

Vég Róbert László¹ 

Forgó dugattyús befecskendezőszivattyúk a harc- és gépjárműtechnikában²

Befecskendező szivattyú tehermentesítő szelep oktatási célú modell kialakítása 3D-nyomtatási technológiával

Rotary Injection Pumps for Combat and Automotive Applications

Design of an Educational Model of an Injection Pump Relief Valve Using 3D Printing Technology

A dízelmotorok tüzelőanyag-ellátó rendszerének fejlődése során eleinte fontosabb szempont volt a megfelelő motorteljesítmény és megbízható motorüzem, jelenleg viszont elsőbbséget élvez a minél szigorúbb károsanyag-kibocsátási követelményeknek való megfelelés. A befecskendezőszivattyúk sokat fejlődtek, a kezdeti pár száz báros befecskendezési nyomások manapság már akár több ezres értéket is felvehetnek. Napjainkban elterjedtek a közös nyomócsöves, úgynevezett Common Rail rendszerek, és szinte már kiszorultak a hagyományosnak tekinthető soros (forgó dugattyús) befecskendezőrendszerek. A közúti dízelmotoros gépjárműveknél ez valójában így is van, de a katonai gépjárműtechnikában, a tehergépjárműveknél, harcjárműveknél és harckocsiknál még jelentős mennyiségben megtalálhatók a soros rendszerű fecskendezési megoldások. A cikk összefoglalja és ismerteti a tüzelőanyag-ellátó rendszerrel kapcsolatos elvárásokat, a forgó dugattyús befecskendezőrendszerek típusait és szerkezetét, egyes katonai alkalmazását és az oktatást megkönnyítő oktatási makett 3D-nyomtatással történő előállítását.

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: vegh.robert@uni-nke.hu

² A cikk a TKP2021-NVA-16 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Kulcsszavak: 3D-nyomatás, befecskendezőszivattyú, szelep, oktatási makett

While the evolution of the fuel supply system for diesel engines initially focused on engine performance and reliable engine operation, the priority now is to meet the strictest emission requirements. Injection pumps have come a long way in the history of the technology, with initial injection pressures of a few hundred bar now reaching into the thousands. In the current technical era, common rail systems have become common, and the traditional in-line (rotary piston) injection systems have been almost superseded. This is indeed the case for on-road diesel vehicles, but in military automotive technology, trucks, combat vehicles and tanks still use a significant amount of in-line injection. The article summarises and describes the requirements for the fuel supply system, the types and construction of rotary injection systems, some military applications and the production of an educational model to facilitate education by 3D printing.

Keywords: 3D printing, injector pump, valve, educational model

Bevezetés

A befecskendezőrendszer vizsgálata előtt célszerű áttekinteni a dízelmotor működési elvét és működésének főbb jellemzőit. A négyütemű elv a dízelmotornál is ugyanaz, mint a benzínmotornál, viszont a dízelmotor csak levegőt szív be, amit összesűrít, és ebbe az összesűrített levegőbe fecskendezi be a tüzelőanyagot. A sűrítés következtében a levegő hőmérséklete olyan magas lesz, hogy a befecskendezett tüzelőanyag magától meggyullad. A dízelmotor belső keverékképzésű, mert a tüzelőanyag-levegő keverék csak az égéstérben alakul ki. Az égéstérbe bejutó levegő mennyiségéhez képest változó tüzelőanyag-mennyiség befecskendezése történik a motor különböző üzemállapotaiban, ezért a dízelmotort minőségi szabályozásának nevezük. A dízelmotor teljesítményét egy adott fordulatszámom a befecskendezett ciklusanyag határozza meg. Állandó ciklusadag befecskendezése esetén a külső terhelések változásakor a motor fordulatszáma nem állandó, a külső terhelés csökkenésekor a motor fordulatszáma emelkedik, amely olyan mértékű is lehet, hogy szerkezeti károsodást eredményez a motorban, ennek elkerülésére a motor meghatározott fordulatszámának elérésekor a ciklusadagot csökkenteni kell. A ciklusadagnak a károsanyag-kibocsátás nagyságára is hatása van, mivel a tüzelőanyag mennyiségének növelésével a légfelesleg-tényező³ csökken, a tökéletes égés feltételei romlanak.

A dízelmotorok fejlesztésében szerepet vállaltak magyar szakemberek, és még ha csekély mértékben is, de a magyar ipar is. A magyar dízeltechnika legkiemelkedőbb és egyben nemzetközileg is elismert alakja volt Jendrassik György (1898–1954). A Ganz-gyárban végezte dízelmotor-fejlesztő tevékenységét, amelynek keretében gyorsjáratú dízelmotorjaihoz saját égésteret, befecskendezőszerkezetet és indítási rendszert dolgozott ki.

³ Légfelesleg: az a szám, amely megmutatja, hogy a hengerben hányszor több a levegő, mint a tüzelőanyag tökéletes elégetéséhez elméletileg szükséges mennyiség.

