

Pregabalin enantiomerek viselkedésének vizsgálata

Investigation of the behaviour of pregabalin enantiomers

BÁNHEGYI Dorottya Fruzsina¹, Dr. FOGASSY Elemér¹, Dr. PÁLOVICS Emese¹

¹BME Szerves Kémia és Technológia Tanszék, H-1111 Budapest, Budafoki út 8,
tel: +36-1-463-2101, fax: +36-1-463-3648

Abstract

The behavior of pregabalin enantiomers obtained by resolution of the free γ -amino acid, racemic pregabalin (PGA) was investigated in the process of the resolution via diastereomeric salt formation. Various resolution methods, purification possibilities of the enantiomeric mixtures, the effect of the achiral compound, the crystallization time of the diastereomeric salt, and the effect of the solvent on the resolution were studied. Summarizing our experimental results, we can establish that the resolution of pregabalin is affected by kinetic control, and significant enantiomeric enrichment can be reached with the replenishment of the diastereomeric salt.

Kivonat

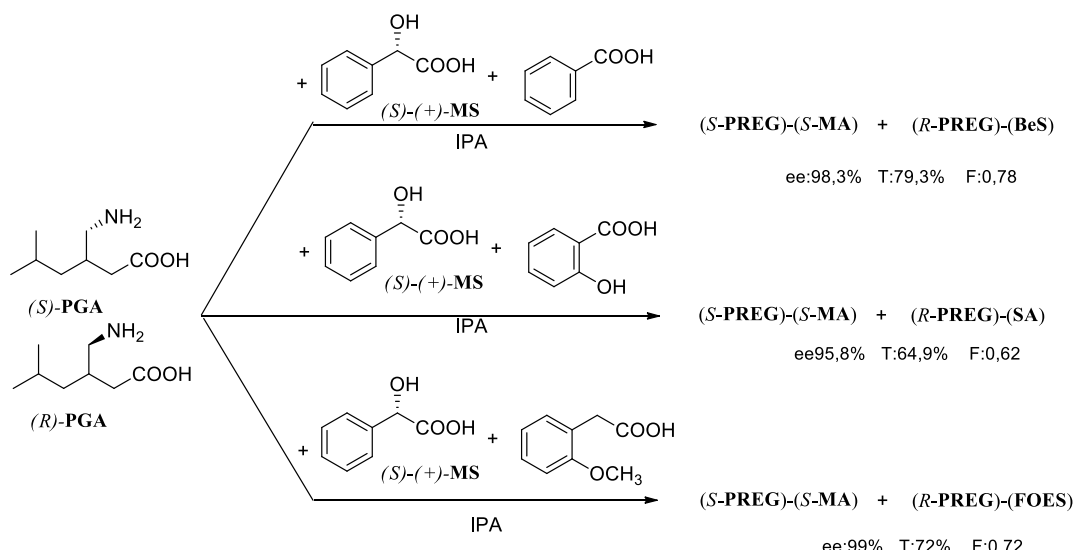
A szabad állapotú γ -aminosav, a racém pregabalin (PGA) resolválásával előállított enantiomerek viselkedését vizsgáltuk a diasztereomer sóképzéses resolválás folyamataiban. Tanulmányoztuk a különböző resolválási módszereket, az enantiomerkeverékek tisztítási lehetőségeit, az akirális hozzátétek, a diasztereomer só kristályosítási idejének valamint az alkalmazott oldószernek a hatását a resolválhatóságra. Kísérleteink eredményeit összegezve megállapítható, hogy a pregabalin resolválását kinetikus kontrol befolyásolja, és a diasztereomer visszapótlásával szignifikáns enantiomerdúsítás érhető el.

Kulcsszavak: resolválás, diasztereomer sóképzés, optimalizálás, enantiomer-tisztaság, diasztereomer visszapótlás

1. BEVEZETÉS

A királis, enantiomertiszta vegyületek gazdaságos elválasztása iránt egyre nagyobb az érdeklődés mind tudományos mind pedig ipari szempontból. A farmakológiailag hatásos vegyületek többsége királis, ezért a gyógyszeriparnak a kedvezőbb terápiás hatással rendelkező izomert kell előállítani a szintézisek során keletkező racém vegyületből. Az FDA 1992-es rendelete alapján racém hatóanyag előállítása esetén az enantiomerek farmakokinetikai és farmakodinámiai hatását is vizsgálni kell annak érdekében, hogy az eltérő indikációkra, vagy az esetleges toxikus mellékhatásokra fény derüljön. [1] Ebből kifolyólag az új resolválóágensek kutatása és a hatékony resolválási eljárások kidolgozása kellőképpen indokolt. A szabad állapotú aminosavak resolválása nagy kihívás a kutatók számára. Kutatómunkánk során egy szabad állapotú γ -aminosav (PGA) elválasztására kidolgozott, ismert eljárás helyett, a szokásos elválasztásokhoz hasonló eljárás kialakításának lehetőségeit vizsgáltuk. Emellett a racém mandulasav (MS) és a racém orto-klórmandulasav (2-CI-MS) különböző diasztereomer sóképzéses resolválási módszereit kutattuk. [2],[3] Célunk volt továbbá különféle resolválóágensek keverékek összehasonlítása a resolválhatóság javítása érdekében.

Tanulmányozva a pregabalin szabadalom szerinti resolválását, úgy véltük, hogy a reakció nagy anyagigénye miatt célszerű lenne egy molnyi (*S*)-mandulasavat valamely más aromás akirális karbonsavval helyettesíteni (1. ábra). [4] A választásunk a benzoészav, szalicilészav és metoxifenilészav rokon molekulaszervezetű, azonos kémiai karakterű, akirális hozzátétekre esett.

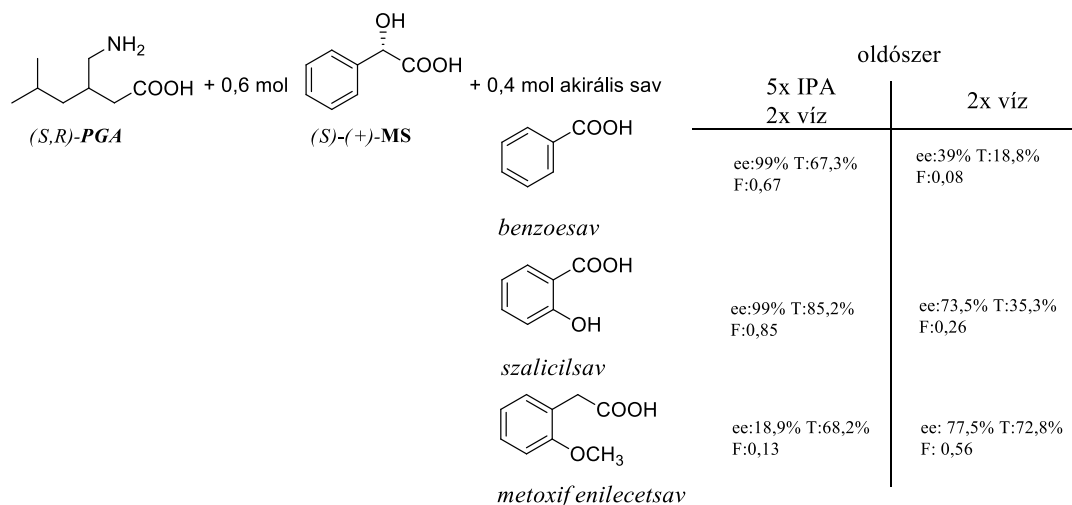


1. ábra

Akirális hozzátétek alkalmazása – Pope és Peachy módszere

Hasonlóan jó eredményeket kaptunk ezeknél a resolválásoknál, mint a szabadalom szerinti resolválás esetében.

A továbbiakban azt vizsgáltuk, hogy az oldószerváltás milyen mértékben befolyásolja a resolválhatóságot. Ugyanazon akirális hozzátétekkel dolgozva tovább, a reakciókat először ötszörös mennyiségű izopropil-alkohol és kétszeres mennyiségű víz elegyében, majd pedig kétszeres mennyiségű vízben végeztük (2. ábra).



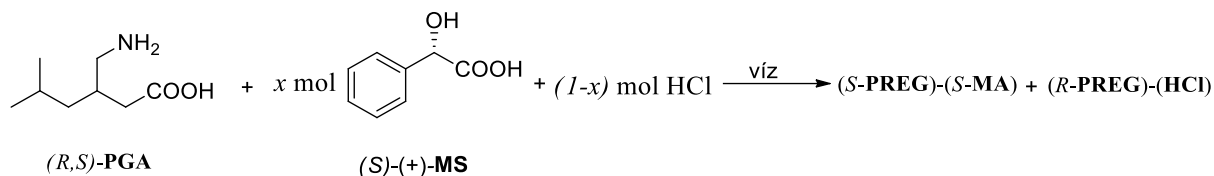
2. ábra

A racém pregabalin resolválása akirális hozzátétek alkalmazásával – izopropil-alkohol víz elegyében és vízben

A benzoesav és szalicilsav alkalmazása esetén többszöri újraszolválás nélkül, valamint a kapott diasztereomer só átkristályosítása nélkül is sikerült tiszta enantiomert elkülöníteni. Megállapítottuk, hogy az (S)-mandulasavat 0,6 molekvivalens mennyiségben alkalmazva jobb elválasztás érhető el, mint félekvivalens mennyiség esetén. A metoxifenilecetsav akirális sav esetén, érdekes módon vízben magasabb enantiomertisztaság érhető el, mint izopropil-alkohol víz elegyében. Az eredeti US 5637767 számú szabadalomhoz képest az izopropil-alkohol mennyiségét tizedére csökkentve, a 1,5 molekvivalensnyi (S)-mandulasav helyett 0,6 molekvivalensnyit felhasználva, amit 0,4 molekvivalensnyi akirális aromás karbonsavval egészítettünk ki, lényegesen gazdaságosabbá tudtuk tenni a tiszta (S)-pregabalin enantiomer előállítását.

2. A RESZOLVÁLÁSRA HATÓ KÖRÜLMÉNYEK

Miután az akirális aromás karbonsavak hozzátétként való alkalmazásával eredményes reszolválásokat értünk el, feltételeztük, hogy kedvező akirális sav lehet a sósav is (3. ábra). Emellett párhuzamosan vizsgáltuk a diasztereomer kristályosodási idejének, az oldószer mennyiségének, a pH-nak valamint az ultrahangnak a hatását a reszolválás eredményére.



3. ábra

Pregabalin reszolválása (S)-mandulasavval HCl alkalmazásával – általános képlet

A diasztereomer kristályosodására két napot hagyva racém elegyet eredményezett a fél molekvalensnyi (S)-mandulasav alkalmazása. Amennyiben a diasztereomer kristályokat 10 perc várakozás után szűrtük igen szerény eredményt kaptunk, míg ha azonnal szűrtük őket a diasztereomer sóból kapott enantiomer tisztasága 84,4%, a termelés 94,7%-os. A kísérleteink alapján megállapítható, hogy a pregabalin reszolválásának végeredményét a kinetikus kontrol befolyásolja. Úgy tapasztaltuk, hogy az ultrahang a diasztereomer só kiválását segítette és azt találtuk, hogy azon reszolválások esetén, melyeknek a kinetikus kontrol kedvez a diasztereomer só összetételét az ultrahang stabilizálja, nem engedi a termodinamikai kontrol kialakulását. A gyorsan kicsapódó diasztereomer só szűrésével és megbontásával nagyon tiszta enantiomerhez juthatunk. Továbbá megállapítottuk, hogy a reszolválás ideális pH-ja 6.

Kinetikus kontrol vizsgálata

1. táblázat

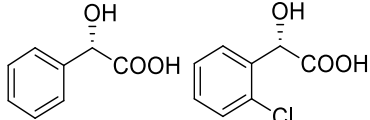
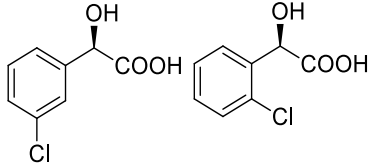
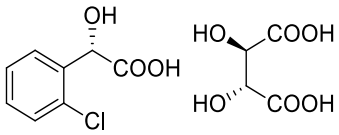
Kísérleti eredmények a kristályos kiválásból				
(S)-MS [mol]	idő	ee ^a [%]	T ^b [%]	F ^c
0,5	<1 perc	84,4	94,7	0,8
	10 perc	84,6	22	0,19
	2 nap	-	64	-

^a Az enantiomerkeverék és a tiszta enantiomer azonos körülmények között mért fajlagos forgatóképességének hányadosából számított érték. ^b A termelést a megfelelő enantiomer teljes mennyiségére, vagyis a racém vegyület mennyiségének felére vonatkoztatva számítottam. ^c A reszolválhatóság, vagy F-faktor, a termelés és az enantiomertisztaság szorzatából számítható.

3. HOLLAND RESZOLVÁLÁS

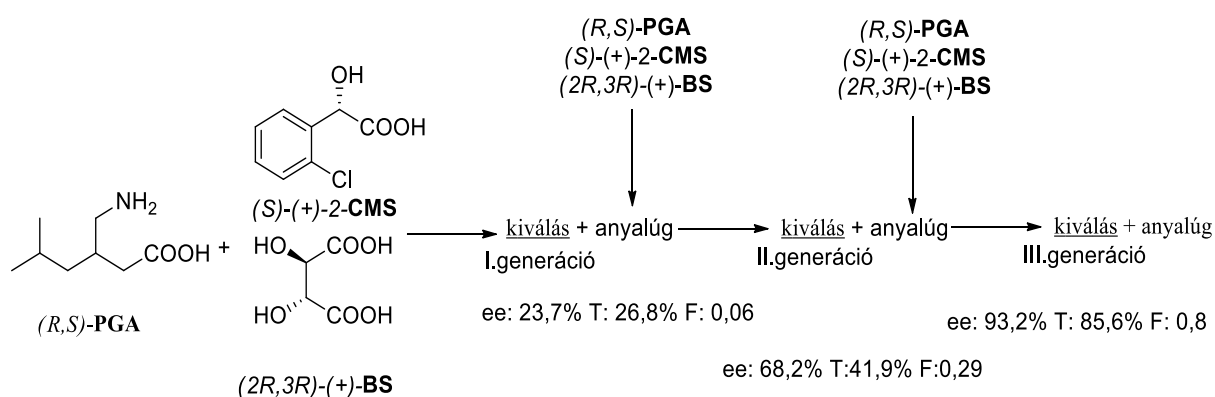
Holland kutatók felismerték, hogy bizonyos esetekben jobb elválasztás érhető el, ha a reszolválóágensek (főleg rokon molekulaszervezetű) keverékével reagáltatjuk a racém vegyületet, mint ha külön-külön alkalmaznánk őket. Sokszor ezen reszolválóágensek önmagukban alkalmatlanok a diasztereomer sóképzésre, viszont a szerkezetileg hasonló reszolválóágensek kölcsönhatása a diasztereomer sóképzést elősegíti, ezáltal szignifikánsan javítható a reszolválhatóság. [5],[6],[7] Mindezek alapján különböző összetételű reszolválóágensek keverékekkel is megkíséreltük a pregabalin reszolválását. Azt is kipróbáltunk, hogy ezen arányok változtatásával milyen eredményt érünk el.

A 2. táblázatból kitűnik, hogy az (S)-mandulasav, (S)-2-klórmandulasav esetén a 9:1 arány bizonyult a leghatékonyabbnak félekvalens mennyiségben alkalmazva, de szerényebb eredményt ad, mint a tiszta (S)-mandulasavval történő reszolválás. Az (R)-3-klórmandulasav és (R)-2-klórmandulasav ugyancsak 9:1 arányú keverékével 93,2%-os enantiomertisztaságot sikerült elérni, ebben az esetben az (R)-pregabalint vált ki a diasztereomer sóban.

R*R**	R* : R**	kiválásból	anyalúgból
 (S)-(+)-MS (S)-(+)-2-CMS	0,25 : 0,25 0,16 : 0,33 0,45 : 0,05	ee: 0,6% T: 15,7% F: 0,001 ee: 55,2% T: 30,6% F: 0,17 ee: 48,7% T: 102,4% F: 0,5	ee: 4,7% T: 32,5% F: 0,02 ee: 65,6% T: 15,2% F: 0,1 ee: 27,4% T: 30,2% F: 0,09
 (R)-(-)-3-CMS (R)-(+)-2-CMS	0,45 : 0,05	ee: 93,2% T: 39,2% F: 0,37	ee: 11,9% T: 9,8% F: 0,01
 (S)-(+)-2-CMS (2R,3R)-(+)-BS	0,45 : 0,05	ee: 93,2% T: 85,6% F: 0,8	ee: 20,1% T: 68,2% F: 0,14

4. A DIASZTEREOMER VISSZAPÓTLÁSA – OPTIMALIZÁLÁS

A 2. táblázatban feltüntetett utolsó reszolválás eredménye már egy optimalizált eredmény, melyet úgy értünk el, hogy a kivált diasztereomerrel ekvivalens mennyiségű reszolválóagenst (*S*)-2-klórmandulasavat és (2*R*,3*R*)-borkősavat) pótolunk vissza az anyalúgba (4. ábra).



4. ábra:

A diasztereomer visszapótlása

A visszapótlást kétszer ismételtük meg, így a kivált diasztereomer sók megbontása után megkaptuk az első, a második és a harmadik generációs (*S*)-pregabalin kristályokat. A harmadik generációs kristályok az elsőhöz képest több mint háromszor tisztább (ee₁: 23,6%, ee₃: 93,2%), így megállapítható, hogy ezzel a módszerrel szignifikáns enantiomerdúsítást sikerült elérnünk. A reszolválhatóságot több mint tízszeresére javítottuk, mindeközben a termelés is háromszorosára növekedett. Úgy gondoljuk ez a módszer a későbbiekben akár egy folyamatos technológia alapját is képezheti.

