

JÁRMŰVEK FEDÉLZETÉN MEGKÖTÖTT SZÉNDIOXID LEHETŐSÉGÉNEK GAZDASÁGI ÉS KÖRNYEZETVÉDELMI ELEMZÉSE

ZÁDOR ISTVÁN

okleveles közlekedésmérnök,
Kogát Közhasznú Nonprofit Kft.
4400 Nyíregyháza, Eperjes út 16.
istvan.zador@kogat.hu

TÖRÖK ÁDÁM

okleveles közlekedésmérnök,
KTI NonProfit Kft.
Közlekedéspolitikai és gazdasági tagozat,
1119 Budapest Thán Károly utca 3-5.
torok.adam@kti.hu

A társadalom jogos igénye a közúti közlekedésből származó környezetterhelések, károsanyag-kibocsátások minimalizálása. A közlekedési környezetszennyezés hatására Földünk klímája megváltozik; ez hatással van a társadalom és a gazdaság állapotára. A környezetszennyezés jelentős része közlekedési eredetű. A szektoron belül a közúti közlekedés a legnagyobb „károkozó”. Cikkünk témája a közlekedésben résztvevő járműveken való széndioxid megkötéskor fellépő környezeti és gazdasági hatások elemzése. Összegyűjtve az információkat elemeztük az adatokat az alternatív fosszilis hajtóanyagok felhasználásával (LPG és CNG) szemben, mind nagyvállalatok, magánszemélyek és az állam aspektusaiból is.

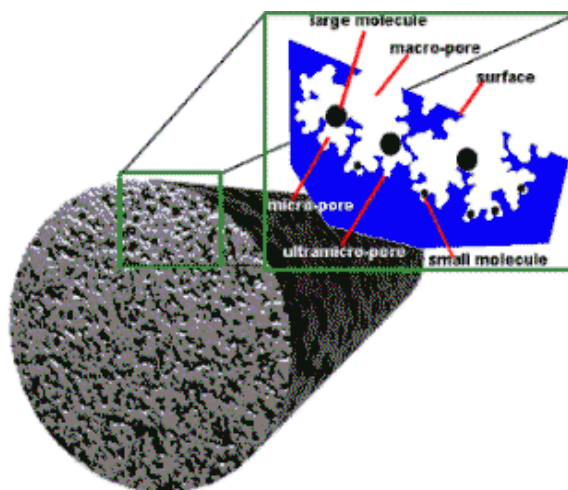
1. Bevezetés

A környezet változása – beleértve az éghajlatot is – és az ezeket befolyásoló emberi akciók kapcsolatban állnak a társadalommal, a gazdasággal. A közlekedésnek a természeti a gazdasági és társadalmi környezet által definiált térben kell megfelelnie, úgyhogy gazdaságilag hatékonyan, környezetkímélő módon elégítse ki a társadalom mobilitási igényeit [1]. Az elmúlt században lejátszódó robbanásszerű - tudományos és technikai - fejlődés olyan eszközöket és technológiai megoldásokat adott az emberiség kezébe, amelyek hatványozottan növelték meg a környezetbe való beavatkozás hatását. Ennek megoldása a műszaki fejlesztésen, anyagtakarékos technológiák alkalmazásán, megújuló energiaforrások hasznosításán, környezetkímélő közlekedésen és szállításon alapszik. A társadalom jogos igénye a közúti közlekedésből származó környezetterhelések, károsanyag-kibocsátások minimalizálása. A közlekedési környezetszennyezés hatására Földünk klímája megváltozik; ez hatással van a társadalom és a gazdaság állapotára. A környezetszennyezés jelentős része közlekedési eredetű. A szektoron belül a közúti közlekedés a legnagyobb „károkozó”. A motorizáció dinamikus fejlődése olyan jelentős levegő-, talaj- és vízszennyeződést okoz, amely légkörünk, talajfelszínünk és vízkészletünk gigantikus méreteihez képest is számottevő. A "fenntartható fejlődés" fogalma olyan fejlődést takar, amelynek lényege, hogy a műszaki fejlesztés ütemét, és a növekvő fogyasztási igények kielégítését, valamint a Föld nyersanyagkészleteinek és erőforrásainak felhasználását oly módon kell egyensúlyban tartani, hogy az emberiség következő generációinak lehetőségei, életszínvonala és életkörülményei ne legyenek rosszabbak a jelenleginél [2]. Cikkünk témája a közlekedésben résztvevő járművek átalakításakor fellépő környezeti és gazdasági hatások elemzése, oly módon, hogy a járműveken megkötjük a tüzelőanyag égéskor keletkező széndioxid nagy részét. Összegyűjtve