Befecskendezőrendszerénél rugóerővel történt a befecskendezőszerkezet dugattyújának mozgása, ezáltal a tüzelőanyag befecskendezése gyors és lökészerű volt, ezért nem volt szükség zárt befecskendezőfűvóka alkalmazására. A befecskendezés jellemzői a rugó beállításától függttek, és nem a motor fordulatszámától, ami előnyös volt a motor indításakor és alacsony fordulatszámon.⁴ A dízelmotorok befecskendezőszivattyújának gyártásával hazánkban a Gamma Művek foglalkozott, amely a Bosch-rendszerű soros befecskendezőszivattyúkat az 1950-es évektől 1973-ig gyártotta. A gyártott szivattyúk legnagyobb felhasználója a Csepel Autógyár volt. A Gamma-adagoló gyártása nem licencgyártás volt, leginkább a csehszlovák Motorpal gyártmánnyal egyezett meg.⁵

A befecskendezőrendszerek szabályozási feladatai

A dízelmotor működésének különböző üzemi állapotait különböztetjük meg, amelyekhez a követelményeknek megfelelően más és más üzemanyag-mennyiséget kell biztosítani a tüzelőanyag-ellátó rendszernek. A dízelmotor jellemző üzemi állapotai az indítás, alapjárat és teljes terhelés. A dízelmotor indításakor a motor forgattyús tengelyét fel kell gyorsítani akkora fordulatszámra, ahol a motor képes önmagát gyorsítani az alapjárat fordulatszámig. A tüzelőanyag-ellátó rendszernek már az indítási fordulatszámon megfelelő tüzelőanyagot kell szállítani. Az indításhoz szükséges tüzelőanyag-mennyiség, amely függ a motor adott üzemi állapotától, az üzem közbeni maximális ciklusadagnál nagyobb mennyiségű tüzelőanyag befecskendezését is jelentheti. A motor alapjárata az a legkisebb motorfordulatszám, ahol a motor csak a mechanikai veszteségek legyőzésére fordít munkát, de hasznos teljesítményt nem ad le. A motor alapjárati és kis fordulatszámú üzeme esetén a motor munkaterében a sűrítési vég hőmérséklet és a sűrítési végnyomás kisebb, mint magasabb fordulatszámon, ezért ezekben az üzemi állapotokban a motor pontosabb befecskendezett ciklusadagot és előbefecskendezési beállítást igényel. A motor teljes terhelésén a tüzelőanyag-ellátó rendszer a motor égésterébe a maximális ciklusadagot fecskendezi be.

Dízelmotor keverékképzésére nagyon rövid idő áll rendelkezésre, ezért csak nagyon pontos működésű befecskendezőszivattyúval lehet teljesíteni a megfelelő motorműködési feltételeket. A befecskendezőszivattyúnak biztosítani kell:

- a motor mindenkor terhelésének megfelelő tüzelőanyag-adag pontos mennyiségét;
- a befecskendezés pontos kezdetét és időtartamát;
- a befecskendezés kezdetéhez szükséges nyomást, valamint ennek hirtelen megszűnését a befecskendezés végén;
- a befecskendezés kezdetének szabályozását a motor fordulatszáma szerint;
- a tüzelőanyag ciklusadag pontos szabályozását a motor terhelésének megfelelően;
- az üresjárat fordulatszám állandóságát;

⁴ BÖDÖK 2005: 118–119.

⁵ KOVÁTS–NAGYSZOKOLYAI–SZALAI 2005: 18–19.

- a motor megengedett legnagyobb fordulatszámánál a tüzelőanyag ciklusadag befecskendezés megszüntetését, a motor leállítását.⁶

A befecskendezőszivattyúk a gyors tüzelőanyag-befecskendezést és a megfelelő porlasztáshoz szükséges magas nyomást csak dugattyús kialakítással tudják teljesíteni. Soros befecskendezőszivattyúknál minden hengert külön befecskendezőelem lát el tüzelőanyaggal. Az ilyen befecskendezőszivattyúnál a tüzelőanyag-ellátás és a tüzelőanyag-adagolás szabályozása közös, a porlasztók magasnyomású csövekkel csatlakoztathatók a szivattyúhoz. A magas befecskendezési nyomás (akár 600–900 bar) miatt a szivattyúelemeknek jó tömítettséget kell biztosítaniuk. Tömítőelemként gyűrűket nem lehet alkalmazni a gyors kopás miatt, ezért inkább a dugattyú és a henger közötti játékot választják meg nagyon kicsi (1–3 μm) értékre. A tömítőképességet a dugattyúátmérőhöz viszonyított hosszának növelésével biztosítják.

A dugattyús befecskendezőszivattyú által szállított gázolaj mennyiségét a motor üzeme alatt nulla és egy maximális ciklusadagnagyság között bármekkora értékre be kell tudni állítani. A ciklusadag nagyságának szabályozására kettő alapvető mód alakult ki. Az egyik mód a „változó szívású és teljes ürítésű” szabályozás, ahol a befecskendezőszivattyú a terhelésnek megfelelő ciklusadagot beszívja, és teljes egészében befecskendezi. Ezt nagy lökettérfogatú motoroknál alkalmazzák. A másik mód az „állandó szívású és részleges ürítésű” szabályozás, ahol a befecskendezőszivattyú a ciklusadagnál nagyobb tüzelőanyag-mennyiséget szív be, de ennek csak egy részét fecskendezi be. Ezt a módot alkalmazzák a gépjárműmotoroknál.⁷

A két fő elvi szabályozási megoldás mennyiség szabályozását meg lehet valósítani:

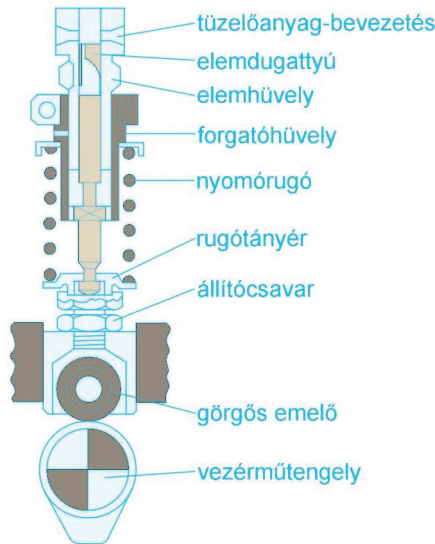
- a hasznos löket megváltoztatásával;
- fojtásos szabályozással;
- a lökethossz megváltoztatásával;
- elektromágneses befecskendezőszelepekkel.