5. KONKLÚZIÓ

Összesítve tapasztalatainkat a pregabalin enantiomerek viselkedésének vizsgálatában megállapítottuk, hogy a rezolválás során kinetikus kontrol érvényesül, a diasztereomer sókat hosszabb ideig kristályosítva az enantiomerkeverék tisztasága csökken. Az US 5637767 számú szabadalom szerinti eljárást izopropil-alkohol:víz elegyében és vízben is sikerült hasonlóan jó eredménnyel megvalósítani, illetve módosítva az említett eljárást 1,5 molekvivalensnyi (*S*)-mandulasav helyett 0,6 molekvivalensnyi (*S*)-mandulasav és 0,4 molekvivalensnyi akirális aromás rokon molekulaszervezetű karbonsav (benzoesav, szalicilsav, metoxifenilecetsav) alkalmazása mellett tiszta enantiomert állítottunk elő. Különböző összetételű és arányú rezolválóagens keverékekkel (Holland rezolválás) is megkíséreltük a pregabalin rezolválását, ezen kívül szignifikáns enantiomerdúsítást sikerült elérnünk a diasztereomer só visszapótlásával, optimalizálva a Holland rezolválás eredményét.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] “FDA’S policy statement for the development of new stereoisomeric drugs,” *Chirality*, vol. 4, no. 5, pp. 338–340, 1992.
- [2] F. Faigl, E. Fogassy, M. Nógrádi, E. Pálovics, and J. Schindler, “Strategies in optical resolution: a practical guide,” *Tetrahedron Asymmetry*, vol. 19, no. 5, pp. 519–536, 2008.
- [3] E. Fogassy, M. Nógrádi, D. Kozma, G. Egri, E. Pálovics, and V. Kiss, “Optical resolution methods,” *Org. Biomol. Chem.*, vol. 4, no. 16, pp. 3011–3030, 2006.
- [4] S. J. P. William Jackson Pope, “The Application of Powerful Optically Active Acids to the Resolution of Externally Compensates Basic Substances. Resolution of Tetrahydroquinoline,” *J. Chem. Soc.*, vol. 75, no. 18, pp. 1066–1093, 1899.
- [5] R. M. Kellogg, B. Kaptein, and T. R. Vries, “Dutch resolution of racemates and the roles of solid solution formation and nucleation inhibition,” *Top. Curr. Chem.*, vol. 269, no. January, pp. 159–197, 2006.
- [6] E. Pálovics, L. Bereczki, K. Marthi, G. Pokol, F. Faigl, and E. Fogassy, “Solvent dependency though not solvate formation in the derivative-derivative resolution of N-formylphenylalanine,” *Tetrahedron Asymmetry*, vol. 18, no. 21, pp. 2531–2536, 2007.
- [7] R. M. Kellogg *et al.*, “Dutch Resolution: Separation of enantiomers with families of resolving agents. A status report,” *Synthesis (Stuttg.)*, 2003.

Gumialapú pirolízis tüzelőanyag injektorokra gyakorolt hatásának komplex értékelése

Complex evaluation of the effect of tire-based pyrolyzed fuel on injectors

KONDOR István Péter

Neumann János Egyetem GAMF Kar Járműtechnológia Tanszék, H-6000 Kecskemét Izsáki út 10. Magyarország, kondor.peter@gamf.uni-neumann.hu

Abstract

In addition to the many positive properties of motorization, transport also has many negative effects in our daily lives. These include the significant amount of tire waste generated annually by the transport industry, which needs to be recycled in some way to protect our environment. Pyrolysis of waste tires is an increasingly common method of recycling. The properties of the fuel obtained in this way are different from those of commercially available fuels. In this work, a comprehensive complex study of the effects of tire-based pyrolyzed oil on injection injectors is presented.

Keywords: rubber-based pyrolysis oil, injection, simulation, injector

Összefoglalás

A közlekedés mindennapi része életünknek a motorizáció számos pozitív tulajdonsága mellett nagyon sok negatív hatás is keletkezik. Ezek közé sorolható a közlekedésipar által évente termelt jelentős mértékű gumihulladék, amelyet környezetünk védelme érdekében valamilyen módon újra kell hasznosítani. A hulladékgumi pirolízise egyre szélesebb körben elterjedt módszer az újrahasznosításra. Az ilyen módon nyert tüzelőanyag tulajdonságai eltérnek a kereskedelmi forgalomban kapható tüzelőanyagokétól. Ebben a munkában a gumialapú pirolízis olaj befecskendező injektorokra gyakorolt hatásainak átfogó komplex vizsgálata kerül bemutatásra.

Kulcsszavak: gumialapú pirolízis olaj, befecskendezés, szimuláció, injektor

1. BEVEZETÉS

A XXI század első felének egyik fontos kérdése, hogy a motorizáció növekvő energiaigényét hogyan tudjuk környezetbarát, fenntartható módon megoldani. Erre jó lehetőséget kínálnak az alternatív hajtóanyagok [1], közöttük az újrahasznosított termékek. A gumialapú pirolízis tüzelőanyag dízelmotor befecskendező injektoraira gyakorolt hatásának átfogó komplex vizsgálatához szükség van a saját szimulációkon és méréseken kívül más ezzel a témakörrel foglalkozó publikációk eredményeinek az értékelésére is. A szimulációkkal elvégzett kísérletek eredményeit csoportba sorolom, és paramétercsoportokat képezek. Az eredmények felhasználásával a célom, hogy új szemléletet vagy módszert adjak a gumialapú pirolízis olaj injektorokra gyakorolt hatásainak értékelésére. A publikációban bemutatom a paraméterek értelmezését, azok csoportba rendelését és ezek segítségével a vizsgált gumialapú pirolízis tüzelőanyag befecskendező injektorok üzemére gyakorolt hatásának holisztikus értékelését [2][10][11].

2. A VIZSGÁLT TÜZELŐANYAGOK BEMUTATÁSA

Az összehasonlító vizsgálatoknál alkalmazott referencia tüzelőanyag a töltőállomásokon beszerezhető gázolaj, amelynek a legfontosabb paraméterei az 1. táblázatban láthatóak [3]. A gumialapú pirolízis olaj vagy angol nevén TPO (Tire Pyrolysis Oil) egy új típusú hulladékalapú tüzelőanyag, amelyet hulladék gépjármű gumiabroncsokból pirolízis útján nyernek. A gumiabroncsból nyert pirolízis olaj magas bruttó fűtőértékkel rendelkezik (41-44 MJ/kg) ezért megfelelő keverési arányban jól felhasználható lehet belsőégésű motorokban [4]. A hulladékgumit aprítás után 300-500 Celsius fokon pirolizálják amely eljárás során 34% olaj és 56%

melléktermék keletkezik amely gázt is tartalmaz, így a pirolizátor fűtésére hasznosítható [5]. Az összehasonlíthatóság miatt a két tüzelőanyag tulajdonságai egymás mellett kerültek felsorolásra. Jól látható, hogy a legtöbb érték közelít egymáshoz. Látható, hogy a pirolízis olaj víztartalma magasabb a gázolajéhoz képest, illetve aromás tartalma is magasabb, ezek a tényezők növelik az emissziós értékeket. A másik két nagy eltérés, hogy a pirolízis olaj magas kén-tartalommal rendelkezik, ez szintén az emissziós értékeket rontja a gázolajhoz képest. A Cetán-index alacsonyabb a pirolízis olaj esetén, amely alacsonyabb szén-hidrogén jelenlétet jelent. Felhasználásból eredő problémákat okozhatna a hidegszűrhetőség dermedéspontja, hiszen az 20° C körül alakul, de itt nagy valószínűséggel az adalékolás hiánya a probléma okozója [11] [12].

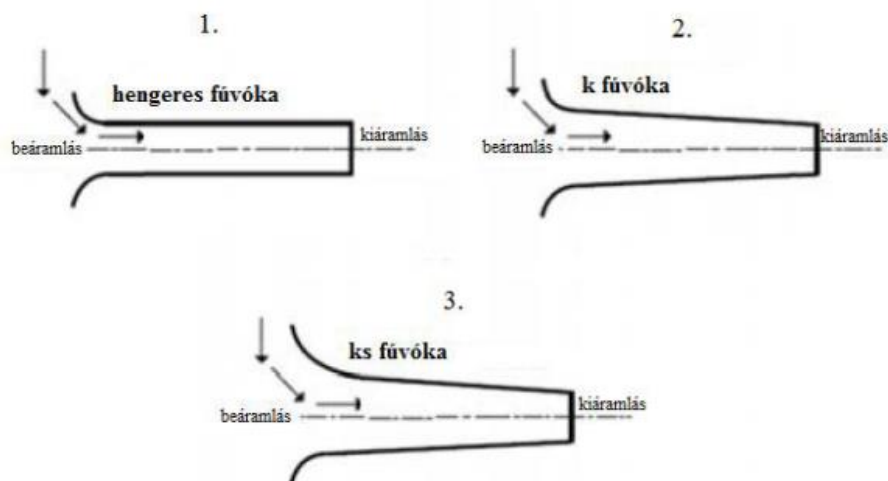
Tüzelőanyag tulajdonságok [3]

1. táblázat

Tüzelőanyag	Gázolaj	Pirolízis olaj
Sűrűség [kg/m ³]	830	920
Víztartalom [mg/kg]	30	118
Sztöchiometrikus arány	14,7	13,8
Sztöchiometrikus keverékek energia tartalma [MJ/kg]	2,74	2,89
Aromás tartalom [% m/m]	26	39,3
Kinematikus viszkozitás [mm ² /s]	2,54	3,22
Dinamikus viszkozitas [Ns/m ²]	0,00214	0,00296
C-tartalom [% m/m]	87	84
H-tartalom [% m/m]	13	10
N-tartalom [% m/m]	–	0,6
S-tartalom [% m/m]	0,001	0,96
O-tartalom [% m/m]	–	2
Cetán-index	53,2	28,6
Hidegszűrhetőség [°C]	0	20

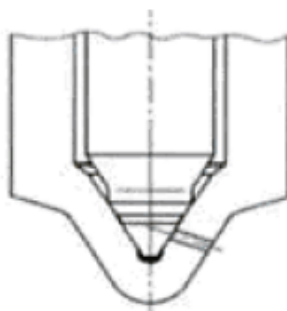
3. A VIZSGÁLT INJEKTOR TÍPUSOK BEMUTATÁSA

A szimulációk során, közös nyomócsöves dieselmotorokban napjainkban széles körben alkalmazott solenoid tekercses Common rail befecskendező injektorok kerültek megvizsgálásra. A fűvóka geometriák kialakítása közvetlenül hatással van a hengeren belüli keveredésre. Többfajta típus terjedt el. A vizsgálat során a szakirodalomban található típusok kerülnek megvizsgálásra [6] [7]. A különböző típusok az 1. ábrán láthatóak.



1. ábra Common rail befecskendező injektorok típusai

A vizsgálathoz VCO fűvókatér kialakítással rendelkező injektor (2. ábra) került kiválasztásra [8]. A VCO fűvókatér előnye, hogy a fűvókatér alatt lévő zsákfuratban maradó tüzelőanyag nem kerül be az égéstérbe, az égésben nem vesz részt. Abban az esetben, ha bejutna a zsákfuratban maradó tüzelőanyag, az tovább növelné a szén-hidrogén emissziót. Az emissziós értékek megszorításával már ezek a fűvókák használatosak manapság.



1. ábra VCO fűvókatér

A szimulációk során a hengeres a ks és egy a gyártástechnológia jelenlegi fejlettsége miatt még egy elméleti kialakítás. A konfúzoros ks-fűvókaéhoz hasonlóan először egy konfúzoros kialakítást követ, majd a fűvóka egy adott hosszánál diffúzorosra vált. Ezt a fűvókatípus a szakirodalom ksd-fűvókanak említi, azaz konfúzoros-diffúzorosnak. Ötvözi a hengeres- és ks-fűvóka előnyeit. A hengeres kialakításhoz hasonlóan jó keveredést biztosít, ugyan kavitáció létre jön, de sokkal kisebb mértékben, mint a hengeres-fűvókanál, a szakirodalom vizsgálatai szerint egy jól működő kialakítás, az elméleti alapot a szimulációk során is beváltotta. A jövőben mindenképpen el fog terjedni a ksd fűvóka kialakítás, az előzőekben említett pozitív tulajdonságai révén. A fűvóka kúposága k faktossal határozható meg, amely az alábbi összefüggéssel számítható:

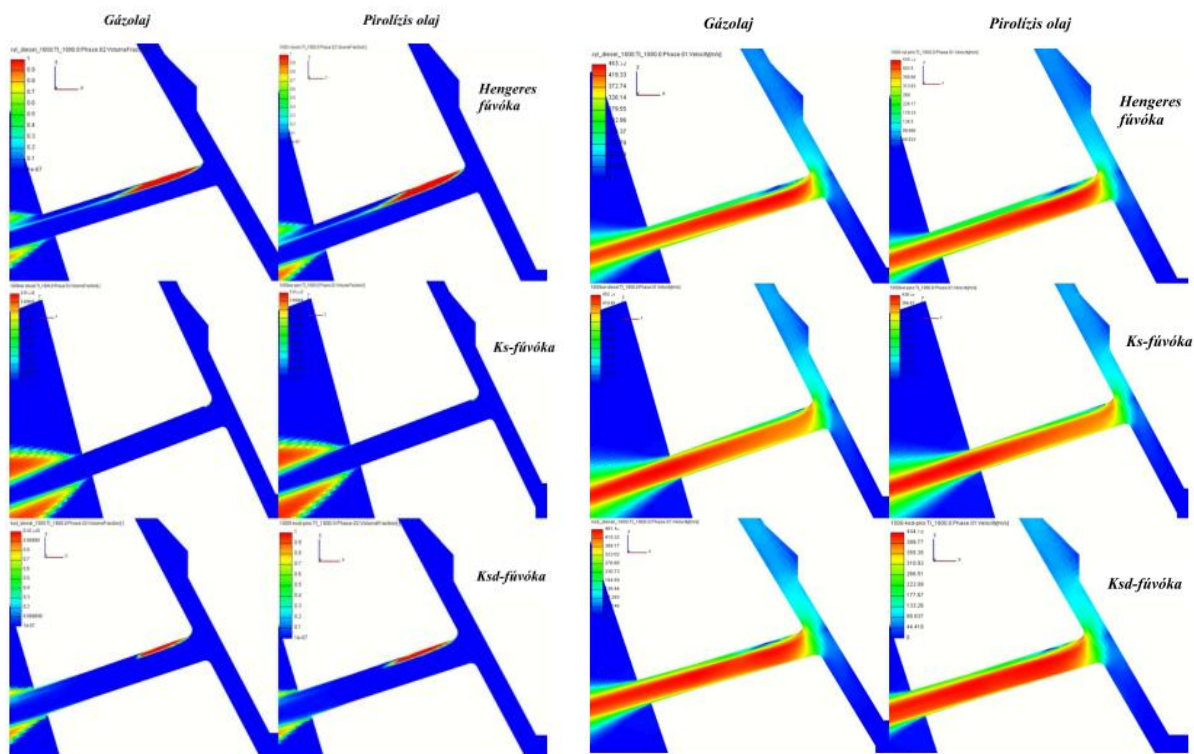
$$k = \frac{D_i - D_o}{10} \text{ [}\mu\text{m]}. \quad (1)$$

A képletbe a bemeneti átmérőt és a kimeneti átmérőt kell behelyettesíteni, ez adja meg a fűvóka k -faktorát [7]. Hengeres fűvóka esetén a k -faktor minden esetben 0. A ks- és ksd-fűvókák esetén ez már egy nullánál nagyobb érték [9].

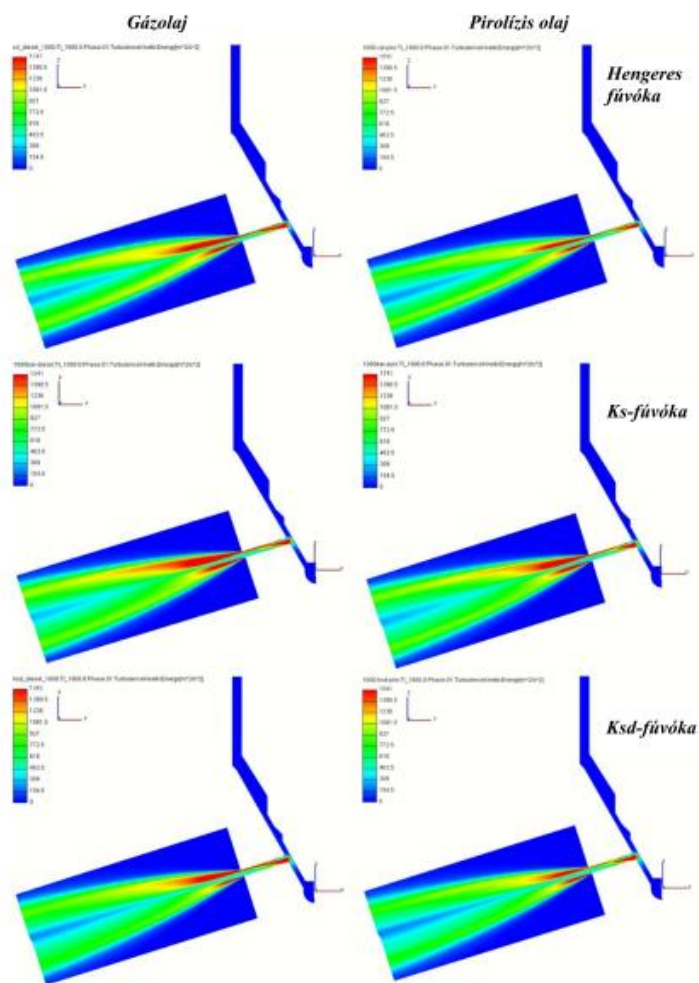
4. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

A szimulációk AVL-Fire szoftverben kerültek futtatásra úgy, hogy a vizsgálatok során gázolaj, gumialapú pirolízis olaj és pirolízis olaj gázolaj keverékek (10 tf% TPO – 90 tf% diesel, 20 tf% TPO – 80 tf% gázolaj) kerültek bevizsgálásra. A tesztek 350 bar (alapjáratnyi nyomásérték) és 1000 bar (közepes motorterhelési nyomásérték) nyomásokon lettek elvégezve. A publikációba az 1000 bar nyomásértékű eredményekkel lett elvégezve az értékelés. A keverés mértékét a gázolaj bio-tartalmának százalékos értékeiből kiindulva lett kialakítva [9]. A jelenlegi helyzetben Magyarországon az előírások szerint a B7 és B10 jelű gázolajok vannak kereskedelmi forgalomban a közúti gépjárművek számára. A B7 jelű gázolaj legfeljebb 7 tf% bio-tartalommal rendelkezhet, míg a B10 jelű legfeljebb 10 tf% bio-tartalommal rendelkezhet. Ezek alapján egy 90 tf% gázolaj és 10 tf% pirolízis olaj tartalmú keverékű tüzelőanyag kialakítása került sorra, illetve egy 20 tf% tartalmú pirolízis olajos koncentrátum is. A tüzelőanyag gőzfázis és a folyadékfázis sebesség alakulását az 5. és a 6. ábra szemlélteti [7][9]. Érdekes eredményt mutat a kinetikus energia alakulása a hengeres fűvóka sugárképében. A sugár asszimmetrikus, de a pirolízis olajos koncentrátumok esetében magasabb TKE alakul ki a sugár alsó felében, mint a tiszta pirolízis olajnál [9]. A magasabb érték pedig jelzi, hogy a sugárban nagyobb nyíróerők jönnek létre a tüzelőanyag és levegő keveredésénél, a cseppbomlás jó értéket diktál, amely az égés és az emisszió szempontjából feltétlenül fontos [8]. A nagyobb gázolaj térfogatszázalék alapján nem meglepő az eredmények alakulása, elsősorban a 10 tf% pirolízis olaj keverék mutat magasabb energiaszintet [9]. A kinetikus energia alakulását a 4. ábra szemlélteti.

