

# ERŐMŰI CCS TECHNOLOGIÁK KÖLTSÉGEI, A PIACKÉPESSÉGET FOKOZÓ INTÉZKEDÉSEK

The costs of CCS Technologies at Power Plants and Measurements for Wide-Ranging Application

Kosten der CCS Technologien und die Massnahmen für Verbesserung der Marktfähigkeit

**Dr. Kapros Tibor**

## Abstract

The most important obstacle at the spreading of CCS technologies has been the cost of their application. The significant investment's expenses are enhanced by the increasing of the operating costs and by the decreasing of energetical effect of the process. The paper introduces the present situation of the charges. There are summarized the supporting programs and measurements for realization of reference equipment. It includes the R&D programs for improving the economic indicators of the processes. Several actual demonstration and R&D projects are introduced too.

## Bevezetés

A világ teljes széndioxid kibocsátása jelenleg meghaladja a 30 Mrd t/év mennyiséget. A széndioxid emisszió csökkentési technológiák gazdaságos megvalósításának feltételei mindenek előtt a fenti mennyiség mintegy egyharmadát koncentráltan kibocsátó 50 000 erőműben állnak rendelkezésre [1].

Az elmúlt évtizedekben három u.n. CCS eljárás (CO<sub>2</sub> Capture & Storage) került kidolgozásra. Az égési folyamatot követő tisztításnál a képződött füstgázból ad- ill. abszorpcióval, szeparációs eljárással, vagy kriogén technológiával választják le a széndioxidot (post combustion capture). Másik lehetőség a tüzelőanyag karbontartalmú komponenseinek hidrogénné történő konvertálása a vízgáz reakció alkalmazásával. Ezt követi a tüzelési folyamatot megelőző CO<sub>2</sub> eltávolítási fázis (pre combustion capture). A harmadik technológiában a tüzelőanyag elégetésére oxigén közegben kerül sor. A füstgáz széndioxidot és vízgőzt tartalmaz. A gázelegy kondenzáltatása (szárítása) után maradt CO<sub>2</sub> tárolóba továbbítható (oxifuel combustion technology).

Mindhárom eljárás számos referenciával rendelkezik, ami a technológiák ipari alkalmasságát igazolja. A referencia berendezések többsége azonban a félüzemi méret nagyságrendjét képviseli. A technológia ipari méretekben történő alkalmazása magas ráfordítást igényel. Bevezetése egy teljes körű folyamat megvalósítását teszi szükségessé és az alaptermészeti beruházásokat (készülékek, nyomásfokozók, katalizátor, oxigén előállítás stb.) ki kell egészíteni a leválasztott széndioxid szállításának és tárolásának fázisaival.

A CCS technológiák bevezetése számottevő költség többletet képvisel. A gazdasági tényezők mellett esetenként jelentős lakossági ellenérzés is megnyilvánul – mindenekelőtt a CO<sub>2</sub> tárolás vonatkozásában. Mindez erőteljesen lassítja a karbon leválasztási módszerek ipari elterjedését.

Jóllehet a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) elemzése a jelenlegi néhány berendezéssel szemben a globális klímaváltozás elleni eredményes fellépéshez 2035-ig mintegy 1500 és 2050-ig kb. 3000 ipari megvalósítást tart szükségesnek, a piaci terjedési folyamat fékeződése érzékelhető. Több projektet leállítottak, a demonstrációs berendezések létesítésére fordított összeg 2010 óta a 23,5 Mrd\$/év szinten stagnál [2].

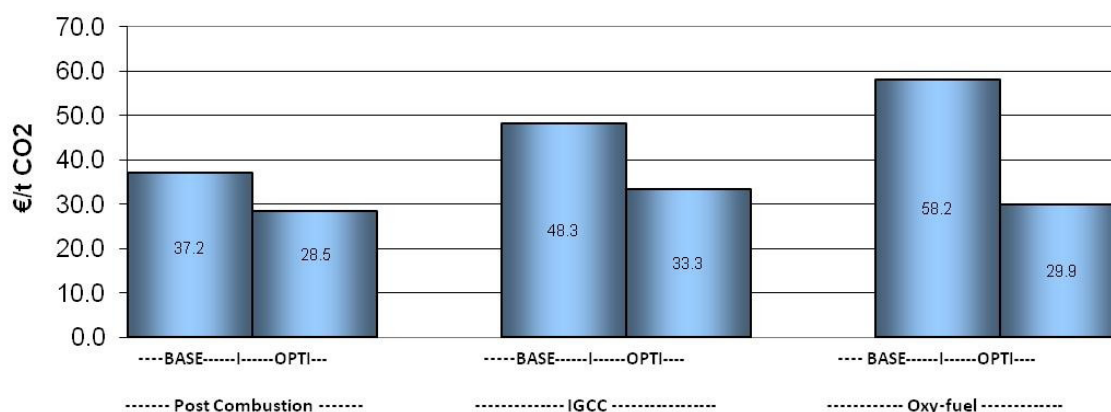
A fentiek ellenére a CCS technológiák alkalmazása minden ország ill. közösség energia stratégiájának lényeges eleme. A prognózisok szerint a 2020 (2030) utáni időszak energia ellátása a széndioxid eltávolítási eljárások széleskörű elterjedése nélkül csak visszafordíthatatlan mértékű klímaváltozási hatás árán biztosítható. A továbbiakban a környezetkímélő erőműi technológiák gazdaságos megvalósíthatóságára és terjedésére irányuló tervek és programok kerülnek bemutatásra.

### **A CCS technológiák bevezetésének költségei**

A CO<sub>2</sub> eltávolítás költség és energiaigényes folyamat. Az Egyesült Államok energia hivatalának becslése szerint a CCS technológiák elterjedése az elektromos energia előállítás költségét 40-76%-kal növeli [3]. Más oldalról közelítve az alkalmazás terjedésének esélyeit, figyelembe kell venni, hogy a karbon eltávolítási eljárások bevezetése a mintegy 85%-s CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentés mellett 8-12% erőműi hatásfok csökkenést is eredményeznek [4].