A hasznos löket megváltoztatásának egyik megoldása, amikor az elem dugattyú lökete állandó, de ezen belül a hasznos löket megváltoztatható, ha a gázolajat a nyomótérből visszavezetjük a kisnyomású térbe. A soros Bosch-rendszerű befecskendezőszivattyú dugattyúján kiképzett ferde vezérlőél határozza meg a hasznos löket, ezáltal a befecskendezendő tüzelőanyag nagyságát. A dugattyú löketének csak egy része hasznos löket, ekkor történik a tüzelőanyag befecskendezése, a többi az úgynevezett holtlöklet. A holtlöklet elhelyezkedhet a hasznos löket előtt, után vagy közbeiktatva. Az elem dugattyú alsó holtponthelyzetében a közös tüzelőanyag-csatornából a nyitott töltőfuraton (töltőfuratokon) keresztül a gázolaj a dugattyú fölé, a szivattyúelembe áramlik. A vezértengely bütyke görgős emelőn keresztül mozgatja a dugattyút a felső holtponthelyzetébe, a dugattyú elzárja a beömlő furatot, és megkezdődik a gázolaj szállítása a nyomószelepen keresztül, a magasnyomású csővel a porlasztóba.

⁶ JUREK 1961: 591.

⁷ DEZSÉNYI–EMŐD–FINICHIU 1992: 596–596.

A Bosch-rendszerű befecskendezőszivattyú felépítése az 1. ábrán látható. Amikor a dugattyú ferde vezérlőlele eléri a beömlő furatot a függőleges hornyon keresztül, a ferde vezérlőlél mentén a gázolaj visszaáramlik a közös tüzelőanyag-csatornába, ezáltal a nyomás lecsökken, és a befecskendezés befejeződik. A hasznos löket és a befecskendezett ciklusadag nagysága a dugattyú elfordításával változtatható meg.⁸ A Magyar Honvédségben rendszeresített gépjárművek, például az Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi, a BTR-80 típusú páncélos szállító harcjármű, a T-72 harckocsi vagy pedig a Leopard 2 A4 harckocsi motorjának befecskendezőszivattyúja is a hasznos löket megváltoztatásával oldja meg a befecskendezett tüzelőanyag mennyiségének szabályozását.



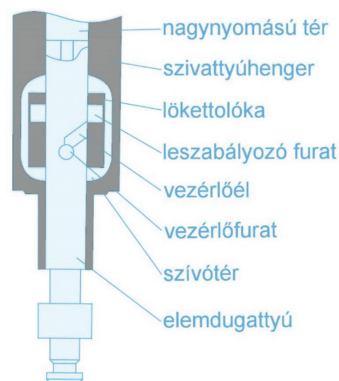
1. ábra: Soros Bosch-rendszerű befecskendezőszivattyú

Forrás: a szerző szerkesztése

A hasznos löket megváltoztatásának másik megoldása az elemdugattyúban kialakított visszafolyófurat szabályozó tolattyú (lökettolóka) általi nyitása és zárása. A tolattyú tengelyirányban elmozdítható, amivel a hasznos löket nagysága és a befecskendezett ciklusadag is beállítható (2. ábra). A befecskendezés kezdetének szabályozása független a befecskendezett mennyiségtől, és a szabályozás csekély erőszükséglettel végrehajtható.⁹

⁸ JUREK 1963: 71.

⁹ A dízel-befecskendezés áttekintése 1992: 20



2. ábra: Szivattyúelem szabályozó tolattyúval

Forrás: a szerző szerkesztése

Fojtásos szabályozásnál a szivattyúelem feltöltődésének mértékét lehet fojtás segítségével szabályozni. A belépő gázolaj útjának elzárásával a tüzelőanyag-szállítás megszűnik, ezt hívják nulla szállításnak, a teljes kinyitással pedig a befecskendezőszivattyú a maximális ciklusadagot fogja szállítani. A fojtásos szabályozást főként a radiális dugattyús forgóelosztós befecskendezőszivattyúknál alkalmazzák.

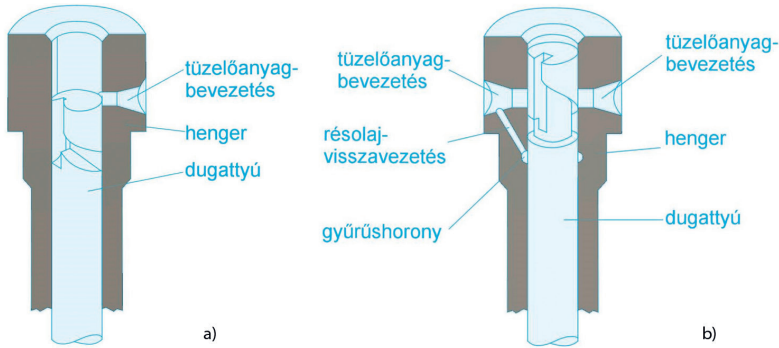
A lökethossz-megváltoztatásos szabályozást ritkábban alkalmazzák, ennél a löket kicsi mértékű megváltoztatásával hozzák létre a maximális ciklusadag módosítását. Jellemző megoldása volt a Ganz–Jendrassik-adagoló, amelyet manapság már nem alkalmaznak.