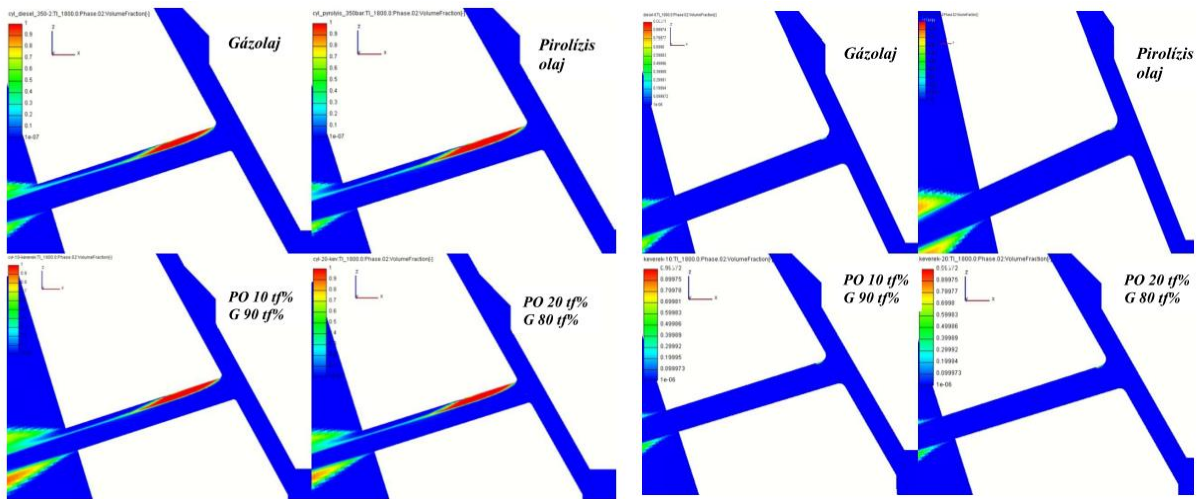
A tüzelőanyag gőzfázis és a folyadékfázis sebesség alakulását a 3. ábra szemlélteti [7][9]. Érdekes eredményt mutat a kinetikus energia alakulása a hengeres fűvóka sugárképében (4. ábra). A sugár asszimmetrikus, de a pirolízis olajos koncentrátumok esetében magasabb TKE alakul ki a sugár alsó felében, mint a tiszta pirolízis olajnál [9]. A magasabb érték pedig jelzi, hogy a sugárban nagyobb nyíróerők jönnek létre a tüzelőanyag és levegő keveredésénél, a cseppbomlás jó értéket diktál, amely az égés és az emisszió szempontjából feltétlenül fontos [8]. A nagyobb gázolaj térfogatszázalék alapján nem meglepő az eredmények alakulása, elsősorban a 10 tf% pirolízis olaj keverék mutat magasabb energiaszintet [8]. A kinetikus energia alakulását a 9. és a 10. ábra szemlélteti.



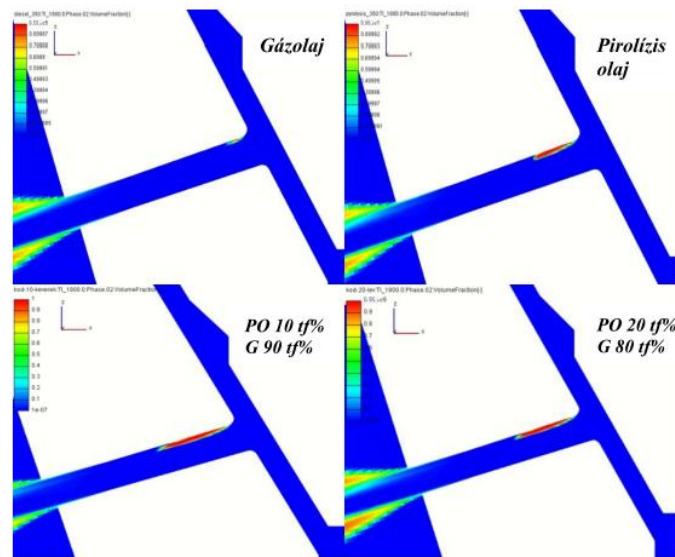
2. ábra 1000 bar Rail nyomás gőzfázis és folyadékfázis sebességek gázolaj és pirolízis olaj esetén



3. ábra Turbulens kinetikus energia alakulása

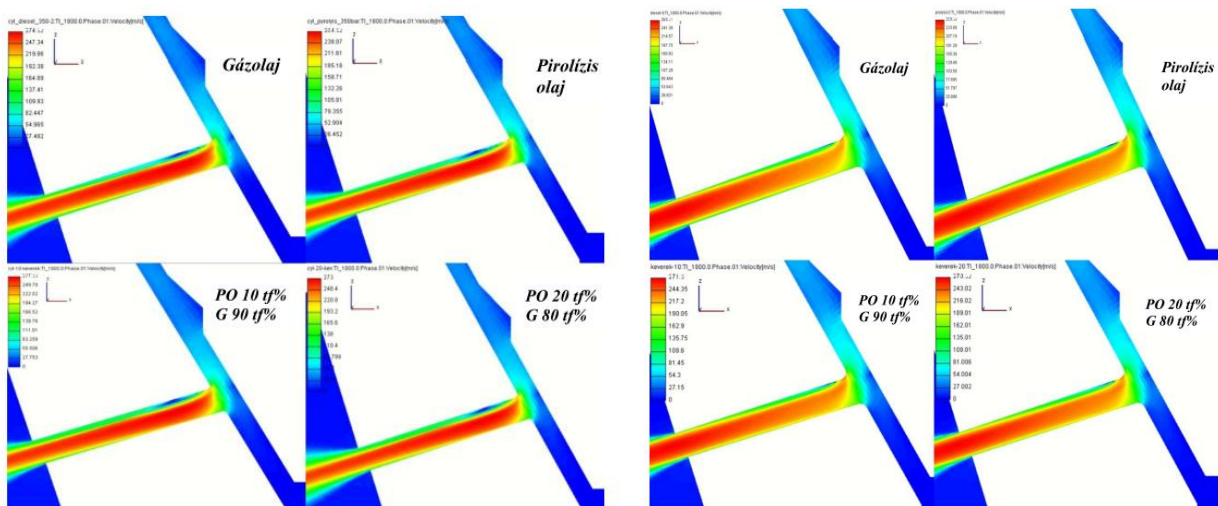


5. ábra TPO-Diesel gőzfázis sebességek alakulása hengeres és ks fűvókátípus esetén

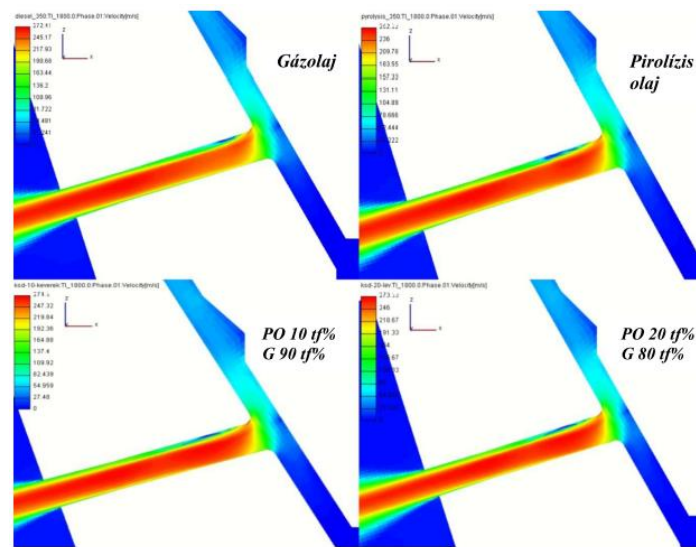


6. ábra TPO – gázolaj gőzfázis sebességek alakulása ksd fűvóka esetén

A folyadékfázis sebesség diagramjai a 7. és a 8. ábrán találhatóak, itt is igazolódni látszik, hogy a hengeres fűvóka sem 10 tf%-os, sem 20 tf%-os keverékkel nem alkalmas a megfelelő működésre. Az eróziós hatást növeli a nagysebességű folyadék ütközése a furat alsó felében.

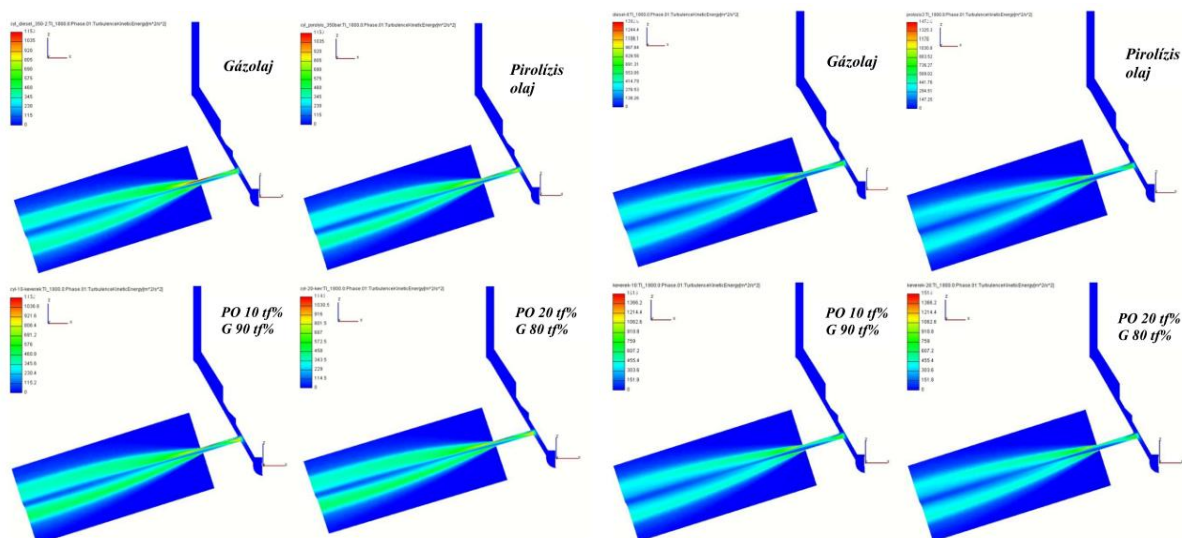


7. ábra Folyadékfázis sebességek alakulása TPO-gázolaj keverék esetén hengeres és ks fűvókátípus esetén

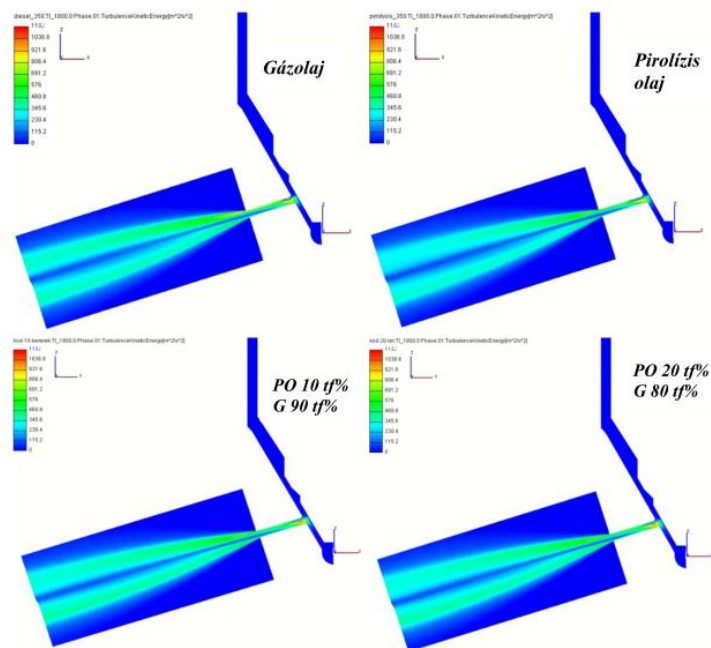


8. ábra Folyadékfázis sebesség alakulása TPO-gázolaj keverék ksd fúvóka esetén

A keveredést jól biztosítja a hengeres fúvóka, de a magas kavitáció és eróziós hatás miatt nem túl tartós konstrukciónak bizonyul [13]. A ks-fúvókánál az előbbi probléma nem jelentkezik, a sebesség némileg elferdül az alsó tartományba, de ez még elfogadhatónak bizonyosul. A probléma a már többször említett nagy sebességű kiáramlásban rejlik, a konfúzoros kialakításnak megfelelően [14]. A ksd-fúvókánál is folytatódik a tendencia, a pirólízis olaj jelenléte határozza meg a sebességszámokat, a sebesség egyre lentebb tolódik, amely a furat számára eróziós hatást kell, de nem olyan mértékben, mint a hengeresnél. Az égés szempontjából most is, mint ahogy az előző vizsgálatoknál, a ksd-fúvóka a legmegfelelőbb típus [15]. A kinetikus energia alakulását mutatja a 9. és a 10. ábra. A hengeres fúvóka sugárképeiben a sugár asszimmetrikus, de a pirólízis olajos koncentrátumok esetében magasabb TKE alakul ki a sugár alsó felében, mint a tiszta pirólízis olajnál. A magasabb érték pedig jelzi, hogy a sugárban nagyobb nyíróerők jönnek létre a tüzelőanyag és levegő keveredésénél, a cseppbomlás jó értéket diktál, amely az égés és az emisszió szempontjából feltétlenül fontos [16]. A nagyobb gázolaj térfogatszázalék alapján nem meglepő az eredmények alakulása, elsősorban a 10 tf% pirólízis olaj keverék mutat magasabb energiaszintet. A ks-fúvókánál az előbbi eset megfordult, a hagyományos gázolajjal alakul ki magasabb értékű kinetikus energia a sugárképeben, a szimmetria mind a négy esetben azonosan alakul. A ksd-fúvóka esetében a hengereshez hasonlóan, a pirólízis olajos koncentrátumok alacsonyabb energiát vonnak maguk után a gázolajhoz képest, de a sugárképek ezeknél asszimmetrikusabbá is válnak, a nagyobb kavitáció hatása miatt a furatból. Összességében elmondható, hogy a 10 tf% és a 20 tf% pirólízis olaj tartalmú gázolaj eredményei közel azonosnak mondhatók ezen szimulációk alapján. A kavitációs értékek a hengeres és a ksd-fúvókánál is romlottak valamivel, a ks-fúvóka stagnált ezekben. A sebességek hasonlóan alakultak a hagyományos gázolajhoz képest. A kinetikus energia a hengeres és ksd-fúvókánál a keverékek hatására közel azonosan alakult, míg a ks-fúvókánál inkább csökkenő tendenciát mutatott.



9. ábra A teljes kinetikus energia (TKE) alakulása hengeres és ks fúvókátípus esetén



10. ábra TKE alakulása ksd fűvókátípus esetén

5. MŰSZAKI PARAMÉTERCSOPORTOK BEMUTATÁSA

1. műszaki paramétercsoport: tüzelőanyag elégetése előtti, az égés lefolyására, annak hatásosságára előre információt adó műszaki paraméterek csoportja.

2. műszaki paramétercsoport: a tüzelőanyag befecskendezésre annak hatásosságára információt adó paraméter a fűvóka kialakítása – hengeres fűvóka kialakítás

3. műszaki paramétercsoport: a tüzelőanyag befecskendezésre annak hatásosságára információt adó paraméter a fűvóka kialakítása – ks fűvóka kialakítás

4. műszaki paramétercsoport: a tüzelőanyag befecskendezésre annak hatásosságára információt adó paraméter a fűvóka kialakítása – ksd fűvóka kialakítás

Az 4 paramétercsoport értékelése a következő:

1. A tüzelőanyag felhasználása (elégetése) előtti műszaki paraméterek csoportjába a tüzelőanyag égés szempontjából releváns legfontosabb fizikai-kémiai tulajdonságai tartoznak. Ebbe a paramétercsoportba tartoznak a sűrűség, kinematikai viszkozitás, fűtőérték, cetánszám [2].
2. A tüzelőanyag felhasználása (elégetése) előtti műszaki paraméterek csoportjába tartozik a tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatása. Ide tartozik a gőzfázis és folyadékfázis sebességek alakulása és a kinetikus energia alakulása hengeres fűvóka esetén.
3. A tüzelőanyag felhasználása (elégetése) előtti műszaki paraméterek csoportjába tartozik a tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatása. Ide tartozik a gőzfázis és folyadékfázis sebességek alakulása és a kinetikus energia alakulása ks fűvóka esetén.
4. A tüzelőanyag felhasználása (elégetése) előtti műszaki paraméterek csoportjába tartozik a tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatása. Ide tartozik a gőzfázis és folyadékfázis sebességek alakulása és a kinetikus energia alakulása ksd fűvóka esetén.