Az USA-ban szénbázisú erőműveknél a járulékos beruházási költségek 0,5-1,0 MrdUS\$ árkatagóriát képviselnek. Technológiától és a tisztítás mértékétől függően a CCS technológiák bevezetését a 30-90\$/tCO<sub>2</sub> ár nagyságrend jellemzi. 90% feletti leválasztás vagy az alkalmazást nehezítő feltételek esetén a fajlagos érték a 160\$/tCO<sub>2</sub> összeget is elérheti. Az adatok a teljes megvalósítási folyamatra vonatkoznak. Ezen belül a széndioxid tonnájának 100 km-re történő transzportja 1-10\$, a tárolás és a folyamat ellenőrzése további 2-5\$/t ráfordítást képvisel. A döntő tétel tehát a leválasztási technológia megvalósítása. A jelenleg technikai színvonal mellett kedvezőnek tekinthető az 1-5\$/t 100km szállítási és 2-5\$/t tárolási és monitor költségeket tartalmazó 50\$/tCO<sub>2</sub> fajlagos érték. Prognózisok szerint a 2030-ig elvégzett fejlesztések hatására a CO<sub>2</sub> eltávolítás és tárolás költsége tonnánként kb. 25 \$-ra csökken [4].

Az európai viszonyokat a jelenlegi (BASE) és a 2020-ra feltételezett piaci forgalmazásnak megfelelő (OPTI) technológiai szinteken és költségekkel megvalósított modellek összehasonlításával vizsgálták [5].



Forrás: *The Costs of CO<sub>2</sub> capture/CO<sub>2</sub> Capture Report 7.0*

1. sz. ábra CO<sub>2</sub> eltávolítási költségek különböző CCS eljárásoknál

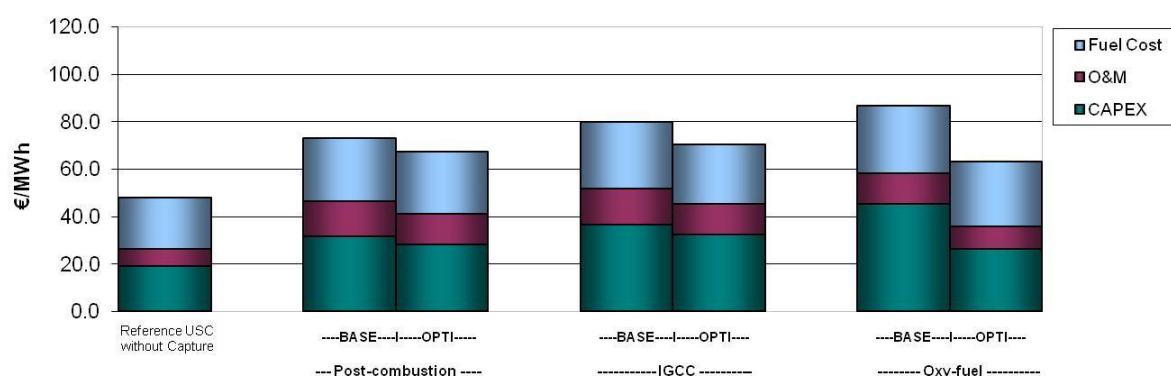
Az 1. sz. ábrán az egyes CCS technológiák fajlagos széndioxid leválasztási költségei láthatók. A jelenlegi helyzetben az „oxifuel” eljárás igényli a legmagasabb ráfordítást, ugyanakkor itt prognosztizálják a legnagyobb hatású fejlesztéseket (oxigén előállítás), ami 30€/t költség környezetében a különbségeket minimálisra csökkenti. A „pre-combustion” technológia költségei kissé magasabbak, de a megvalósítási ráfordítások szempontjából várhatóan a helyi adottságok lesznek a mértékadóak. A beruházási költségek nagyságrendje 0,5-1,0 Mrd EUR - gyakorlatilag megfelel az Egyesült Államokbeli értéknek [6]. A szénportüzelésű erőműveknél 2020-ra mintegy 600 \$/kW beruházási költséget prognosztizálnak [7].

Az adatok meglévő üzemeknek CCS technológiával történő kiegészítésére vonatkoznak. Új erőmű létesítésének ráfordítás igényét a fentiekben tárgyalt taylorwille-i erőmű adata szolgáltatja. A beruházás teljes költsége 3,5 Mrd \$, ami a 716 MW teljesítmény figyelembe vételével 4 888 \$/kW fajlagos értéknek felel meg. A CCS eljárás alkalmazása eszerint mintegy 20% beruházási többlet ráfordítást igényelt. A CCS eljárások valamennyi változatánál a beruházási ráfordítás mellett 25-75% üzemeltetési költségnövekedéssel is számolni kell.

Földgáz tüzelőanyag ellátás esetében a kisebb CO<sub>2</sub> koncentráció miatt a fajlagos költségek magasabbak. A vizsgálatok „post combustion” technológiával kiegészített kombinált ciklusú erőmű viszonyaira vonatkoztak. A fajlagos széndioxid eltávolítási költségek a földgáz árának függvényében az OPTI változat szerint a 60-90 €/t tartományban prognosztizálhatók. Lignittüzelés esetében ugyanez a szcenárió 30 €/t értéket jelöl meg – a tüzelőanyag szárítási fázisát is beleértve.

A magas költségek ténye vitathatatlan. A folyamatosan növekvő energiaigényeket figyelembe véve a fosszilis energiahordozóknak ugyanakkor nincs alternatívája. Az alacsony CO<sub>2</sub> kibocsátás szükségessége pedig elengedhetetlenné teszi a CCS technológiák bevezetését. Elemzések kimutatták,

hogy a globális felmelegedés elfogadható mértékre történő csökkentése 2035-ig globálisan mintegy 36,500 Mrd USD összegű erőműi beruházást igényel, azonban CCS technológiák alkalmazása nélkül a program kb. 70% költség többlettel lenne megvalósítható. A bevezetés tíz éves késleltetése további 1100 Mrd USD többletkiadást generálna. A technológia vonzóbbá tételét szolgálja a Zero Emissions Platform (ZEP) tanulmánya is [8]. Eszerint a CCS eljárások akár a nukleáris energiára, akár megújuló energiahordozóra alapozott elektromos áram termeléssel történő összehasonlításban költségeiket tekintve versenyképes megoldást képviselnek.