Elektromágneses befecskendezőszelepekkel történő szabályozás esetén a magasnyomású szivattyú a tárolócsőben létrehozza a befecskendezéshez szükséges magas nyomást. Ez a magas nyomás (például 1350 bar) folyamatosan terheli a tárolócsövet, a magasnyomású csöveket és a befecskendezőszelepeket is. A tüzelőanyag befecskendezése csak akkor történik meg, amikor az elektromágneses szelep kinyit, amelyet a központi vezérlőegység irányít. A befecskendezett tüzelőanyag mennyisége a nyomástól és a befecskendezőszelep nyitvatartási idejétől függ. Ezt a megoldást alkalmazzák a közös tárolócsöves Common Rail rendszereknél.¹⁰

Forgó dugattyús befecskendezőszivattyúk

A soros befecskendezőszivattyúnál a befecskendeződugattyú (elemdugattyú) a szivattyúhengerrel együtt alkotja a szivattyúelemet. A tüzelőanyag bevezetésére a közös tüzelőanyag-csatornából a szivattyúhengeren egy vagy két furat található (3. ábra).

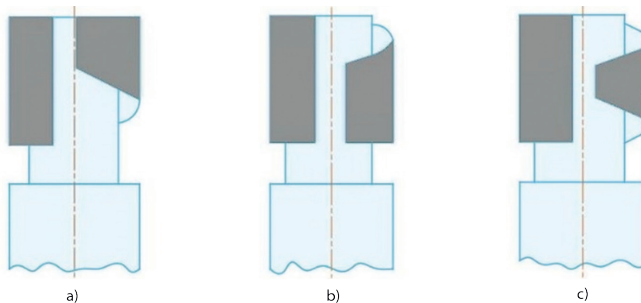
¹⁰ Common Rail befecskendezőrendszerek 2004: 4–7.



3. ábra: Egy- és kétfuratos szivattyúelem

Forrás: a szerző szerkesztése

Az elem dugattyún többféle vezérlőél-kialakítást alkalmazhatnak. Amennyiben a ferde vezérlőél a dugattyú alsó részén található, akkor a befecskendezés kezdete állandó, de a befecskendezés vége a terheléstől függően változik. Ezt a megoldást alkalmazzák többnyire gépjárműmotoroknál, kiegészítve egy centrifugális előbefecskendezés-szabályozóval (4a. ábra) 600 baros befecskendezési nyomásig elegendő egy vezérlőél alkalmazása, ennél nagyobb nyomásnál kettő egymással szemben levő vezérlőéllal ellátott dugattyúkialakítást kell használni. Így a befecskendezési nyomás a dugattyút nem nyomja a henger falához, ami kiküszöböli a berágódását. Felül elhelyezett vezérlőél-kialakítással a befecskendezés kezdete lesz változó (4b. ábra). Annál a dugattyúnál, ahol az alsó vezérlőélen kívül felső vezérlőél is található, a tűzelőanyag-szállítás kezdete a terhelés függvényében változtatható. Hajómotoroknál jól alkalmazható megoldás, ahol a terhelés pontosan meghatározza a szállítás kezdetének igényét (4c. ábra).



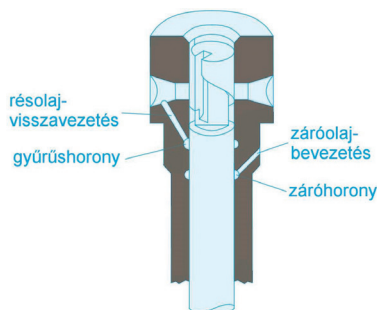
4. ábra: Különböző vezérlőél-kialakítású befecskendeződugattyúk

Forrás: a szerző szerkesztése

A befecskendezőszivattyú rendelkezhet önálló kenőrendszerrel, vagy pedig beköthetik a motor kenőrendszerébe, az utóbbi esetben a dugattyú mellett átszivárgó tűzelőanyag a motor kenőolaját felhígíthatja. Ennek elkerülésére résolaj-visszavezetéssel látják el a szivattyúelemet a közös tűzelőanyag-csatorna felé, vagyis a szivattyúelemet gyűrűs horonnyal látják el, amelyet

egy furaton keresztül a befecskendezőszivattyú közös tüzelőanyag-csatornájával kötnek össze. A dugattyú mellett átszivárgó tüzelőanyag a gyűrűs horonyban összegyűlik, nyomása lecsökken és visszafolyik a tápcsatornába (3b. ábra).

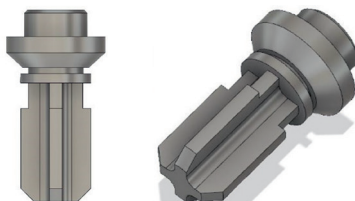
Kis viszkozitású alternatív tüzelőanyag használata esetén a szivattyúelemeket résolajjelzőzárral egészítik ki, a résolajvesztések csökkentése érdekében. A szivattyúhüvelyt kettő gyűrűhoronnyal látják el, amiből a felső egy furaton keresztül összeköttetésben áll a szivattyú szívóterével, ez biztosítja a szivattyúelem résolaj-visszavezetését. Az alsó horonyba a bevezető furaton keresztül a motor kenőrendszeréből nyomás alatt motorolajat vezetnek be, ez az úgynevezett zárófolydék. Üzemi fordulatszámon a horonyban levő olajnyomás magasabb, mint a tüzelőanyag-nyomás a szívóterben, ezért a szivattyúelem tömített lesz (5. ábra).