az információkat elemeztük ezt az eljárást az alternatív fosszilis hajtóanyagok felhasználásával (LPG és CNG) szemben, mind nagyvállalatok, mind magánszemélyek aspektusaiból. A projektfinanszírozás eszközeire épülő általunk kidolgozott gazdasági modell tetszőlegesen alkalmazható és validálható egy adott vállalatra, mely talán megkönnyítheti a cégek szemléletváltását és segíthet az állami szerepvállalás reformálásában is. Az LPG (Liquid Propane Gas) kémiaileg propánból és butánból áll. A CNG (Compressed Natural Gas) földgáz, ami gyakorlatilag túlnyomórészt metánból áll. A lakosság gázzal való ellátása során a kibányászott földgázból gyakorlatilag a propánt és a butánt leválasztják és cseppfolyósítják, mivel ez a gázhálózatban nemkívánatos. A CNG gázhalmazállapotban tárolható és szállítható, a tároló tartályokban 200 bar körüli nyomás uralkodik, amit egy nyomáscsökkentővel 7 bar-ra mérsékelnek gépjárműveknél tüzelőanyagként való alkalmazáskor. Szívómotoroknál mindkét gáz hajtógázként való alkalmazása során teljesítménycsökkenéssel kell számolnunk. A szívási és a fojtási viszonyoktól függően a teljesítmény veszteség 4-10% közötti lehet. A CNG-nél a helyzet hasonló, csak itt a teljesítmény veszteség tipikusan 12-15% körül van. A széndioxid kibocsátást tekintve, aminek a csökkentése az EU egyik fő célkitűzése, a benzinüzemhez képest az LPG mintegy 15%, míg a CNG kb. 25%-al produkál kevesebbet azonos teljesítményszinteken.

2. Egy új alternatíva

Korunkban nagyon sok fejlesztés folyik a közlekedési járművek tüzelőanyagainak égése során kibocsátott káros anyagok csökkentésére. A teljesen új energia források, mint a napelem, tüzelőanyagcella, hibrid járművek, kivétel nélkül, még nem teljesen kiforrott technológiák és meglehetősen drágák. Ezen energiaforrások elterjedéséig valószínűleg az LPG és a CNG tüzelőanyagok fogják uralni az átmeneti piacot. Éppen ezért ezen energiahordozók felhasználását fogjuk összehasonlítani a széndioxid megkötési módszerrel mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból. Az eljárás a szelektív adszorpció jelenségére épül, úgy fokozva az adszorpció határfokát, hogy az adszorbeáló felületet mikroporozus szerkezet létrehozásával növeljük meg. Ez úgy valósítható meg, hogy a szénszál-szövetet megfelelő polimer-gyantába helyezve, majd kiegészítve a kapott darabot aktív vízgőzzel megfelelően kezelve az anyag belsejében mikroporozus szerkezetet hozunk létre (1. ábra).



1. ábra Aktív szén mikroporozus szerkezete
(forrás: [3])

Az ilyen módon előállított szűrő nanocsöves jellegű anyagszerkezetében a szén-dioxid molekulák fizikai adszorpciója hatékonyabban történik meg, mivel a molekulák közötti Van der Waals erők hatásfoka megnő. A szén szűrőbetétek telítődés után 200-300°C-ra melegítés következtében regenerálódnak, így a „felengedett” CO₂ összegyűjthető és a betét ismét használható szűrésre [3].