Forrás: *The Costs of CO<sub>2</sub> capture/CO<sub>2</sub> Capture Report 6.0*

2. sz. ábra Villamos energia árak különböző CCS eljárásoknál

A széndioxid eltávolítás hatása az előállított elektromos energia költségében is jelentkezik. A 2. sz. ábrán a leválasztás alkalmazása nélküli (referencia) és a BASE ill. az OPTI feltételei szerinti CCS technológiák mellett prognosztizálható villamos energia költségek láthatók széntüzelésű erőmű esetében 2,4 €/GJ tüzelőanyag ár feltételezésével. A kb. 48 €/MWh bázisár az OPTI szerint 60-70 €/MWh értékre emelkedhet. Az ábrán jól érzékelhető mind a beruházási (CAPEX), mind a működtetési és karbantartási ráfordítások (O&M) arányos növekedése.

Földgázüzem esetében a jelentős mértékű változásoknak kitett tüzelőanyag ár alapvetően befolyásolja az előállított villamos energia költségét. A referencia üzemnél 35-88 €/MWh, CCS technológia bevezetésével 52-112 €/MWh költség tartomány prognosztizálható. A vizsgálat szerint 5 €/GJ tüzelőanyag ár jelenti a határt, ahol földgáztüzelés esetén a széndioxid eltávolítási eljárás alkalmazásával adódó villamos energia árak még versenyképesek a CCS technológiájú széntüzelésű erőművek áraival.

Hasonló tendenciák jelentek meg az Egyesült Államokra vonatkozó prognózisokban új berendezéseknél történő CCS eljárás bevezetése esetére [4]. A jelenlegi technikai és költségszinten figyelembe vett megvalósítások az áram árát 2-3 cent/kWh (¢/kWh) értékkel növelik. A 2030-ig

várható fejlesztések következményeként ennek 1-2 cent/kWh-ra történő csökkenése várható. Hatása elsősorban a termelői árakat közvetlenül érzékelő nagyfogyasztókat érinti.

A CCS technológiák alkalmazására vonatkozó döntést jelentős mértékben befolyásolja a széndioxid kereskedelem aktuális ára, ill. a kibocsátási bírságok. Ezek hatásáról készített tanulmány [9] megállapítása szerint szénpor tüzelés esetén 25-30 \$/tCO<sub>2</sub> jelenti azt a határértéket, amely felett a leválasztási eljárások alkalmazása „gazdaságossá” válik. Földgáz tüzelőanyagnál ez az érték 60 \$/tCO<sub>2</sub>. Az adatok szabályozott erőművekre vonatkoznak. Alaperőműveknél néhány dollárral alacsonyabb fajlagos határértékek mutatkoznak. A tanulmány szerint a villamos energia árában a termelési költségek mintegy 60% részarányát véve figyelembe, a CCS eljárások alkalmazásával összefüggésben 30%-t meghaladó árnövekedés még 70 \$/t CO<sub>2</sub> széndioxid ár mellett sem várható. Az alkalmazás gazdasági hatásának megítéléséhez az 1. sz. táblázat adatai nyújtanak segítséget.

A táblázat „Beruházás” oszlopának számértékei 20 éves időszakban történő folyamatos működtetést tételeznek fel. „Működés” megjelöléssel az üzemanyag, üzemeltetés és karbantartás ráfordításai vannak feltüntetve. „Költség” megnevezés alatt a villamos energia előállítás hosszútávon jelentkező, az amortizációt is tartalmazó költségtételei szerepelnek - CO<sub>2</sub> eltávolítással összefüggő többlet ráfordítás és kibocsátási bírság nélkül. 26\$/tCO<sub>2</sub> esetén a fajlagos adatok PC esetében 8¢/kWh, IGCC erőműveknél 6,6¢/kWh értékre nőnek.

	Beruh. (¢/kWh)	Műk. (¢/kWh)	CO <sub>2</sub> (t/MWh)	Beruh. (¢/kWh)	Műk. (¢/kWh)	CO <sub>2</sub> t/MWh
Szénpor (PC)	19,5	1,93	0,774	33,79	3,39	0,108
Szén elgázosítás (IGCC)	20,39	2,06	0,769	26,27	2,79	0,089
Komb. cikl. gáz (NGCC)	7,56	4,67	0,361	15,98	5,53	0,042

*Forrás: Carbon Capture by Fossil Fuel Power Plants: An Economic Analysis 1. sz. táblázat*

#### 1. sz. táblázat erőműi technológiák költségeinek összehasonlítása

A National Technical University of Athens a 2007-ben kidolgozott PRIMES modell segítségével különböző erőmű típusoknak az EU-ban történő megvalósítási feltételeit vizsgálta [10]. Az egyes scenáriók adatai a gazdasági válság következtében már jelentősen megváltoztak, de a beruházási költségeknél megjelenő tendenciák jelenleg is érvényesek. Különböző új építésű erőmű típusoknál a 2. sz. táblázat mutatja be a CCS technológiák alkalmazása esetén felmerülő beruházási többlet költséget, az összhatafok csökkenést és a széndioxid eltávolítás %-ban kifejezett értékét. A fejlesztések hatását is figyelembe vevő

modell 2020-ban ill. 2030-ban történő megvalósításokat feltételezve végezte el a számításokat.

A magasabb fajlagos beruházási értékeknél szuperkritikus turbina került figyelembe vételre  $p \sim 150\text{-}300\text{bar}$ ;  $t \sim 540\text{-}600\text{C}^\circ$  bemenő paraméterekkel. A táblázatban szereplő adatokat csak a számítás bemenő paramétereinek pontos ismeretében lehet értékelni (pl. az „oxifuel” technológia egyértelmű előnyét). A fenti számokból is adódóan a CCS technológiák alkalmazása 1,5-2,5 €/kWh költség többletet eredményeznek ill. a CO<sub>2</sub> eltávolítás 25-45 €/t ráfordítást igényel.

