Műszaki Földtudományi Közlemények, 84. kötet, 1. szám (2013), pp. 101–110.

CO_2-VEZETÉKLÉTESÍTÉS KÜLÖNFÉLE KÖLTSÉGMODELLJEI

VARIOUS COST MODELS OF CO_2 PIPELINE CONSTRUCTIONS

HORÁNSZKY BEÁTA[1]

Absztrakt: A klímaváltozás elleni küzdelem egyik eszköze a Carbon Capture and Storage (CCS) technológia, melyben a légkört károsító CO_2 gázt leválasztják a füstgázokból és különféle geológiai formációkban letárolják. A CO_2 keletkezésének helye és a tárolásra használt formációk nagy távolságra vannak egymástól. A gáz szállítására az Európai Unió tervei szerint 2050-ig több mint 20 000 km csővezetéket létesítenek majd, közel 28,5 milliárd euró értékben [1]. Ekkora csővezeték-hálózat kiépítéséhez természetesen a műszaki-biztonsági terveken kívül beruházási, pénzügyi tervekre is szükség van. A témában már számos tanulmány született, amelyek mind a földgázszállító hálózatok, mind az EOR olajtermelési technológiához kiépített CO_2-csővezetékek műszaki, pénzügyi adatait felhasználva próbálnak költségmodelleket alkotni. E cikkben néhány – alapvetően különböző - szakirodalomban fellelhető modell került összevetésre.

Kulcsszavak: CCS-technológia, CO_2-vezetékek, költségmodellek, műszaki-gazdasági elemzés

Abstract: Carbon Capture and Storage (CCS) is considered to be a promising technology and an effective tool in the struggle against climate change. The method is based on the separation of air-polluting CO_2 from fuel gases and its subsequent storage in different types of geological formations. The outlet points and the formations used as CO_2 storage sites are often very far from each other. According to certain recently announced, medium-term EU plans, a 20000 km long pipeline system will be established for the transportation of the gas by 2050, at a cost of 28.5 billion Euros [1]. Obviously, not only technical and safety planning, but also detailed, itemized financial and investment plans based on cost calculations (including construction and operation costs), are required to make such a grandiose enterprise economically feasible. We reviewed several studies from available literature that use different computational models to determine pipeline construction costs, based on the technical and financial data of natural gas transport pipelines and CO_2 pipelines built for Enhanced Oil Recovery (EOR) projects. In this paper, these cost models are collated and analyzed, with regard to their applicability to CCS process planning.

Keywords: CCS technology, CO_2 pipeline, cost model, techno-economic analysis

1. Bevezetés

A CO_2 gáz csővezetéki szállítása nem új feladat, hiszen több évtizede már, hogy az EOR olajtermelési technológiákhoz a gáz a termelő helyre vezetékeken keresztül jut el. Ma már az USA-ban az EOR-CO_2 vezetékek hossza több mint 6000 km, Európában pedig 500 km alatt van.

[1] HORÁNSZKY BEÁTA, tanársegéd
Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Kőolaj és Földgáz Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros
bea.horanszky@uni-miskolc.hu

Az EU a CCS-technológiát egy fontos, de csak átmeneti klímavédelmi eszköznek tartja, s mivel kevés a folyamattal kapcsolatos tapasztalat, jelenleg elsősorban mintaprojektek beruházását és működtetését finanszírozza. A későbbiekben azonban egy, a mai európai földgázszállító hálózathoz némileg hasonlító CO_2-vezetékrendszer kiépítést tervezi [1].

A jelentős tőkét igénylő tervek megvalósítását az EU várakozásai szerint az Európai Emisszió Kereskedelmi Rendszerének (ETS) 2013-tól kezdődő változása is pozitívan befolyásolhatja. Az új előírások szerint a 3. kereskedési szakaszban, 2013-tól leválasztott CO_2-mennyiség, amely biztonságosan letárolásra került, nem tekinthető kibocsátott mennyiségnek a kvóták szempontjából [2]. Tehát a későbbiekben, amikor már a teljes kvóta-mennyiség aukciókon kerül értékesítésre, a feltehetően magas kvótaárak miatt a nagy kibocsátóknak érdekük lesz ezt a technológiát használni.

