A duális képzés előnyei mind a képzők, mind a képzendők szempontjából megfogalmazhatók. A fiatalok könnyebb elhelyezkedése azon munkáltatói környezetben, ahol a képzés zajlott, azaz a végzettek saját technológiáikat és munkahelyi elvárásaikat ismerő szakemberek. A tanulók a vállalati kultúra megismerésén túl, egy olyan valódi munkahelyi csapat tagjává válhatnak, ahol nap mint nap új szakmai feladatokkal és kihívásokkal találkoznak. A munkahelyi/gazdasági képzők számára a legfőbb előnyt az azonnal produktív, munkába állítható munkaerő jelenti. A magyar duális képzést a hazai gazdasági és társadalmi környezet keretei között kell továbbfejleszteni – határozza meg a Szakképzés 4.0 koncepció is, mégpedig a német/svájci/osztrák duális modell jó gyakorlatainak adaptálásával. *„Növelni kell a duális képzésben részt vevő vállalkozások számát. Kiemelt fókuszt szükséges helyezni a digitalizáció és az Ipar 4.0 követelményeire a képzésekben az új technológiák megis-*

merése és a készségfejlesztés területén is. A duális képzés fejlesztésének elsődleges célja, hogy a szakmát tanuló fiatalok korszerű szakmai gyakorlati ismereteket és munkahelyi tapasztalatot szerezzenek, amely alapján rövidebb idő alatt lesznek képesek teljes értékű munkavégzésre." [2]

A 2010-es évek elején a szakképzést érintő új törvények jelentek meg: a szakképzési törvény mellett a köznevelési törvény, a szakképzési hozzájárulásról szóló törvény, felnőttképzési törvény.

A lényegi változások azonban 2012–13-ra tehetők, amikor az önkormányzati iskolák államivá váltak, s ez nehéz helyzetet teremtett a szakképző iskolák számára. A 2015-ös szakképzési koncepció és a 2016-os köznevelési törvény módosítása az, amely feloldja ezt, s kijelöli a szakképzés közoktatástól eltérő irányát így a két rendszert elválasztja egymástól, de az átjárhatóság szempontját is még inkább háttérbe szorítja. Ekkor jönnek létre a szakgimnáziumok a szakközépiskolákból, valamint a szakiskolákból szakközépiskolák válnak. S ez az a pont, ahol a területi irányítású szakképzési centrumok válnak meghatározóvá, a korábbi decentralizáltág csökkentésére. [3]

Az iskolai rendszerű szakképzés állami fenntartású intézményei 2015. július 1-jétől *szakképzési centrumokba* tömörültek. A szakképzési centrumok újfajta feladatellátást jelentenek a korábbi megoldásokhoz képest, mégis leginkább a korábban kialakított (összesen hétféle formában létrejövő) térségi integrált szakképző központ modell egyikéhez, az egységes iskola keretében való működéshez hasonlítható ez a fajta feladatellátás. A költségvetési szervként létrejött szakképzési centrumok mérete lehetővé teszi a munkaerő-piaci igényekre történő reagálást, a szakmaszerkezet összehangolását, optimalizálását. Megfelelő szervezeti méretet biztosít az átlátható gazdálkodáshoz az önállósággal együttjáró felelősséggel, mely szakmai teljesítményre és a bevételt eredményező tevékenységre ösztönzi a vezetőket és a munkatársakat. A nappali rendszerű iskolai oktatást a centrumok személyi, tárgyi feltételeire, valamint tudástőkéjére építve, a helyi igények alapján hatékonyan egészítheti ki az iskolarendszerű felnőttoktatási és az iskolarendszeren kívüli felnőttképzési tevékenység, emellett szerepet vállalhatnak hazai fejlesztésekben, és a külhoni magyar tannyelvű intézményekkel, valamint nemzetközi partnerekkel megvalósuló projektekben. A cél egy hosszú távon működő, stabil szakképző intézményi struktúra létrejötte. [4]

A duális képzés erősítése is az időszak legfőbb jellemzője és törekvése.

[2] Szakképzés 4.0 (2019): *A szakképzés és felnőttképzés megújításának középtávú szakmapolitikai stratégiája*. ITM. p. 111. A 1168/2019-es kormányhatározattal elfogadva. https://www.nive.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=1024:szakkepzes-40-strategia&catid=10:hirek&Itemid=166 [Letöltve: 2021. 01. 30.]

[3] Györgyi Zoltán (2019): *Változások a hazai szakképzésben 2004–2019*. EDUCATIO, 28., (1.), Pp. 105–120.

[4] Nagy Norbert (2015): *A szakképzési centrumok működése*. https://kiadvany.suliszerviz.com/kiadvanyok/11-kiadvany-2015/133-2015-nagy-norbert-a-szakkepzesi-centrumok-mukodese [Letöltve: 2021. 01. 30.]

A 2013-as, majd a 2016-os struktúramódosítás a középfokú szakképzés „felső ágában", a korábban szakközépiskolának, 2016–2019 között szakgimnáziumoknak, ma technikumnak, programokban azt jelentette, hogy a szűk szakmai képzés nem az érettségit követően, a hosszú szakmacsoportos alapozást követően kezdődik meg, hanem már a 9. évfolyamon

A képzés időtartama jellemzően 5 év (9–13. évfolyam). A szakmai gyakorlati órák száma jelentősen nőtt. [5]

A szakképzés „alsó ágában" a korábbi szakiskolai képzés, még korábbi nevén szakmunkásképzés, szakközépiskolai képzés (jelenleg már szakképző iskolai képzés) még radikálisabban változott meg 2010 után. A 2011-ig felerészben 4 éves, felerészben 5 éves szerkezetű (2+2/3 éves) képzést egységesen 3 évesre csökkentették 2013-ban. A szakmacsoportos alapozás évfolyamait megszüntették. Rögtön a szakképzéssel indítanak a 9. évfolyamon. A szakmai elméleti órák száma kismértékben, a közismereti órák száma viszont a teljes képzésben radikálisan csökkent, a gyakorlati órák száma viszont jelentősen megnőtt. [5]

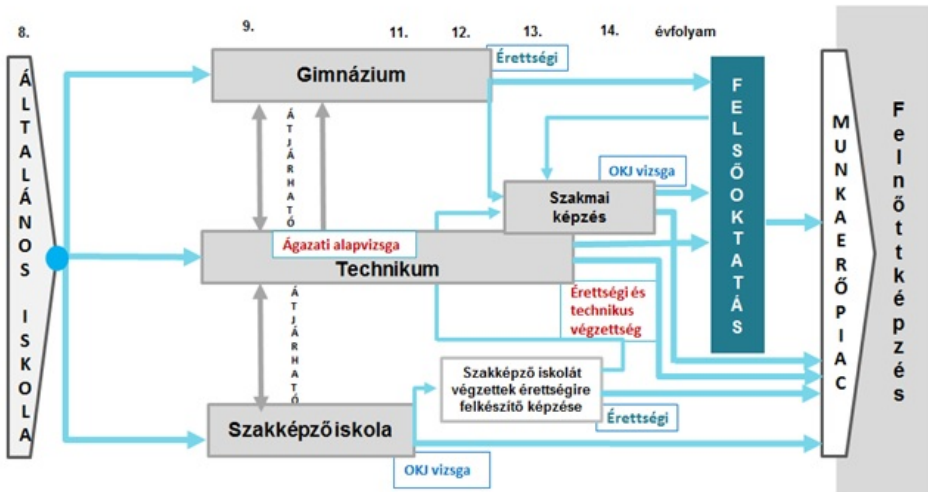
A szakképzés irányítása is változásokon ment keresztül az eltelt két évtizedben, míg 2006-ig az Oktatási Minisztérium szakképzési államtitkárságához tartozott, 2010-ig a Szociális és Munkaügyi Minisztérium fennhatósága, 2010 és 2018 között a Nemzetgazdasági Minisztérium irányítja, majd 2018-ban az Innovációs és Technológiai Minisztériumhoz tartozik. Lényeges elem e változásokból az oktatásból való kikerülés és a gazdaságirányításhoz való csatlakozás. [5]

Az új, Szakképzésről szóló 2019. évi LXXX. törvény alapjaiban változtatja meg a szakképzés szervezeti felépítését. A törvény, hatályát tekintve a 2020. szeptember 1-jén szakképzésbe lépő tanulók számára érvényesíthető. A Szakmajegyzékben szereplő szakképesítéseket, az úgynevezett alapszakmákat ekkortól már kizárólag iskolai rendszerben lehet tanulni szakképző iskolákban vagy technikumokban.

A legfontosabb változtatás az iskolarendszerű képzés intézményeinek teljes körű átalakítása volt. A szakképzési törvény egyértelműen kimondja, hogy a szakképzést végző intézmények mostantól kétfélék lehetnek: szakképző iskolák és technikumok.

[5] Mártonfi György (2019): Tanügyirányítás és struktúraváltás a hazai szakképzésben 2010 után *EDUCATIO,* 28., (2.), Pp. 240–254.

Az új szakképzési struktúra alaprendszere:



Forrás: Szakképzés 4.0.

Mindkét intézménytípusban alapozóképzéssel indul az oktatás (ágazati alapoktatás), ez a szakképző iskolában egy év, a technikumban két év, mely ágazati alapvizsgával zárul, és ezután a diákok az ágazaton belüli szűkebb szakma elsajátításával - lehetőség szerint duális képzésben – folytatják szakmai tanulmányaikat. A szakirányú oktatás a szakképző iskolában két, a technikumban három év. Az szakképző iskola készít fel a szakmai vizsgára és a szakma gyakorlására, míg a technikum érettségit és szakmai (technikusi) végzettséget egyaránt ad. A technikus vizsga emelt szintű érettségineknek számít, ez előnyt jelent a felsőoktatási intézményekben való továbbtanulás során, először 2021-ben jelentkezik hatása. A két oktatási forma az átjárhatóság biztosított, de feltételei meghatározottak. A szakképző iskolában további két év képzés után lehetőség van érettségit tenni. Természetesen a gimnáziumi érettségi után is van lehetőség szakmát tanulni, ez esetben a technikusi képzés kétéves.

A technikum a minőségi szakmai oktatás helyszíne. A megszerezhető technikusi szakképzettség kö-

zépvezetői szintű ismereteket biztosít, az öt-, néhány esetben hatéves képzés egyesíti a gimnázium és a szakmatanulás előnyeit. Az előírások alapján matematikából, magyarból, történelemből és egy idegen nyelvből
ugyanazt a tananyagtartalmat, ugyanolyan óraszámban kell elsajátítani, mint a gimnáziumban, és ezekből a közismereti tantárgyakból érettségi vizsgával zárul az oktatás. A technikumban érettségizőnek a szakmai vizsga lesz az ötödik érettségi tantárgy, ami emelt szintű tantárgyi érettséginek minősül. A technikumi képzésben is lesz szakmai gyakorlati képzés, amit lehetőleg vállalkozásoknál, duális képzésben kell teljesíteni. Az 5 vagy 6 év elvégzése után egyszerre kapnak a diákok érettségi bizonyítványt és technikusi oklevelet, és még a nyelvvizsga megszerzésére is lehetőség van. A technikumban végzettek jelentős előnyt élvezhetnek majd a felsőoktatási felvételinél, a szakirányú továbbtanulásnál. [6]

Természetesen gimnáziumban szerzett érettségi után is van lehetőség szakmát tanulni, ilyen esetben az érettségi után a technikumi képzés utolsó 2 évére lehet jelentkezni. A szakképző iskola hároméves, célja a szakmára való felkészítés. Az ágazati ismereteket adó első év és ágazati alapvizsga után, a 9. osztály végén történik a konkrét szakmaválasztás. A következő két évben duális képzés formájában vállalatoknál, vállalkozóknál tudják a tanulók elsajátítani a szakmai ismereteket. A tanulmányok végén szakmai vizsgát téve szakmát szereznek. A szakképző iskolában a szakmai vizsga után további két év alatt esti tagozaton lehet érettségizni.