A 2020 és 2030 közötti időszakban kidolgozott fejlesztési programok a számítási prognózis szerint 3-8% beruházási költségtöbblet csökkenést eredményeznek, míg a leválasztás okozta hatások csökkenés mértéke gyakorlatilag nem változik. A széndioxid tárolás költségei a modellben 6-20 €/t érték között változnak

Tüzelőanyag	CCS technológia	Ber. többletktg. (€/kW)		Termikus hatásfok csökkenés (%)		CO <sub>2</sub> eltávolítás (%)
		2020	2030	2020	2030	
Szénpor	Post combustion	894	833	12	12	83,5
Szénpor	Oxifuel	685	655	9	9	99,4
Szén elgázosítás	Post combustion	797	776	7	7	85,7
Szén elgázosítás	Pre combustion	467	431	8	8	86,5
Szén elgázosítás	Oxifuel	434	425	6	6	99,4
Lignit por	Post combustion	882	819	11	11	83,5
Lignit por	Oxifuel	666	635	8	8	99,4
Lignit elgázosítás	Post combustion	520	505	5	5	86,3
Lignit elgázosítás	Pre combustion	457	417	7	7	86,5
Lignit elgázosítás	Oxifuel	434	425	6	6	99,5
Földgáz komb. cikl.	Post combustion	520	505	7	7	86,0
Földg. komb. cikl.	Pre combustion	401	388	9	8	86,7
Földg. komb. cikl.	Oxifuel	434	425	9	9	99,4

Forrás: *Energy Systems Analysis of CCS technology* 7. o.

2. sz. táblázat Erőműi CCS megvalósítások számított jellemző adatai

A leválasztási technológiák alkalmazásának rentabilitását az eltávolított széndioxid esetleges további felhasználása is befolyásolja. Olajkutaknál történő alkalmazás esetén a gáz tonnája 0,1-0,5 tonna olaj

többlet kinyerését teszi lehetővé. Az így származó jövedelemtöbblet CO<sub>2</sub> tonnánként 30-150\$. A hasznosításnak ezt a formáját Kanadában több tucat olajmező több száz kútjánál alkalmazzák [4].

### **CCS technológiák bevezetésének középtávú programjai**

A széndioxid kibocsátás csökkentése és a karbonmentes erőműi technológiák bevezetése (terjesztése) az Európai Unió energiastratégiájának egyik központi gondolata. A technológiák alkalmazásának műszaki kidolgozottságát a megvalósított referencia berendezések igazolják. A csővezetéken történő széndioxid szállítás Észak Amerikában normál kereskedelmi tevékenység. A földalatti tározókat Kanadában savas hatású gázok fogadására használják. Világviszonylatban 2009-ben évente több mint 3 mt CO<sub>2</sub> került tárolókba, és 79 kitermelő helyen mintegy 40 mt/év mennyiségben alkalmazták a gázt olaj kinyerésére. A számok azóta nyilván növekedtek.

A műszaki háttér tehát a CCS technológiák elterjedéséhez a folyamat valamennyi fázisában rendelkezésre áll. Az EU első ipari méretű berendezéseinek üzembe helyezése 2015-ben, a már kereskedelmi kategóriát képviselő piaci megjelenés 2020-ra várható. Alkalmazásuk ugyanakkor számottevő hatásfok csökkenést fog jelenteni. Jelenleg a szénpor alapú erőműveket 45-48% átlagérték, a kombinált ciklusú gázturbinákat 57-60% és a szénpor tüzelőanyag elgázosításával működtetett kombinált ciklusú erőműveket (IGCC) 45-50% hatásfok jellemzi. A folyamatos fejlesztések eredményeként 2020-ig az értékek további 3-5%-os növekedése várható. Ugyanezekre a berendezésekre első generációs CCS technológiákkal történő üzemeltetés esetén 33%, 48% ill. 35% hatásfokot prognosztizálnak. A K+F aktivitás itt is eredményez javulást és becslések szerint 2030-ra a karbon eltávolítási technológiával üzemelő egységek hatásfoka legfeljebb 8%-kal lesz alacsonyabb [7]. Ez a körülmény nyilvánvalóan a villamos energiaárak emelkedéséhez, a CCS eljárásokat nem alkalmazó erőművek versenyelőnyéhez vezetnek. A jelenség arra is felhívja a figyelmet, hogy a CO<sub>2</sub> leválasztó eljárások bevezetését nem lehet egyszerű piaci kérdésként kezelni.

Az Európai Unió villamos energia termelésének jelenleg 56%-a fosszilis tüzelőanyag bázison alapul. Előrejelzések szerint ez az érték 2030-ban 40-50% -ra módosul, ami a feltételezett évi 3% átlagos villamos energia előállítás növekedés mellett [11] bővülő fosszilis tüzelőanyag mennyiséget jelent. A tervezett kibocsátás csökkentési programok csak a CCS technológiák intenzív alkalmazásával teljesülhetnek.

Az elterjedtség mértékét 2030-ban mintegy 190 GW beépített kapacitásban prognosztizálják. Távlatos prognózis szerint 2050-ben az EU villamos energia termelésének 19-24%-a fog CCS technológiákkal működtetett erőművekből származni [12]. Az előrejelzések gazdasági realitását a szakértők részint a további fejlesztés hatására bekövetkező beruházási és működési költségek csökkenésével, részint a kibocsátási bírság értékének várható jelentős növekedésével támasztják alá.



Sorsz.	Megvalósítás helyszíne, ber. típus	CCS technológia	Tüzelőanyag	CO <sub>2</sub> tárolás
1	Porto Tolle, Olaszország; erőmű	Post combustion	Kőszén	Tenger alatti
2	Belchatow, Lengyelország; erőmű	Post combustion	Lignit	Szárazföldi
3	Turceni, Románia; erőmű	Post combustion	Lignit	Szárazföldi
4	Peterhead, UK (Skócia); erőmű	Post combustion	Földgáz	Tenger alatti
5	Hunterston, UK (Skócia); erőmű	Post combustion	Kőszén	Tenger alatti
6	Don Valley, UK; erőmű	Pre combustion	Kőszén	Tenger alatti
7	Eston Grange, UK; erőmű	Pre combustion	Kőszén	Tenger alatti
8	Nortz Killingholme, UK; erőmű	Pre combustion	Kőszén	Tenger alatti
9	Drax, UK; erőmű	Oxifuel	Kőszén	Tenger alatti
10	Florange, Franciaország; acélmű	Oxifuel		Szárazföldi
11	„Zöld hidrogén” projekt, Hollandia	Oxifuel		Tenger alatti

Ez utóbbinál 26–35 €/tCO<sub>2</sub> értékben jelölik meg azt a határt, ahol a széndioxid eltávolító eljárások alkalmazása már azonos, vagy alacsonyabb költségszintet képvisel.