A publikációban, az eddigiekben bemutatott a felhasználás (elégetés) szempontjából releváns paraméterek változása a vizsgált hulladékgumi pirólízis olaj használata esetén a hagyományos gázolajhoz képest paraméter-csoportokba rendezve a következőképpen alakul:

1. csoport (Égés előtti, égés lefolyására előre információt adó paraméterek csoportja)
 - 1.1 paraméter – a tüzelőanyag sűrűsége – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén nagyobb, amely arra enged következtetni, hogy az elégetésének jósága kedvezőtlenebb lesz.
 - 1.2 paraméter – a tüzelőanyag kinematikai viszkozitása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén nagyobb, amely arra utal, hogy elégetésének jósága kedvezőtlenebb lesz.

1.3 paraméter – a tüzelőanyag fűtőértéke – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag nem tér el jelentős mértékben a gázolajához képest, amely utal, hogy elégetésének jósága változatlan lesz.

1.4 paraméter – a tüzelőanyag cetánszáma – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag cetánszáma alacsonyabb, amely arra enged következtetni, hogy elégetésének jósága kedvezőtlenebb lesz.

Az 1. paramétercsoport értékelése:

A paramétercsoportba tartozó paraméterek száma 4

A paramétercsoport eredője: 3 kedvezőtlen, 1 semleges

A paramétercsoport irányainak száma: 3 (kedvezőtlen, semleges, kedvező)

2. csoport (Égés előtti – a tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatására információt adó paraméterek csoportja) hengeres fűvóka esetén

2.1 paraméter – a tüzelőanyag gőzfázis sebességének alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén a kavitáció növekszik, amely arra utal, hogy a befecskendezési sugárrépre gyakorolt hatása kedvezőtlenebb lesz.

2.2 paraméter – a tüzelőanyag folyadékfázis sebességének alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén nincs számottevő változás, ami arra utal, hogy a tüzelőanyag elégetésének jóságára nincs befolyással.

2.3 paraméter – a tüzelőanyag teljes kinetikus energiájának alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén kisebb amely arra utal, hogy az tüzelőanyag elégetésének jósága kedvezőtlenebb lesz

A 2. paramétercsoport értékelése:

A paramétercsoportba tartozó paraméterek száma 3

A paramétercsoport eredője: 2 kedvezőtlen, 1 semleges

A paramétercsoport irányainak száma: 3 (kedvezőtlen, semleges, kedvező)

3. csoport (Égés előtti – a tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatására információt adó paraméterek csoportja) ks fűvóka esetén

3.1. paraméter – a tüzelőanyag gőzfázis sebességének alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén semleges, amely arra utal, hogy az elégetésének jóságára nincs hatása.

3.2 paraméter – a tüzelőanyag folyadékfázis sebességének alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén nincs számottevő változás, amely arra utal, hogy elégetésének jóságát nem befolyásolja.

3.3 paraméter – a tüzelőanyag teljes kinetikus energiájának alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén kedvezőtlenebb, amely arra utal, hogy elégetésének jósága kedvezőtlenebb lesz.

A 3. paramétercsoport értékelése:

A paramétercsoportba tartozó paraméterek száma 3

A paramétercsoport eredője: 1 kedvezőtlen, 2 semleges

A paramétercsoport irányainak száma: 3 (kedvezőtlen, semleges, kedvező)

4. csoport (Égés előtti – a tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatására információt adó paraméterek csoportja) ksd fűvóka esetén:

4.1. paraméter – a tüzelőanyag gőzfázis sebességének alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén magasabb, amely arra utal, hogy az elégetésének jósága kedvezőtlenebb lesz

4.2. paraméter – a tüzelőanyag folyadékfázis sebességének alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén nincs számottevő változás, amely arra utal, hogy elégetésének jóságát nem befolyásolja.

4.3. paraméter – a tüzelőanyag teljes kinetikus energiájának alakulása – a vizsgált hulladékalapú tüzelőanyag esetén kedvezőtlenebb, amely arra utal, hogy elégetésének jósága kedvezőtlenebb lesz.

A 4. paramétercsoport értékelése:

A paraméter csoportba tartozó paraméterek száma: 3

A paraméter csoport eredője: 2 kedvezőtlen 1 semleges

A paraméter irányainak száma: 2 (kedvezőtlen, semleges, kedvező)

A fenti komplex értékelése a 2-es táblázatban van összefoglalva.

A komplex értékelés összefoglalása

2. táblázat

Paramétercsoport		Paraméter	Eredmény
<u>1. paramétercsoport:</u> A tüzelőanyag égés szempontjából releváns fizikai – kémiai tulajdonságai		sűrűség	kedvezőtlen
		kinematikai viszkozitás	kedvezőtlen
		fűtőérték	semleges
		cetánszám	kedvezőtlen
<u>2. paramétercsoport:</u> A tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatására információt adó paraméterek csoportja hengeres fűvóka esetén		gőzfázis	kedvezőtlen
		sebességfázis	semleges
		TKE	kedvezőtlen
<u>3. paramétercsoport:</u> A tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatására információt adó paraméterek csoportja ks fűvóka esetén		gőzfázis sebesség	semleges
		folyadékfázis sebesség	semleges
		TKE	kedvezőtlen
<u>4. paramétercsoport:</u> A tüzelőanyag befecskendező rendszerre gyakorolt hatására információt adó paraméterek csoportja ks fűvóka esetén		gőzfázis sebesség	kedvezőtlen
		folyadékfázis sebesség	semleges
		TKE	kedvezőtlen
Vizsgált paraméter csoportok száma: 4		Vizsgált paraméterek száma: 13	Eredmény: kedvezőtlen: 8 semleges: 5 kedvező: 0

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatokkal világosabb kép alakult ki, hogy hogyan viselkedik a pirolízis olaj korszerű Common Rail injektorokban, azoknak különféle fűvókatípusaiban. Ebben a komplex vizsgálati módszerben a különböző típusú fűvókában történő folyamatok, és azoknak a folyadéksugárra gyakorolt hatása került bemutatásra, amelyből következtetni lehet az égés lefolyásának minőségére. Összességében elmondható, hogy tisztán pirolízis olajat nem célszerű használni ezekben a típusú injektorokban törekedni kell egy optimális keverési arány létrehozására ahhoz, hogy az injektorok élettartama és az égés során keletkező emissziós értékek megfelelő értéken tarthatóak legyenek.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Zöldy, M.: Potential future renewable fuel challenges for internal combustion engine. Járűvek és Mobil Gépek, vol. II.évf., no. No.IV., pp. 397–403, 2009.
- [2] Szabados Gy: Egyes megűjűlő tüzelőanyagok dízelmotorban történő alkalmazásának értékelő elemzése. Phd értekezés 2019.

- [3] Baškovič U, Z; Seljak T; Katrašnik T: Feasibility analysis of 100% tyre pyrolysis oil in a common rail Diesel engine. 2017 <https://www.researchgate.net/publication/313333181>
- [4] Wongkhorsub C, Chindaprasert N: A Comparison of the Use of Pyrolysis Oils in Diesel Engine Energy and Power Engineering, 2013, 5, 350-355 doi:10.4236/epe.2013.54B068 Published Online July 2013 (<http://www.scirp.org/journal/epe>)
- [5] Zöldy M: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, In: Bartz, W J 6th International Colloquium : Fuels 2007 Esslingen, Németország : Technische Akademie Esslingen, (2007) p. 235
- [6] Vass S, Németh H: Diesel porlasztó fűvókák geometriai kialakításának hatása az áramlásra. Összehasonlítás numerikus szimulációk segítségével. Gép 68. évfolyam 2. szám 22-33 oldal, 2017.
- [7] Macian V, Bermúdez V, Payri R, Gimeno J: New technique for determination of internal geometry of a Diesel nozzle with the use of silicone methodology. Experimental Techniques, Volume 27, Issue 2, 39–43, March 2003.
- [8] Reif K: Diesel-Speichereinspritzsystem Common Rail. 2004.
- [9] Vass, S, Zöldy, M: Detailed Model of a Common Rail Injector, Acta Universitatis Sapientiae Electrical And Mechanical Engineering : 11 (2019) <https://10.2478/auseme-2019-0002>
- [10] Torok A, Torok A, Heintz F: Usage of production functions in the comparative analysis of transport related fuel consumption. Transport and Telecommunication Journal, 15(4), 292-298, 2014. doi: <https://doi.org/10.2478/ttj-2014-0025>.
- [11] Verma P: Diesel engine performance and emissions with fuels derived from waste tyres. 2018. https://www.researchgate.net/publication/322961642_Diesel_engine_performance_and_emissions_with_fuels_derived_from_waste_tyres
- [12] Barabás I, Torodut I A: Biodiesel-quality, Standards and Properties 2011.
- [13] Arndt C M, Steinberg A M, Böhnke J, Hadel R, Meier W: „High Speed Imaging of Flame Structure and Dynamic Processes in Swirl Stabilized Pre-vaporized Liquid Fuel Flames” 2018.
- [14] AVL FIRE Application Example: Injection Nozzle: Diesel Injector. Edition 02/2013, 2013.
- [15] Mahapatra S, S: Experimentation and Evaluation of Tyre Pyrolysis Oil, National Institute of Technology, Rourkela 2013.
- [16] Chatterjee, A: Determination of optimum blend of diesel and tyre pyrolysis oil in 4-stroke C.I. engine based on emission parameters. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, Vol (10) Issue (3), pp.040-043 <http://dx.doi.org/10.21172/1.103.07> e-ISSN:2278-621X.

Csúszó betétes pászmák használata a tartók elő/utófeszítéséhez

Introducing Initial Effort Into the Beams with Non Bonded Tendons

MOLNÁR Lajos

doktorandusz
Kolozsvári Műszaki Egyetem

ABSTRACT

The material presents briefly the methods used to introduce the initial stresses in reinforced concrete beams, prestressed concrete-, steel-concrete composite structures and steel beams, using non bonded tendons for pre- or post-tensioning today

Keywords: civil engineering, steel beams, tensioning methods

KIVONAT

Az anyag röviden bemutatja a vasbeton-, feszített vasbeton, valamint az öszvérszerkezetű tartók acél gerendáinak csúszó betétes pászmák használatával történő elő- vagy utófeszítését napjainkban

Kulcsszavak: közlekedésépítés, acéltartók, feszítési módszerek

1. BEVEZETÉS

Az együttműködő acél-beton öszvérszerkezetek kivitelezése egy fontos lépést jelent a hidak építésének fejlődésében.

A két teljesen különböző anyag harmonikus együttműködésre való kényszerítése komoly műszaki-gazdasági előnyökhöz vezet. Az anyagban azon III típusú öszvérszerkezetű tartókat elemezzük, amelyek eredendő feszültségeit utófeszített kábelekkel érjük el annak érdekében, hogy a lehajlás ellenkező irányú legyen, mint a hasznos teher által okozott lehajlás.

2. ELŐ- VAGY UTÓFESZÍTÉSI MEGOLDÁSOK, RENDSZEREK

A fémszerkezetek elő- vagy utófeszítése azt jelenti, hogy a szerkezeti elemekbe néhány olyan alakváltozást és / vagy erőfeszítést kerül be, amely ellentétes azokkal az erőkkel, amelyeket az üzemeltetési terhek hoznak létre az adott szerkezeti elemekben.

Azt az erőfeszítést és alakváltozást, amely az előfeszítést előidéző erő / deformáció / elmozdulás hatása okoz, „kezdeti” feszültség és alakváltozásnak nevezzük.

A „kezdeti” feszültség és alakváltozás, valamint a működési terhelés egyidejű hatásának következtében keletkező feszültségek és alakváltozásokat által létrehozott állapotot a szerkezet „végső” feszültség és alakváltozásnak nevezzük.

A feszültségek és alakváltozások "kezdeti" állapotának racionális, szabályozott bevitelével a szerkezetben kedvezőbb konfigurációt tudunk elérni, mint az egységes keresztmetszet erőfeszítés-eloszlás és alakváltozásában, mint a globális keresztmetszet "végső" feszültségek és a deformációk eloszlása esetében. Ily módon csökkenthető a szerkezetek és / vagy az elemek méret és lényegesen csökkenthető az acél teljes mennyisége a klasszikus szerkezeti megoldáshoz képest (előfeszítés nélkül).

A szerkezet előfeszítő megoldás kiválasztásánál a fent említett előnyökön kívül, azonban, figyelembe kell venni a klasszikus megoldásokhoz képest magasabb tervezési és kivitelezési költségeket, speciális anyagok és eszközök, valamint magasán képzett szakemberek igénybevétele a kivitelezés során.

A leggyakrabban alkalmazott módszer, a szálak /kábelek használata, amelyek jelenleg, a legjobban biztosítják az indukált feszültségek szabályozását mind a végrehajtás, mind a karbantartás során.

Feszítésre kerülő fémrészek vagy szerkezetek normál minőségű acélokból készülhetnek (mint a nem feszített fém szerkezetek esetében). Az előfeszítő erő bevezetéséhez különböző típusú, nagy vagy nagyon magas minőségű acélból készült szálakat / kábeleket használunk.

A szálak / kábelek fő típusai csavart huzalszál vagy párhuzamos huzalkötegből készülnek, hasonlóak az előfeszített betonelemek előállításánál használtakkal. A szálak és a kötegek rögzítése az előfeszített betonhoz hasonló eszközökkel történik

A külső előfeszítés felhasználására a hetvenes évek végén új alkalmazási területet találtak és pedig az előfeszített betonszerkezetek megerősítésére. Számos, főként szegmentális előregyártott típusú, hidat az építése idején nem sikerült megfelelően megfeszíteni, ezért szükségessé vált ezek megerősítése külső feszítéssel.

E javítások tapasztalatai alapján a külső feszítés új lendületet kapott. Ennek az alkalmazásnak a technikája az Egyesült Államokban nagyrészt 1978, míg Franciaországban 1980 óta alakult ki.

Azóta számos fontos hidat építettek a világon külső feszítéssel, mivel a technológia alkalmas hosszú hidak, szegmentális szerkezetben történő kivitelezéséhez, magas termelési sebességet biztosítva.

Tipikus alkalmazások, ahol a külső feszítés használata gazdaságosan megvalósítható:

- Javítási és konszolidációs munkák minden típusú struktúrán,
- Felfüggesztett szerkezetek
- Szegmentált előregyártott szerkezetek, egyszerű és folyamatos feszítése

A külső előfeszítést az alábbiak jellemzik:

- A feszítő- és előfeszítő elemek, a betétek, a szerkezet fizikai keresztmetszetén kerülnek elhelyezésre,
- Az előtömörítő erők, a betéteken keresztül, az erőknek a szerkezethez való eljuttatását csak a rögzítőelemek és az elosztókon keresztül végzik el,

A fentiek alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- A külső előfeszítés nem csak a betonhasználathoz kapcsolódik, hanem bármilyen építőanyaggal - kompozit, acél-fa, acél-beton és egyéb korszerű műanyagok felhasználásával is alkalmazható, ez jelentősen kibővítheti a feszítés alkalmazási területét.
- Mivel a betétek a szerkezeten kívül vannak, a kábelek jobban ki vannak téve minden környezeti hatásnak, és emiatt a káros hatások elleni védelem különösen fontos.
- A hozzáférhetőség miatt a feszítő kábelek figyelemmel kísérhetők és karbantarthatók, így ezek az intézkedések könnyebbé válnak, mint a belső feszítésnél alkalmazott ragasztott rendszerek.
- A folyamatos ragasztás / kötés hiánya miatt lehet feszíteni, felengedni vagy megváltoztatni a feszítőerőt, ha a szerkezet lehetővé teszi e műveletek végrehajtását.

A külső feszítés előnyei és hátrányai

A belső, ragasztott feszített szerkezetekhez képest a külső feszítésnek az alábbi külön előnyei vannak:

- A véletlen szögváltozások által okozott súrlódási veszteségek csökkentése, amit rázásnak neveznek, gyakorlatilag megszűnik. Továbbá, ha polietilén bélést használnak, a súrlódási együttható drasztikusan csökken a belső/ragasztott előfeszítéshez vagy a bordázott fémcsövek használatával összehasonlítva.
- Az előre összenyomott külső ívek könnyen és jelentős költségátal nélkül cserélhetők. A szerkezeti részletterveknél figyelembe kell venni az ilyen munkák elvégzéséhez elegendő szabad hely biztosítását,
- A beton lemez vasalása ritkítható, ami egyszerűbb szerkezetet eredményez.

Általában megállapítható, hogy jobb minőségű betont, tartósabb szerkezetet eredményeznek és egyúttal megkönnyítik a kivitelezést.

Másrészt a következő hátrányok társíthatók a külső előfeszítéssel:

- A feszítő szerkezet jobban ki van téve a környezeti hatásoknak (tűz, vandalizmus, vegyszerek)
- Az irányváltoztató nyergek és a horgonylemezeket nagyon pontosan kell elhelyezni,
- Mivel a kábelek nincsenek beragasztva (vagy csak speciális pontokhoz), a teljes feszültséget, a szerkezet nem tudja átvinni, ami az előtömörített acél keresztmetszet növelését eredményezi.
- A keresztmetszet statikus magasságát általában nem lehet teljes mértékben kihasználni, ezért nagyobb mélységre vagy kiegészítő előfeszítésre van szükség.
- Bizonyos keresztmetszetek és építési eljárások esetén a feszítőeszközök kezelése nehezebb.