Felnőttek, akik szakmát szeretnének tanulni, kétéves szakképző iskolai vagy technikumi képzésekre jelentkezhetnek, 25. életév alatt akár nappali tagozatra is. Két szakma megszerzése továbbra is lehetséges ingyenesen, de a 2. szakképesítést már csak esti vagy levelező rendszerben, munka mellett lehet megszerezni. A szakképző intézmények mellett tehát felnőttképzők is részt vehetnek a szakképzésben, de szakmát nem oktathatnak, legfeljebb részszakmát, illetőleg szakképesítést, ami viszont nem szakma. [6]

Szakirányú oktatásban (szakmai elméleti és gyakorlati képzésben) a szakképző intézményben, vagy a duális képzőhelyen részesülhetnek a tanulók. A törvény három képzőközpont típust is nevesít: az ágazati képzőközpontot, a vállalati képzőközpontot és a tudásközpontot. [7]

A duális képzési forma előnyös a tanulók és a gyakorlati képzők részére is. A cégek saját igényeiknek, elvárásaiknak megfelelően képzett, fiatal munkaerőhöz juthatnak. A fiatalok pedig már a tanulóévek alatt megismerik a cég technológiáit, a munkahelyi elvárásokat, a duális képzésben töltött évek alatt pedig piacképes tudást

[6] *Szakképzési rendszer a 2020/21-es tanévtől* https://www.zmkik.hu/hu/szakkepzes/cikkek/szakkepzesi-rendszer-a-2020-21-es-tanevtol-112081?print=1 [Letöltve: 2021. 01. 30.]

[7] *Duális szakmai oktatás a szakképzés új rendszerében.* https://szakkepzes.ikk.hu/files/Du%C3%A1lis_szakmai_oktat%C3%A1s.pdf [Letöltve: 2021. 01. 30.]

szerezhetnek. A duális tanulószerződéseket szintén e törvény váltja fel szakképzési munkaszerződésekre, s juttatása a továbbiakban munkabér lesz, a szerződések már 15. életévtől köthetőek. [7]

A szakmai gyakorlati képzés tehát szakképzési munkaszerződéssel történik, amelyre a munka törvénykönyvét kell alkalmazni bizonyos eltérésekkel. A gyakorlati képzésre alkalmas gyakorlati képzőhelyeket továbbra is a területi gazdasági kamarák tartják nyilván és ellenőrzik a képzés minőségét. Az eddigi együttműködési megállapodás alapján folyó gyakorlati képzés megszűnik. [6]

A szakképzésben tanulók tanulmányaik idején különféle pénzbeli juttatásokat kaphatnak megfelelő tanulmányi eredmény esetén, de egyszerre csak egyféle juttatásra jogosultak. Bevezetésre kerül az általános szakképzési ösztöndíj, a szakképző intézmények nappali tagozatain, amelyet a tanulmányi eredmény is meghatároz, s ezt váltja a munkabér, amely szintén tanulmányi eredmény függvényévé válik. A tanulók az első szakma megszerzéséhez kapcsolódóan, a sikeres szakmai vizsga eredményétől függően egyszeri pályakezdési juttatást kapnak kézhez. A szakképzésben és a felnőttképzésben is igényelhető a diákhitel. [6]

Változik az oktatók jogállása

A törvény szerint a szakképző intézmény alkalmazottja az eddigi közalkalmazotti státusz helyett munkaviszonyban vagy megbízási jogviszonyban állhat, a szakképzésben a tanárok a törvény alapján oktatóknak minősülnek, foglalkoztatásuk a munka törvénykönyvének hatálya alá kerül.

A szakképzésben dolgozó oktatók alkalmazásának feltételeit a Szakképzési törvény szabályozza. A közismereti oktatásban oktatott tantárgy oktatójának technikumban egyetemi szintű vagy mesterfokozatú, szakképző iskolában legalább főiskolai szintű közismereti tantárgynak megfelelő szakos tanári végzettséggel kell rendelkeznie. Az ágazati alapoktatásban és a szakirányú oktatásban oktatott tantárgy oktatójának technikumban szakmai tanárképzésben szerzett mesterfokozattal vagy felsőfokú végzettséggel és az ágazatnak megfelelő szakképzettséggel, szakképző iskolában az ágazatnak megfelelő felsőfokú végzettséggel és szakképzettséggel vagy felsőfokú végzettséggel és az ágazatnak megfelelő szakképesítéssel kell rendelkeznie. A gyakorlati ismereteket oktató személynek legalább érettségi végzettséggel és az ágazatnak megfelelő szakképesítéssel kell rendelkeznie. Magyarországon a pedagóguséletpálya -modell bevezetése óta a közoktatásban és a szakoktatásban dol-

[6] *Szakképzési rendszer a 2020/21-es tanévtől* https://www.zmkik.hu/hu/szakkepzes/cikkek/szakkepzesi-rendszer-a-2020-21-es-tanevtol-112081?print=1 [Letöltve: 2021. 01. 30.]

Petróczi Gábor: *Szakképző intézmények átalakulása*. https://www.petroczigabor.hu/cikkek/tanugyigazgatas/szakkepzo_intezmenyek_atalakulasa.html [Letöltve: 2021. 01. 30.]

gozó pedagógusok pályáját a pedagógus életpálya és minősítési rendszer határozza meg. [8]

A szakképzésben dolgozó oktatók garantált illetményét nem a köznevelési törvény szabályozza, így a pedagógus előmeneteli rendszer sem vonatkozik rájuk.

Az oktatóknak nem kell kötelező, pedagógus-fokozatba lépéssel összefüggő minősítési eljáráson részt venniük. A Szakképzési törvény előírásai alapján a pedagógus szakvizsgával rendelkező oktatók önszántukból részt vehetnek a minősítési eljárásokon, de az oktatói jogállásukra, munkaviszonyukra a pedagógus-minősítési rendszerben betöltött fokozatukra nincs hatással. Az oktató minősítéséért, értékeléséért háromévente az intézmény vezetője a Szakképzésért felelős miniszter által kiadott szempontrendszer, módszertan alapján lesz a felelős. A szakképzésben dolgozó oktató négyévenként legalább 60 óra továbbképzésben vesz részt. A szakirányú oktatásban oktatott tantárgy oktatójának továbbképzését elsősorban vállalati környezetben vagy képzőközpontban kell teljesíteni. Megszüntethető annak az oktatónak a jogviszonya, aki a továbbképzésen önhibájából nem vett részt vagy tanulmányait nem fejezte be sikeresen. [8]

A változásokat a 2020/2021-es tanévtől felmenő rendszerben vezették be. Az új szakképzési törvény 2020. január 1-jétől hatályos, a szakképzési hozzájárulással kapcsolatos rendelkezései azonban csak 2021. január 1-jétől. Tehát a jelenleg Tanulószerződéssel vagy Együttműködési megállapodással rendelkező tanulók tanulószerződései vagy együttműködési megállapodásai kifutó jelleggel érvényesek, rájuk az előző törvény szabályozásai vonatkoznak, ahogy az ezzel kapcsolatos juttatások és elszámolási szabályok is 2021. január 1-jéig.

Az OKJ és Szakmajegyzék

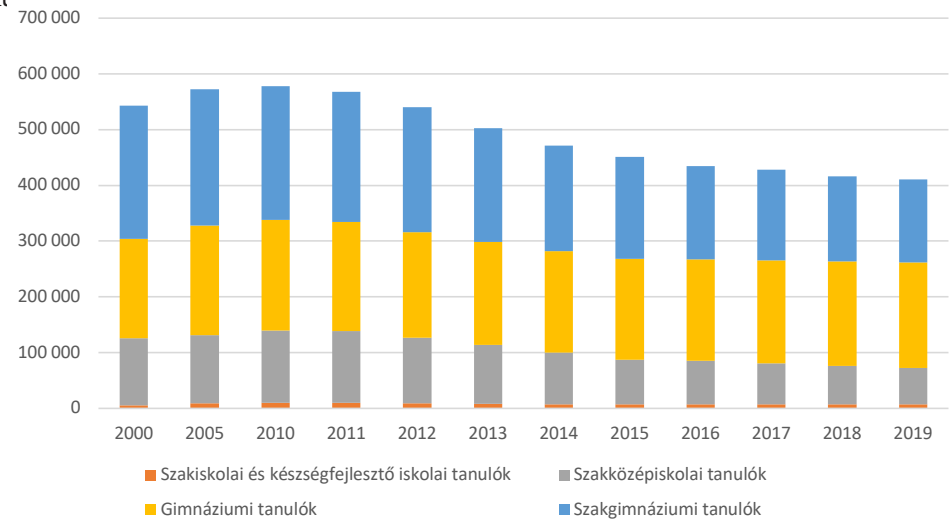
Az Országos Képzési Jegyzéket (OKJ) a szakképzésről szóló, 1993. évi LXXVI. törvény vezette be, mely tartalmazta az állam által elismert szakképesítéseket. 1996-tól az OKJ tartalmazza az ISCED-nek megfelelő képzési szintek rendszerét. A szintek bevezetése egy Európa konform, jobban áttekinthető és rendszerező képzési jegyzék kiadását eredményezte. 2001-től szakmacsoportos rendszerű. Az OKJ 2009-ig évente a szakképzésért és felnőttképzésért felelős miniszter rendeleteként került kiadásra, a szakképesítésért felelős miniszterrel egyetértésben. 2010-től az OKJ kormányrendeletként jelenik meg. 2012-ben az OKJ strukturális átalakítása a szakképzési rendszer átalakítására és gazdasági igényekkel való összehangolására irányuló kormány koncepcióval, illetve a nemzeti köznevelésről szóló 2011. évi CXC. törvény és a szakképzésről szóló 2011. évi CLXXXVII. törvény kiadásával összhangban történt.

1993 és 2020 között közel 30 módosítása volt az Országos Képzési Jegyzéknek, melyet a 2019-es szakképzési törvény már nem módosított formában, hanem Szakmajegyzékként jelenít meg. Az OKJ-ban lévő szakmák száma és szerkezete is jelentős módosulásokon ment át az elmúlt évtizedekben, jelenleg az új Szakmajegyzékben 175 alapszakma szerepel a korábban meghirdetett több mint hétszázhoz képest. Az OKJ-ból kikerült képzéseket, korábbi ráépüléseket, munkakörhöz kötött képzéseket szakmai képzésként a

szakképzőkön túl a felnőttképzők is végezhetik 2020-tól.

A szakképzés szerkezetváltozásának hatásai a szakképzésben résztvevőkre

2019/20-as tanévben a középfokú nappali rendszerű oktatásban 410 835 fő tanult, közel 167,5 ezerrel kevesebb, mint a 2010/2011-es tanévben, amely, mint látható, az elmúlt 20 év csúcspontját jelentette a nappalis középfokú tanulói létszámokat illetően.



Forrás: KSH STADAT

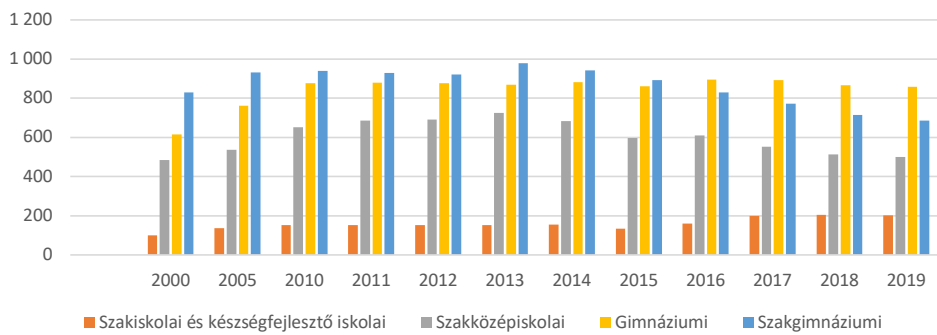
A gimnáziumokban tanulók létszáma és aránya 2010-ig nőtt, majd 2010–2015 között csökkent, s 2015-től napjainkig lassú, de növekvő tendenciát mutat, a 2010–2011-es tanévben a tanulók 34%-a, míg a 2019–2020-as tanévben 46%-uk (188 970 fő) jár ebbe az iskolatípusba. A szakgimnáziumokban (2015–16-os tanévig szakközépiskolai tanulók), illetve szakközépiskolában tanulók (2015–16-os tanévig szakiskolai tanulók) aránya évről évre kevesebb, jelenleg a középfokon tanulók 36%-a (149 ezer fő) szakgimnázium-

ba, 16%-a pedig (66 ezer fő) szakközépiskolába jár. A szakiskolába, készségfejlesztő iskolába járó tanulók (2015–16-os tanévig speciális szakiskolai tanulók) száma 7004 fő, arányuk (1,7%) közel azonos az elmúlt évtizedben.