5. ábra: Szivattyúelem alternatív tüzelőanyag-használatához

Forrás: a szerző szerkesztése

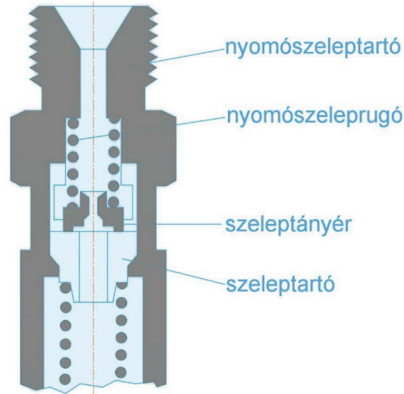
Az adagoló elem által szállított tüzelőanyag a nyomószelepen keresztül a nyomócső segítségével jut el a porlasztóba. A nyomószelep feladata, hogy a nyomócsövet tehermentesítse és egy adott nyomást fenntartson benne, valamint elválassza a befecskendezőszivattyú nagy nyomású terétől. A tehermentesítés a porlasztó gyors zárását biztosítja, és megakadályozza a tüzelőanyag utáncsepegését. A nyomószelep lehet állandó térfogatú szelep-visszaáramlás fojtó nélkül, állandó térfogatú szelep-visszaáramlás fojtóval és állandó nyomású szelep. A visszaáramlás fojtó nélküli állandó térfogatú szelep szárának egy részét tehermentesítő dugattyúként képezik ki, amely az adagoló elem szállításának befejezése után rugóerő hatására a szelepvezetőbe záródik vissza (6. ábra). Mivel a nyomócsőben a térfogat a tehermentesítő dugattyú lökettérfogatával megnő, ezért a nyomás a csőben lecsökken, vagyis létrejön a tehermentesítés.



6. ábra: Állandó térfogatú tehermentesítő szelep

Forrás: a szerző szerkesztése

Az állandó térfogatú szelephez kiegészítésként visszaáramlás-fojtót is lehet kapcsolni, amely károsodást nem okozó szintre csökkenti a fúvóka záródásakor keletkező visszafutó nyomáshullámokat. A visszaáramlás-fojtó az állandó térfogatú szelep és a porlasztó között található (7. ábra). A szeleptestben található furat szállítási helyzetben kinyit, ekkor nincs fojtás, a tüzelőanyag-szállítás végén a szeleprugó a szelepet visszanyomja a szeleplésre, ezért a tüzelőanyagnak a fojtáson kell visszafolynia, ami lecsillapítja a nyomáshullámokat.



7. ábra: Állandó térfogatú tehermentesítő szelep visszaáramlás-fojtóval
Forrás: a szerző szerkesztése

Nagy befecskendezési nyomású szivattyúkhöz alkalmazzák az állandó nyomású szelepet, amely egy szállítási irányú áteresztő és egy visszaáramlás-irányú nyomástartó szelepből áll. Előnye, hogy jobb hidraulikus stabilitást nyújt, valamint megakadályozza a kavitációt.¹¹

A különböző dízelmotorokhoz, a széles körű követelményeknek megfelelően, más típusú és nagyságú befecskendezőszivattyúkat alkalmaznak. A soros befecskendezőszivattyúkat alkalmazási területe sokrétű, többnyire tehergépkocsikon és autóbuszokon alkalmazzák, de megtalálhatók személygépkocsikban, mezőgazdasági gépekben, áramfejlesztő aggregátorokban, hajómotorokban és nem utolsósorban harcjárművekben és harckocsikban is. A soros befecskendezőszivattyúknak két eltérő változata van, az „M” és „A” szivattyúk, valamint az „MW” és „P” szivattyúk.

Az „M” típusú befecskendezőszivattyú a sorozat legkisebb típusa, amelynek csúcnyomása maximum 400 bar. A szivattyút karimás kötéssel rögzítik a belső égésű motorra, nyitott kivitelű, oldalról fedéllel borított kialakítású. A fedél eltávolítása után a szivattyúelemek által szállított tüzelőanyag-mennyiség beállítható.

Az „A” típusú soros befecskendezőszivattyú csúcnyomása 600 bar, amely könnyűfémháza karimás vagy teknőrrögzítéssel van a belső égésű motorhoz rögzítve. A szivattyú nyitott kialakítású, az elemhüvelyt felülről illesztik az alumíniumháza. A szabályozórúd fogasléc kialakítású, amely oldalirányú elmozdításával lehet a ciklusadagot változtatni. A befecskendezőszivattyút legfeljebb 12 hengeres kivitelben készítik, és többféle tüzelőanyag felhasználására alkalmas.

¹¹ Soros dízelbefecskendezőszivattyúk 1996: 6–7.

Az „MW” típusú befecskendezőszivattyú zárt kialakítású, csúcshőmérséklete 900 bar. Legjellemzőbb különbsége az elemcsoport, amelyet a szivattyúházon kívül szerelnek össze, majd felülről helyezik a szivattyúházba, ezáltal egy zárt szivattyúház kialakításra nyílik lehetőség, amelyen nincs szükség oldalfedélre. A szivattyúházat a tömítőerők nem terhelik, ezért nagyobb befecskendezési nyomás előállítására alkalmas. A szivattyú a motorhoz lapos, karimás vagy teknőrogzítéssel szerelhető. Legfeljebb nyolchengeres motorokhoz készítik, és csak gázolaj szállítására alkalmas, amit a motor kenőrendszerébe kötnek.