3. Gazdasági elemzések

Ebben a fejezetben azt az elméletet elemztük, miszerint a gépjárművek hajtóanyagának megváltoztatása, és az evvel járó kiadások nem feltétlenül a legmegfelelőbb alternatívái a „zöldebb” közlekedés megvalósításának. Elméletünk alapján azt vizsgáltuk, hogy mennyire lehet versenyképes az alternatív járműhajtóanyagokkal szemben az a fajta eljárás, ha a gépjárművek CO₂ kibocsátását csökkentjük, vagy megszüntetjük. Az elképzelés lényege, hogy a gépjárművek kipufogó gázát átvezetjük aktív szén alapú (vagy zeolit, de lehet egyéb eljárás is) szűrőhengeren, mely ezen gáz CO₂ tartalmának nagy részét megköti. Amennyiben ez a szűrő egy cserélhető betét, melyet akár tankolásokkor cserélnek, lehetőség van a telített betétek regenerálására körülbelül 200-300 °C-on. A betétekből kinyert gázt célszerű cseppfolyósítani és tisztítani, majd értékesíteni a piacon, vagy megkapni, állami rendszert kiépítve, a nemzetközi kvóta alapján, támogatás formájában. A következőkben a személygépjárművekkel foglalkozunk nagy számuk miatt. Később a nagy járműparkkal, koncentrációval rendelkezők buszok értékelésére térünk rá. A tehergépjárművek heterogenitása és száma indokolatlanná teszi vizsgálatukat.

3.1 Személygépjárművek

A következő táblázatban a különböző üzemtípusok CO₂ kibocsátását láthatjuk tankolások között (550 km) és éves szinten (20.000 km). A kibocsátás minden esetben a CO₂ kvótaár (ETS ~ 15 Euro/t) szerint van kifejezve forintban és 80%-os fedélzeti CO₂ megkötést feltételez. 1. táblázat

Személygépkocsik tankolások közti és éves CO₂ kibocsátása monetarizálva

Benzin:	tonna	Megkötve 80% [Ft]
CO2 kibocsátás tankolások között:	0.1100	356.40
CO2 kibocsátás évente:	4.0000	12,960.00
Diesel:		
CO2 kibocsátás tankolások között:	0.0770	249.48
CO2 kibocsátás évente:	2.8000	9,072.00
CNG:		
CO2 kibocsátás tankolások között:	0.0660	213.84
CO2 kibocsátás évente:	2.4000	7,776.00
LPG:		
CO2 kibocsátás tankolások között:	0.0715	231.66
CO2 kibocsátás évente:	2.6000	8,424.00

(forrás: saját számítás eredménye)

A következőkben a környezetszennyezést a CO₂ kibocsátáson keresztül vizsgáltuk és fejeztük ki oly módon, hogy a hazánkban futó autók felébe szűrőbetétet helyezve, állami szinten mekkora megtakarítás (kvóta) keletkezhetne.

2. táblázat
Állami szintű megtakarítás a CO₂ kibocsátás csökkentésből (CO₂ kvóta alapján) évente

Állami szinten:	Jármű darabszám Magyarországon	Éves megtakarítás [Ft]
Benzines jármű darabszám:	2,600,000	16,848,000,000
Diesel jármű darabszám:	1,000,000	4,536,000,000
CNG jármű darabszám:	1,000	3,888,000
LPG jármű darabszám:	1,000	4,212,000
	Σ:	21,392,100,000

(forrás: saját számítás eredménye)

Ez a 21 milliárdos megtakarítás évente nagyon impozáns, de ne feledkezzünk meg a másik oldaláról sem. A nagyon sokfajta személygépjármű típus és kipufogó végződés szinte lehetetlenné teszi valamilyen egységes rendszer bevezetését, ezért nem tűnik megvalósíthatónak egy ilyen eszköz elterjedése. Ezen eljárás elterjedését tovább nehezíti a következő szemléletes számítás is.

3. táblázat
Átépítési és emissziós költségek különbségei

[Ft]	Magánember/Állam	Állam	Magánember
LPG-re átalakítás	Átépítési költség	Éves emisszió megtakarítás	Éves anyagi megtakarítás
Benzin	220,000	12,922	193,000.00
Diesel	700,000	13,282	52,000.00
CO₂ szeparálás (értékesíthető)			
Benzin	100,000	16,200	
Diesel	100,000	11,340	

(forrás: saját számítás eredménye)

A 3. táblázat azt mutatja, hogy milyen módon alakulnak a költségek állami és magán szinten, amennyiben LPG-re alakítunk egy autót vagy CO₂ szűrőt helyezünk el rajta. Látható hogy a környezetterhelési összeg mindkét esetben azonos, azonban LPG-s autónál az üzemben tartó anyagilag jobban jár (a fogyasztási különbözet miatt). Ezen oknál fogva válik fontossá az állami beavatkozások, támogatások rendszerének kiépítése, azonban ez nem fogja tudni ellensúlyozni az LPG-s járművek éves megtakarításait. A látottak alapján megállapíthatjuk, hogy személygépjárműveknél a CO₂ szűrési eljárás még állami támogatással se jelent olyan mértékű megtakarítást, mint az LPG-s gépjármű alkalmazása. Ebben az esetben amennyiben az állam az átalakításból származó CO₂ csökkentéseket szeretné támogatni, azt célszerű a gázos gépjárművek (LPG, CNG) átalakításába forgatni.