Míg 2000/2001-ben 2030, s 2010–2011-ben 2610, addig a 2019–2020-as tanévben középfokú oktatás összesen 2243 feladatellátási helyen folyik. Az elmúlt évtizedben a gimnáziumi helyek kisebb ingadozás után 876-ról 858 helyre csökkentek, addig a szakgimnázium helyek jelentősen visszaestek 939-ről 8685-re, s ehhez hasonlóan a szakközépiskolai feladatellátási helyek is 651-ről 499-re csökkentek. Míg a szakiskolai helyek száma 151-ről 201 helyre növekedett.

A feladatellátási helyek száma azonban a szakiskolát kivéve mindegyik feladat esetén 2016-tól kezdődően kismértékben kevesebb, mint az előző tanévekben volt.

A köznevelési intézmények feladatellátási helyeinek száma (2000–)

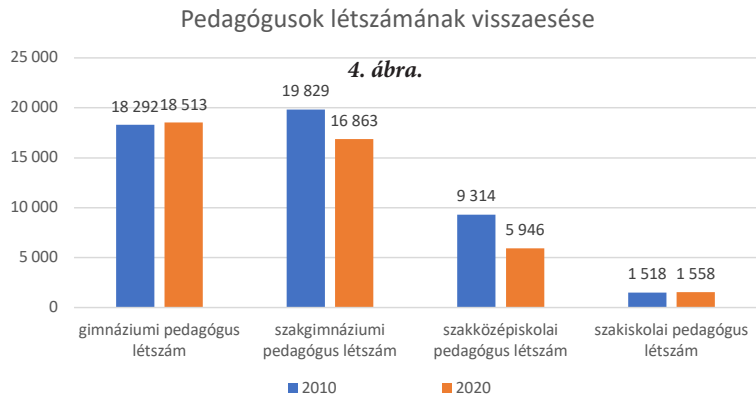


Forrás: KSH STADAT

Az egyes iskolatípusok nemek szerinti összetételében jelentős változás nem tapasztalható gimnáziumokban a lányok (2010-ben 57,9%-os, míg 2020-ban 56,2%), a többi feladatellátási helyen a fiúk vannak többségben (szakközépiskola: 64%, szakiskola és készségfejlesztő iskola: 60%, szakgimnázium: 52–53%).

A középfokú oktatásban az össztanulólétszám csökkenésével párhuzamosan a pedagóguslétszám 2010 és 2020 között közel 12,5%-kal, kb. 6 ezer fővel 48 953főről 42 880 főre csökkent, ami elsősorban a szakközépiskolai és a szakgimnáziumi tanárok számának visszaeséséből adódott; az előbbi 36%-kal, az utóbbi

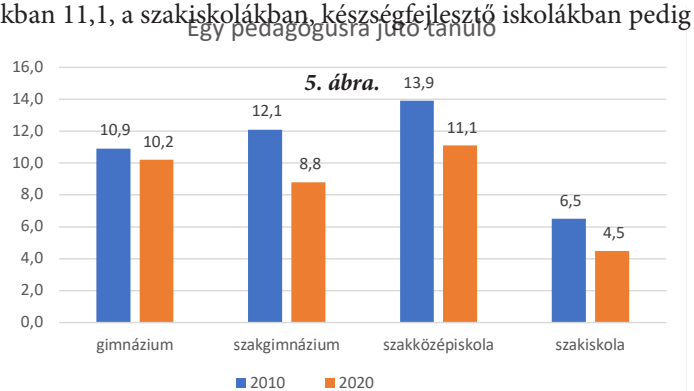
25%-kal csökkent.



4. ábra.

Forrás: KSH STADAT

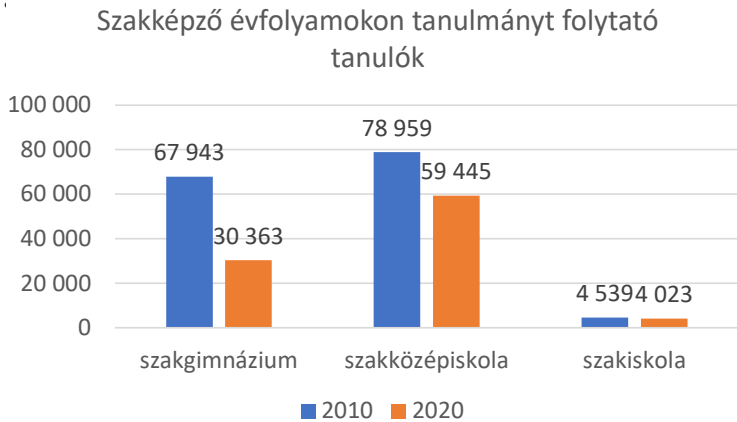
Az egy pedagógusra jutó tanulók száma 2010-től 2020-ig valamennyi iskolatípus esetében csökkent, de míg ez a gimnáziumok esetében mindössze 7%-nyi csökkenés, addig a szakképzés intézményeiben 20–30% közötti, amely nemcsak a tanulólétszámok csökkenésével, hanem sokkal inkább a pedagóguslétszámok jelentős visszaesésével magyarázható. 2020-ban a gimnáziumokban 10,2, a szakgimnáziumokban 8,8, a szakközépiskolákban 11,1, a szakiskolákban, készségfejlesztő iskolákban pedig 4,5 a mutató értéke.



5. ábra.

Forrás: KSH STADAT

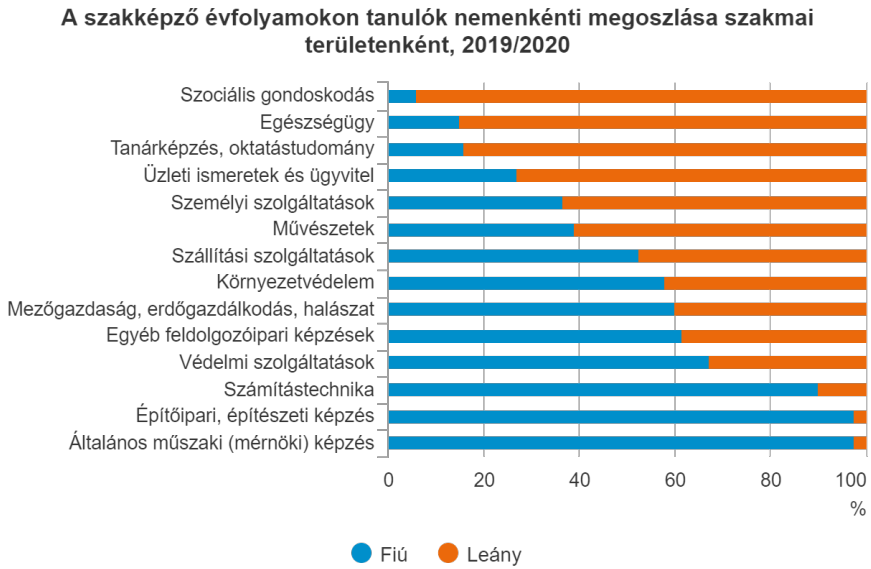
Míg a 2010–2011-es tanévben a szakképzést nyújtó középfokú oktatási intézmények szakképző évfolyamain közel 151 441 fő tanul, 2019–2020-as tanévben 93 831-en, azaz közel 40%-kal kevesebben. Jelenleg a szakképző évfolyamokon tanulók 63%-a (59,4 ezer fő) szakközépiskolában, 32%-a (30,4 ezer fő) szakgimnáziumban, 4,3%-a (4,0 ezer fő) szakiskola és készségfejlesztő iskolában végzi tanulmányait; jól láthatóan arányaik átrendeződtek, leginkább a szakgimnáziumi tanuló létszám csökkent.



Forrás: KSH STADAT

2019–2020as tanévben szakközépiskolában összesen 142 szakképesítés keretében tanulnak a tanulók, legtöbben szakács, eladó, pincér, cukrász, illetve hegesztő szakképesítés megszerzéséért tanul. Szakgimnáziumokban 145 szakmát tanulnak, legtöbben pénzügyi-számviteli ügyintéző, logisztikai és szállítmányozási ügyintéző, gépgyártás-technológiai technikus, illetve vendéglátás-szervező szakképesítésért tanulnak.

Az egyes szakmai területek nemek szerinti összetétele eltérő. A többnyire fiúkat vonzó területek a műszaki, mérnöki, építőipari, építészeti képzések, míg az egészségügy, szociális gondoskodás területek esetében lánytöbblet figyelhető meg; míg a szállítási szolgáltatások közel hasonló arányban népszerűek mindkét nem tanulói között.



Forrás: KSH STADAT

2010-ben 77.957-en tettek sikeres érettségi vizsgát, közel fele arányban (51%) gimnáziumban, míg 49%-uk szakgimnáziumban (akkor még szakközépiskolában); 2019-ben 61 165-en tettek sikeres érettségi vizsgát. A végzettek növekvő hányada, 58%-a gimnáziumban, 39%-a szakgimnáziumban, 2,8%-a szakközépiskolában szerezte meg a bizonyítványt.

2010-ben 45437-en, míg 2019-ben 32 387-en tettek sikeres szakmai vizsgát. Szakközépiskolában a sikeres vizsgázók száma 14 ezer, közülük legtöbben szakács szakképesítést szereztek. Szakgimnáziumban 17 ezer tanuló vizsgázott sikeresen, legtöbben gépgyártás-technológiai technikus végzettséget szerezve, míg szakiskolában és készségfejlesztő iskolában összesen 42 szakmában 1,3 ezer fő szerzett szakképesítést.

Konklúzió helyett

A 2010 és 2020 közötti időszakban a magyar szakképzés alapjaiban változott meg, amelyet nemcsak a jogszabályok, törvények és rendelkezések mentén érzékelhetünk, hanem annak a szakképzési rendszer egészére gyakorolt hatásában is. A szakképzés gazdaság és munkaerőpiac felé való erőteljes elmozdulása, szerkezeti átalakulása, irányítása megmutatkozik a szakképzés intézményrendszerében, szervezeteiben, a szakképzés duális jellegének megerősödésben, a szakmák átalakulásában. E keretek erőteljes finanszírozási, de még inkább tartalmi változásokat is indukáltak és indítottak el máig hatóan (gondolva a legutóbbi törvényi változásokra) a magyar szakképzésben.

A 2010–2020 közötti 10 évben vázolt történések a törvénykezéssel indulva és zárulva egy olyan kosszakot jelenítenek meg, ahol a fenntartóváltások (önkormányzati versus állami, decentralizált avagy centralizált fenntartás kérdése) is már erőteljesen próbára tették a szakképzés egészét. A 2016-os köznevelési törvénnyel a szakképzés leválasztásra került a közoktatási rendszerről, amely a 14 évesek pályaválasztási döntését „kőbe vési" azaz egymástól elzárja a gimnáziumi és a szakmai képzéseket és nem biztosítja annak átjárhatóságát. Ez az oktatási trendekkel szemben ellentétes [3], amelyek épp a rugalmas átjárási lehetőségek bővülésével igyekeznek a tanulást vonzóvá tenni, s a lemorzsolódásnak elejét venni. A két képzési irány nevének 2016. évi megváltozása (a szakközépiskolákból szakgimnáziumok, a szakiskolákból pedig szakközépiskolák lettek) kommunikációs eszközökkel kívánta emelni azok presztízsét, sugallva a szakgimnáziumok gimnáziumi, s a szakközépiskolák középiskolai jellegét. Eközben mindkét esetben épphogy visszalépés történt ezen a területen, miután a közismereti oktatás mindkét programban visszaszorult. Ez, illetve a tankötelezettségi korhatár korábbi leszállítása egyértelművé teszi, hogy a cél mindkét képzési program számára a korábbinál jobb tanulók megnyerése volt. [3] A 2019-es törvény technikumi elnevezése is e logika mentén értelmezhető, bár nyilván visszautal arra a szándékra, mely szerint a korábbi technikumi képzés a szakképzés elitjének kitermelését célozta, s ehhez kapcsolható a felsőoktatásba való egyenes út lehetőségének megteremtése is (emelt szintű érettségi nélkül).