*Forrás: 13. ZEP Strategy Review 2012 »9.*

### 3. sz. táblázat NER 300 program keretében megvalósítandó referencia berendezések

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) megállapítása szerint amennyiben 2020-ig nem következik be áttörés a CCS eljárások bevezetésében, úgy más karbonmentes vagy alacsony karbon kibocsátást eredményező erőműi technológiákat kell alkalmazni. Ebben az esetben azonban mintegy 70% ráfordítás többletre kell számítani.

Az EU 2011 májusában hagyta jóvá a NER 300 jelű támogatási programot 5mrd EUR értékben [13]. A támogatás első számú kedvezményezettjei a demonstrációs célú megvalósítási projektek. Kiválasztásra került 11 ipari méretű, CCS technológiát megvalósító projekt, melyek beruházási költségét a program max. 50%-ban támogatja. Az üzemek többsége széntüzelésű erőmű, de a 3. sz. táblázatból láthatóan más kibocsátó létesítmények is szerepelnek a programban.

Kiemelt célkitűzés a hosszútávon is biztonságos beruházási háttér megteremtése. A program keretében egy új piacgazdasági munkacsoportot (TWG ME) hoznak létre, amely tanácsadó testületként kidolgozza a CCS technológiák bevezetésének gyorsításához szükséges feltételeket. A beruházók szempontjából mindenekelőtt a CO<sub>2</sub> kereskedelem és kibocsátás releváns árának és a technológiák invesztálási költségeinek aránya a mértékadó.

A TWG ME feladata a kormányzati szervek árképzési munkájának támogatása az aktuális piaci viszonyokkal történő összhang megteremtése érdekében. A CO<sub>2</sub> szállítási és tárolási infrastruktúra kialakításának gyorsítása szintén fontos eleme a projektnek. Az alapkoncepció értelmében a leválasztott széndioxid szállítási és tárolási infrastruktúrájára vonatkozó döntések meghozatalával célszerű megelőzni a CCS eljárások megvalósítására irányuló terveket. Ez ekkor ösztönzi a technológiai fejlesztéseket. A megújítandó szállítási infrastruktúra munkabizottság feladata a tagállamok nemzeti fejlesztési programjainak gyorsítására, CO<sub>2</sub> klaszterek kialakítására és a határok



korlátozó szerepének megszüntetésére irányulnak. A csővezetéki szállításnak illeszkedni kell az Unió tagállamok energetikai rendszereit összekötő 12 projektéhez.

A tárolás területén új szervezet – tárolási infrastruktúra munkabizottság – alakítandó ki. Feladata koncepciók kidolgozása, a tenger alatti tározás magas költségeinek, az olaj kitermelésnél történő hasznosításhoz szükséges nagyszámú potenciális helyszín előzetes felméréséhez és értékeléséhez szükséges idő- és munkai igénynek ill. a szárazföldi tározókkal kapcsolatos lakossági ellenvéleményeknek figyelembe vételével. Utóbbi hasznosítási eljárásban kiemelt vizsgálati terület az erőmű és a kitermelési technológia (EOR) közötti kapcsolat. A tárolási infrastruktúra kiépítés sürgősségét az is alátámasztja, hogy egy tárolási helyszín értékeléséhez és jellemzéséhez kb. 5 év szükséges. Megalapozott döntés CCS technológia létesítéséről ezt követően várható el. A technológia terjedésének gyorsítását jelentős mértékben segítik elő a jól működő referencia berendezések. A 2010-2012 időszakban az Európai Unió 7-12 Mrd Euro támogatást nyújt a demonstrációs projektek megvalósításához [14].

Angliában az energiával és a klímaváltozással foglalkozó tárcaközi bizottság (DECC) tanulmánya foglalta össze a CCS technológiák bevezetését elősegítő költségcsökkentési területeket. Az anyag

- korszerű kompresszorok rendszerbe építését
- levegő szétválasztási technológiák alkalmazását
- új fejlesztésű, hatékony oldószerek és adszorberek alkalmazását
- az abszorpciós gázleválasztó eljárásoknál a recirkuláció bevezetését
- a tervezésnél szimulációs modellek alkalmazását
- az eljárások paramétereinek optimalizálását
- tervezési időráfordítások csökkentését

tekinti az eljárások gazdaságosságát növelő és a piaci elterjedést hatékonyan támogató lehetőségeknek [15]. Kidolgozásra került a CCS eljárások piacképességét megeremtő, a folyamat valamennyi fázisára kiterjedő program. Klaszterek kialakulását prognosztizálják, amelyek a foglalkoztatottság javulását is eredményezik. A jóváhagyott regionális ill. nemzeti projektek finanszírozására 1 Mrd áll rendelkezésre. A K+F tevékenység 4 éves időtartamban 125m£ támogatásban részesül. Az eredmények ismertetése, a demonstrációs projektek bemutatása ipari partnerek és minisztériumok részvételével megrendezett u.n. ipari napok keretében történik.

A skandináv országokban a fejlesztési célkitűzések jelenleg a CCS technológiáknak a nagyteljesítményű széntüzelésű erőművekben történő alkalmazására összpontosulnak [16]. A kibocsátás jelentős része ugyanakkor kisebb teljesítményű kombinált ciklusú fűtőművekből, cementgyárakból, acélművekből és finomítókból származik. A jövőbeni fejlesztések céljai között a

széndioxid leválasztó eljárásoknak ezekre a területekre történő kiterjesztése szerepel. Szemléletükre jellemző, hogy a biomassza tüzelésből adódó emissziót (54 mt/év) is számon tartják mint kibocsátás csökkentési feladatot.

A leválasztott gáz döntő hányadát az Északi-tengerben tárolják. A magas tárolási és kapcsolódó szállítási költségek az infrastrukturális fejlesztések szükségességére hívják fel a figyelmet.