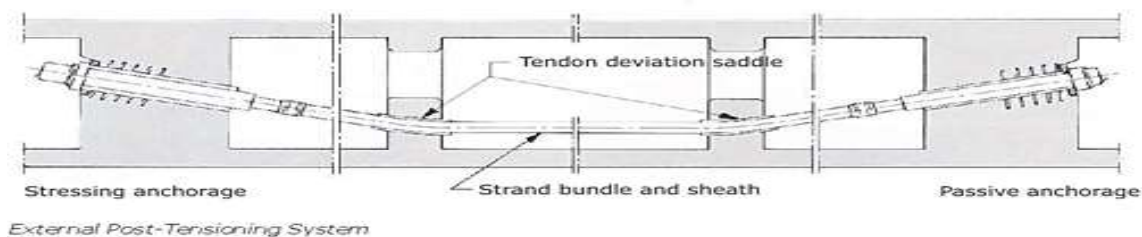
Az egyik feszítési rendszert a BBR VT svájci cég dolgozta ki, az alábbiakban röviden ismertetjük a felhasznált elemeket és ezek műszaki paramétereit:



BBR-VT

Az elő- vagy utófeszítő kábeleket számos különböző elemben használják, amelyek széles körű alkalmazásokat fednek le. Külső utófeszítés, amelyet a hídépítésben használnak, például azért, mert a szerkezet belsejében lévő kábeleknél nincs elegendő helyük, de különösen a magas korrózióvédelem tekintetében, szükség lehet a feszítőkábelek élettartamuk során történő ellenőrzésére és könnyű cseréjére. Ez nagy előny, gyakran az egyetlen megoldás a meglévő szerkezetek kapacitásának és ez által élettartamuk növelésére. A külső utófeszítés az épületek, silók és tartályok szerkezetének megerősítésére vagy rögzítésére is használható.

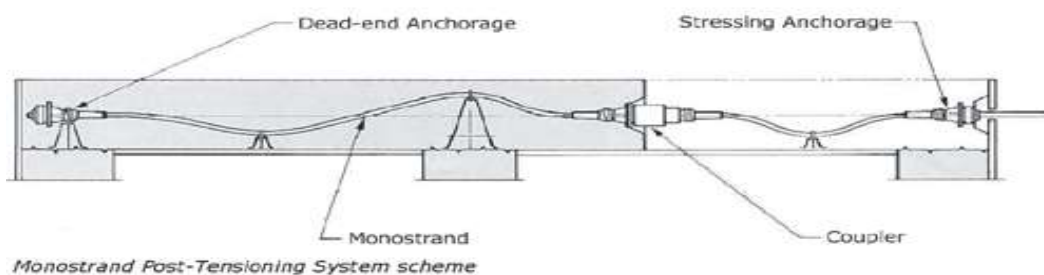
Külső csúszóbetétes pászmák -a beton- vagy fémszerkezetek külső felületére vannak felszerelve. Ez a fajta elő- vagy utófeszítés lehetővé teszi a karbantartáshoz és cseréjéhez való hozzáférést, ezáltal a hidak fejlesztésére és felújítására



2.1. ábra

Külső feszítési rendszer sémája

A csúszóbetétes, egysávós rendszerként ismert, egyfeszültségű huzalrendszer 15,2 mm (0,6 hüvelyk) vagy főként 15,7 mm (0,6 "S) kábeleket használ, amelyet egy zsírral kitöltött PEHD csőbe húznak. Ez kettős védelmet biztosít a korrózió ellen, és minimálisra csökkenti a súrlódási veszteségeket. A mono-kábelek külső átmérője 19 mm. A rendszer telepítése egyszerű és rendkívül gyors. Méretének köszönhetően nagyon vékony szerkezetekhez is használható, és nagyon rugalmas a megerősítő rudakhoz képest. A feszítés után a burkolatok azonnal eltávolíthatók, ami jelentős megtakarításokat eredményez a tartószerkezetek költségében.



2.2. ábra

Egy-pázmás utófeszítési rendszer sémája

Horgonyzás:



2.3 ábra. CONNA CME BT



2.4 ábra. CONNA CME SP

Kapcsolat:

A felhasznált kapcsolati szerkezetek: K típus (átfedéssel), 02-61 szál, vagy H típus (karmantyús) 01-73 feszítő szál használata esetében:



2.5. ábra. Cuplaj Fix K



2.6. ábra. Cuplaj Fix H

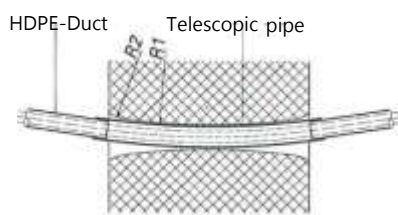
Váltók:

A váltók speciális rendszerek, amelyeket a külső feszítésnél használnak, kiemelkedő szerepet játszanak a feszültségek átadásában, és az alábbi követelményeknek kell megfelelniük:

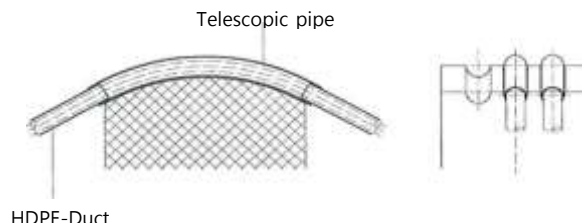
- ellenállni a keresztirányú, hosszanti erőknek és a kábelekben levő feszültségek átadása a szerkezetnek
- biztosítsa a kábelek sima, szögmentes irányvonalát
- abban az esetben mikor tervezéskor figyelembe veszik a kábelek cseréjét a szerkezet élettartama alatt, biztosítsák a folyamat zavartalan lebonyolítását.

A váltók két fő típusát említhetjük:

- az egyszerű cső, ha nem kerül sor a kábelek cseréjére az üzemeltetés alatt.
- kettős/dupla cső, ha a feszítőkábelek idővel cseréire szorulnak, a külső cső (fém) rögzítve van a váltóba a kábel védőcső (HDPE) pedig áthalad rajta.



2.7. ábra. Tipikus cserélhető betétes váltó



2.8. ábra. Nyereg váltó

Korrózióvédelem – a korrózióvédelem fő anyagainak műszaki paraméterei,
Zsír/vazelin műszaki adatok (2.1. Táblázat)

Jellemzők	Vizsgálati Mód / Standard	Megfelelőség
Kúp penetráció, 60 ütés (1/10mm)	ISO 2137	250 - 300
Cseppont	ISO 2176	$\geq 150^{\circ}\text{C}$
Olaj kiválasztás 40°C fokon	DIN 51 817 72 óra után:	$\leq 2.5 \%$
	7 nap után:	$\leq 4.5 \%$
Oxidációs stabilitás	DIN 51 808 100 óra 100°C-on:	$\leq 0.06 \text{ MPa}$
	1000 óra 100°C-on:	$\leq 0.2 \text{ MPa}$
Korrózió ellenállás 168 óra 35 °C -on	NFX 41-002 (só spray)	Megfelelt
168 óra 35 °C -on	NFX 41-002 (desztillált víz spray)	Nincs korrózió
Korróziós teszt	DIN 51 802	0 osztály
Agresszív elem tartalom: Cl- , S2-, NO3	NFM 07-023	$\leq 50\text{ppm}$ (0.005%),
SO4 2	NFM 07-023	$\leq 100\text{ppm}$ (0.010%)

Viasz műszaki adatok (2.2. Táblázat)

Jellemzők	Vizsgálati Mód / Standard	Megfelelőség
Dermedési pont	NFT 60-128	$\geq 65 \text{ } ^\circ\text{C}$
Penetráció (1/10mm) at $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$	NFT 60-119	Nincs repedés
Folyás $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ fokon BS 2000:	PT121 (1982) módosított	$\leq 0.5 \%$
Oxidációs ellenállás 100 óra $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ -on	ASTM D942.70	$\leq 0.03 \text{ MPa}$
Réz-szalag korrózió 100 óra $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ -on	ISO 2160	'a osztály
Korrózió ellenállás 168 óra $35 \text{ } ^\circ\text{C}$ -on	NFX 41-002 (só spray)	Megfelelt
	NFX 41-002 (desztillált víz spray)	Nincs korrózió
Agresszív elem tartalom: Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ₃	NFM 07-023	$\leq 50\text{ppm}$ (0.005%),
SO ₄ ²⁻	NFM 07-023	$\leq 100\text{ppm}$ (0.010%),

Feszítópázmák

A feszítópázmák 07-31. acélszálból, amelyek 7 fonalból állnak, az alábbi (2.3. T) táblázatban a csavart szálak tulajdonságai mutatjuk be:

Csavart szálak feszítópázmák tulajdonságai (2.3. Táblázat)

Névleges átmérő /mm	Névleges felület /mm ²	Karakterisztikus maximális feszültség /MPa
15,3	140	1 860
15,7	150	

Megjegyzés: 1Mpa = 1 N/mm

Az EU országokban, alacsony relaxációs indexel rendelkező acél szálakból készült pázmákat, mint T13S (A_p= 100 mm², f_{pk}= 1860 MPa) vagy T15S (A_p= 150 mm², f_{pk}= 1770 MPa) használnak



2.9. ábra

A T15S pázma műszaki adatai (2.4. Táblázat)

Névleges átmérő	mm	15,7
Keresztmetszet felület A _p	mm ²	150
Szakító szilárdság, f _{pk}	MPa	1770
Folyási határ, f _{p0,1k}	MPa	1520
Maximális terhelés alatti nyúlás, e _{uk}	%	$\geq 3,5$
Rugalmassági modulus, E _p	GPa	195
Maximális relaxáció, 1000 óra, $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, 0,7 f _{pk}	%	$\leq 2,5$
Súrlódási együttható	Fém védőcső	f=0,18; Df = 0,0005 / m
	Műanyag védőcső PE, PP	f=0,14; Df = 0,0007 / m

A huzalok és rudak rugalmassági (EP) modulusa 205 GPa lehet, valójában 195 és 210 GPa között változik, és a szálak esetében 195 GPa, ami ténylegesen 185 és 205 GPa között változik az alkalmazott gyártási folyamatától függően.

Például a **CONA CME n06-150** – 7 szálás pászma, névl-átm 15,7 mm, névleges keresztmetszet 150 mm² (2.5. Táblázat)

Szálak száma	N	---	04	07	09	12	15	19	22	24	27	31
Metsz.	Ap	mm ²	600	1050	1350	1800	2250	2850	3300	3600	4050	4650
Tömeg	M	Kg/m	4,69	8,20	10,55	14,06	17,58	22,27	25,78	28,13	31,64	36,33
Szakító szilárdság $f_{pk} = 1770$ MPa												
Szszil	F_{pk}	kN	1064	1862	2394	3192	3990	5054	5852	6384	7182	8246
Szakító szilárdság $f_{pk} = 1860$ MPa												
Sz szil	F_{pk}	kN	1116	1953	2511	3348	4185	5301	6138	6696	7533	8649

Metsz= a feszített pászma névleges keresztmetszetet, Tömeg=a feszített pászma névleges tömeget
Sz szil = a feszített pászma szakító szilárdsága

A pászma védőcső kitöltési együtthatója (2.6. Táblázat):

	f / kitöltési együttható	kd / cső együttható
Minimum	0,45	1,68
Standard	0,40	1,79
Hosszú pászma	0,30 0,35	2,05 – 1,90

Megjegyzés: $f=Ap/Ad$, $kd=\varnothing d/vAp$

A minimális hajlítási sugár és minimális védőcső falvastagsága (2.7. Táblázat):

Szálak száma			04	07	09	12	15	19	22	24	27	31
R min	Rmin	m	2,0	2,0	2,5	2,7	3,0	3,0	3,2	3,3	3,5	4,0
Műanyag g	tmin	mm	5,6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,6	7,1	7,4	7,9	8,3
Fém	tmin	mm	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5

Súrlódási feszültség veszteség (2.8. Táblázat):

Pászma		HDPE	Acél
	ΔF_s		
	%	rad ⁻¹	rad ⁻¹
CONA CME 0406	1,2	0,10 – 0,12	0,16 – 0,24
CONA CME 0706	1,1		
CONA CME 0906	1,0		
CONA CME 1206 - 3106	0,9		

Megjegyzés: $F_x = F_0 e^{-\mu x}$ unde F_x = feszítő erő az x távolságnál, F_0 = feszítő erő az $x=0$ távolságnál
 μ = súrlódási együttható, α = hajlítási elmozdulás x távolságon,
 x = távolság a pászma hosszában

Az első és a második feszítési fázisban a horgonyok és a rögzített csatlakozók csúszása 6 mm, a húzóhorgony csúszása pedig 4 mm.

A megengedett maximális feszítőerő és a túlfeszítés elfogadott mértéke (2.9. Táblázat)

Kijelölés	Maximális feszítő erő 0,9 $F_{p0,1k}$				Maximális túlfeszítési erő 0,95 $F_{p0,1k}$				
	CONA CME								
		n06-140		n06-150		n06-140		n06-150	
Szakító szilárdság f_{pk}	MPa	1770	1860	1770	1860	1770	1860	1770	1860
	--	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
	04	767	806	824	864	809	851	870	912
	07	1342	1411	1443	1512	1416	1490	1523	1596

Szálak száma a pászmában	09	1725	1814	1855	1944	1821	1915	1958	2052
	12	2300	2419	2473	2592	2428	2554	2611	2736
	15	2876	3024	3092	3240	3035	3192	3263	3420
	19	3642	3830	3916	4104	3845	4043	4133	4332
	22	4217	4435	4534	4752	4452	4682	4786	5016
	24	4601	4838	4946	5184	4856	5107	5221	5472
	27	5176	5443	5565	5832	5463	5746	5874	6156
	31	5943	6250	6389	6692	6273	6597	6744	7068

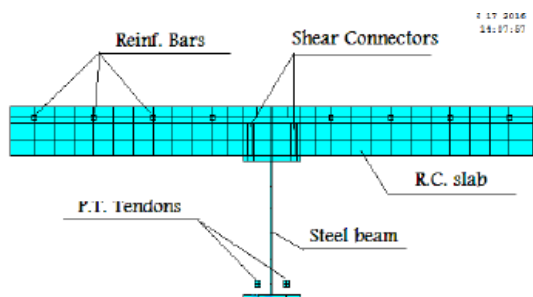
3. Kísérleti modellezés: a részleges felületi (csapok) csatlakozás és a külső, csúszóbetétes, útfeszített pászmák nyomvonalának hatása az öszvérszerkezetű tartók esetében

A különböző szerkezeti és terhelési esetek modellezésére az ANSYS 14.0, véges elem módszert alkalmazó szoftvert és a következő paraméterekkel rendelkező anyagokat alkalmazták:

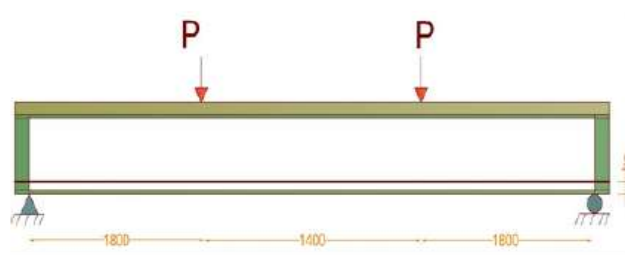
A felhasznált anyagok tulajdonságai (3.1. Táblázat)

Modell	Útfeszítési pászmák				Beton fc (MPa)	I acél tartó			
	Fy (MPa)	Fu (MPa)	Ap (mm ²)	F (KN)		fy(MPa)		fu (MPa)	
						Gerinc	Talp	Gerinc	Talp
Modell 1 (Chen)	-	-	-	-	40	260	245	372	361
Modell 2 (A Aziz)	1 680	1 860	137,4	112,6	35	327,7	406,5	492,6	593,6
Ref. Modell	1 680	1 860	137,4	112,6	35	400	400	480	480

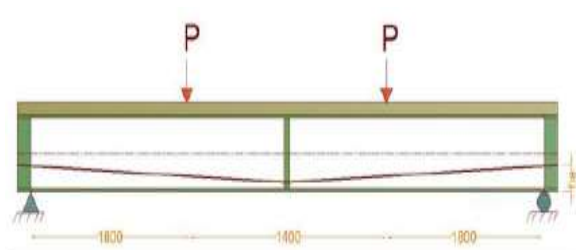
A felületi csatlakozások, terhelés alatti viselkedésének, tanulmányozása során kiderült, hogy ha 100%-osnak tekintjük a csapok számát abban a pillanatban amikor a szerkezet vagy a csapok eltörésével vagy a beton repedésével mehet tönkre akkor a csapok számának 40%, 60% vagy 80 %-ra történő csökkentése esetében biztosan a csapok mondják fel a szolgálatot és ezekben az esetekben figyelembe kell venni a részleges együttműködés hatását a beton és az acél csapok között. Ha a csapok számát 100% fölé emeljük nem lesz komolyabb hatása a szerkezet életképességére, mindenképp a beton repedésével megy tönkre.



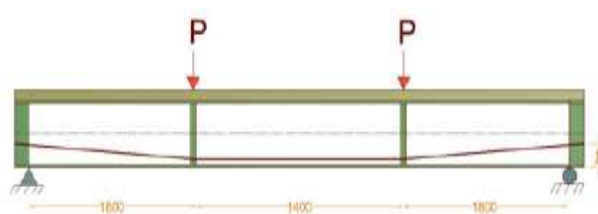
3.1. ábra. A keresztmetszet modellezése



3.2. ábra. Modell (A)



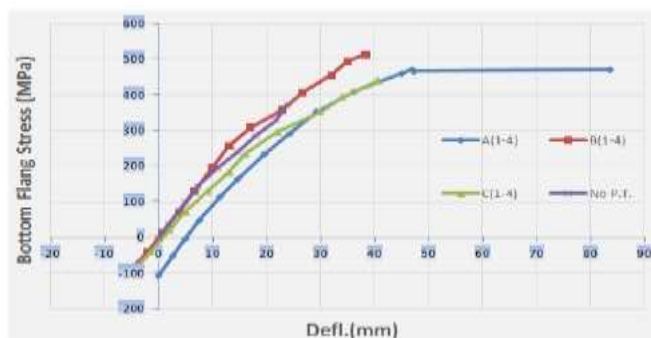
3.3. ábra. Modell (B)



3.4. ábra. Modell (C)

Az anyagok tulajdonságai és a szerkezet geometriája a vizsgált A, B, C modellek esetében (3.2. Táblázat)

Sorrend	Model	Feszítő erő (KN)	he (mm)			Együtműködő kapcsolat %
			kezdeti	középső	végső	
1	A	112,6	30	30	30	40 - 120
2	B	112,6	105	30	105	40 - 120
3	C	112,6	105	30	105	40 - 120



3.5 ábra Terhelés / lehajlás grafikon

Összehasonlítva a három A, B, C modell viselkedését terhelés alatt a lehajlások összehasonlításával arra a meglepő következtetésre juthatunk, hogy a legegyszerűbb, A Modell, majdnem hasonló alsó talp feszültségnél dupla lehajlást tud teljesíteni, ULS terhelésnél, mint a két másik (B, C modell) biztosítva a szerkezet rugalmasságát.