2. A CCS-CO_2 vezetékek költségmodelljei

A környezet védelmét szolgáló CCS-technológia elterjedéséhez természeten nem csak műszaki, hanem gazdasági tervek, tanulmányok is születtek. S bár a CO_2-szállításról a szakemberek nagy tapasztalatokkal rendelkeznek, a szállítás gazdasági modellezése még nem történt meg teljeskörűen.

A szállítási tevékenység a CCS-láncon belül többféle lehet, a forrás- és tárolási pontok elhelyezkedésének függvényében, hiszen a forráspontok a szárazföldön „bárhol” lehetnek, a tárolásra használható formációk mind a szárazföldön, mind a part közeli vagy a parttól távoli tengeri részeken is megtalálhatók. Utóbbi tárolási helyek a lakott területektől való távolságuk miatt lehetnek elsődlegesek. Így tehát a CO_2-szállító lehet:

- szárazföldi vezeték (onshore vagy offshore),
- tengeri vezeték,
- tankerek.

A magyarországi viszonyok miatt természetesen csak az onshore pipeline-nal történő szállítás jöhet szóba, az alábbi költségmodellek is erre a szállítási módra vonatkoznak.

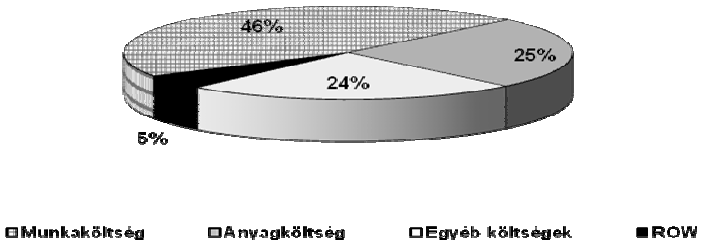
A modelleknél mind az CAPEX (tőkeberuházás), mind az OPEX (működési költségek) meghatározásánál fontos adatok az elsődlegesen műszaki-biztonsági paraméterei az adott vezetéknek:

- a vezeték hossza,
- a vezeték indító nyomása,
- a vezeték kilépő nyomása,
- a vezetékben lévő gáz hőmérséklete,
- az áramló CO_2 mennyisége.

A beruházás tőkeköltségét természetesen további paraméterek is meghatározzák. A tőke-költség az alábbi részekre bontható fel:

- anyagköltségek,
- szolgalmi jog költségei (ROW),
- munkaerő költségei,
- egyéb költségek (pl. mérnöki költségek stb.).

Ezek különböző arányban képviselik magukat a teljes tőkeköltségben (*1. ábra*). Egy 2011 novemberében megjelent cikk [3] szerint a CO_2-szállításban kb. 12 inches (300 mm) átmérőjű csővezeték esetében e költségrészek arányai csőhossztól függetlenek.



1. ábra. A teljes tőkeköltség elemei
Forrás: [2]

A CO_2-vezetékekre vonatkozó költségmodellek legnagyobb részt a folyamatosan megújuló, bővülő EOR-CO_2 vagy a földgázvezeték-hálózatokra vonatkozóan indulnak ki.

A modellek a csővezeték méreteire és kivitelezési költségeire vonatkoznak, bár a méretezés elsősorban a műszaki-biztonságot kell, hogy szolgálja, a gazdasági számításoknak ez a paraméter ad további alapot. A szakirodalomban az alábbi modellekkel találkozhatunk:

- Ogden-modell,
- MIT (Massachusetts Institute of Technology) modell,
- Ecofys-modell,
- Parker modell,
- IEA GHG PH4/6 modell,
- IEA GHG 2005/2 modell,
- IEA GHG 2005/3 modell.

Összehasonlítva megállapítható, hogy egyedül a Parker-modell ad külön utat [4], a Ogden-modell több kutató megállapításaiból vonja össze a modelljét [5]. A MIT [6] és az Ecofys [7] modellekben a csőátmérő meghatározása a földgáz szállítóvezeték méretezéshez hasonló. Az IEA GHG modelljei közül az első kettő a számítások során figyelembe veszi a kompresszorállomásokat, melyek a hosszabb csővezetékek esetében használatosak a nyomás fokozására.