[3] Györgyi Zoltán (2019): *Változások a hazai szakképzésben 2004–2019.* EDUCATIO, 28., (1.), Pp. 105–120.

A centralizáció és decentralizáció kérdésében a 2016-ban létrejövő szakképzési centrumok a területi irányítást helyezték előtérbe, ami egyértelmű szakítást jelentett a korábbiakkal, de ennek hatékonyságáról és eredményességéről még nincsenek információink, arról, hogy ez a szakképzés szétaprózottságának kezelésben milyen előrelépést jelent, a következő időszak fog információt szolgáltatni csakúgy, mint arról is, hogy az 1993-ban létrehozott és 2019-ig 30 alkalommal megváltoztatott OKJ helyett a Szakmajegyzék, az abban bekövetkezett változások előremozdítják-e majd azt a szándékot, hogy a rendszer átláthatóbbá, kezelhetőbbé válik. A korábbi listán 700-nál is több szakma szerepelt, köztük több, egymást részben átfedő is. A mostani Szakmajegyzék összesen 175 alapszakmát tartalmaz. Újdonság, hogy az alapszakmákat csak szakképző intézményben lehet tanulni iskolarendszerben. Megszűnt az a párhuzamosság is, hogy ugyanannak a képzésnek két megfelelője – egy iskolarendszerű és egy tanfolyamos – létezik egymás mellett. Ez nem jó hír a gyors szakmaváltást tervezőknek, akik akár fél-egy év alatt akarnak új szakmát szerezni. Az új rendszerben ugyanis két év kell ehhez.

Az oktatás/képzés és a vizsgáztatás elválik egymástól. Eddig lehetett a képzőhely vizsgahely is, mostantól csak Akkreditált Vizsgaközpontokban lehet vizsgázni, így nem a vizsgabizottság, hanem a tanuló utazik. A megmérettetésen jelen lehetett a tanuló oktatója, mostantól nem. A szakképzési intézményekben elvégzett alapszakmákhoz az állam garantált szakképesítést biztosít, míg a piaci alapon működő, képzéssel foglalkozó központok tanúsítványt állíthatnak ki, amellyel a tanulók akkreditált vizsgaközpontokban szerezhetik meg az államilag elismert bizonyítványukat.

A szakképzés egészét a mindenkori irányító hatósághoz való tartozás is meghatározza, azaz determinálja a terület súlyát és fejlődési tendenciáit. A szakképzés, – amely a közoktatás és a foglalkozáspolitika határán helyezkedik el – csak akkor működhet jól, ha mindkét terület együttesen alakítja.

2006 óta a szakképzés leginkább a gazdaságirányítási főhatósághoz tartozik, 2018-tól az Innovációs és Technológiai Minisztérium alá sorolása várhatóan jó pozíciót teremt majd számára a közeljövő oktatáspolitikai törekvéseinek sorában. Azonban azt is látnunk kell, hogy a szakképzés irányításában, a rendszer működtetésében évtizedek óta kiemelt szerepet játszottak a mindenkori minisztériumi háttérintézetek, amelyek 2010 után megszűntek vagy korábbi kutatási, fejlesztési szerepük háttérbe szorult pl NSZFH, bár 2010-től erősebb befolyásoló hatást a Magyar Kereskedelmi és Iparkamara gyakorol rá, megjelentek az ágazati készségtanácsok (ÁKT), s 2018-tól az ún. Szakképzési Innovációs Tanács (SZIT) is támogatja a szakmai munkát.

Azáltal, hogy a 2019-es szakképzési törvény a szakképzésben dolgozó tanárokat oktatóknak nevezi, s a közalkalmazotti státuszból kiemelve őket a munka törvénykönyve alá sorolja; a szakképzésben dolgozó pedagógusok elveszítik közalkalmazotti és pedagógus státuszukat. A jogszabály életbelépésének napjától, függetlenül attól, hogy közismeretei, vagy szakmai tárgyakat tanítanak, pedagógus megnevezés helyett oktató lesz a hivatalos megnevezésük. A közalkalmazotti jogviszonyuk megszűnik, nem fog rájuk vonatkozni a közalkalmazotti törvény egyetlen paragrafusa sem. Onnantól kezdve a munkaviszonyukból adódó jog-

állásukat a Munka törvénykönyve és a Szakképzési törvény és végrehajtási rendelete fogja szabályozni. A változások egyelőre a szakmai pedagógusképzés szükségességének leértékelését vetítik előre, ugyanakkor a helyzet ismert számunkra, hogy e terület milyen nagyfokú pedagógushiánnyal küzd, mely követelmény feloldása átmeneti rendelkezéseket kíván, azaz pedagógusi végzettség hiányában a szakmai végzettséggel rendelkezők képzésbe integrálása nélkül nem számolhatók fel a terület hiányosságai. Fontos feladat azonban az, hogy ne csak oktatási területként tekintsünk a szakképzésre, hanem olyan nevelési lehetőségként is, amelyek pedagógusi végzettség hiányában nem működtethetőek, nem beszélve a belépő tanulók neveltségi szintjéről, az oktatás során való lemorzsolódásukról, ezek összessége a szakképzés irányítása számára akár egy jövőbeni továbbképzési rendszer sürgető feladatát is előrevetíthetik.

Mindezek mellett a szakképzési rendszer tanulókra gyakorolt hatása is jelentős, s ez nemcsak a létszámok megváltozásában tükröződik vissza (szakképzésbe lépők, szakképző évfolyamokon tanulók, szakmai vizsgát szerzők), hanem a társadalmi problémák is jelentős befolyással bírnak a szakképzés egészére, pl a demográfiai adatok változása, a szakmai pedagógusok létszámának alakulása (hiányuk, elöregedésük), a szakmák presztízsének csökkenése vagy akár a szakmai képzés helyett más karrierutak társadalomban elfogadott szerepének felértékelődése. Összességében jól látható, hogy a magyar szakképzés új kihívásokkal találja szemben magát, s erre gyors és hatékony válaszokat kell adnia ahhoz, hogy hosszútávon működőképes és a gazdaság igényeinek szolgálatába állítható legyen, ahogyan a Szakképzés 4.0. stratégia fogalmaz: „A magyar gazdaság versenyképességének egyik kulcsa a minőségi szakemberképzés."

Jogszabályi környezet:

– A szakképzésről szóló 2011. évi CLXXXVII. törvény
– A szakképzésről szóló 2019. év LXXX. törvény
– A szakképzésről szóló 2019. év LXXX. törvény és a szakképzésről szóló törvény végrehajtásáról szóló 12/2020. (II. 7.) Korm. rendelet szövege egységes szerkezetben
– A szakképzésről szóló 2019. évi LXXX. törvény hatálybalépésével összefüggő módosító és hatályon kívül helyező rendelkezésekről szóló 2019. évi CXII. törvény
– A szakképzésről szóló törvény végrehajtásáról szóló 12/2020. (II. 7.) Korm. rendelet
– Koncepció a szakképzési rendszer átalakítására, a gazdasági igényekkel való összehangolására (2011, Nemzetgazdasági Minisztérium)
– Szakképzés 4.0 (2019): A szakképzés és felnőttképzés megújításának középtávú szakmapolitikai stratégiája. ITM. p. 111. A 1168/2019-es kormányhatározattal elfogadva. https://www.nive.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=1024:szakkepzes-40-strategia&catid=10:hirek&Itemid=166 [Letöltve: 2021. 01. 30.]

– Szakképzés a gazdaság szolgálatában (2015): A kormány által 2015. II. 10-én elfogadott szakképzési koncepció. NGM.
– Szakképzés a gazdaság szolgálatában koncepció (2011, Nemzetgazdasági Minisztérium)
– Szakképzés-fejlesztési stratégia 2005–2013. http://www.nefmi.gov.hu/letolt/szakke/tanevnyito_2005_2006/strategia_050712.pdf [Letöltve: 2021. 01. 30.]
– Széll Kálmán Terv (2011) Összefogás az adósság ellen. https://2010-2014.kormany.hu/download/4/d1/20000/Sz%25C3%25A9ll%2520K%25C3%25A1lm%25C3%25A1n%2520Terv.pdf [Letöltve: 2021. 01. 30.]

Adattáblák forrása:

Központi Statisztikai Hivatal (ksh.hu) [Letöltve: 2021. 01. 30.]
STADAT – 2.6. Oktatás (1960–) (ksh.hu) [Letöltve: 2021. 01. 30.]
Oktatási ad

BALOG BARNABÁS *–BALOG PÉTER **–KIRÁLY ZOLTÁN ***

INSPHAERA motion szimulátor kutatásfejlesztése

Összefoglalás: Munkatársaink olyan eszközt hoztak létre, amelynek prototípusa a teszteket követően képes megoldani közúti járművek, speciális járművek, jellemzően földi, vízi, vagy légi járművek mozgás-szimulációját úgy, hogy zárt, körbehatárolt területen folyamatos „G" terhelést szimulál, és az eddig alkalmazott hidraulikus és elektromos mozgatású kinetikus rendszerek szűkös mozgásterét, többtengelyes giroszkóp konstrukcióval és lineáris aktuátorokkal kombinálja. Ennek a kialakításnak köszönhetően több olyan erőhatás modellezhető és valósághűen visszaadható, amelyek az eddig épült szimulátorok esetében kivitelezhetetlenek voltak. Az INSPHAERA-berendezéssel lehetőség van valamennyi olyan jármű irányításának kiképző szintű gyakorlására, amelyek használata a valóságban is igényli az egyensúlyérzéket, és amelyek használata során a külső erőhatások mérhető hatással vannak az emberi érzékszervekre. A technológiával a reakciók a valóságot megközelítő sebességgel és érzettel adhatnak jóval valósághűbb visszacsatolást. Az INSPHAERA-kiképzés során még a földön eljuthat a pilóta arra a szintre, hogy a már begyakorolt műveletek kis költséggel, százszázalékos biztonságban rutinná válhassanak. A kereskedelmi nagygépes szimulátorokhoz hasonlóan vészhelyzeti esetek is gyakorolhatók, azaz a kritikus pillanatokban a pilóta reakcióját nem késlelteti vagy korlátozza a külső erőhatások okozta meglepetés, és a G-terhelés alatt jelentősen változó kormánymozdulatok, erők megváltozása.
Kulcsszavak: INSPHAERA, mozgásszimulátor, kinetikus rendszer, repülés, G-erők, giroszkópos, kinetikus algoritmus.

Abstract: Our employees have created a device whose prototype, after the tests, is able to solve the motion simulation of road vehicles, special vehicles, typically land, water or air vehicles, by simulating a continuous „G" load in a closed, circumscribed area using the hydraulic and electrical

* *Appaloosa Communication Group Kft.*

** *Appaloosa Communication Group Kft*

*** *Dunaújvárosi Egyetem, Informatikai Intézet*
E-mail: kiru@uniduna.hu

systems used so far It combines the narrow range of movement of kinetic systems with a multi-axis gyroscope construction and linear deflectors. As an effect of the method, several force effects can be modeled and rendered realistically, which were impracticable in the case of simulators built so far. With the INSPHAERA equipment, it is possible to practice the use of all aircraft at a high level (training level), the use of which in reality also requires a sense of balance, and during the use of which the external forces have a measurable effect on the human senses. With the technology, the reactions can provide much more realistic feedback with a speed and feel close to reality. During the INSPHAERA training, even on the ground, the pilot can reach the level where already practiced operations can become routine at low cost and in 100% safety. Similar to commercial mainframe simulators, emergency cases can also be practiced, i.e. in critical moments, the pilot's reaction is not delayed or limited by surprise caused by external force effects, and significantly changing steering movements and forces under the G load.
Keywords: INSPHAERA, Motion simulator, kinetic system, aviation, g-forces, giroscopic, kinetic algorithm.