A „P” típusú soros befecskendezőszivattyúkat magasabb befecskendezési nyomásokhoz alakították ki. A 850 bar maximális csúcshőmérsékletű szivattyúnál az elemhüvely karimás perselyben található. A „P” szivattyúnál a tömítést biztosító erők a házat nem terhelik. A szivattyút legfeljebb 12 hengeres kivitelben készítik, és alkalmas gázolaj mellett egyéb alternatív tüzelőanyag felhasználására is.¹²

Soros hengerelrendezésű motoroknál a befecskendezőszivattyú a motor oldalára van szerelve, meghajtását a vezérműtengelyről vagy közvetlenül a forgattyútengelyről kapja fogaskerekeken keresztül. Az Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsinál a hathengeres soros befecskendezőszivattyú a motor jobb oldalára van szerelve.¹³ A befecskendezőszivattyú a meghajtását az előbefecskendezés-szabályozón keresztül a vezérműtengelyről kapja, kenését a motor kenőrendszere biztosítja. A befecskendezőszivattyúba épített fordulatszám-szabályozó a szivattyúval egy egységet képez.

V hengerelrendezésű motornál a befecskendezőszivattyú elhelyezkedhet a forgattyúház két oldalán (8a. ábra), vagy pedig a két hengerversor között. A két hengerversor között elhelyezett befecskendezőszivattyú lehet V kialakítású (8b. ábra) vagy soros (8c. ábra).

A BTB-80 típusú páncélozott szállító harcjármű motorja „V” hengerelrendezésű 8 hengeres, ahol a „V” kialakítású befecskendezőszivattyú a motor két hengerversora között helyezkedik el. A befecskendezőszivattyú a motor kenőrendszerébe van kötve, így a gázolajjal nem érintkező mozgó elemeinek kenését a motor kenőrendszere biztosítja.¹⁴

A Leopard 2 A4 típusú harckocsi 12 hengeres „V” hengerelrendezésű motorjának befecskendezőszivattyúja „V” kialakítású, amely a belső égésű motor két hengerversora között található. A befecskendezőszivattyú vezérműtengelyét egy centrifugális előbefecskendezés-szabályozón keresztül hajtja meg a belső égésű motor. Fordulatszám-szabályozás csak alapjáraton és a maximális fordulatszámon történik, a kettő közötti fordulatszámon a befecskendezési mennyiség szabályozása a gázpedállal történik.

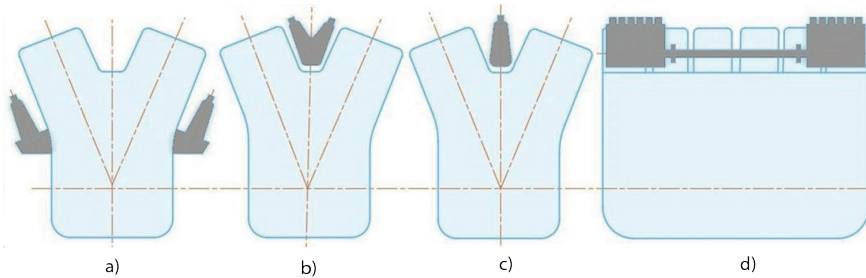
A 8d. ábrán látható megoldásnál az egyik szivattyú szabad tengelyvégéről van meghajtva a második szivattyú. Nem gyakori megoldás, de a padló alatti motorelrendezésnél még alkalmazható. Hátránya, hogy a kettős befecskendezőszivattyú vezérműtengely, valamint a tengelykapcsoló rugalmassága miatt periodikus lengések keletkezhetnek, amik törést okozhatnak.¹⁵

¹² PE és PF típusú (soros) dízelbefecskendezőszivattyúk 1993: 21–23.

¹³ Kézikönyv. Mercedes Benz U 1300 L TCK technikai szolgálati előírásai 2003: 59–60.

¹⁴ A BTR-80 páncélozott szállító harcjármű műszaki leírása és igénybevételei szakutasítása 1994: 287–288.

¹⁵ KOVÁCSHÁZY 1968: 262–263.



8. ábra: Befecskendezőszivattyú elhelyezési módjai V-motoron

Forrás: a szerző szerkesztése

A soros befecskendezőszivattyú alkalmas lehet metanol, etanol és bio-tüzelőanyag (például repceolaj-metilészter) szállítására is. Metanol és etanol esetén különleges tömítéseket és kenőolajat kell használni, védeni kell az alkohol által benedvesített felületeket, valamint rozsdamentes acélból kell a rugókat készíteni. Az egyenértékű energiamennyiség érdekében metanoból 2,3-szor, etanoból 1,7-szer annyi tüzelőanyag kell, mint gázolajból. Repceolaj-metilészter használata esetében nem kell semmilyen jelentősebb nehézséggel számolni.