3.2 Buszok

Buszok esetében közlekedési vállalatok szempontjait vettük figyelembe, és így próbálunk segítséget nyújtani gépjárműveik felújításakor, cseréjekor költségelemzéssel illetve lehetőségek felkínálásával. Nagyon fontos megemlíteni azt is, hogy ezen cégeknek lényegesen nagyobb súlyuk van az állami szinten egy esetleges CO₂ kvóta rendszer kidolgozásáért történő lobbitevékenység ügyében.

A modellezésnél alkalmazott adatok:

- Kipufogógáz paraméterei:
 - 1 bar nyomás
 - CO₂ tartalom: 1-12 tf%
 - Hőmérséklet: 100-150 °C
- Aktív szén paraméterei:
 - 2.4 euro/kg
 - Sűrűség: 277 kg/m³
- CO₂: 44 g/mol
- Busz:
 - 225 kg CO₂ / tankolás
- CO₂ megkötés:
 - 100 °C: 0.5-1.1 mmol/g
 - 25 °C: 1.5-3.3 mmol/g

A következő táblázatban a különböző típusú járművek tankolások közötti (1.500 km) és az éves (70.000 km) CO₂ kibocsátását mutatja, természetesen az Európai kvótával (15 Euro/t) átszámítva forintra. Minden esetben azt feltételezem, hogy a szűrőbetét 80%-os hatásfokkal dolgozik.

4. táblázat
Buszok tankolások közti és éves CO₂ kibocsátása

Benzin:	tonna	Megkötve 80% [Ft]
CO2 kibocsátás tankolások között	0.0000	0.00
CO2 kibocsátás évente	0.0000	0.00
Diesel		
CO2 kibocsátás tankolások között	0.225	729.00
CO2 kibocsátás évente	87.5000	283,500.00
CNG:		
CO2 kibocsátás tankolások között	1.3500	4,374.00
CO2 kibocsátás évente	63.0000	204,120.00
LPG:		
CO2 kibocsátás tankolások között	1.6500	5,346.00
CO2 kibocsátás évente	77.0000	249,480.00

(forrás: saját számítás eredménye)

Látható, hogy diesel buszok esetén, amennyiben a CO₂ kvóta rendszer ki lenne építve hazánkban, tankolásukkor 729 Ft, míg éves szinten 283.000 Ft megtakarítást lehetne elérni a CO₂ megkötésével.

5. táblázat

Állami szintű megtakarítás a CO₂ kibocsátás csökkentéséből (CO₂ kvóta alapján)

Összes busz Magyarországon:		Éves megtakarítás [Ft]
Állami szinten:	Jármű darabszám eloszlása	50% átépítéssel 80% hatásfokkal
Benzines jármű darabszám:	0.00	0.00
Diesel jármű darabszám:	17,500.00	2,480,625,000.00
CNG jármű darabszám:	50.00	5,103,000.000
LPG jármű darabszám:	5.00	623,700.00
	Szumma:	2,486,351,700

(forrás: saját számítás eredménye)

Amennyiben állami szinten vizsgáljuk a kérdést és figyelembe vesszük a hazánkban futó buszok számát, akkor kiszámolható az emisszió csökkentéséből eredő megtakarítás. Az előző táblázatban azt feltételezzük, hogy minden második gépjármű átalakításával és 80%-os hatásfokú szűrővel mennyivel enyhítenénk a légkörünk CO₂ szennyezését. Így 2,5 Milliárdos megtakarítást lehetne elérni (625 tCO₂), melyet főleg a diesel buszok kipufogógáza szolgáltatna. A következő táblázatban összehasonlítunk egy 1.000 gépjárműből álló flotta (pl. BKV) két átalakítási projektjét. Az egyik esetben CNG_Vegyes üzemre építik át a járműveket (a szakirodalomban ez bizonyul a legkedvezőbb választásnak), míg a másik esetben a buszokat CO₂ szűrőkkel szerelik fel, és a megkötött CO₂-t tovább értékesítik kvótaárban. A második esetben az átalakítási költség az anyagárat is tartalmazza, míg az üzem egy regeneráló állomás, melyben a CO₂ felszabadítását, cseppfolyósítását és tisztítását végzik.