A vizsgálatok után az alábbi következtetésekre jutottak:

- a tűskék (csapok) számának csökkentésével és a kábelekben levő feszültség növelésével:
 - csökken a szakítószilárdság az ULS terhelésnél,
 - növekszik a kihajlás és a támaszok forgó mozgása is jelentősen megnő.
- a tűskék (csapok) számának 60% alá csökkenése, a támaszok feletti negatív terheléseknél, a két anyag (acél / beton) közötti csúszás miatt, ULS terhelésnél a tűskék elvesztik tulajdonságaikat és elszakadnak.
- a feszítőkábelek használata esetén a szakítószilárdság és egyben az ULS terhelésből származó nyomaték az alábbiak szerint változik a pászmák nyomvonalának függvényében egy hagyományos öszvérszerkezethez képest:

Modell A

+ 92,2 %

Modell B

+ 99,1 %

Modell C

+ 105,5 %

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az építőanyagipari fejlesztések, a felhasznált anyagok minőségének növekedése lehetővé tette az építőiparban is egyre fejlettebb technológiák alkalmazását. Az egyik legmodernebb és kifinomultabb alkalmazás ezek közül a szerkezetek elő- és / vagy utófeszítési folyamatának az alkalmazása.

A vasbeton-, acél- vagy acél-beton öszvér szerkezetű hidak felépítésével foglalkoztunk, bemutattuk ezen a területen használt legfontosabb rendszereket és komponenseket és a következőket állapítottuk meg:

A. pozitív hatásként említhetjük:











- a fémkomponensbe történő kezdeti feszültségek bevezetésével a szerkezet magassága csökkenthető és a hasznos terhelésekkel szembeni ellenállása növelhető;
- a karbantartás során a szerkezetbe bevezetett feszültségeket a hasznos terhelések függvényében újra kalibrálhatjuk,
- nő az esélye a vékony, figyelemre méltó, esztétikai szerkezetek kialakításának lehetősége.

B. Negatív hatásként pedig kiemelhetjük:

- magas kezdeti költségek;
- magas karbantartási költségek;
- a kifinomult technológia alkalmazása szakembereket igényel a végrehajtás során.

A legmodernebb építési technológia alkalmazásával, amely a felhasznált anyagok mennyiségének csökkentésével érezhetően csökkenti a termelésben felhasznált energia mennyiségét, valamint a szerkezet felépítése és a szerelési idők jelentős csökkentése akár 30% -kal csökkenti a szerkezet ökológiai lábnyomát a hasonló hagyományos felszerkezetű hidakkal összehasonlítva. A környezeti lábnyom, amelyet figyelembe kell venni a környezetre jelentős hatást gyakorló infrastrukturális munkák tervezésében és kivitelezésében.

A legfontosabb feszített acél öszvér hidszerkezetek – Steel-prestressed concrete composite bridges
(structurae.de)

#	elnevezés		ország	Kép / nyílás
1	Chavanon Viaduct	2000	France	 300 m
2	Pont du Bras de la Plaine	2002	Réunion	 280 m
3	Toyota Arrows Bridge	2005	Japan	 235 m
4	San Diego-Coronado Bay Bridge	1969	USA	 201 m
5	Lusitania Bridge	1991	Spain	 189 m
6	Millennium Bridge	1980	Spain	 180 m
7	Himi Bridge	2004	Japan	 180 m
8	Navia Viaduct	2006	Spain	 160 m
9	Vaux Viaduct	1999	Switzerland	 130 m
10	Trapagaran Viaduct	2010	Spain	 125 m

SZAKIRODALOM

1. Structuri compuse otel-beton , Stefan I. Gutiu, Catalin Moga - Editura UT Press 2014
2. Constructii metalice pretensionate, Dan Mateescu si col. – Editura Academiei RSR, 1989
3. Structuri compuse otel-beton si beton precomprimat – beton armat, C. Avram, V. Bota -- Editura Tehnica, 1975
4. BBR Cables External Prestressing, 1999
5. Dienstleistungen Bewertungsstelle ETAG 013, Annex C4, 2002
6. BBR VT CONA CMM European Technical Approval, ETA 06/0165, 2006
7. BBR VT CONA CME European Technical Approval, ETA 07/0168, 2007
8. Hidak utófesztése csúszópásmás kábelekkel – tervezési elvek, dr. Kovács Tamás BME, Tatabánya, 2017
9. Effect on partial shear connection on strengthened composit beams with externally post-tension tendons, El Shihy AM, Shabaan HF, Al-Kader HM, Hassanin Al - Journal of Material Sciences & Engineering, 2017
10. structurae.de - Die größte internationale Datenbank für Bauwerke und Bauingenieure
11. Wikipédia

Csőkapszulás légáramoltatásos föld alatti környezetbarát szállítási elképzelés

Concept of pipe capsuled and air-flowed underground environmentally friendly transportation

ZÁDOR István

építész

ÉSZ plusz SZ Bt. Budapest, tel.: +36 70 9432208; mail: eszplussz.bt@chello.hu

Abstract

In the first two decades of the 21st century, electronics are evolving on a huge scale, and this also allows for completely new solutions in transport. In door-to-door transport, surface road transport is currently congested, and additional needs can only be met at the expense of the quality of ongoing processes. However, underground transport has a lot of potential. Combined with the results of the development of electrical technology, an environmentally friendly transport method can be developed. In my research I examine the possibilities and implementation methods of this.

Keywords: pipeline transport, capsule transport, transport

Kivonat

A 21. század első két évtizedében az elektronika óriási léptékben fejlődik, és ez a közlekedésben is lehetővé tesz teljesen új megoldásokat. A háztól-házig szállításban a felszíni közúti közlekedés jelenleg is túlterhelt, további igények kielégítése csak a jelenleg zajló folyamatok minőségének kárára lehetséges. A földfelszín alatti szállítás azonban rengeteg potenciált rejt magában. Kombinálva az elektrotechnológia fejlődésének eredményeivel egy környezetbarát szállítási módszer fejleszthető ki. Kutatásimban ennek lehetőségeit, megvalósítási módjait vizsgálom.

Kulcsszavak: csővezetékes szállítás, kapszulás szállítás, közlekedés

1. BEVEZETÉS

Korunkban az elektronika ugrásszerű fejlődésének köszönhetően az információk már elképesztő sebességgel áramlanak a létrehozás pontjától a felhasználás helyére, azonban az elektronikus adatforgalom mellett a fizikai helyváltoztatást is hasonló gyorsasággal igényelnénk. Felgyorsult életvitelünknek köszönhetően egyre nagyobb szükségletként jelentkezik egy ajtótól ajtóig történő gyors szállítási rendszer megvalósítása. A jelenlegi közúti teherfuvarozás a felszíni közlekedésnek jelentős hányadát teszi ki [1], [2] de a hatékonyságát jelentősen rontja a közutak zsúfoltsága, és a rendszeres forgalomtorlódás, a lokális környezetterhelése pedig igen jelentős [8]. Sok kutatás célozza a közúti közlekedés kibocsátásainak csökkentését alternatív üzemanyagok alkalmazásával, de ezek gyakran korlátokba ütköznek [10]. Az elektromobilitás az áruszállításban, nagy mennyiségű árú mozgatásánál a jelenlegi technológiai színvonalon nem versenyképes alternatíva [9]. A járművek automatizálása lehet egy lépés a zöldebb közlekedés felé, de jelenleg ez a technológia még gyerekcipőben jár [11] és a szabványosítása is nehézségekbe ütközik [12]. Az úthálózatok fejlesztési lehetősége a felszínen korlátozott [13], annak a felszín fölé emelése - mint azt a fantasztikus filmekben gyakran láthatjuk – egyelőre az antigravitáció ismerete nélkül megoldhatatlan, a magaspályák kivitelezése pedig költséges, annak látványa városképileg, és az épületek ablakaiból sem kifejezetten esztétikus.

Megállapítható, hogy a felszíni közlekedés fejlesztése a jelenlegi irányban nem folytatható, az a forgalom gyorsítását csak átmenetileg javítja, és a számtalan járulékos környezeti károkozás egyre nagyobb mértékével párosul. A városok túlszűfolt útjai, szintbeli kereszteződései, a városközi forgalom többsávós, nagyobb sebességű rendszere a közúti balesetek kockázatának jelentős növekedésével is együtt jár.

Napjainkban a kutatás-fejlesztési irányok az egyre nagyobb és gyorsabb szállítóeszköz létrehozása felé mutatnak [4] két tranzitállomás között. Véleményem szerint ez hibás irányzat, mert a járművel hiába érkezek meg én, vagy a csomag A- helyről B-be villámgyorsan, ahhoz, hogy a célhoz jussunk, igénybe kell vennem még egy vagy több eszközt, átszállni, várakozni, sétálni (távoli parkolás) vagy átrakodni. Az áruszállítás a konténeres vagy a kombinált, kisebb szállítóeszközök nagyobb szállítóeszközre gurító rendszereknél is probléma, mert az árutömeget a célállomás közeli főállomáson vagy logisztikai központban szét kell válogatni kisebb egységekre cél-címek szerint, majd ismét szállító eszközre rakva eljuttatni a célig [5]. Ennek köszönhetően maradnak népszerűek a kisebb közúti szállítóeszközök, melyek esetenként meg is valósítják a kényelmes, közvetlenül ajtótól ajtóig történő szállítást. Megoldandó tehát, hogy a személy vagy csomag egyetlen szállító rendszer használatával az adott helyről közvetlenül a célállomásra jusson el biztonságosan, minél hamarabb, és minél kevesebb energia felhasználásával.

A szállítás föld alá süllyesztése a felszíni közlekedés túlszűfoltóságát tekintve kézenfekvő, a technikai fejlettségünk erre lehetőséget kínál, és nem utolsó sorban rengeteg előnnyel jár. Több nemzetközi szabadalom foglalkozik a szállítás föld alá süllyesztésével [3], de egyszerű, és ajtótól ajtóig megvalósuló hatékony megoldás még nem született. Már történtek próbálkozások a föld alatti, kis keresztmetszetű közművek előregyártott elemes (tűbbinges, csősajtolásos) alagútépítése mellett olyan berendezések kialakítására, melyek az alagútfúrással egybekapcsolva a csőszerű alagút köpenyfalát csúszózszaluzattal és besajtoló betonnal készítik el (presszbetonos eljárás), azonban a kis mélység és a betonköpeny erősítő vasalásának hiányában ezek nem terjedtek el.

Csővezetéken általában folyadékokat és gázokat szállítanak egyik állomásról a másikra, a nagyobb távolságoknál alkalmanként közbeiktatott pumpaállomások segítségével. Régebben alkalmaztak hivatalokban csőposta rendszert, mellyel csak házon belül, egyik helyiségből a másikba továbbítottak gyorsan kapszulákba helyezett okmányokat, ami a digitális fejlődésnek köszönhetően már felesleges lett, de pl. anyagminták laborba történő, vagy bankjegyeket biztonságba helyező gyors szállításra jelenleg is használnak ilyen megoldásokat.

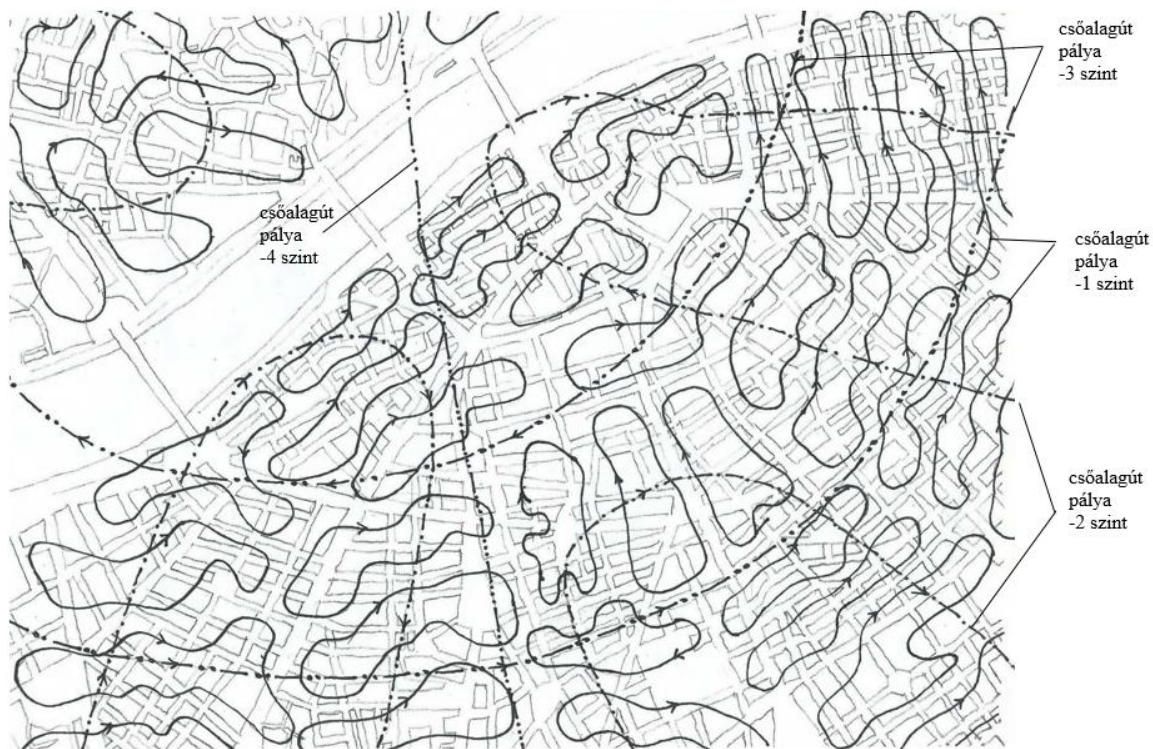
2. MEGOLDÁS

Amennyiben egy új technológiával kialakított kis keresztmetszetű, kialakult telektömbökhöz illeszkedő alagút hálózat létesül, és ebben a beton köpenyes csőrendszerben levegő áramoltatással, folyamatosan egy irányban vezető nélküli kapszulák közlekednek, akkor egyszerre oldható meg a felszíni közlekedési terhelés drasztikus csökkentése és a gyors árú- és személyszállítás.

Az elképzelés tehát egy föld alatti szállító rendszer, ahol a szállítópálya egy 2,0 m belső átmérőjű csőalagutakból álló, egymástól független, de átmeneti ággal összekapcsolt vízszintes útvonal-körök halmaza. Ezekben az alagút gyűrűkben állandóan, egyirányban folyamatosan áramoltatott levegővel mozgatunk a csőátmérőhöz igazodó rövid, légpárnásan lebegtetett önálló kis szállító kapszulákat. A kapszuláknak az útvonal-körök rendszeréből történő ki- és belépése a főcsőben folyamatosan fenntartott légáramlás sebességének megváltoztatása nélkül történik, az egyes kapszulák magasságváltoztatáson alapuló ki- és bejuttatásával, a főcsőbe ferdén csatlakozó kiágazási és becsatlakozási pályák segítségével. Ezek a ferde pályák a gravitáció kihasználásával idézik elő a kapszula lassulását a megálláshoz, és a gyorsulását a rendszerbe való visszalépéskor.

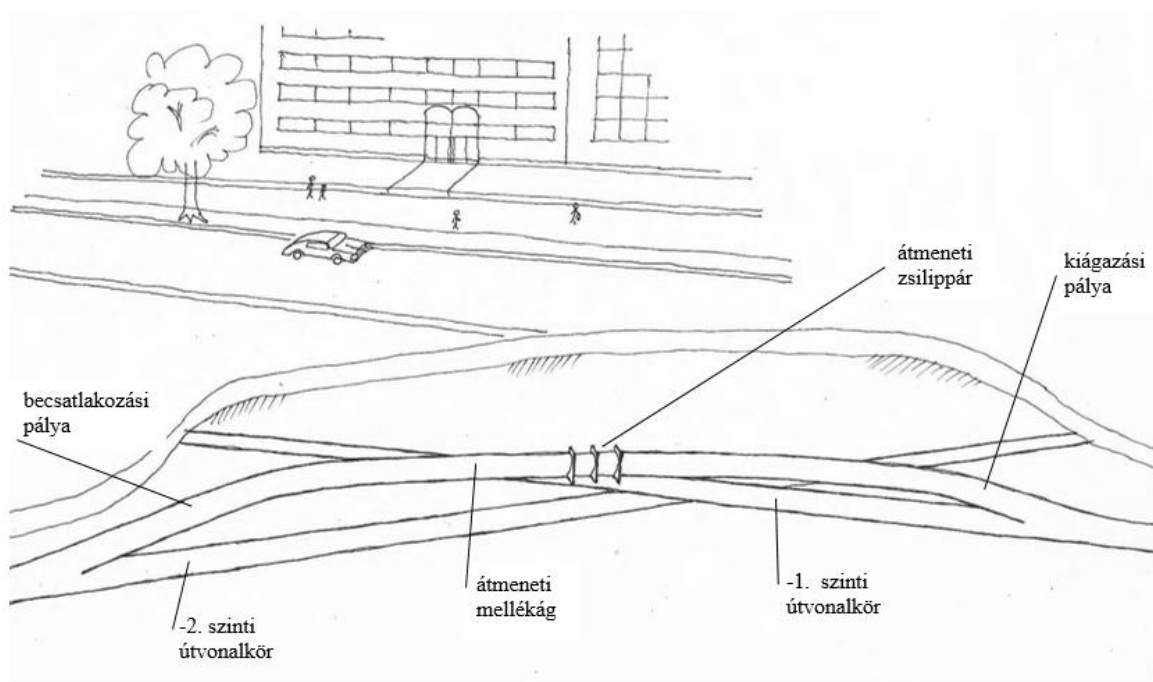
A csőhálózat több szintre oszlik. A felszínhez legközelebbi nulladik szintjén helyezkednek el az egyes útvonal-körök kapcsolatát biztosító, zsilippárokot tartalmazó átmeneti ágak, valamint az állomás mellékágak, ahol szintén zsilippárok helyezkednek el. Az egyes állomások minden kisebb épületrészlet súlypontjánál épülnének ki, szükség szerint egymástól akár 150-200 m távolságra.