Az észak-amerikai térségre vonatkozó modelleknél a kutatók felhasználták az Oil & Gas Journalban (OGJ) évente megjelenő földgázvezetékekre vonatkozó költségadatokat. A továbbiakban a MIT, az Ecofys- és a Parker-modelleket mutatjuk be.

MIT-modell

A 2003-ban publikált tanulmányban a műszakilag megfelelő csővezeték átmérőjét a mérnöki gyakorlatban használatos módon, a Reynolds-szám és Moody-diagram segítségével határozták meg. Az alapadatokból kiszámított paraméter, valamint az OGJ költségadatainak felhasználásával számítható ki a teljes tőkeköltség:

$$Teljes\ tökéletesség\ (\$/_{Yr}) = (CC \times D \times L \times CRF) + (OM \times L)\,, \quad (1)$$

ahol:
CC = építési költség ($/km) – átmérő függvénye, az anyagköltséggel együtt
D = vezeték átmérője (in vagy mm)
L = vezeték hossza (km)
CRF = tőke helyreállítási tényező (adott évre és tervezett projekt élettartamból függően, pl. 2011-ben 20 éves élettartamú projektre átlagosan: 0,061)
OM = járulékos költségek – átmérőtől független

$$Átlagköltség\ (\$ / tonne\ CO_2) + \frac{teljes\ tőkeköltség}{(Q \times CF \times DPY)}\,, \quad (2)$$

ahol:
Q = CO_2 tömegárama (tonne/year)
CF = kapacitási tényező (80%)
DPY = üzemelő/szállító napok száma évente.

Ecofys-modell

A modellt egy, az European Bizottság számára készült tanulmányban publikálták, így a költségek meghatározása euróban történik. A csővezeték átmérőjét egy, a MIT-modellhez hasonló elvvel határozza meg, azonban itt a súrlódási tényezőt állandónak tekinti, míg az előző modellben ez a Reynold's szám függvénye.
A modellben a teljes tőkeköltség kiszámítása:

$$Teljes\ tőkeköltség\ (€) = 1100 \frac{€}{m^2} \times F_T \times D \times L \quad (3)$$

ahol:
F_T = terepkorrekciós tényező = 1– a leggyakoribb terep
D = csővezeték átmérője (mm)
L = csővezeték hossza (km).

A total capital cost-ot éves szintre lebontva:

$$Éves\ tőkeköltség\ (€ / yr) = Teljes\ tőkeköltség \Big/ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\,, \quad (4)$$

ahol:
i = diszkontláb
n = üzemelési idő (év)

Az éves működési költség a modell szerint a teljes tőkeköltség 2,1%-a. A modell nem számolt fajlagos költséget a CO_2-szállításra, de az a MIT-modell alapján is kiszámítható.

A Parker-modell

A MIT-modellhez hasonlóan Parker szintén az OGJ költségadatait használja fel. Azonban sokkal részletesebben határozza meg a tőkeköltséget, nem elégszik meg egyetlen átfogó számmal. Másodfokú, a csőátmérő és a csőhossz függvényében felírt egyenletei segítségével négy különböző költségkategóriában lehet becsléseket végezni. Modelljével eredetileg hidrogénvezetékek költségeit határozták meg, de CO_2-vezetékek esetében is használható. Az egyenletek 2000-es költségadatokra épülnek.

$$\textit{Anyagköltség}\ (\$) = (330{,}5D^2 + 687D + 26{,}960) \times L + 35{,}000$$

$$\textit{Munkadíj}\ (\$) = (343D^2 + 2{,}074D + 170{,}013) \times L + 185{,}000$$

$$\textit{Egyéb költségek}\ (\$) = (8{,}417D + 7{,}324) \times L + 95{,}000$$

$$\textit{ROW}\ (\$) = 577D + 29{,}788) \times L + 40{,}000$$

Teljes tőkeköltség ($)

$$= \textit{Anyagköltség} + \textit{Munkadíj} + \textit{Egyéb költségek} + \textit{ROW} =$$

$$= (673{,}5D^2 + 11{,}755D + 234{,}085) \times L + 355{,}000$$

ahol:
D = csővezeték átmérő (in)
L = csővezeték hossz (miles).