6. táblázat

Összehasonlítás a BKV járműflottájára

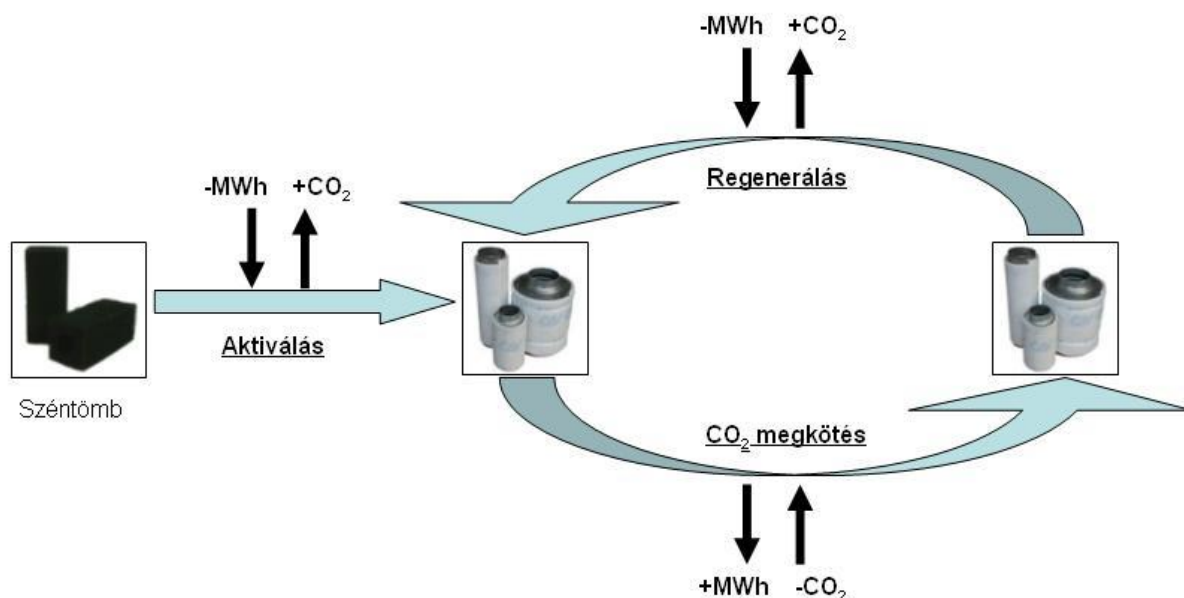
BKV buszok száma:	1,000	db			
NPV (P/A, 8%, 15 évre)	8.56				
[Ft]	Átépítés	Megtakarítás / év	Kút / üzem beruházás	Üzemeltetés / év	NPV
CNG vegyes	8,000,000	840,000	67,000,000	2,000,000	-894,558,000
CO ₂ szeparáció	2,000,000	284,000	100,000,000	15,000,000	202,371,000

(forrás: saját számítás eredménye)

4. Környezeti elemzések

Az előbbi példákban pusztán gazdasági szempontokat vettünk figyelembe, azonban a CO₂ kvótarendszer kapcsán tisztább képet kapunk (környezetvédelmi szempontból) ha figyelembe vesszük példánkban az alkalmazott szűrőbetéthez kapcsolódó minden részfolyamat

közvetett CO₂ kibocsátását. Ehhez nézzük először a CO₂ mozgással kapcsolatos részfolyamatokat aktív szenes szűrőbetét alkalmazása esetén.



2. ábra CO₂ körfolyamat az aktív szenes szűrőbetéteknél
(forrás: saját készítés)

Az ábra jól szemlélteti a részfolyamatok energia és széndioxid mérlegét.