A fejlesztés célja

A fejlesztés célja egy olyan eszköz prototípusának létrehozása, amely a jelenlegi ismereteink szerint képes megoldani a földi, vízi, légi járművek mozgásszimulációját úgy, hogy képes hosszabb idejű erőhatások létrehozására a giroszkóp-konstrukció felhasználásával. A projekt mögötti fő elgondolás a forgómozgás során fellépő normális irányú gyorsulások alkalmazása szimulációs célokkal.

A módszer hatásaként több erőhatás modellezhető és hatásuk valósághűen visszaadható, amelyek az eddig épült szimulátorok esetében nehezen kivitelezhetőek vagy nem költséghatékony módon voltak megvalósíthatóak. A rendszer üzemelésekor folyamatos pozitív és negatív erők visszaadása lehetséges, továbbá olyan mozgások visszaadására nyílik lehetőség, amelyek nagy sebességgel követik egymást. Ezzel megnyílik az út valamennyi olyan légi jármű (műrepülőgép, helikopter, sárkányrepülő siklóernyő stb.) magas szintű kiképző gyakorlására, amelyekben a külső erőhatások az emberi érzékszervekre hatással vannak, és a valóságban is igénylik az egyensúlyi szervek használatát.

A hagyományos rendszerek általában pillanatnyi erőkkel operálnak (valójában a normál gravitáció és a gyorsulási komponenssel) – azt is általában a mozgató rendszer 600–1200 mm-es mozgástartományán belül – (Stewart-platform), így bár adnak visszacsatolást a a jármű vezetőjére ható erőkről, ez a legtöbb esetben csak nagyon rövid időre kerül szinkronba a látványvilággal és hanghatásokkal. Jellemzően a gyakorlatban már repült professzionális pilóták, akik már a rendkívül költséges valóságos kiképzést követően próbáltak szimulációban repülni, valamennyien inkább zavarónak észlelik a korlátozott mozgást, emiatt kevésbé jól teljesítenek a csak szimulátorban „repült" alanyokkal szemben.

Ezzel a technológiával a pilótára ható erők a valóságot megközelítő módon adhatnak visszacsatolást. A kiképzés során még a földön eljuthat a pilóta arra a szintre, hogy a már begyakorolt műveletek aránytalanul kisebb költségen, százszázalékos biztonságban rutinná válhassanak. A kereskedelmi „nagygépes" szimulátorokhoz hasonlóan vészhelyzeti szimulációk is gyakorolhatók, azaz a kritikus pillanatokban a pilóta reakcióját nem késlelteti, korlátozza a külső erőhatások okozta meglepetés, és a G-terhelés alatt jelentősen változó kormánymozdulatok és erők megváltozása. A nemzetközi összefogás eredményeképpen pl. megépült a Desdemona motion szimulátor, amelyhez nagyon hasonló az INSPHAERA-fejlesztés, de rendszerük meglehetősen méretes és kifejezetten a kereskedelmi és katonai repülés szimulálására fokuszál, mind méretben (több tonnás), megawatt nagyságrendű energia igénye egyben a legsúlyosabb korlátja is a felhasználásnak. A szimulálható mozgás terén szükség van az ettől eltérő ultramozgékony rendszerre, mobil típusokra, amelyek kisszériás sorozatgyártása, modularitása széles körben elérhetővé válik.

Az INSPHAERA-szimulátor több különböző alkalmazási területen is hasznosítható előnnyel bír, melyek elsősorban kis méretéből és tömegéből, és a fő funkciók céltudatos tervezéséből adódnak. A gép tervezésének egyik fő kritériuma a nagy nehézségi erők biztonságos előállítása, mely ugyanúgy a repülésoktatási, mint a szórakoztatási felhasználások szempontjából jól hasznosítható funkció. A kutatási célú szimulátorokkal szemben nem szükséges továbbá a laboratóriumi környezet, mely egyszerűsítés lehetővé teszi a szerkezet mozgathatóságra való tervezését. A berendezés részét képező egyszemélyes könnyű kabin miatt a tervezett szimulátor mérete és tömege jelentősen csökkenthető. Különösen jelentős ez a szimulációs mozgás kinetikai tranzienseinek szempontjából. A csökkentett tömeg és a kisebb befoglaló méret több előnyös következménnyel jár, amelyek közül néhányat kiemelhetünk:

– akár mobilverziót hozhatunk létre, szállítható könnyű, gyors telepítéssel,
– sorozatgyártás lehetősége, a tervezett termék piaci pozícionálásának kulcsaként,
– az elhelyezés nem korlátozódik nagyobb csarnokokra, súlyos monolit gépalapokkal,
– jelentősen kisebb teljesítményigény és energiafelhasználás,
– kedvezőbb irányíthatóság, dinamika.

Összefoglalva elmondható, hogy a projekt sikeres megvalósulása esetén egy olyan repülőgép-szimulátor készülhetne el, mely komoly űrt tölt ki a szórakoztatásban, oktatásban, kiképzésben.

A K+F tevékenység methodikája

A projekt kezdetén az INSPHAERA kinetikai rendszerének követelményeire, elsősorban a szükséges szabadságfokok meghatározására, és a kinetikai háttér feltérképezésére fókuszáltunk. Ehhez szükségünk volt

olyan tipikus járműmozgásokat leíró telemetria-adatsorokra, amelyek felhasználásával elemezhetők voltak az előállítandó erőhatások, és az egyes szimulátormodell-koncepciók összevethetők egymással.

Definiáltuk a szimulátorvezérlés számára szükséges a szimulátorszoftverből érkező input adatokat, azaz meghatároztuk a szimulátorvezérlés általános bemeneti interfészét. Így a különböző szimulátorszoftverekhez már csak illesztéseket kell megvalósítani, amik a szoftver kimeneti adatait, a vezérlés általános interfészéhez alakítják. Az illesztést elsőként az X-Plane 11 repülőszimulátorszoftverhez készítettük el. Próbarepülések alapján előálltak a tesztadatsorok, amelyek alkalmasnak bizonyultak az egyes manőverek azonosításához. A szimulátor-szabályozási algoritmusok összehasonlításának módszerét használtuk és a szimulátorhardver-beavatkozók vezérlőjel értékeinek adatsora egy statisztikai összesítés során váltak értékelhetővé.

Elkészítettük a szimulátor kinetikai rendszerének általános matematikai leírását úgy, hogy a matematikai modellben paraméterekkel megválasztható a szabadságfokok száma és az egyes szabadságfokok (szegmensek) elhelyezkedése az őt megelőző szabadságfok koordinátarendszerében. A szabadságfokok típusuk szerint lineáris elmozdulásra vagy csuklótengely körüli elfordulásra képesek (a továbbiakban: csuklók). A modell alkalmasá vált arra, hogy az inputként kapott pillanatnyi csuklópozíciók, (szög)sebességek és (szög)gyorsulások alapján kiszámítsa a rendszer végpontjának pozícióját.

A kinetikai modellre alapozva létrehoztuk a rendszer dinamikai modelljét, amelyben már figyelembe vesszük a rendszer tömegeit és tehetetlenségi nyomatékait és az aktuális dinamikai állapotát is. Az inputként megadható csuklóerők, illetve nyomatékok, valamint az időlépés alapján a modell számítja a rendszer új dinamikai állapotát. Ezzel a hardver nélkül is lehetővé vált a leendő vezérlési algoritmus működésének elemzése.

A vezérlőszoftver fejlesztéséhez kialakítottunk egy iteratív metódust, amivel a szimulátor vezérlése a különböző szimulált járműfajtákhoz vagy konkrét járműtípusokhoz optimalizálható. A módszer figyelembe veszi az érzékszerv átviteli függvényét (a tapasztalt érzetet), és az érzékszervekben keletkező érzetet súlyozni lehet aszerint, hogy az mekkora hatással van az érzet összképében. A szoftver az érzékelési modell segítségével összehasonlítja a szimulátorszoftver kimenetéről közvetlenül tapasztalható érzetet és a vezérelt szimulátor hardverben tapasztalható érzetét, és egy hibafüggvény használatával mutatószámokká alakítja, így jellemezve a szimuláció „jóság"-át.

Meghatároztuk a vezérlő szoftver komponenseit, ezek az alábbi feladatokat hajtják végre:

– *Interfész a szimulátorszoftver illesztő programhoz.* Fájlból olvasva az adatsort a vezérlés tesztelése a szimulátorszoftver nélkül is lehetséges, és így a különböző paraméterezéssel vagy szabályozó modullal történő futások eredményei összevethetők.
– *Input adatsor korrekciója.* Mivel a szimulátorszoftverek nem mindig szolgáltatnak minden szükséges adatot a vezérlésnek, az adatok viszonylag nagy és nem egyenletes időközönként érkeznek, ezért interpolálással, az adatok kiegészítésével és újra mintavételezésével tesszük a vezérlés számára használhatóvá az adatsort.
– *Korrigált input adatok szűrése.* Alkalmas a zajok eltávolítására, szétválasztja a gyors és lassú változású erőhatásokat, így a legnagyobb tehetetlenségű giroszkóptengely vezérlése csak a lassú hatások alapján történik.
– *Érzékelési modell kezelése.* Az érzékelési pontokban keletkező dinamikai hatásokat és az érzékszervek átviteli karakterisztikáját felhasználva a keletkező érzeteket számítja, így a szimulátorban elhelyezkedő személy testrészein, érzékszerveiben keletkező hatások modellezhetők.
– *Szabályozás.* A pillanatnyi rendszerállapot és a dinamikai modell ismeretében minden időlépésben kiszámítja az input adatok alapján elvárt új rendszerállapotot és ennek eléréséhez az egyes csuklóknál szükséges beavatkozóerőket illetve nyomatékokat a paraméterezett limit értékeket is figyelembe véve.
– *Beavatkozó interfész,* amely a beavatkozó jelet továbbítja a szimulátorhardver motorvezérlőinek. Fájlba írja az adatokat, amíg a hardver nem áll rendelkezésre.
– *Jeladó interfész,* amelyen keresztül a vezérlőszoftver kiolvassa a hardver pozícióját, hibajelzését vagy vészleállítását. Nincs megvalósítva, amíg a hardver nem áll rendelkezésre, helyette a dinamikai modell állapotát használjuk.
– *Paraméterek kezelése, a*mik meghatározzák a vezérlő egyes komponenseinek működését.

Elkészült a szimulátorszoftver-illesztőprogram egy mintája, amely az X-Plane 11 repülés szimulátorszoftverhez kapcsolódva a szükséges adatokat átveszi, és továbbítja a vezérlő szoftver felé. Az illesztőprogram használatával repülési adatsorokat készítettünk, köztük olyat, amelyik egy műrepülés program során jellemző manővereket tartalmazza beazonosítva a manőverek kezdő- és végpontját, a vezérlés működését így egy-egy manőverre vonatkoztatva is meg tudtuk figyelni és hangolni.

A legintenzívebb igénybevételt reprezentáló műrepülési adatsor felhasználásával elemeztük a vezérlés által előállított beavatkozó jelek nagyságát, statisztikai eloszlását. Az így nyert információk most már alkalmasak lettek arra, hogy méretezni tudjuk a beavatkozók teljesítményét és a szerkezetet. A méretezést iterációval hajtottuk végre, a szerkezet becsült tömegéből kiindulva meghatároztuk a keletkező igénybevételt, ennek alapján a tartószerkezetet méreteztük és megkaptuk annak tömegét. Ennek megfelelően módosítottuk a dinamikai modell tömegparamétereit és újra kiszámítottuk a keletkező igénybevételt, amíg az már nem változott számottevően. Ezt követően kezdődhetett a gépészeti tervezés és a formatervezési feladat, ami kézzelfogható eredménye a már elvégzett feladatoknak.