Az USA-ban az Electric Power Research Institut (EPRI) vizsgálata szerint a villamos energia termeléshez kapcsolódó jelenlegi közel 2,5 Mrd t/év széndioxid kibocsátás csökkentő intézkedések hiányában 2030-ra 3,0 Mrd t/év érték fölé emelkedik. Az emissziót mérséklő megoldások között első helyen a CCS technológiák alkalmazása áll. A tervek mintegy 300 mt/év CO<sub>2</sub> leválasztásával számolnak [17]. A piaci elterjesztés gyorsítását elősegítő feladatokat három csoportban fogalmazzák meg. A technológia népszerűsítése a meglévő CCS demonstrációs berendezésekre vonatkozó kormányzati intézkedéseket igényel (adóhitelek, bónuszrendszer, pénzügyi támogatás). Szükség van a technológiáknak energetikai, környezetvédelmi és gazdaságossági (hőhasznosítás) szempontokból történő továbbfejlesztésére. Végül a fejlesztések során az u.n. hibrid koncepció alkalmazásával a CCS eljárások megújuló energia felhasználással történő kombinálása további gazdasági előnyöket jelentene. Példaként az adszorbensek napenergia felhasználásával történő regenerálása került említésre.

2010-ben közzétett memorandumában Obama elnök is elkötelezte magát a CCS technológiák iránt [18]. Feladatterv készült a hatósági koordinációs tevékenység optimalizálására beleértve a nemzetközi kooperáció szervezését. További feladat a szükséges hatósági kiegészítő tevékenységekre vonatkozó koncepciók kidolgozása. A program végrehajtását az Elnök környezetvédelmi bizottságon keresztül rendszeresen ellenőrzi. A memorandum 2016-ig 5-10 ipari léptékű CCS technológia megvalósítását tartalmazza. A CCS eljárások bevezetésére és elterjesztésére az Egyesült Államok jelentős összegeket fordít. Tízéves időtartamban a privát szektorból származó 7 Mrd \$ forrást 3,4 Mrd \$ támogatás egészíti ki [19].

A hazai széndioxid kibocsátás globális mértékben nem számottevő. A csökkentésre vonatkozó tervek a uniós kötelezettségvállalásainkkal összhangban kerültek kialakításra. A Nemzeti Energiastratégia a villamos energia előállításával kapcsolatos CO<sub>2</sub> kibocsátás mértékét 2030-ban közelítőleg 200 t/GWh-ban állapítja meg. Ez a jelenlegi szint 54%-s csökkentését jelenti. A 2050 évi prognosztizált kibocsátás a jelenleginek mintegy 5-7%-a.

A nukleáris energia és megújuló energiahordozók részarányának növelése, és a fosszilis erőművek cseréje ill. korszerűsítése a kibocsátás csökkentés vonatkozásában a CCS eljárások reális alternatíváját kínálja. A 2050-re prognosztizált emissziós elvárások teljesítése azonban már elképzelhetetlen a széndioxid leválasztó technológiák bevezetése nélkül.

Az energiastratégia a villamos energia előállításra vonatkozóan az üzemeltett erőműtípusok kombinációinak 6 változatát dolgozta ki. Az anyag 2050 évre vonatkozóan valamennyi alternatíva esetén tartalmazza a CCS alkalmazása nélküli ill. ennek bevezetésével becsült kibocsátási adatokat és a várható erőmű beruházási költségeket. A két adatsor összevetése azt mutatja, hogy a 2050 évi CO<sub>2</sub> emisszió CCS alkalmazása esetén valamennyi kombinációnál mintegy 20%-ra csökken, a beruházási költségek ugyanakkor 800-1100 Mrd Ft-tal magasabbak.

A jelenlegi helyzetben részint a CCS technológiák költségeinek várható mérséklődése, részint kibocsátás csökkentési kötelezettségeink teljesítésének más lehetőségei miatt a széndioxid leválasztás hazai elterjedése 2030 előtt nem várható.

### CCS technológiák konkrét megvalósítási tervei

A Global CCS Institut (GCCSI) 2010-ben készült felmérése szerint 238 projekt keretében helyeztek üzembe ill. készítették elő megvalósításra széndioxid leválasztási technológiát. 80 nagy teljesítményű berendezés tartalmazza a leválasztás, szállítás, és tárolás fázisát magában foglaló teljes technológiai láncot.

Helyszín	Porto Tolle Olaszország	Janschwalde Németország	Belchatów Lengyel.	Don Valley Anglia	Rotterdam Hollandia	Compostella Spanyolorsz.
<b>Kapacitás</b>	660 MW <sub>e</sub>	300 MW <sub>e</sub>	858 MW <sub>e</sub>	900 MW <sub>e</sub>	1100 MW <sub>e</sub>	323 MW <sub>e</sub>
<b>CO<sub>2</sub> kibocsátás</b>	2,5 mt/év	3,5 mt/év	5,5mt/év	5,9 mt/év	5,0 mt/év	2,0 mt/év
<b>Leválasztás</b>	90 %	92%	90%	90%	90%	91%
<b>CO<sub>2</sub> transzport</b>	1millió t 100 km	1,7millió t 50-300km	1,8 millió t 60-140 km	5millió t 175 km	1,1millió t 25 km	n.a 135 km
<b>Tárolás</b>	tenger alatt	szárazföld	szárazföld	tenger alatt	szárazföld	szárazföld
<b>Tervezett indítás</b>	2015 01 01	2015 12 31	2015 01 01	2015 01 01	2015 01 01	2015 12 31

*Forrás: [Emissziómentes Fosszilis Tüzelőanyagú Erőművek Európai Techn. Platformja ETP-ZEP\) Projects&Communities](#)*

#### 4. sz. táblázat Folyamatban lévő európai megvalósítások

A létesítményeket széntüzelés esetén 1 mt/év, földgáz tüzelőanyagánál 0,5 mt/év értékeket meghaladó mennyiségű CO<sub>2</sub> képződés jellemzi. Közülük 9 egységet már üzembe helyeztek, két berendezés a kivitelezés, a további 69 a megvalósítás és az előkészítés különböző fázisaiban volt. A globális program megvalósítására ajánlott kormányzati támogatás összesen 26 Mrd\$ [20]. A 80

nagyteljesítményű egységből 25 Európában létesül. A 4. sz. táblázat szerinti összeállítás néhány folyamatban lévő európai megvalósítás főbb adatait tünteti fel.