A modellezésnél alkalmazott adatok:

Járművenként 10 dm³-es (3 kg) szűrőbetét

100 db jármű (szűrő)

1 m³-es kemence (250 kW)

CO₂ megkötés: 1 kg aktív szén=0.1 kg CO₂-t köt meg

CO₂ regenerálásakor 60 KJ/mol energia szükséges (CO₂ mol-ja 44g)

7. táblázat

A járműveken megkötött CO₂ egyenlege

		Erőmű típusa:		Szén/Olaj	Gáz	Napelem	Nukleáris	Szél	
		kg CO ₂ / 1 MWh=		900.00	400.00	50.00	20.00	10.00	
Aktiválás	Idő [h]	Teljesítmény [kW]	Energia [kWh]	[MWh]	CO ₂ kibocsátás [kg]				
Felfűtés	3.00	-250.00	-750.00	-0.75	-675.00	-300.00	-37.50	-15.00	-7.50
Hőntartás	1.00	-200.00	-200.00	-0.20	-180.00	-80.00	-10.00	-4.00	-2.00
Megkötés					30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Regenerálás	CO ₂ [kg]	CO ₂ [mol]	Energia/mol						
	30.00	681.82	1.66667E-05	-0.01	-10.23	-4.55	-0.57	-0.23	-0.11
Megtérülési ciklusidő:					25.03	8.64	0.93	0.37	0.18

(forrás: saját számítás eredménye)

A fenti számításból jól látható, hogy bár a szűrő aktiválása, különösen „szén” energiából, sok CO₂-t juttat a légkörbe, a megkötési-regenerálási, negatív széndioxid egyenlegű, ciklusok megfelelő számával már kompenzálni lehet (25 ciklus). Nukleáris erőmű energiáját felhasználva pedig, már az első ciklus negatív széndioxid mérleggel zárul. Látható tehát, hogy ez a

technológia nem csupán gazdasági, de környezetvédelmi hasznot is eredményez, tehát érdemes lenne foglalkozni az eljárás pontosabb kidolgozásával.

5. Összegzés

Cikkünkben a járműveken a kipufogó gázból megkötött széndioxid piaci értékesítésének gazdasági, - és a szűrőbetét életciklus elemzése alapján - környezetvédelmi szempontú elemzésére került sor. **Személygépjárműveknél a túlzottan sok típus és a csekély (pénzben kifejezve) megkötött széndioxid nem kínál elég motivációt, de busztársaságoknál, melyek „termelt” széndioxidjukat értékesíthetik, komoly előnyt jelenthet.** –több busszal, flottával rendelkező cégeknél - számításainkat figyelembe véve - mérlegelni kellene, az átalakítások, beruházások előtt a járműveken történő széndioxid megkötésének lehetőségét és a regenerálást követő továbbértékesítését is, az alternatív tüzelőanyagokra való átállás mellett. A kipufogógáz széndioxid tartalmának értékesítéséhez elengedhetetlen az állami intézményi és jogrendszer átalakítása. A gazdasági összehasonlítás alapján elmondható, hogy a projekt költségek sokkal kedvezőbbek a vegyes üzemű CNG-re való átállásnál, bár ez a technológia, mind szűrőbetét, mind regeneráló egységek tekintetében még nem kiforrott, rengeteg probléma megoldásra vár. Az azonban bizonyított, hogy ezen technológia alkalmazása komoly anyagi hasznot jelent és a teljes ciklust tekintve is csökkenti a légkör CO₂ tartalmát. A következő lépés, hogy megvizsgáljuk a CO₂ szűrőbetétek (aktív szén, zeolit, stb.) kapacitását (mekkora holt terhet jelent a szűrő), regenerálhatóságát. Pontosán megállapítsuk a gépjármű átalakítások költségeit.

Irodalomjegyzék

- [1] *Dr. Tánczos Lászlóné: Közlekedésgazdaságtan I.* egyetemi jegyzet – (BME Közlekedésgazdasági Tanszék, Bp. 1994.)
- [2] **Klímaváltozás és a közlekedés kölcsönhatása** - *Török Ádám*: VaHaVa – AGRO 21 füzetek (ISSN 1218-5329) 47. sz. (p27 - 30)
- [3] **Gázok széndioxid csökkentési metódusai szeparációval** c. kutatási jelentés, Kogát Közhasznú Nonprofit Kft, 2009