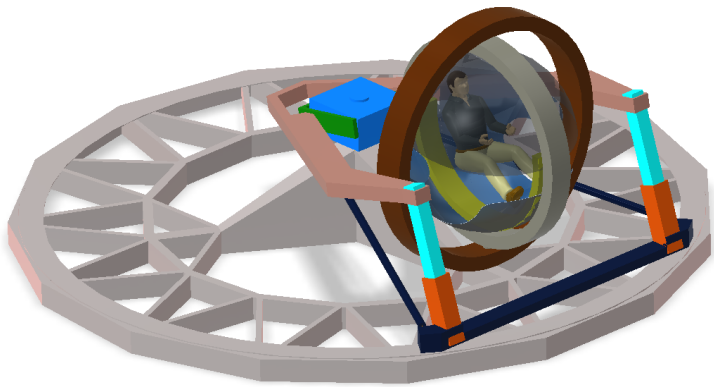
Elkészítettük a szimulátor kabinjának formatervét, látványtervét. A látványtervet figyelembe véve többféle kabin vázszerkezeti és héjazási megoldást is megvitattunk, így kiszűrve azokat, amik az elvárásoknak valamilyen okból nem felelnek meg. A szerkezetnek meglehetősen komplex elvárásoknak kellett megfelelni, ilyenek például a lehető legkisebb tömeg, anyag és gyártási költség, megfelelő szerkezeti teherbírás és merevség, ergonómia és vizuális megjelenítés, könnyű szerelhetőség, részegységekben történő szállíthatóság, be- és kiszállás biztosítása. A követelményeknek megfelelő szerkezetkialakításról statikus modellt készítettünk, amivel a maximális terhelések és várható terhelési ciklusok alapján keletkező szerkezeti feszültségek és anyagfáradások számíthatók és elemezhetők voltak. A modell módosítását és számításokat iteratívan végezve optimalizáltuk a kabin tömegét.

A mozgatószerkezet kialakításához is több iteratív lépésben jutottunk el. Az első szerkezeti modelleknél a motorok, hajtóművek tömegét csupán megbecsültük, hiszen nem volt ismert a kialakuló szerkezet tömege és ezáltal a hajtások teljesítményének méretezése és kiválasztása sem lehetséges. A mozgatott tömeg optimalizálása érdekében többféle szerkezeti kialakítást is megvizsgáltunk, ezek között voltak alapvetően különbözőek (például a giroszkóp tengelykörüli-forgás során a kabint villa tartja konzolosan, vagy a kabin vezető sínen fut), vagy kisebb mértékben eltérők (például a giroszkóp tengely körül forgó tartóvilla rácsos, illetve dobozos tartószerkezetű vagy anyagában különböző). Az elkészült statikus modellek segítségével vizsgáltuk a maximális terhelések során a szerkezetben ébredő feszültségeket, a szerkezet merevségét.

A szerkezet hajtásának kiválasztásánál szintén több alternatívát vizsgáltunk meg, elemezve a lehetséges hajtási módok (szervomotoros, hidraulikus), elrendezések előnyeit és hátrányait. A kialakított szerkezeti és gépészeti szempontból kedvező hajtás elrendezésben azonban a két irányban működő lineáris hajtás egymással párhuzamosan működik, ez viszont nem várt problémát okozott. A kinetikai modell kialakításakor feltételeztük, hogy a beavatkozók sorosan lesznek elrendezve, így a modell a párhuzamos beavatkozókat nem tudja kezelni, így a későbbiekben szükségessé vált a modell átalakítása. Összegyűjtöttük az alkalmazható hajtások gyártóit, forgalmazóit, motortípus és hajtómű-választékot, és a hajtással szemben támasztott követelmények alapján kiválasztottuk a megfelelő motor- és hajtómű-típusokat.

Az alap tartószerkezetet a mozgatószerkezethez igazodva azzal együtt alakítottuk, ennek megfelelően ebből is több változat született. A kiválasztott szerkezeti megoldást statikus modell segítségével tömeg

optimalizáltuk a terhelések, a szerkezeti merevség és az anyagfáradás figyelembevételével. Számítást végeztünk a szerkezet stabilitására vonatkozóan és meghatároztuk a szükséges ballaszt tömeget, amit a tartószerkezeten szükséges elhelyezni.



Elkészítettük a fentiekben meghatározott szerkezet dinamikai modelljét és futtattuk rajta a műrepülésadatsor alapján a vezérlés által meghatározott terhelési adatsort (beavatkozó erők és nyomatékok a csuklópontokban). Elemeztük a keletkezett dinamikus feszültséglengéseket, rezgéseket, csillapításokat.

Finomítottuk a szabályozás működését, szinguláris helyzetek elkerülésére, manipulálhatóság maximalizálására. Megvizsgáltuk, hogy a giroszkóp forgásirány-váltása felhasználható-e a szimuláció minőségének javítására. A tesztadatsorok felhasználásával elemeztük a motorok várható hőterhelését.

Összegyűjtöttük több szimulátorszoftver a szimulátorvezérlés céljára felhasználható, kívülről hozzáférhető szimulációs változót és összehasonlítottuk azokat. Ennek alapján egységes csatolófelületet alakítottunk ki. Az egységes csatolófelület és a szimulátorszoftver közé egyszerűen megvalósítható egyedi illesztést kell implementálni.

Az előző munkaszakaszban elvégeztük a szerkezeti kialakítások elemzését. Ennek megfelelően elkészültek a gépészeti főtervek. Azonban a projekt kezdetén feltételezett nyílthurkú rendszer helyett a kialakult megoldás már zárthurkú szerkezetet tartalmazott. Ennek következtében a szimulátor vezérlőszoftverébe beépítendő dinamikai modell már nem felelt meg az elvárásainknak, mert a nyílthurkú matematikai modell már nem kellő pontossággal írta le a zárthurkú rendszer dinamikáját. Így ebben a munkaszakaszban kidolgoztuk a szimulátor zárthurkú kialakításának megfelelő dinamikai modelljét. Ennek során a korábbi matematikai leírást átdolgoztuk, megfogalmaztuk az alkalmazandó merevtest-kényszerek matematikai összefüggéseit, és az új szerkezeti kialakításra alkalmazva elkészítettük a rendszer mechanikájának

megfelelő matematikai modellt. A részletes gépészeti tervezés során előállt pontos tömeg és tehetetlenségi nyomaték-adatok alapján definiáltuk a dinamikai modell pontos működéséhez szükséges tömegmátrix jellemzőket.

A gravitáció és a beavatkozó erők és nyomatékok modellezésével kaptuk meg a zárthurkú rendszer működő dinamikai modelljét. Az új modell tesztelését követően a korábban kidolgozott szabályozást sikeresen illesztettük a modellhez. Meghatároztuk a modellhez a szűrő- és szabályozó-paraméterek elméleti optimumát, és integráltuk a korábban kidolgozott érzékelési modellt. A biztonságtechnikai megfontolásokkal összhangban meghatároztuk és implementáltuk a modellbe a szükséges szabályozási módokat, amely a normál működésen túl lehetővé teszi a szimulátor vészleállítását, pozíciótartását, tesztelését, manuális vezérlését. A továbbiakban pontosítottuk a hajtás modellezését, hogy jobban figyelembe vegye a hajtás karakterisztikája szerinti limitációkat (nyomaték-, sebesség-, teljesítmény-limitek). A modell működését teszteltük, a rendellenes működést okozó hibákat feltártuk és javítottuk. Elemeztük a fizikai rendszer állapotának visszacsatolási lehetőségeit a valós idejű működés során. Előkészítettük a fizikai rendszer tesztelése során alkalmazandó teszteseteket, repülési manővereket.

Részletes gépészeti tervezés során a korábban a gépészeti főtervben meghatározott elemeket CAD szoftverben részletesen megterveztük, hogy abból az alkatrészek gyártása, összeállítása elvégezhető legyen. A gépészeti tervezés során szoros interakció volt szükséges a statikai- és fáradásvizsgálatot végző munkatársakkal, mert a vizsgálatok során feltárt nem megfelelőségek esetén a javasolt változtatásoknak megfelelően a gépészeti tervet módosítani kellett, és azt újra ellenőrizni egy iteratív folyamatban, amíg minden oldalról elfogadható megoldás született. A tervezés alapvetően „belülről-kifelé" történt, azaz a kabin irányából a vázszerkezet irányába, főbb egységek szerint a tervezés lépései: belső, középső és külső gyűrű (szegmensek, csapágyazás és tengely, hajtás, csúszógyűrűs forgó átvezetők); főtengely (főtengely befogása, csapágyazása, főhajtás, billenő keret és lineáris csapágyazás, csúszógyűrűs forgó átvezető); alapváz (külső és központi rácsos tartószegmensek, ballaszt, sín); forgatókar (szegmensek, lineáris csapágyazás, külső gyűrű hajtása és lineáris hajtás); kocsiszerkezet (kocsik, összekötőszegmens, kocsivezető rudak, kerék tengelyek, csapágyazás, magasságállító szerkezet, lineáris hajtás és alsó csuklósbefogás, lineáris vezető és forgatókar, csuklós kapcsolódás); kabin kezelőszervek (kézikezelőszerv-adapterek, tartókonzolok, pedál- adapterek, lineáris vezetők, tartókonzolok, ülés adapter és konzol).

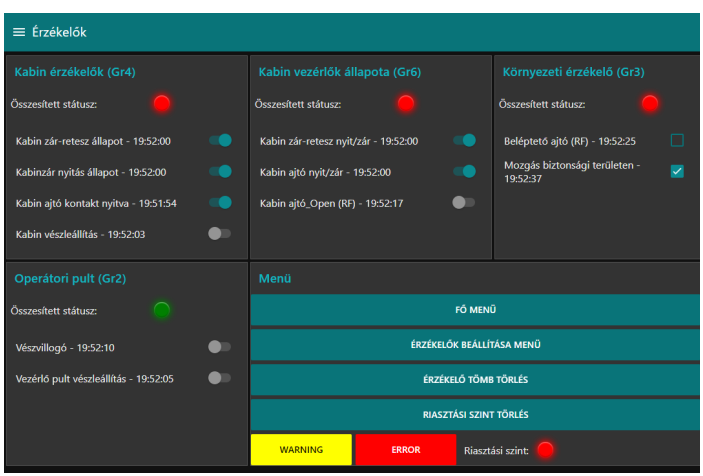
A fentebb említetteknek megfelelően a részletes gépészeti tervezéssel összhangban történt a statikai és fáradásvizsgálathoz szükséges modellek elkészítése, terhelések modellezése, elemzése, módosítási javaslatok elkészítése.

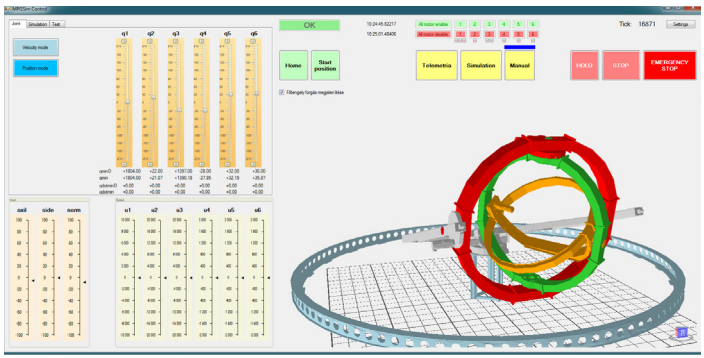
Megterveztük a szimulátor energiaellátásának, elektromos rendszerének kialakítását. Az energiaellátáshoz a tervek szerint 3x63A maximális áramfelvételre alkalmas háromfázisú hálózati forrást építettünk ki. A hajtások kiválasztásánál figyelembe vettük, hogy a motorvezérlők alkalmasak legyenek energia visszanyerésre is, ezáltal az energiaigény jelentősen csökkenthető.