A forgó dugattyús befecskendezőszivattyú oktatása alapvetően megoldott, mivel nagyon sok tananyag, oktató videó áll rendelkezésre, ez persze köszönhető annak is, hogy ezek a rendszerek már több tíz éve alkalmazásban vannak mind a közúti, mind a Magyar Honvédség gépjárműállományában. A gyakorlati foglalkozás végrehajtásához a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszéke rendelkezik komplett járművekkel (például: Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi), oktató tanalvással (például: BTR-80) vagy pedig külön befecskendezőrendszer-elemekkel, köztük forgó dugattyús befecskendezőszivattyúval is. Az oktatás során nehézségként jelentkezik, hogy a forgó dugattyús befecskendezőszivattyúban található tehermentesítő szelep olyan kicsi méretű, hogy a bemutatás során alig látszik belőle valami (még a T-72 típusú harckocsi motorjának tehermentesítő szelepe is túlságosan kicsi a jó láthatóságához).

Mivel a Haditechnikai Tanszék rendelkezik 3D-nyomtatókkal, amelyekkel műanyag, szálerezősítéses műanyag és fém alkatrészek nyomtatását is végre lehet hajtani, ezért lehetőségként adódott, hogy ezen technológiákat felhasználjam egy oktatást segítő makett előállítására.

A 3D-nyomatás ma már számos technológiai megoldást és az alapanyagok egyre bővülő választékát kínálja, számtalan beállítási lehetőség mellett, amelyek közül a felhasználó a készítenő eszköz elvárt fizikai tulajdonságaihoz igazítva választhatja ki a megfelelő megoldásokat, legyen szó akár polgári, akár katonai alkalmazásokról, prototípus, működő makett (például bolygóműves sebességváltó¹⁶) vagy alkatrészek, termékek legyártásáról.¹⁷

Az oktatási makett előállításához elegendőnek találtam a műanyagból történő kialakítást, ezen belül alapanyagként a PLA-t (polylactic acid, vagyis politejsav) használtam fel. A PLA jó UV-állósággal és rétegtapadással rendelkező merev és erős műanyag, amely tulajdonságai

¹⁶ GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022: 126.

¹⁷ GÁL–NÉMETH 2019.

miatt megfelelő egy oktatási makett előállítására.¹⁸ Mellesleg a PLA mint elterjedt polimer a 3D-nyomatásban, alkalmazhatósága több esetben kérdéses lehet a katonai területen (vegyszerállóság kérdései stb.), de például robbantástechnikai alkatrészek¹⁹ készítésére és oktatási anyagok gyártására ideális és költséghatékony választás. Nem véletlen, hogy például robbanótestek töltetházának méretezésével, illetve a 3D-nyomatás termékeinek alkalmazhatóságával napjainkban is több kísérletet végeznek mind katonai, mind bináris robbanóanyagok vonatkozásában.²⁰

Az oktatási makett megtervezése és a modell megrajzolása az AutoDesk Fusion 360 3D-szoftver segítségével történt, amely szintén rendelkezésre áll a Haditechnikai Tanszéken (9. ábra). A felhőalapú program előnye, hogy a modellalkotás nem kötődik egyetlen számítógéphez, és internetkapcsolat esetén a munka bárhol végezhető, vagyis akár műveleti területen is lehetőség van adott alkatrész megtervezésére,²¹ illetve már a műveleti területen történő nyomtatás kérdése is napirenden van.²² A makett elemeinek nyomtatási beállításai Cura 5.2.1 szeletelő szoftverrel történtek, ahol az alapbeállítások célszerű módosításával, több különféle orientációban, változó kitöltési tényező mellett történtek a nyomtatások. A nyomtatások Ultimaker S3 3D-nyomatóval történtek Ultimaker Tough PLA filamentből 0,1 mm-es nyomtatási rétegfelbontással. A nyomtató alkalmas két különböző filamentszál adagolására és extrudálására, amelyből célszerűen az egyik az alapanyag, a másik pedig a támaszanyag. Támaszanyagként alkalmazható PVA (polivinil-alkohol), ami vízdoldható filamentszál, s a kész nyomtatott termékről víz segítségével könnyen és sérülésmentesen eltávolítható. A maketten azokat az elemeket, ahol támasz alkalmazása szükséges (például: rugóház és nyomószelep), vízdoldható támasszal nyomtattam. Az egybefüggő nyomtatási idő, valamint a könnyebb nyomtatási orientáció miatt a legnagyobb alkatrészt, a rugóházat két részben nyomtattam és ragasztással egyesítettem. A tehermentesítő szelepház bepattanó kötéssel rögzítődik a rugóházhoz, amely megkönnyíti az oktatási makett szét- és összeszerelését, ezáltal az egyes alkatrészek külön-külön is tanulmányozhatók. A bepattanó kötés esetében a nyomtatási orientáció és a nyomtatás kitöltési tényezőjének meghatározása fontos szempont volt. A szelepház nyomtatása célszerűen talpára állítva történt volna, mert ebben a helyzetben a legjobb a forgástest nyomtatása, ekkor tartja a legjobban a pontos geometriát, és a legkevesebb támasztékra is ekkor lenne szükség. Talpára állított helyzetben történő próbanyomtatás eredményeként mind a részleges kitöltés, mind a teljes kitöltés esetén a bepattanó kötés karja olyan gyenge szilárdsággal rendelkezett, hogy már a támaszték eltávolítása során megsérült, és tényleges kötésellenőrzést sem lehetett megvalósítani vele. A tehermentesítő szelepházát PLA alapanyagból ferde helyzetben nyomtattam saját anyagos alátámasztás alkalmazásával, 100%-os kitöltési tényező mellett. A kész elemről az alátámasztás könnyen eltávolítható volt, és a geometria mérete és formája elfogadható minőségű volt. Csekély utólagos megmunkálásra

¹⁸ KOVÁCS 2023.