A globális léptékű és jelentős állami (EU) támogatásokkal megvalósított projektek mellett nemzeti kereteken belül is számos új berendezés létesül. Az angliai Drax-ban (Észak-Yorkshire) a White Rose CCS Project keretében oxifuel technológiát terveznek üzembe helyezni 2013-ban. A beruházást az Alstom cég végzi. A 426MW teljesítményű széntüzelésű erőmű 2mt/év CO<sub>2</sub> kibocsátásának 90%-t távolítják el [21].

A norvégiai Mongstad-ban a 100 000 t/év erőműből és finomítóból származó CO<sub>2</sub> eltávolítására alkalmas rendszer 2012 májusában történő üzembe állítását követően 5,8 Mrd norvég korona ráfordítással ugyanott központi CCS rendszert építenek ki. A beruházást a kormány és olajfinomító társaságok finanszírozzák. A skandináv államok tervei szerint 2030-ig 10-30 mt/év, 2050-ig 30-50 mt/év (15-25%) CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentés várható CCS technológiák alkalmazásával. A prognózis feltételezi, hogy a jelenlegi 10-20 €/tCO<sub>2</sub> ár 2050-ig 100 €/tCO<sub>2</sub> értékre nő [2].

Az Egyesült Államokban a fentebb hivatkozott elnöki memorandumban hivatkozott közeli jövőbeli megvalósítások egyik helyszíne az Illionis állambeli Taylorwille, ahol új 716 MW teljesítményű erőmű épül. A szénpor elgázosítási tüzelési technológiával (IGCC) működtetett erőműnél CCS technológiát alkalmaznak. A 2015-ben induló üzem széndioxid kibocsátását az alkalmazott technológia a tervek szerint 65%-kal fogja csökkenteni [22]. A széndioxid csökkentő technológiák terjesztésében jelentős szerepet vállal a Tampa Electric cég. A Siemens-szel együttműködve létesítenek kísérleti üzemet a mintegy 40 évvel ezelőtt létesített floridai Big Bend Power Station széntüzelésű erőmű részére 2013 évi indítást tervezve. A képződött füstgáz egy részénél alkalmazott „Post Combustion” CCS technológia annak 90%-s széndioxid leválasztását eredményezi. A beruházás a taylorwille-i megvalósításhoz hasonlóan a Department of Energy (DOE) támogatásával valósulnak meg. A szervezet további 12 ipari üzem – finomítók, papírgyárak, vegyi üzemek cementgyárak - CCS beruházásához nyújt támogatást.

## **A CCS eljárások elterjesztését támogató K+F projektek**

A széndioxid eltávolítási eljárások bevezetésével kapcsolatban mind a szakmai véleményekben mind a politikai állásfoglalásokban érzékelhető a „kivárás” gondolata. Ennek oka - a fenti költségadatokból is láthatóan – elsősorban a rentabilitás hiánya, ill. a villamos energia árára gyakorolt kedvezőtlen hatás, de megfogalmazódnak a műszaki megoldásokkal kapcsolatos fenntartások is. Mindenfelől várakozással tekintenek az új K+F eredmények megjelenésére.

Az ezredfordulót követően valóban felgyorsultak a kutatás-fejlesztési folyamatok. Számos elkötelezett nemzetközi és nemzeti szervezet valósít meg CCS technológiák piacképesé tételét elősegítő K+F programot – jelentős kormányzati támogatással. A K+F kezdeményezéseket a NER 300 program is támogatja. Kiemelt célkitűzés a nemzeti és uniós fejlesztési programok összhangjának

megteremtése, a tárolási projektek megvalósítása és értékelése ill. a CCS technológiák új, csökkentett költséggel megvalósítható generációjának fejlesztése. A CCS technológiák alkalmazásának jelenlegi fázisában a tárolási infrastruktúra kiépítésének gyorsítása meghatározó eleme a piaci elterjedés folyamatának, így ezek a projektek a jelenlegi koncepció szerint prioritást élveznek. [13].

Az Európai Unió kutatási és innovációs bizottságának energia szektorában számos projekt foglalkozik a CCS technológiákkal [7]. Az 5. sz. táblázat a 2008 -2012 közötti időszakban kidolgozott néhány K+F témát mutat be. A megjelölt támogatási összeget a pályázók a finanszírozási rendszer előírásai szerinti saját hozzájárulásukkal egészítették ki. Az ipari vállalatok a 2003-2008 közötti időszakban 635 m€ összeggel járultak hozzá a K+F tevékenységhez [14]. Kijelölték az évtized további időszakának prioritást élvező K+F célkitűzéseit. Ezek meghatározó része a CO<sub>2</sub> eltávolítás három alaptechnológiájához kapcsolódik.

„Post combustion” technológia:

- Első generációs abszorbensek hatékonyságának javítása katalizátor és új vegyületek alkalmazásával
- Második generációs abszorbensek alkalmazása kombinált CO<sub>2</sub> és SO<sub>2</sub> eltávolításra
- Harmadik generációs szerek alkalmazása (fázis átalakulással járó folyamatok, iontartalmú folyadékok, adszorberek)
- Karbonát képzéssel történő leválasztás
- Kriogén CO<sub>2</sub> eltávolítás
- Füstgáz recirkuláció alkalmazása a hatékonyság növelése érdekében
- Tüzelőanyag cellák alkalmazása

„Pre combustion” technológia:

- Új adszorberek és katalizátorok alkalmazása a CO<sub>2</sub> eltávolítás és a CO konverzió fázisaiban
- A folyamatok optimalizálása

„Oxifuel” technológia:

- Oxigén tüzelésű kazán kiváltása vegyi művelettel
- Oxigénes tüzelés fogadására alkalmas korszerű turbina
- Oxigén előállítás energiaigényének csökkentése

A nyomásfokozás fázisánál az axiál sűrítőknél elérhető magas térfogatáram és a centrifugális berendezések által biztosított nagy nyomást ötvöző új kompresszor kifejlesztése a cél. A szállítás területén a sűrűn lakott területeken keresztül történő transzport és a keverékgázok szállításának modellezése igényel K+F ráfordítást. A tárolás területén új kockázat elemzési módszerek kialakítására, az elhelyezés biztonságát szavatoló modellekre, a szivárgásmentesség megbízható ellenőrzésére van szükség.