3. A modellek összehasonlítása

A fent bemutatott modellek input és output adatainak összevetésénél (*1. táblázat*) megállapítható, hogy míg a Parker modell a csővezeték fizikai jellemzőire támaszkodik (átmérő, hossz), a másik két modell, melyekbe a csőátmérő számítása is beletartozik, a CO_2 gáz jellemzőit és a csővezeték anyagi jellemzőit is figyelembe veszi.

Az összevetésük általánosan nehéz feladat, mert:

- az USA-ban született modellek dollárban, az európai modell euróban adja meg a tőkeköltséget,
- a csőátmérők és csőhosszok nem egységes mértékegységben szerepelnek (pl. átmérő mm vs. in – 1 in = 25,4 mm),
- a Parker-modellnél alapadat a csőátmérő, és teljesen más úton jut a végeredményekhez
- kizárólag az Ecofys modellje számol a csővezeték élettartamával,
- az amerikai MIT-modell a csővezeték hosszának, az európai Ecofys modellje a teljes tőkeköltség adott százalékának függvényében határozza meg az üzemeltetési és karbantartási költséget.

1. táblázat

CO_2-szállítóvezetékek költségmodelljei

	Models		
	MIT	**Ecofys**	**Parker**
Bemenő adatok	csővezeték érdessége CO_2-viszkozitás súrlódási tényező Reynolds-szám belépő nyomás kilépő nyomás vezeték hossza CO_2-tömegáram tőkehasznosítási tényező üzemeltetési és karbantartási költségek üzem kapacitása	átlagos áramlási sebesség súrlódási tényező CO_2-sűrűség Nyomásesés csővezeték hossza terep tényező CO_2-tömegárama üzemeltetési idő diszkontláb	csővezeték hossza és átmérője
Eredmények	csővezeték átmérője teljes tőkeköltség átlagköltség	csővezeték átmérő éves tőkeköltség éves üzemeltetési és karbantartási költség teljes tőkeköltség	anyagköltség munkadíj egyéb költségek ROW teljes tőkeköltség

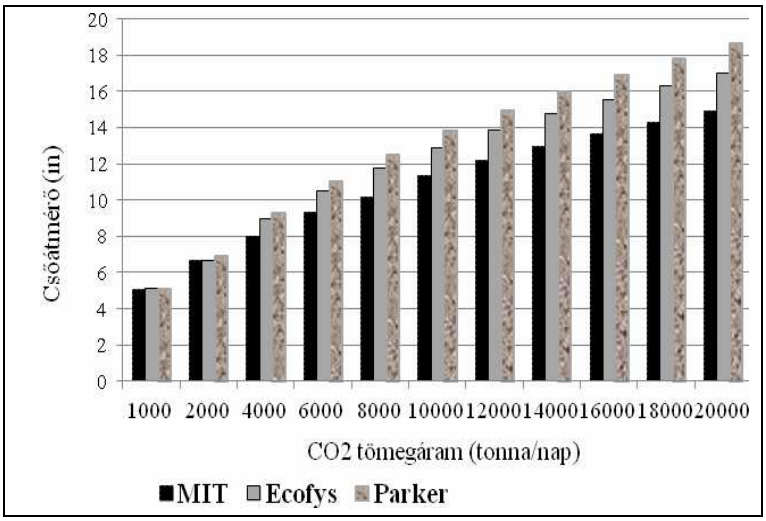
Forrás: saját szerkesztés

4. Összehasonlítás alapadatokkal

A teljes körű összehasonlításához egy alapadatsort felhasználva végeztek a kutatók számításokat:

- a csővezeték hossza: 100 km
- üzemeltetési tényező: 80%
- belépő nyomás: 15,2 MPa
- kilépő nyomás: 10,3 MPa
- CO_2-hőmérséklet: 20 °C
- CO_2-sűrűség: 844 kg/m^3
- referenciaév: 2005
- átváltási arány euró/dollar: 1,2
- üzemeltetési idő: 20 év
- diszkontláb: 10%
- helyszíntényező: 1.00
- tereptényező: 1.2
- CO_2-viszkozitás: $6.05*10^{-5}$

A modellek segítségével történő számítások eredményeit láthatjuk a *2.* és *3. ábrákon*. A már előzetesen felsorolt alapvető különbségek a végeredményekben is megmutatkoznak. Bár az egyes modelleknél az eredmények különbözőek, a *2. ábrán* látható esetben hasonló mértékben változik a csővezeték átmérője az áramló mennyiség növekedésével. A különbségek lényegében csak a csőátmérő kiszámítási metódusának eltéréséből fakad.