A -1. szinten az első, kisebb sebességű, rövidebb útvonal-körök találhatók, melyek feladata az egymáshoz közeli állomások helyeinek összefűzése. Ezeket a köröket az alattuk futó hosszabb útvonal-körök kötik össze, átmeneti mellékágakon keresztül kapcsolattal (1. ábra). Az egyre mélyebben elhelyezkedő útvonal-körökben az áramoltatási sebesség egyre nagyobb, biztosítva ezzel a kisebb sebességi szintű útvonal-körökből az áttérést az egyre gyorsabb körökbe, a lehető leggyorsabb célállomásra érkezés eléréséhez. Az energiamegmaradás törvénye szerint súrlódási és egyéb veszteségeket nem számítva 50 km/h sebesség eléréséhez 9,65 m magasságú süllyedés szükséges, 100 km/h sebesség eléréséhez pedig 39,3 m.



1. ábra Az útvonal hálózatok és szintjeinek összefonódása

Az elképzelés egyik előnye, hogy a felszíni közlekedéssel szemben nincs szintbeli kereszteződés, nem kell a forgalomhoz igazodva folyamatosan gyorsulni és lassulni, feleslegesen megállni. Az egy útvonal-körön belül egyforma az egymástól légdugókkal elválasztott kapszulák haladási sebessége, így kizárt az ütközés veszélye is. A felszín alatt megszűnik az időjárás forgalomra gyakorolt káros hatása, az állandó hőmérséklet miatt nincs szükség tágulási hézagokra, dilatációra, és a nagyobb kanyarodási sebességek esetében sem tud a lebegtetett kapszula letérni a pályáról, a kanyar íve és az önsúly függvényében automatikusan bebillen a megfelelő optimális dőlésszög eléréséhez. További nagy előny, hogy haladás közben a járműkapszuláknak nem kell leküzdeniük a légellenállást (2. ábra).



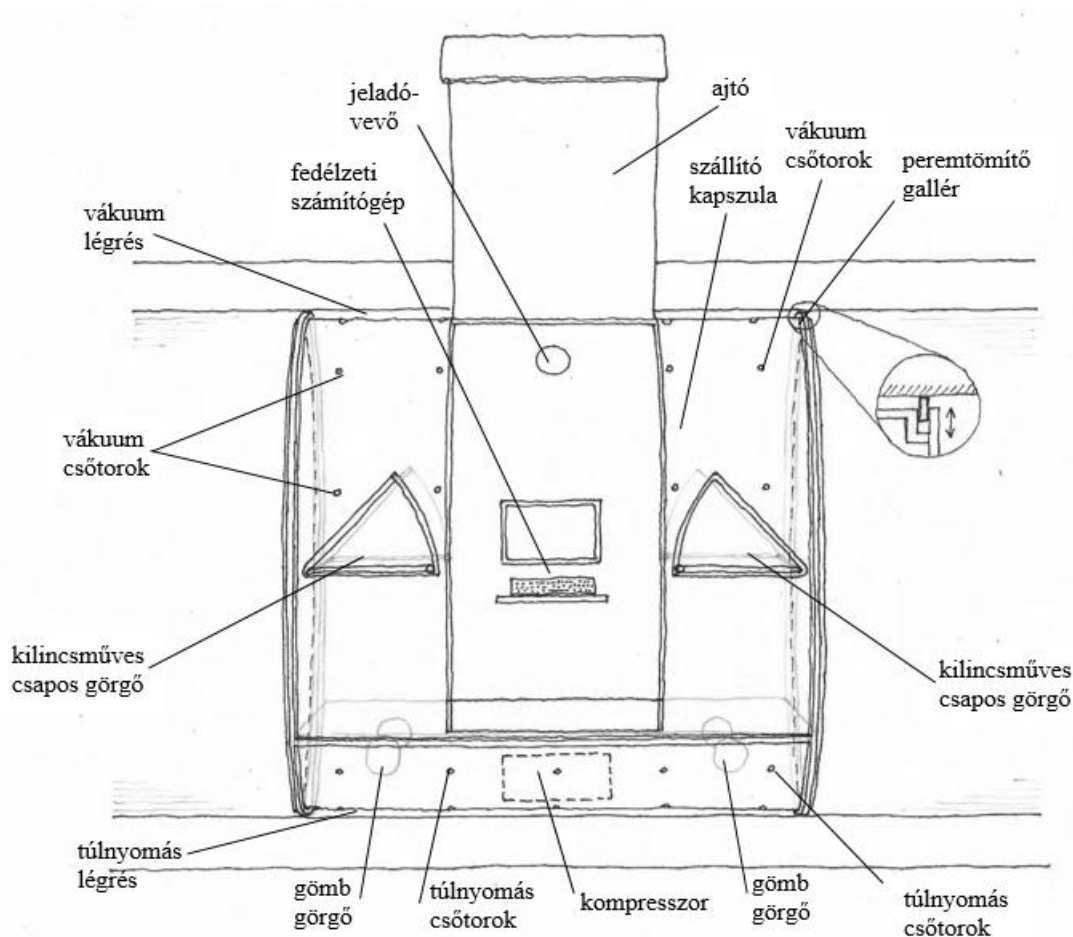
2. ábra Az átmeneti mellékág a zsilipeléssel

A fő csőrendszerben nincs semmilyen mozgó alkatrész, azt nem kell a forgalom leállításával állandóan karban tartani, vagy javítani. Minden elromolni képes szerkezet az egyes kapszulákon van, amit független műszaki állomásokon lehet szervízelni. A működőképesség folyamatos monitorozása lehetővé teszi, hogy a vezérlő rendszer a meghibásodott kapszulát automatikusan kivonja a forgalomból. Az állomásokon és az átmeneti mellékágakon kialakított zsilipek működési anomáliáit szintén a fő csőrendszerben áramló forgalom zavarása nélkül lehet orvosolni.

A föld alatti csőpályarendszer tetszőlegesen bővíthető, könnyen hozzákapcsolható a már meglévő rendszerekhez az egyes útpálya szintek közötti két átmeneti (ki- és be-) kapcsolódási pont kialakításával.

A rendszer elemei

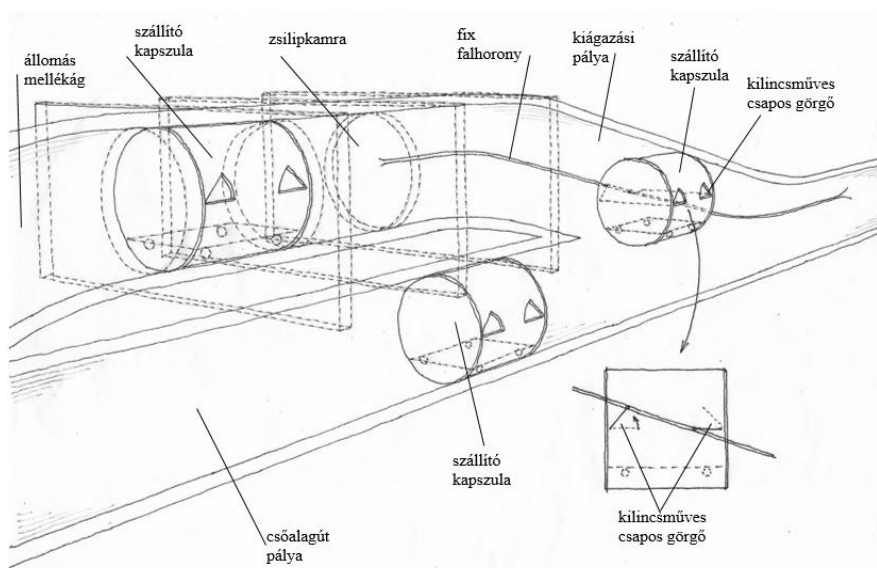
A kapszula kialakítása könnyű (pl. üvegszál erősített műgyanta laminálású), szigetelt szendvics héjszerkezettel, kör keresztmetszettel, és egyenes síkú, csőirányra merőleges véglezárásokkal van megoldva, a végoldalak peremén gumi tömítő gallérokkal, hogy a kapszula és a cső közötti résen minél kevesebb levegő tudjon átszivárogni. A légpárnás üzemet a kapszula saját kompresszora üzemelteti, a felső palást felőli elszívással és a kapszula alsó palástja felé befúvással, így csökkentve a sűrűdést és biztosítva a csőbeli légáramlattal azonos haladási sebességet. A szívott és nyomott palástmenti légréstek közötti határoló tömítés kialakítása biztosítja, hogy a lebegtető nyomások csak a kapszula palástja körül hassanak, és ne a főáramlás légterébe keveredjenek. Persze ezen rendszer is meghibásodhat, így szükséges a kapszulák minden irányban gördülni képes kerekekkel való felszerelése is, ami a parkolási (javítási) mozdításokhoz is szükséges és alkalmas (3. ábra).



3. ábra A kapszula és alkotórészei

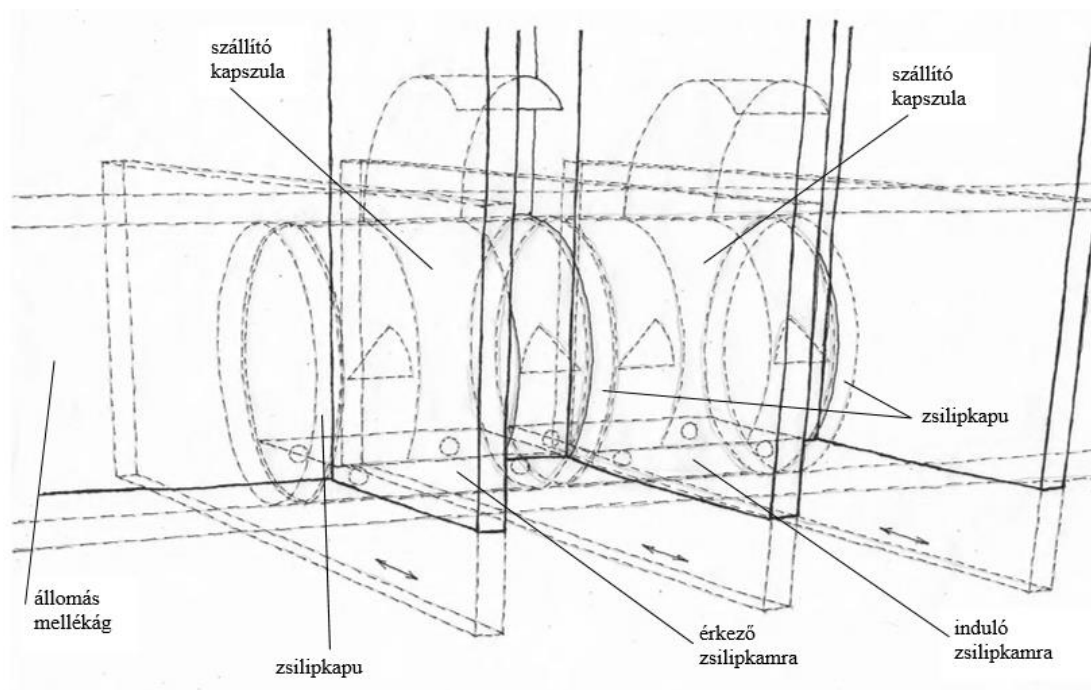
A csőhálózatból való felfelé kilépés és lefelé visszacsatlakozás a ki- és becsatlakozási pályaszakasz oldalfalában kialakított fix ferde horonypár, és a kapszula oldalából kitolható kilincsműves csapos görgőpárok illeszkedésével történik. A vezérléssel a megfelelő útvonal-helyen létrehozott kapcsolással a görgőpárok beülnek a fix ferde oldalhoronyba, ezáltal a kapszulát kiemelik az átmeneti vagy állomás mellékágba, illetve

bevezetik a kívánt útvonalkörbe, a gravitáció kihasználásával a mozgást lassítva vagy gyorsítva. A ferde szakaszokban a kilincsmű első vagy hátsó párjának szögelfordulása biztosítja a kapszula vízszintesben tartását (4. ábra).



4. ábra Az állomás mellékág kialakítása

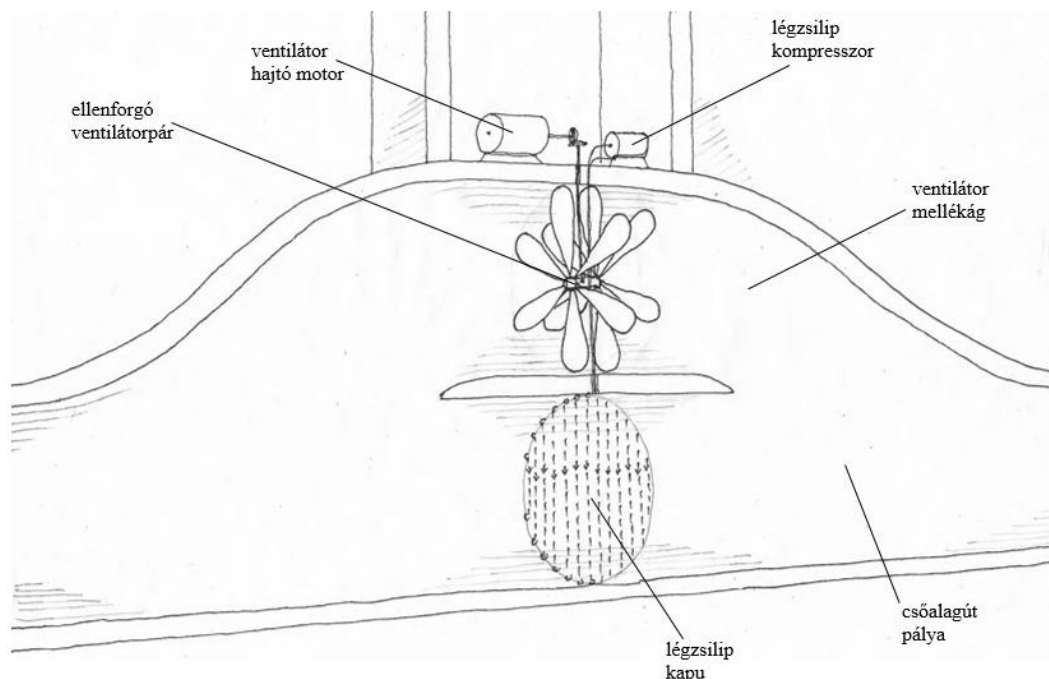
Az átmeneti- és állomás- mellékágakban elhelyezett zsilippárok érkezési oldala biztosítja a már lelassult kapszula fogadását a maradék lendület légpárnás felfogásával a teljes megálláshoz és a zsilipajtók zárásához. Az állomásokon ekkor nyílik a kapszula ajtóval összekapcsolt állomásajtó a kiszálláshoz vagy kirakodáshoz. Ezt követően a kapszula a zsilip pár indulási oldalára gurul át, és várja a következő utast vagy szállítmányt, miközben akkumulátorát a töltőre kapcsolja. Az állomásról a kapszula utas vagy szállítmány nélkül is elindul üresen, ha az érkezési oldalra újabb kapszula érkezik. Az útvonal-körbe visszacsatlakozás az indulási zsilipajtó nyitásával és az érkezéskor felfogott megállító légpárna sűrített levegőjének felhasználásával történik (5. ábra).



5. ábra Az állomási zsilippár elrendezése

Az állandó sebességű légáramoltatást az útvonalkörökben adott szakaszonként kiépített, ventilátor mellékágakban elhelyezett ellenforgó ventilátorpárokkal kell megoldani úgy, hogy a főágban a levegő visszaáramlásának megakadályozását a csőpályába keresztirányú, nagy sebességű levegő áramoltatásával előállított légzsilip kapu biztosítja. Kapszula érkezésekor a ventilátor lapátjainak átállításával az áramoltatás

ideiglenesen felfüggesztésre kerül, a főágban a légszilip kapu a kompresszor-kör ideiglenes rövidre zárásával megszűnik, és a kapszula akadálytalanul áthaladhat a szakaszon. Az áthaladás idejére az átállított ventilátor működik légszilipként. A ventilátor mellékág feletti gépházban kap helyet a ventilátor forgató motor és a lapátszög-állító mechanizmus, valamint a légszilip kapu működtető kompresszor és a megfelelően összehangolt vezérlésüket biztosító elektronika (6. ábra). Az egyes útvonalkörökben szükséges állandó sebességű légáramoltatás fenntartására fordított elektromos energia kiegészíthető környezetbarát energiatermelőkkel, pl. napelemekkel, vagy széltermőművekkel.



6. ábra A légáramot biztosító ventilátor és mellékága a légszilippel

A csőkapszulás közlekedés vezérléséhez az állomásoknál és az átmeneti, valamint ventilátor mellékágaknál fix, valamint a kapszulákba épített mozgó jeladó-vevők vannak elhelyezve. Az általuk sugárzott információk alapján összeállított forgalmi adatok kezeléséhez egy hálózat foglaltsági adatokat folyamatosan aktualizáló és azt a hálózatba visszatápláló szoftver szükséges. A célállomást az indulási helyen betáplálva a kapszula saját számítógépe tervezi meg az útvonalat a rendszer által sugárzott aktuális foglaltsági adatok felhasználásával. Így juttatja el a kapszulát a fedélzeti számítógép automatikusan a célállomáshoz. Az egyes kapszulák ki- és becsatlakozásait az állomásokon és átmeneti zsilipeknél lévő jeladó-vevők határozzák meg, figyelve az adott szakasz forgalmát, biztosítva ezzel a főközlekedési pályaforgalom zavartalanosságát.