A szimulátor működtetéséhez szükséges szoftver fejlesztése során két nagyobb rész kialakítását végeztük el. A szimulátorvezérlő szoftver végzi a rendszer közvetlen működtetését, a szimulátorszoftverből érkező telemetria feldolgozását, a szabályozási algoritmus és üzemmódoknak megfelelően a motorok vezérlését. A biztonságtechnikai modulnak ilyen közvetlen ráhatása nincs a szimulációra. Kezeli a szimulátoron vagy annak környezetében elhelyezett érzékelőket, beavatkozókat és az azokat működtető logikát. Ilyen érzékelő például a kabinreteszelés visszajelzése, a kabinban elhelyezett vészleállító, a szimulátor környezetét védő infrasorompó. A modul kapcsolódik a vezérlőhöz, és például üzemmódváltást hozhat létre, a paraméterezett logikai összefüggéseknek megfelelően, például leállíthatja a szimulátor működését, mert valaki a működő szimulátor veszélyes közelségébe lépett be.

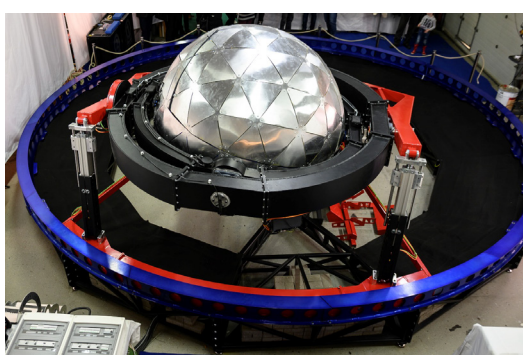
Specifikáltuk a biztonságtechnikai modullal kapcsolatos elvárásokat, a lehetséges hardverelemeket és azok kommunikációját, a működés logikáját, a paraméterezési lehetőségeket és az operátori felhasználói interfészt. Ennek megfelelően kiválasztottuk a szükséges szoftverelemeket és implementáltuk a megoldást.

A szimulátorvezérlő esetében a Matlab-ban kidolgozott szabályozást és dinamikai modellt átültettük C++ kódba, illetve .NET C# környezetbe, ahol elvégeztük a valós idejű működés implementálását. A futásidő optimalizálásával a Matlab-hoz képest 3–4x gyorsabb futást tudtunk elérni, így nem volt szükség az algoritmusok átalakítására vagy további optimalizálásra. Megvalósítottuk a vezérlő operátori felületét, ahol lehetőség van a szabályozási módok váltására, a szimulátor állapotának követésére, vészleállításra, manuális működtetésre, működési paraméterek megváltoztatására. A vezérlő a megvalósított szimulátorszoftver interfészen keresztül fogadja a külső telemetria adatokat, és a motorvezérlő interfészen keresztül adja ki a motorvezérlők felé a parancsokat és kérdezi le az állapotinformációkat.





A következő munkaszakaszban elvégeztük a fizikai prototípus összeszerelését: központi vázelemek, mint a főtengely, annak hajtását és csapágyazását, az erre épült billenőkeretet. Ez utóbbi lineáris csapágyakkal rögzült a hajtóvillához. A váz külső szegmensei, sín, kocsik, kocsiszerkezet is megépítésre és behelyezésre került. A képen látható lineáris aktuátorok a rövid, de nagy energiájú gyorsulások átadásáért felelnek. Sorrendben a műszaki, gépészeti tervek alapján legyártott gyűrűk, gyűrűhajtások, a kabin, kezelőszervek, vizuális megjelenítők, energiaellátás és elosztószekrény, elektromos szerelés jelentették a prototípus megépítésének egyes munkafázisait. Az összeszerelés előrehaladása során a szabadságfokok mechanikai mozgását folyamatosan ellenőriztük. A hajtások motorvezérlőivel történő kommunikációját minden fázisban tesztelni kellett, ezért ezeket beépítés előtt és után önállóan ellenőriztük, paraméterezésüket elvégeztük. Az első mozgatási teszteket a hajtások gyártó által biztosított vezérlőszoftverével végeztük el hajtásonként és baleseti, sérüléselkerülő megfontolásból korlátozott teljesítménnyel. A sikeres teszteket követően a szimulátorvezérlést alkalmazva limitált teljesítményű teszteket hajtottunk végre manuálisvezérlés-módban szabadságfokonként külön, majd együttesen.



A biztonságtechnikai modul tesztelése során ellenőriztük a szenzor-állapotjelzések megfelelőségét, a paraméterezett logikai működést, leállítási, tiltási protokollt. Következő tesztelési lépésként telemetria adatsorok alapján vezéreltük a szimulátort, végül a teljes rendszerrel a szimulátorszoftverből valós időben átvett telemetria felhasználásával teszteltük a rendszert.

Konklúzió

A teljes folyamat összességében mintegy 735 munkanapot vett igénybe úgy, hogy a komplett rendszer beüzemelése és tesztfutások súlyos problémát nem hoztak felszínre. A tesztelés során jelentkező kisebb hibákat, amelyek jellemzően a vezérlőszoftvert érintették, folyamatosan javítottuk, és a próbafutások során tapasztalt érzeteket is felhasználva pontosítottunk a rendszer paraméterezésén is. A termékfejlesztések és prototípusépítés együttesen határozottan sikeresnek tekinthető, hiszen a tesztek során a tervezettnek megfelelő eredményeket kaptunk vissza, súlyos meghibásodással, rendszerszintű problémával nem szembesültünk.

Az INSPHAERA motion szimulátor teljesítette a projekttől és a prototípustól elvárt teljesítményt, mindösszesen a pozitív és negatív irányban fellépő G-hatások előidézését mintegy 3 G mértékben, a repülés mint komplex mozgás környezetében. A fejlesztéssel a továbbiakban a projekt tuajdonosa az Appaloosa Communication Group Kft. a következő időszakban a már piaci, értékesítési fázisban mintegy 300 órányi tesztfutást követően valós potenciállal számol.

Referenciák

[1] Siciliano, B.–Khatib, O. (2008): *Springer Handbook of Robotics.* Berlin–Heidelberg: Springer.
[2] Asadi, H.–Mohamed, S.–Lim, C. P.–Nahavandi, S.–Nalivaiko, E. (2017): "Semicircular canal modeling in human perception," *Rev. Neurosci,* 28., (5.)
[3] Asadi, H.–Mohamed, S.–Lim, C. P.–Nahavandi, S.–Nalivaiko, E. (2016): "A review on otolith models in human perception," *Behav. Brain Res.,* 309., Pp. 67–76.
[4] Grant, J. W.– Best, W. A. (1986): "Mechanics of the otolith organ-dynamic response," *Ann. Biomed. Eng.,* 14., (3.), Pp. 241–256.
[5] Kurosaki, M. (1978): "Optimal Washout for Control of a Moving Base Simulator," *IFAC Proc. Vol.,* 11., (1.), Pp. 1311–1318.

[6] Parrish, R.–Dieudonne, J.–Bowles, R.–Martin D. (1973): „*Coordinated adaptive washout for motion simulators,*" in Visual and Motion Simulation Conference.
[7] Sturgeon, W. R. (1981): "Controllers for Aircraft Motion Simulators," *J. Guid. Control. Dyn.,* 4., (2.), Pp. 184–191.
[8] Cardullo, F.–Telban, R.–Houck, J. (2004): „Motion Cueing Algorithms: A Human Centered Approach," *NASA Langley Technical Report Server*.

KIRCHNER ISTVÁN *

Gyorsulva gyorsuló világegyetem?

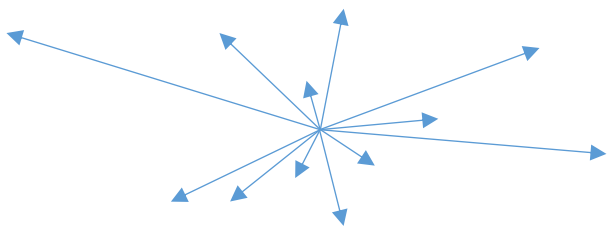
Összefoglalás: Világegyetemünk talán legegyszerűbb modelljének felhasználásával a cikk egyszerű összefüggéseket vezet le az objektumok észlelési távolsága és látszólagos gyorsulása között, figyelembe véve a fény terjedési sebessége okozta észlelési késleltetést. A kapott összefüggések szerint *a lineáris, valójában gyorsulásmentes rendszert törvényszerűen gyorsulva gyorsulónak kell érzékelnünk*. Ezek után értehető a cikk végén megfogalmazott kérdés, miszerint mindez megkérdőjelezi-e a gyorsulva gyorsuló világegyetemünkről alkotott világképünket? Különösen izgalmas e kérdés annak tükrében, hogy az összefüggések, levezetések megértéséhez semmiféle speciális, szakirányú tudás (avagy további irodalom ismerete) nem szükséges, mindössze középiskolai szintű fizika tudásra alapoz.
Kulcsszavak: Ősrobbanás; gyorsulva gyorsuló világegyetem; fénysebesség; látszólagos gyorsulás; észlelési távolság.

Abstract: Using perhaps the simplest model of our Universe, the paper derives simple relationships between the detection distance and apparent acceleration of objects, taking into account the detection delay due to the propagation speed of light. The resulting relations imply that a linear, effectively accelerationless system should be perceived as accelerating by law. This leads us to the question at the end of the article: does this call into question our view of our accelerating universe? This question is especially intriguing in the light of the fact that no specialised knowledge (or further literature) is required to understand the connections and derivations, based on only high-school level physics.
Keywords: Big bang; Accelerating universe; Speed of light; Apparent acceleration; Perceptual distance.

* *Dunaújvárosi Egyetem, Informatikai Intézet*
E-mail: kirchner@uniduna.hu

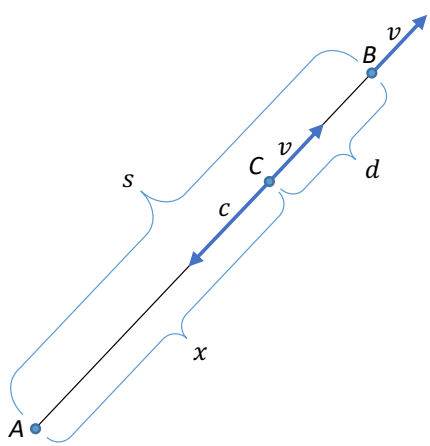
Világegyetemünk talán legegyszerűbb modelljeként vegyünk egy ponthalmazt, melynek minden pontja kiindulási állapotban ugyanabban a pozícióban helyezkedik el, majd egy tetszőleges pillanatban mindannyian megkezdik egyenletes, egyenes vonalú mozgásukat („ősrobbanás") tetszőleges (különböző) sebességgel és iránnyal *(1. ábra)*.

1. ábra. „Ősrobbanás"



Ez a rendszer így lineáris, ami annyit tesz, hogy *bármely* ponttól az összes többi távolsága egyenletesen és folyamatosan növekszik. Most vigyük be a vizsgálódásunkba a fény terjedési sebessége okozta észlelési késleltetést a speciális relativitáselmélet szem előtt tartásával. Ehhez tekintsük a *2. ábra* szerinti *A* és *B* pontot, ahol az *A* pontból szemlélve a *B* pont *v* sebességgel távolodik *A*-tól.