2. ábra. Csőátmérő vs. tömegáram
Forrás: [8] és saját szerkesztés

Ezzel szemben a *3. ábrán* az Ecofys-modell dinamikusabb alakulását láthatjuk, míg az alapvetően különböző metódusú amerikai MIT- és Parker-modell tőkeköltség eredményei hasonló mértékben változnak az áramló CO_2 mennyiség növekedésével. Az Ecofys a három modell közül az egyetlen, amely a vezeték becsült élettartamát is számításba veszi, valamint nem a csőhossz függvényében becsüli meg a járulékos költségeket.

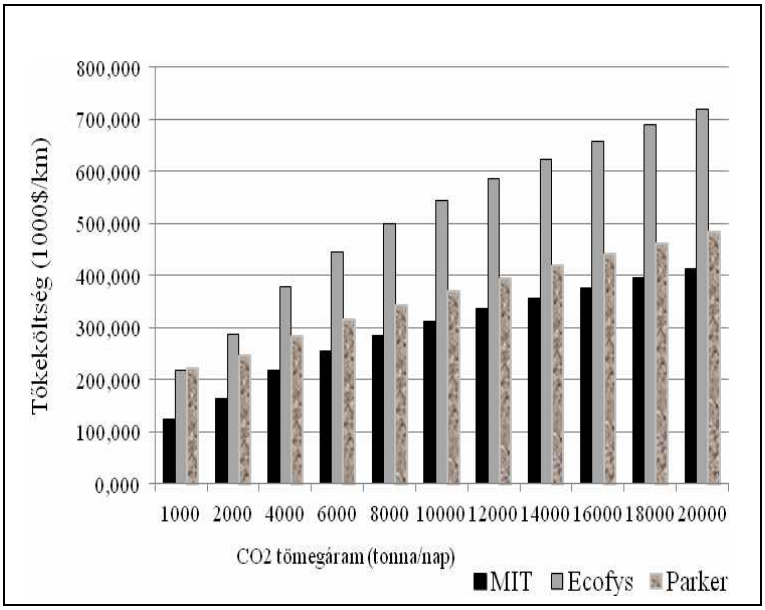
5. Mikor térülhet meg egy CO_2-távvezeték építése?

Természetesen, mint minden más beruházásnál, a CO_2-távvezetékek építésénél is a legfontosabb szempont a megtérülés és az esetleges profit elérése. A kétféle (EOR és CCS) technológiát szolgáló vezetéképítés megtérülését más és más tényezők befolyásolják.

Az olajtermelés fokozására használt CO_2-t az olajkutakhoz eljuttató vezetékek megtérülését az olaj világpiaci ára szabja meg. Ezzel szemben a CCS technológiai lánc CO_2-vezetékének megtérülése jórészt a környezetvédelmi célkitűzésektől és a hozzájuk kapcsolódó uniós/állami támogatásaik nagyságától függ.

Az Európai Unióban létesített emisszió kereskedelmi rendszer (ETS) harmadik fázisában, 2013. január 1-től a leválasztott és letárolt CO_2 mennyisége már nem számít kibocsá-

tott mennyiségnek, tehát e mennyiséggel a CO_2-kvóta csökkenthető. Mivel az emisszió-tőzsdéken eladott kvóták ára a gazdasági világválság hatására erősen lecsökkent, s várható-an még hosszú időnek kell eltelnie, mire ez a fajta technológiai beruházás támogatások nél-kül is megtérül.



3. ábra. Vezeték tőkeköltsége vs. tömegáram
Forrás: [8] és saját szerkesztés

6. A modellek vizsgálatának akadályai egy Magyarországon tervezett csővezeték esetében

2009-ben elkészült egy, a Mátrai Erőműben tervezett beruházáshoz kapcsolódó CCS-projekt tanulmánya, benne egy 116 km hosszú CO_2-vezeték tervével. A vezeték átmérője: 350mm (kb. 14 in), indítónyomás 12 MPa, a tervek szerint évente 3 millió t CO_2-ot szállít majd (kb. 8200 t/nap).