A nagy haladási sebesség elérésének egyik akadálya a pálya-hullámosság. Esetünkben a pályaépítés geometriájának nagy pontosságúnak kell lennie főleg a nagyobb sebességű útvonal-körökben, azonban a kapszula lebegtetésével a pálya belső falához folyamatosan illeszkedő tömitéseknek köszönhetően ennek káros hatása mérsékelhető.

A csőrendszert vakond-rendszerű alagútfúróval, és a hozzá kapcsolt vízzáró monolit vasbeton, belső felületén kéregerősített csőhéj készítő vasszerelő és betonozó csúszózsarus technológiai gépsorral lehetséges kialakítani [6]. Bár a változó geológiai viszonyok a szükséges fúrópajzs jellegét jelentősen változtatják, a pajzsok körülményes cseréjét azok többfunkciós vagy helyben változtatható kialakítása megoldhatja. A helyszínen zsaluzatba öntött - injektált vasbeton héj szerkezetnek a terhelhetőséghez és a zsaluzat továbbhaladásához szükséges kötési - szilárdulási idő igénye a fúrési sebességgel szinkronizálható, a problémát csak a váratlan leállások miatt keletkező munkahézagok zárása jelentheti. Mindezek mellett azonban az előregyártott tübbinges palástépítési technológia hátoldali körülinjektálását ez a technológia feleslegessé teszi, ráadásul a földtani környezetre, valamint a felszíni létesítményekre gyakorolt zavaró hatása is sokkal kisebb. A kis csőátmérő miatt az előregyártott elemek beszállítása és beépítése is lényegesen nehezebb volna. Ebben a folyamatosan betonozott rendszerben nincs szükség vízzáró munkahézag-szalagokra, illesztések ragasztására, kikenésekre, a belső kéregerősített felület a gépsor elhaladtával rögtön használatra alkalmas járatot biztosít. A kis átmérős fúrópajzs és a hozzá kapcsolt géplánc folyamatos használata a megvalósítás gazdaságosságát jelentősen javítja. Felhasználható az építéshez az alagútfúrásnál kinyert

kavicsos homok, vagy kőzetörlemény is, az adalékanyag osztályozásával és a betontechnológiát ehhez igazító betonlabor-automatikával folyamatosan figyelemmel kísérve. Ebben az esetben a kiszállítandó furatanyag is sokkal kevesebb. A csőpálya alagút optimális, hullámzásmentes geometriájának kialakítását a modern geodéta mérési rendszerekkel irányított fúrások biztosítani tudják, így az a megfelelően kialakított tárgyi légpárnás rendszerrel alkalmas lehet a pályamélységgel arányosan sokkal nagyobb sebességek elérésére is.

A föld alatti vajatokat a bányászatból ismert kőzet nyomás miatti járat összenyomódás is sújtja, de a megfelelő csőköpeny méretezéssel ez sem jelent veszélyt a mélyebben vezetett csőjáratokra. A csőrendszer 'ellensége' csak a földkéreg egyes lemezei mentén kialakuló tektonikus mozgás, ami talajvíz betörését is okozhatja. Ezt a pályarendszer folyamatos alakváltozás-ellenőrzésével figyelve, szükség esetén újabb elkerülő csőszakaszok kiépítésével kompenzálni kell. A nagytávolságú csőkapuszula rendszer folyók, tengerek alatt is vezethető, korlátok nélkül, mivel ott vízzáró, és nagyobb földnyomásra méretezett csőköpennyel is készülhet.

A mélységgel arányosan a kőzetek hőmérséklete is nagyobb, így elképzelhető, hogy a mélyebben elhelyezkedő csőrendszerek melegebbek lesznek, és ott a levegő hűtése válhat szükségessé. Ebben az esetben az egyes ventilátor-állomások légcserével frisslevegőt fűjhatnak be a rendszerbe, a feleslegessé váló meleg levegő hőjét pedig hőcserélőn keresztül felfogva és közvetítve pl. felszíni épületegységek fűtésére vagy használati melegvíz előállítására is lehet hasznosítani.

A föld alatti nyomvonal szabadon vezethető, nem kell a tervezett közúti vagy vasúti pályákat érintő földterületeket kisajátítani. Az építés során felfedett geológiai információkat, esetleg ásványkincseket hasznosítani lehet.

A legfelső csőpálya-szint (-4 és -6m között) a közművek és mélygarázsok (feltéve, hogy szükségessé még) szintje alatt fut, azokat nem befolyásolva. Egyedüli ütközési pont lehet a mélyebben fekvő metróvonalak alagútja, és mélyállomásai, de optimális nyomvonal tervezéssel ez is elkerülhető. A csőkapuszulás közlekedés elterjedésével a metróhasználat (és a közösségi közlekedés teljes keresztmetszete is) valószínűleg háttérbe szorul. Egy városi közösségi közlekedés fenntartásához szükséges erőforrások összessége (járművezetők, üzemanyag, kötött pályák és forgalomirányítás fenntartása stb.) messzemenően meghaladja a vázolt rendszerét.

A kis kapszulák korlátozzák ugyan a nagyobb méretű tárgyak szállítását, de ipari tevékenységhez, pl. építkezéshez (zsalutáblák, betonacél, beton, nyílászárók, lakatos szerkezetek, állványok stb.), vagy gyártott nagyméretű berendezésekhez (technológiai gépek, tartályok stb.) a felszíni szállítás szükségszerűen megmaradna, azonban ez csak a főútvonalakra korlátozódna, vagy a távolság és terepviszony szerint választott egyéb (pl. légi) szállítási módra állna át. Szükséges az 'utazási élményt' biztosító hagyományos útrendszer meghagyása is, mert az általam vázolt csőkapuszulák elsősorban a hétköznapi áruszállítási igényt elégítené ki, így csökkentve jelentősen a városi és távolsági utak forgalmát. A csőkapuszulás közlekedés csak szükség szerint szolgálná az emberek gyors helyválttatását, és az így ritkított közúti forgalomnak köszönhetően a felszíni utazás valóban élmény maradna, nem pedig idegesítő vagy unalmas várakozások sorozata. Mindkét rendszer fenntartása a költségtakarékosság ellen szól, azonban az áruszállítás föld alá süllyesztése a felszíni közlekedés zsúfoltságát és károsanyag kibocsátását hatalmas mértékben csökkentené.

Az utazás élménye a föld alá kerülve teljesen megszűnik, de ennek a rendszernek a választása csak a gyorsaság érdekében történne, mint a metróban. Számításba kell venni azt is, hogy a jelenlegi fejlesztések fókuszában álló felszíni gyors járművekben az utazás már nem olyan kellemes élmény. A gyors jármű ablakában sebesen villódzó képek sorozata, az ablak előtt elszáguldó tereptárgyak és a szinte állónak látszó távoli környezet együttes látványa zavaró. Az érezhetően nagy sebesség ijesztő mértéke már az utazási élményt sokszor károsan befolyásolja. Ennek következtében lehetséges, hogy a felszín alatti ablaktalan kapszulás utazás sokkal kedveltebb eszköz lehet a gyors, ajtótól ajtóig megvalósuló távolsági helyválttatásokhoz. Az utazás kellemesebbé tételéhez mesterséges panoráma vetítései is lehetségesek.

Amennyiben a rendszert nagytávolságú személyszállításra is alkalmassá szeretnénk tenni, úgy a levegőt, élelmet, és más komfortot is biztosítani kell számukra. Az összezártság miatt szükségszerűen csak kisebb társaságok tudnának együtt utazni, azonban az utazási idő jelentős lerövidítése ezt is kárpótolhatja.

A rendszer működését tovább gondolva felvetődik pl. az utasok és csomagok vizsgálatának, illetéktelen használat megakadályozásának szükségessége is. Ezt az induló állomáson egy erre hivatott személyazonosító biztonsági rendszerrel ellenőrizve ki lehet szűrni, nemzetközi forgalomban annak ellenőrzéséhez a határokon állomásokat lehet beiktatni.

Felmerül sajnos a terrorcselekmények elleni védelem fontossága is, mert ha egy kapszulát felrobbantanak, akkor a rendszer az adott különálló körön összeomlik, és a benne rekedtek kimentése annak lineáris megközelíthetősége miatt nehéz. Ennek kiküszöbölése és kezelése további vizsgálatok tárgya, de nem megoldhatatlan probléma.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

1. Környezetvédelem: A jelenlegi felszíni közlekedés zsúfoltsága, és egyre nagyobb károsanyag-kibocsátása, számos kedvezőtlen környezeti hatása szükségszerűvé teszik egy megfelelő alternatív megoldás kialakítását. A szállítás föld alá süllyesztésével a felszíni közlekedés jelentős mértékben tehermentesülne, emellett annak káros hatásai is jelentősen csökkennének. A közösségi közlekedés föld alá süllyesztését már elkezdték megvalósítani a metróépítés terjedésével. Ha az emberek hajlandók a gyors helyváltoztatás érdekében a föld alá menni, valószínűleg megtennék ezt a közvetlen ajtótól ajtóig történő szállítási módnál is. Ebben az esetben a felszíni közösségi közlekedés felszámolható, Ez az irány az elérhető felszín biztosításához alkalmas lehet. A tisztább levegő, a kevesebb zaj, a csökkenő forgalmi stresszhatások következtében közérzetünk javul.

2. Zöld energia: A kimerülő fosszilis energiaforrások is kényszerűen előrevetítik a szállító járművek meghajtásához szükséges energia környezetbarát előállítását és felhasználását. Az olajéhség megszüntetésére alternatív energiaforrások már rendelkezésre állnak, és a vázolt föld alatti csőkapszulás szállításhoz szükséges levegőáramoltatást ezen energiatermelés segítségével környezetkímélően és gazdaságosan meg lehet oldani. A folyamatos, egyenletes sebességű mozgatáshoz sokkal kevesebb energia szükséges, mint a rendszeresen ismétlődő gyorsításhoz és lassításhoz. A vázolt rendszerben a feltétlenül szükséges sebességváltoztatás az ingyen és mindenhol rendelkezésre álló gravitáció segítségével van megoldva, az üzemelés gazdaságossága így biztosított. Nem utolsó sorban az elképzelt kialakításnál a légellenállás leküzdésére sincs szükség, és ehhez nem kell vákumot biztosítani a csőben komplikált szelepekkel és zsilipeléssel, és a költséges mágneses lebegtetési pálya kiépítésére sincs szükség, mert a kapszula saját légpárnás lebegtetéssel csökkenti a gördülési ellenállását.

3. Ajtótól ajtóig: A szállítás mai fejlesztései a tranzitállomások létrehozására, és az ezen állomások közötti egyre nagyobb kapacitású és egyre gyorsabb járművek kialakítására korlátozódnak. A tranzitállomások közötti gyors haladás azonban nem csökkenti jelentősen az ajtótól ajtóig számított teljes időt, mivel a többszöri átrakodással, várakozással, a tranzitállomásokra és onnan a célba érkezés lassúságával a szükséges idő megnövekszik. Ha a vázolt rendszer útvonalköreinek mélységgel arányos sebességnövekedése nem is éri el egy ultragyors jármű csúcsebességét, a közvetlenül ajtótól ajtóig történő, átrakodás vagy várakozás nélküli szállítás ideje sokkal kedvezőbb lehet.

4. Balesetmentesség: A felszíni közlekedés balesetmentessége sem megoldott. A közúti forgalom mellett a vasúti, vízi, vagy légi szállításnál is előfordulnak emberi életet követelő balesetek. Baleseti statisztikákban sajnos igen előkelő helyen áll a halálos kimenetelű közlekedési balesetek áldozatainak száma [7]. Az itt vázolt szállítási rendszerrel az emberi mulasztásból származó balesetek előfordulása kizárt, mivel az egyes különálló útvonal körökben mozgó kapszulák haladási sebessége azonos, közöttük légdugó szerű légpárna alakul ki, a haladást nem a kapszula maga, hanem egy attól független levegő mozgó rendszer biztosítja. A csőalagút rendszerben a haladást szolgáló csőpályákban nincs mozgó alkatrész, vagy elektromos berendezés, ami meghibásodásra hajlamos. A szerkezetek minden esetben a csőpályákon kívüli mellékágakban vannak elhelyezve, így az esetleges hibákat a forgalom akadályozása nélkül lehet kijavítani.

5. Takarékoság: Gazdasági szempontból a forgalmi torlódások, dugók jelentős termelés kiesést, pénzben mérhető károdalmi károkat okozhatnak a piac szereplőinek. Ezeket a károkat egy kiszámítható, percekre ütemezett áruszállítással teljesen ki lehet zárni, és ennek köszönhetően felmerülhet a gazdaságtalan valamint hely- és mozgatásiigényes raktározás szükségességének kérdése is. Az energia és az eszközök megtakarításán túl a szállításban foglalkoztatott jelentős dolgozói létszám is felszabadul, hiszen a kapszulás közlekedés irányítását számítógépes felügyeleti rendszer végzi, az emberi mulasztások teljes kiküszöbölésével.

6. Gyorsaság: A pozitív gazdasági hatásai mellett a gyors és közvetlen áruszállítás a romlandó élelmiszerek, növényi termékek mielőbbi célba juttatásához is elengedhetetlen. A segítségnyújtás gyors helyszínre érkezése is javítaná biztonságérzetünket. Mindezen túl pl. a nemzetközi segélyszervezetek munkája is sokkal hatékonyabb lehet a vázolt kapszulás szállítási rendszer használatával. Ugyanígy az egyre terjedő e-kereskedelemben is jelentősen lecsökkenthető az áruszállítási idő, megvalósul az azonnali házhoz szállítás, a vásárlók nem kis meglepetésére.

7. Időjárásfüggetlenség: Meg kell említeni a felszíni közlekedés időjárástól függőségének problémáját is. Nem kis gondot okoz az utak és útpályák biztonságos közlekedésre alkalmasságának biztosítása a folyamatos szállítás fennakadás-mentességéhez. A szállítás föld alá süllyesztésével kiküszöbölhető a szélsőséges hőmérsékletek, a különböző csapadékok, az erős légmozgások, a káprázttató napsütés és még számos egyéb káros hatás is.

Az előzőekben vázolt föld alatti szállítási rendszer kiépítése kezdetben nagy tőkeigényű, de gyorsan megtérülő, és olcsó üzemeltetési beruházás, melynek finanszírozása állami feladat lehetne. A csőkapszulás

szállítási rendszernek lényegében egy sofőr nélküli taxiszolgalat, melynek alacsony térítési díja hamar közkedveletté tenné használatát.

Napjainkban tehát a technika fejlettsége lehetővé teszi, hogy olyan közlekedési rendszert építsünk, amely egyszerre csökkentené drasztikusan a közlekedés környezetterhelését, költségét és erőforrásigényét, miközben nagymértékben növelné az áruk és személyek biztonságos és gyors, ajtótól ajtóig történő szállítását, ezen keresztül a hatékonyságot.

4. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] KSH, Helyzetkép a szállítási ágazatról (2017) <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/jelszall/jelszall17.pdf>
- [2] KSH, Közlekedési baleseti statisztikai évkönyv (2015) <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/baleset/baleset15.pdf>
- [3] GB 1514607 A Pneumatic transport system with blocking valve control, https://worldwide.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=en_EP&DB=EPODOC&ST=advanced&TI=&AB=&PN=GB+1514607+&AP=&PR=&PD=&PA=&IN=&CPC=&IC=&Submit=Search
- [4] Narayan S (2016) Solar-Powered Vactrain, Lambton Collage <http://ctrf.ca/wp-content/uploads/2016/05-CTRF2016-NarayanRailTransport.pdf>
- [5] Miskolci Egyetem, Eurologisztika jegyzet: Kombinált szállítás a globális logisztikában: http://web.alt.uni-miskolc.hu/anyagok/EuroLog-G4/8_eloadas.pdf, letöltve 2020.04.11
- [6] Reichart Gy, Kárpát Cs (2015) Nem járható és kisméretű járható közmű- és csatorna alagutak kitakarás nélküli, csősajtólassal történő építése, BME, Egyetemi jegyzet <http://www.mti.bme.hu/wp-content/uploads/2017/05/Oktatasi-anyag.pdf>, letöltve 2020.04.05
- [7] Brivio E, Meder S (2018) 2018 road safety statistics: what is behind the figures? https://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-19-1990_en.htm
- [8] Török, Á, Zöldy M: Energetic and economical investigation of greenhouse gas emission of Hungarian road transport sector, *Pollack Periodica* 5: 3 pp. 123-132, 10 p. (2010) DOI 10.1556/Pollack.5.2010.3.10
- [9] Lakatos I, Kőrös P, Hajdu F 2014: Examination of the effect of sensor properties on the secondary battery model in simulation environment, *ACTA TECHNICA JAURINENSIS* 7: 1 pp. 71-86, 16 p.
- [10] Zöldy M: Bioethanol-biodiesel-diesel oil blends effect on cetane number and viscosity, In: Bartz, W J (szerk.) 6th International Colloquium : Fuels 2007 Esslingen, Németország : Technische Akademie Esslingen, (2007) p. 235
- [11] Derenda T, Zanne M, Zöldy M, Török Á: Automatization in road transport: a review *Production Engineering Archives* 20: 20 pp. 3-7, 4 p. (2018)
- [12] Zöldy, M: Investigation of autonomous vehicles fit into traditional type approval process, In: Olja, Cokorilo International Conference on Traffic and Transport Engineering, Belgrád, Szerbia: University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, (2018) pp. 428-432, 5 p.
- [13] Holló A, Geiger A, Gergó P: Upgrading options of heavy residues, rubber modified bitumen case study, *FUELS AND LUBRICANTS* : 1 pp. 18-23, 6 p. (2017)