2. ábra. Az A és B pont egymáshoz viszonyított helyzete



Vizsgálódásunk pillanatában a *B* pont s távolságra van az *A*-tól. *A*-ból szemlélve azonban a *B* pontot nem *s*, hanem – a jóval kisebb – *x* távolságra észleljük, a *C* pozícióban. A *C* pozícióból *A* felé visszaérkező – *c* sebességű – fény számára *t* idő szükséges az *x* távolság megtételéhez, éppen annyi, amennyi idő alatt a *B* pont megteszi a *C* pozíciótól mért *d* távolságot. (Vagyis a vizsgálódásunk pillanatában a *B* pontot valójában egy *t* idővel korábbi pozíciójában észleljük.) Tehát

$$s=x+d=c\cdot t+v\cdot t \qquad [1]$$

innen

$$t=s/(c+v) \qquad [2]$$

$$x=c\cdot t=(c\cdot s)/(c+v) \qquad [3]$$

mely utóbbit átrendezve

$$s=x(c+v)/c \qquad [4]$$

Most legyen

$$T=s/v \qquad [5]$$

azaz a kiindulási állapot („ősrobbanás") óta eltelt idő (azaz a „világegyetemünk" kora). Az *A* pontból szemlélve tehát azt érzékeljük, hogy a *B* pont *x* távolságra van *A*-tól és *v* sebességgel távolodik tőle. Azonban, ha a *B* pont a kiindulási állapot óta (vagyis a teljes *T* időintervallum alatt) végig egyenletes *v* sebességgel haladt volna, akkor már *s* távolságra kellene lennie. (Valójában a vizsgálat pillanatában már tényleg *s* távolságra van, mi azonban *x* távolságra észleljük.) Az, hogy a *v* sebesség ellenére csak x távolságra van a *B* pont csak úgy képzelhető el, ha korábban lassabban haladt, más szavakkal gyorsuló mozgást végez. Legyen ez a (látszólagos) gyorsulás *a*, ekkor

$$x=s-d=v\cdot T-a/2\cdot T^2 \qquad [6]$$

(Ez az összefüggés valójában a *C* pozícióból az A pontba v kezdősebességgel és a lassulással elindított pont által megtett utat adja meg, ami tökéletesen megfelel céljainknak.) Ezen utóbbiba helyettesítsük be *x*-re és *T*-re kapott korábbi [3]-as és [5]-ös összefüggéseket:

$$\frac{c\cdot s}{c+v}=s-\frac{a}{2}\cdot\frac{s^2}{v^2} \qquad [7]$$

$$a\cdot\frac{s^2}{2\cdot v^2}=s-\frac{c\cdot s}{c+v}=\frac{s\cdot c+s\cdot v-c\cdot s}{c+v}=\frac{s\cdot v}{c+v}$$

$$a = \frac{2 \cdot v^3}{s(c+v)}$$

Ebbe s helyére *(T·v)*-t helyettesítve

$$a = \frac{2 \cdot v^2}{T(c+v)} \qquad [8]$$

ami a látszólagos gyorsulás és a sebesség közti összefüggés. A továbbiakban célunk ezt a látszólagos gyorsulást az észlelt x távolság függvényében fölírni. Ehhez előbb a *v* sebességet fogjuk fölírni *x* függvényében, melyhez fölhasználjuk a [4]-es összefüggést:

$$v = \frac{s}{T} = \frac{x(c+v)}{T \cdot c}$$

$$v \cdot T \cdot c = x \cdot c + x \cdot v$$

$$v = \frac{x \cdot c}{T \cdot c - x} \qquad [9]$$

Végül ezt helyettesítsük be a látszólagos gyorsulás [8]-as képletébe:

$$a = \frac{2 \cdot v^2}{T(c+v)} = \frac{2 \cdot \left(\frac{x \cdot c}{T \cdot c - x}\right)^2}{T\left(c + \frac{x \cdot c}{T \cdot c - x}\right)}$$

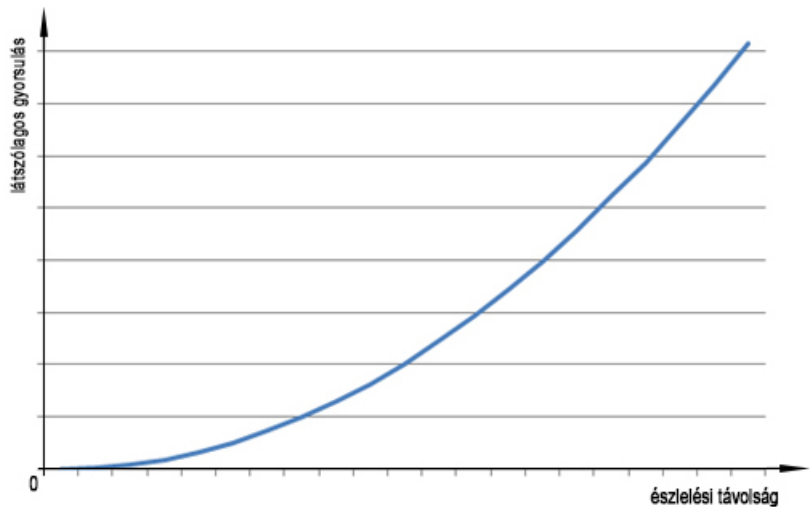
$$a = \frac{2 \cdot x^2 \cdot c^2}{(T \cdot c - x)(T \cdot c \cdot (T \cdot c - x) + T \cdot x \cdot c)}$$

$$a = \frac{2 \cdot x^2 \cdot c^2}{(T \cdot c - x)T^2 \cdot c^2}$$

$$a = \frac{2 \cdot x^2}{T^2(T \cdot c - x)} \qquad [10]$$

Ezzel végül megkaptuk a látszólagos gyorsulást az észlelési távolság, *x* függvényeként. Mint látható ez a gyorsulás nemhogy nem konstans, hanem még csak nem is lineárisan növekszik az észlelési távolság növekedésével (hiszen *T* konstans egy adott vizsgálódási pillanatban minden pontra). E függvény alakja hozzávetőleg a *3. ábra* szerint alakul.

3. ábra. A látszólagos gyorsulás függése az észlelési távolságtól.



Egyszerűen fogalmazva mondhatjuk tehát, hogy *rendszerünket gyorsulva gyorsulónak érzékeljük, miközben valójában semmi nem gyorsul. A lineáris, gyorsulásmentes rendszerünket szükségszerűen ilyennek kell érzékelnünk a fény véges terjedési sebessége miatt. Vagyis „világegyetemünk" valójában nem tágul gyorsulva, mindössze (törvényszerűen) úgy érzékeljük.*

Megjegyezzük továbbá, hogy *T* (a „világegyetemünk" kora) szemléletből könnyen fölírható az észlelési távolság és sebesség segítségével:

$$T = \frac{x}{v} + \frac{x}{c} \qquad [11]$$

vagyis az az idő, mely idő alatt a vizsgált pont az aktuális észlelési helyzetbe (*C* pozícióba) eljut, plusz az onnan visszaérkező fény utazási ideje az észlelési pontig (ez utóbbit neveztük a korábbiakban t-nek). A látszólagos gyorsulásra kapott [8]-as és [10]-es összefüggések jobb oldalát egymással egyenlővé téve, *T*-re egy harmadfokú egyenlet adódik, melybe [11]-et behelyettesítve azonosságot kapunk (tehát [11] gyöke az egyenletnek).

Ez szintén alátámasztja levezetésünk helyességét.

[11] lehetővé teszi *T* kiszámítását a mérési eredmények alapján, melyet [10]-ben fölhasználva bármely pont látszólagos gyorsulása megkapható x ismeretében. Azonban, ha a *T*-re kapott [11]-es kifejezést a [8]-ban (vagy [10]-ben) felhasználjuk, akkor a látszólagos gyorsulást közvetlenül x és v ismeretében is megkaphatjuk. A részletek mellőzésével a látszólagos gyorsulásra így adódó képlet:

$$a = \frac{2 \cdot c \cdot v^3}{x(c+v)^2} \qquad [12]$$

Végkonklúzióként tehát *fölmerü*l a logikus *kérdés, hogy az* egyszerű levezetésekből *adódó* [10]-es, illetve [12]-es *képletek vajon megkérdőjelezik-e a* – mára már elfogadott – *gyorsulva gyorsuló világegyetemünkről alkotott világképünket?* A kérdés nyitott és válaszra, magyarázatra vár.

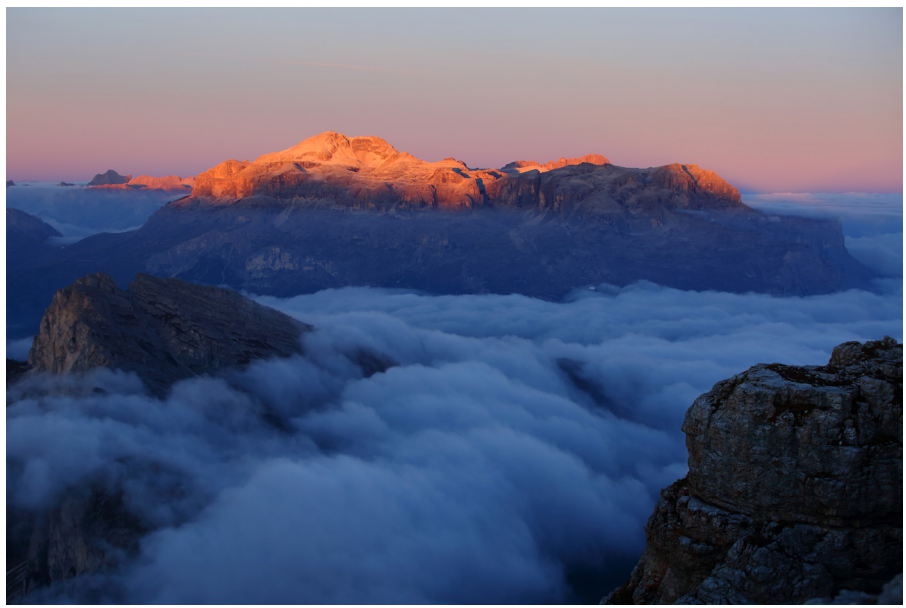
Sejtések, további megjegyzések

Az eddig levezetett valamennyi képlet és összefüggés gyorsulásmentes, lineáris állapotra vonatkozott, e feltétellel lett levezetve. Ám továbbgondolva, ha mindezeket konstans gyorsulással (vagy lassulással) rendelkező rendszerre próbáljuk meg kiterjeszteni, akkor már az első lépések után többszörösen nemlineáris összefüggéseket kapunk, melyek gyakorlatilag lehetetlenné teszik a szükséges levezetések kézi elvégzését. (Erre a helyzetre már csak numerikus, számítógépes közelítő eljárások, szimulációk lennének készíthetők, nem kis energiabefektetéssel.) Ugyanakkor az egyes összefüggések, hatások gyorsulás okozta változásait végigkövetve, megfogalmazhatók a következő sejtések:

– *Ha a rendszer ténylegesen gyorsul, akkor* a [11]-es képletet használva *T*-re pontról pontra más-más értékeket kapunk, és azok mind alulról becsülik „világegyetemünk" korát (mivel ugyanolyan észlelési távolsághoz nagyobb sebesség tartozik). Nyilvánvaló, hogy a közelebbi pontok adják a pontosabb becslést. Ez esetben tehát „világegyetemünk" a [11]-szerint számítottnál valójában idősebb.
– *Ha a rendszer ténylegesen lassul* (pl. reálisan a gravitáció hatására), *akkor* a [11]-es képletet használva *T*-re pontról pontra most is más-más értékeket kapunk, és azok mind felülről becsülik „világegyetemünk" korát (mivel ugyanolyan észlelési távolsághoz kisebb sebesség tartozik). Természetesen most is a közelebbi pontok adják a pontosabb becslést. Ez esetben tehát *„világegyetemünk"* a [11]-szerint *számítottnál ténylegesen fiatalabb.*

– *Ha a rendszer valójában gyorsul, akkor* a közeli pontoknak jóval nagyobb sebességnövekedését észleljük, mint a távoliaknak, hiszen a távoliaknak sokkal korábbi állapotukat érzékeljük (a nagyobb távolság miatt), amikor még alig nőtt a kiindulási sebességük. Vagyis ennek alapján mondhatjuk, hogy *látszatra* a rendszer *lassul* (legalábbis a lineáris esethez tartozó látszólagos gyorsulással összevetésben).
– *Ha a rendszer valójában lassul, akkor* a közeli pontoknak jóval nagyobb sebességcsökkenését észleljük, mint a távoliaknak, hiszen a távoliaknak sokkal korábbi állapotukat érzékeljük (a nagyobb távolság miatt), amikor még alig csökkent a kiindulási sebességük. Vagyis ennek alapján úgy tűnik, hogy a rendszer *látszatra gyorsul.*

Mindezek a sejtések további kérdőjeleket tesznek a fentebb végkonklúzióként megfogalmazott kérdőmondat végére.

Galéria

Sóti István fotói (Dolomitok)