A modellek vizsgálata számos akadályba ütközött. Ezek közül az egyik elsődleges: nehezen lehet pontos, megbízható adatokhoz hozzáférni a csővezeték építések költségeiről.

A fenti modellek kutatói földgáz- vagy hidrogénvezeték esetére dolgozták ki megállapításaikat, egy amerikai szakmai lapban évente megjelenő csővezeték építési költség-adatbázisra alapozva. Ilyen adatbázis hazánkban nem létezik.

Magyarországon 1 km 350 mm átmérőjű földgázvezeték építési költsége kb. 51 millió Ft. Azonban a modellek alkalmazásához tudnunk kell a csőhossztól és átmérőtől független

egyéb járulékos költségeket is, melyekről cikkünk megírásáig semmilyen adatot nem sikerült beszereznünk.

A költségmodellekkel történő vizsgálat sajnos jelenleg okafogyott, mivel az erőmű bővítési tervének felfüggesztésével az első magyar CCS-projekt megvalósítása is a „tervezőasztalon maradt".

7. Összefoglalva

A CO_2-vezetéképítési költségek meghatározása szerte a világon számos modell született. E cikk ezek közül hármat kísérelt meg bemutatni, melyek különböző alapadatokon alapulva különféle gazdasági eredményeket mutattak be. Míg a MIT- és az Ecofys-modell a mérnöki gyakorlattal összhangban, műszaki paramétereken (pl. vezeték-érdesség) alapulva alkotja meg eredményeit, a Parker-modell már előre meghatározott csővezeték paraméteket használ fel. E modell sokkal részletesebb költségeredményeket ad.

A költségmodellek jelentős része az évente az *Oil and Gas Journal*ban közzétett, az USA különböző régióira vonatkozó valós csővezeték-építési költségadatokat veszi alapul.

A kiépített csővezetékek megtérülését azonban a „felhasználási területük" jelentősen befolyásolja. Míg az EOR-CO_2 vezetékek esetében a világpiaci olajár biztosítja a gyors megtérülést, addig a CCS-CO_2 vezeték megtérülése egyelőre a jövőbeni kibocsátási kvótaár alakulásától függ majd.

Köszönetnyilvánítás

„A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg."

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Morbee, J.–Serpa, J. –Tzimas, E.: *The evolution of the extent and then investment requirements of a trans-European CO2 transport network*. JRC Scientific and Technical Reports, 2011. http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/15100/1/ldna24565enn.pdf

[2] Lauronsson, C. (2011): *Az éghajlatváltozás és a környezet*. Európai Parlament, 2011. április. http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/hu/FTU_4.10.3.pdf (2012. 04.)

[3] Van der Zwaan–Schoots–Rivera-Tinoco–Verbong: *The cost of pipelining climate change mitigation: An overview of the economics of CH_4, CO_2 and H_2 transportation*. Applied Energy, 2011, vol. 88, issue 11, pp. 3821–3831.

[4] Parker, N. (2004): *Using Natural Gas Transmission Pipeline Costs to Estimate Hydrogen Pipeline Costs. UCD-ITS-RR-04-35*. Institute of Transportation Studies – University of California. http://escholarship.org/uc/item/9m40m75r.pdf (2012. 02)

[5] Ogden, J.–C. Yang–N. Johnson–J. Ni–J. Johnson (2004): *Conceptual Design of Optimized Fossil Energy Systems with Capture and Sequestration of Carbon Dioxide*. Report to the U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory. http://www.geos.ed.ac.uk/ccs/Meetings/04_Martynov_-_UKCCSC_winter_school_2012_-_CO2_Transportation_-_10Jan12.pdf (2012. március)

[6] Hedbe, E.–Herzog, H.–Klett, M. (2003): *The Economics of CO_2 Storage*. Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Energy and the Environment. http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE_2003-003_RP.pdf (2011. 09.)
[7] Hendriks, N.–Wildenborg, T.–Feron, P.–Graus, W.–Brandsma, R.: *EC-Case Carbon Dioxide Sequestration*. M70066, Ecofys.
[8] Mccollum, D. L.–Odgen, J. M. (2006): *Techno-Economic Models for Carbon Dioxide Compression*. Transport, and Storage, University of California. http://escholarship.org/uc/item/1zg00532 (2011. 12.)