¹⁹ ÁDÁM–EMBER 2022a: 105–110; ÁDÁM–EMBER 2022b: 40–44.

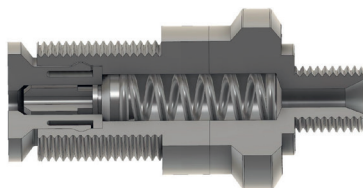
²⁰ DARUKA 2023: 18.

²¹ GÁVAY 2023: 217.

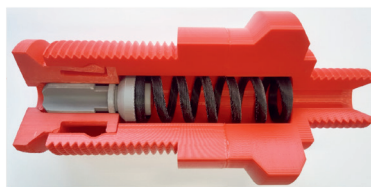
²² VÉGVÁRI 2023: 181.

volt szükség, a kimetszés két oldalát kellett megcsiszolni,²³ aminek nem funkcionális, hanem inkább esztétikai jelentősége volt.

A rugó nyomtatását több alapanyagból valósítottam meg, egyrészt Ultimaker S3 3D-nyomtatóval Ultimaker Tough PLA filamentből, valamint Markforged Onyx Pro kompozit nyomtatóval Onyx alapanyagból, ahol a mikroszénszál-erősítés az Onyx alapanyag szilárdságát tovább növeli.²⁴ Nyomtatási orientációt tekintve a fektetett helyzetű nyomtatás során a rugószemek azonnal elpattantak, az állítva történő nyomtatásnál viszont a rugó viselkedése egy fémrugóéhoz hasonló. Az anyag megválasztása és a nyomtatási paraméterek pontos meghatározása kulcsfontosságú az alkatrészek megfelelő minőségének elérése és a technológia tulajdonságából adódó hibák elkerülése érdekében.²⁵ A 10. ábrán látható összeszerelt oktatási makettbe az Onyx anyaggal nyomtatott rugót szereltem be.



9. ábra: Tehermentesítő szelep oktatási makettjének számítógépes modellje
Forrás: a szerző szerkesztése



10. ábra: Tehermentesítő szelep oktatási makettjének 3D-nyomtatással előállított modellje
Forrás: a szerző szerkesztése

Összefoglalás

A jelen kor dízelüzemű gépjárműveinél egyre nagyobb mértékben terjednek a Common Rail befecskendezési rendszerek, ugyanakkor a haditechnikában és ezen belül a Magyar Honvédség harc- és gépjárműtechnikájában még jelen vannak a soros típusú, forgó dugattyús befecskendezési rendszerek is. A cikk összefoglalta a befecskendezési rendszerek szabályozási feladatait, valamint a forgó dugattyús befecskendezőszivattyúk felépítését, működését és főbb jellemzőit. A cikk bemutatta egy oktatást segítő makett (tehermentesítő szelep) 3D-nyomtatási technológiával történő előállítási lehetőségét.

²³ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023b: 58.

²⁴ HEGEDŰS 2023: 62–66.

²⁵ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023a: 49–55.

Felhasznált irodalom

- A BTR–80 páncélozott szállító harcjármű műszaki leírása és igénybevételi szakutasítása (1994). I. kötet. [H. n.]: MH.
- A dízel-befecskendezés áttekintése (1992). Budapest: OMIKK.
- ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022a): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(4), 101–111. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6>
- ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022b): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- BÖDŐK Zsigmond (2005): *Magyar feltalálók a közlekedés történetében*. Dunaszerdahely: Nap.
- Common Rail befecskendezőrendszerek* (2004). Budapest: Halmaz Kft.
- DARUKA Norbert (2023): Érzéketlen robbanóanyagok I. – Célkeresztben a TNT és a Composit B kiváltása. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(2), 5–21. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.2.1>
- DEZSÉNYI György – EMŐD István – FINICHIU Líviu (1992): *Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata*. Budapest: Tankönyvkiadó.
- JUREK Aurél (1963): *Automobilok*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- KOVÁTS Miklós – NAGYSZOKOLYAI Iván – SZALAI László (2005): *Dízel befecskendezőrendszerek*. Budapest: Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft.
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GÁVAY György Viktor (2023): Logisztikai járművek alkatrészpótlása 3D nyomtatási technológia alkalmazásával. *Katonai Logisztika*, 31(3–4), 208–232. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó. Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- HEGEDŰS Ernő (2023): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei. I. rész. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.4.12>
- JUREK Aurél (1961): *Belsőégésű motorok*. Budapest: Tankönyvkiadó.
- Kézikönyv. Mercedes Benz U 1300 L TKG technikai szolgálati előírásai* (2003). Nytszám: 5/375. [H. n.]: Magyar Honvédség Páncélos- és Gépjárműtechnikai Szolgálatfőnökség.
- KOVÁCS Zoltán (2023): 3D nyomtatás és felhasználása a katonai robbantástechnika oktatásában. In DARUKA Norbert – EMBER István – KOVÁCS Zoltán Tibor (szerk.): *II. Fúrás-Robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 94–103.
- KOVÁCSHÁZY Ernő (1968): *Nehéz diesel-motorok*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- PE és PF típusú (soros) dízelbefecskendezőszivattyúk* (1993). Budapest: OMIKK.
- Soros dízelbefecskendezőszivattyúk* (1996). Budapest: OMIKK.
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 31(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023a): A 3D nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei. II. rész. 3D-s nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságai minőségjavításának lehetőségei. *Haditechnika*, 57(1), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023b): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei. III. rész. A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>