Projekt címe	A fejlesztés célja	Támogatási összeg
<b>CACHET II</b>	Membrán alkalmazása CO <sub>2</sub> eltávolításra és hidrogén előállításra	3 900 000EUR
ICAP	Új CO <sub>2</sub> eltávolítási technológia kifejlesztése, a költségek 15 €/t értékre történő csökkentése	4 325 000 EUR
CAOLING	Kalciumoxiddal történő CO <sub>2</sub> eltávolítás üzemi méretű berendezésen történő vizsgálata	3 734 000 EUR
CO2SOLSTOCK	Biológiai bázisú CO <sub>2</sub> tárolás	2 283 000 EUR
CESAR- CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> eltávolítás hatékonyságának növelése, új abszorbense kísérleti vizsgálata	4 000 000 EUR
CAESAR	A CCS technológiák költségeit csökkentő új abszorbensek és berendezések alkalmazása	2 264 000 EUR
DECARBIT	A pre combustion eljárás továbbfejlesztése A költségek 15 €/t-ig történő csökkentése	10 216 000 EUR
CAPRICE	Aminok alkalmazása CO <sub>2</sub> eltávolításra	383 000 EUR
HY2SEPS	Hidrogén és széndioxid szétválasztására alkalmas membrán kifejlesztése	1 559 000 EUR
CACHET	Földgázból történő hidrogén előállítás és a CO <sub>2</sub> eltávolítás költségeinek csökkentése	7 500 000 EUR

Forrás: [Európai Közösség - Energetikai kutatások/Energy research/projects/CCS-CO<sub>2</sub>-Capture](#)

#### 5. sz. táblázat CCS technológiák EU finanszírozású K+F projektjei

A K+F feladatok kidolgozása a 2012-2016 közötti időszakban kb. 950 m€ támogatásban fog részesülni. Azonos összeget terveztek a 2016-2020 időszakra is.

A nagy nemzetközi szervezetek mellett számos kutatási intézményben foglalkoznak a CCS technológiákhoz illeszkedő projektek kidolgozásával. Az MIT-ban (USA) kerámia membránt fejlesztenek [23]. Az ausztráliai Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) fejlesztési témája a CO<sub>2</sub> mosást követő deszorpciós fázis hőigényének szolár energiával történő biztosítására irányul [6]. A Heriot-Watt egyetemen (Edinburgh) szerves anyagok levegőmentes termikus bontása során keletkező magas karbontartalmú anyag (biochare) CO<sub>2</sub> tárolásra való alkalmasságát vizsgálják [24].

A kutatási feladatok kidolgozásában az ipari szektor is részt vállal. A Chevron, ConocoPhillips, ENI, BP, Petrobras, Shell, Suncor Energy és más cégek részvételével létrehozott CO<sub>2</sub> Capture Project (CCP) a technológia valamennyi fázisához kapcsolódóan finanszíroz K+F feladatokat. Programjukban egyebek mellett „oxifuel” technológiával megvalósított fluid katalizátoros krakkolás, normál földgázégőnek oxigénes tüzelésnél történő alkalmazása, olajkitermelésnél alkalmazott gőznek helyszíni előállítása „oxifuel” eljárással, rotációs adszorber fejlesztés, hidrogén-széndioxid elegy szétválasztására alkalmas membrán kifejlesztése szerepelnek [25].

A CCS technológiák színvonalának javítása és költségeinek csökkentése nemzetközi léptékű feladat. Kormányok és cégek dollár (euro) milliárdokat fordítanak az elterjedés piaci hátterének megteremtéséért. Az eljárás általánossá válását azonban néhány további nem műszaki ill. pénzügyi

korlát nehezíti. Hiányzik az alkalmazással összefüggő jogokat és kötelezettségeket keretbe foglaló egyértelmű szabályozási rendszer, a szállítás és tárolás infrastruktúráinak hosszútávú koncepciója. Szükség van a közvélemény korrekt tájékoztatására, az új technológiák biztonságos működtetéséhez szükséges személyzet kiképzésére.

A jelenlegi CO<sub>2</sub> kvóta árak nem ösztönöznék a CCS technológiák bevezetésére. Ezek növekedésében gyorsuló tendencia várható. Reálisnak ítéltető az általánosan hangoztatott vélemény, miszerint a 2020-2030 közötti időszak CO<sub>2</sub> árai továbbá a műszaki színvonal emelését és a költségek csökkentését eredményező fejlesztések már kellő ösztönzést ill. háttérrel fognak jelenteni a széndioxid eltávolító eljárások széleskörű alkalmazásához.

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió résztámogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## Összefoglalás

A széndioxid eltávolítási eljárások terjedésének jelenlegi legfőbb akadálya a költség igényesség. A szükséges ráfordítás az alkalmazás helyszíni feltételeitől függően jelentősen különbözhet, de a már megvalósult számos referencia alapján a költségek nagyságrendje jól érzékelhető. A publikáció első része összefoglalja a jelenlegi és várható irányértékeket, az elektromos áramra prognosztizált hatást. A továbbiakban bemutatásra kerülnek a piaci elterjedést támogató kormányzati programok. Ezekhez kapcsolódnak megvalósítás vagy előkészítés fázisában lévő demonstrációs programok.

Az eljárás alkalmazása költségigényes. Jelentős az összehatasfok csökkenést eredményező járulékos energia felhasználás is. A kedvezőtlen hatások mérséklésére mind Európában, mind az USA-ban átfogó K+F programok kerülnek kidolgozásra. A publikáció tájékoztatást ad a jellemző fejlesztési irányokról is.

## Hivatkozások

1. [Carbon Dioxide Emissions From Power Plants Rated Worldwide](#)
2. [Carbon capture fights its corner](#)
3. [The future of "clean coal"](#)
4. [CO<sub>2</sub> Capture & Storage](#)
5. [The Costs of CO<sub>2</sub> capture/CO<sub>2</sub> Capture Report »](#)
6. [Clean coal/CCS](#) - The current state and future prospects of CCS.
7. [Európai Közösség - Energetikai kutatások](#)
8. [ZEP Statement on COP17/CMP7 »](#)
9. [Carbon Capture by Fossil Fuel Power Plants: An Economic Analysis](#)
10. [Energy Systems Analysis of CCS technology](#)
11. [World energy, technology and climate policy outlook](#)



12. [ZEP Statement on EU Energy Roadmap 2050 »](#)
13. [ZEP Strategy Review 2012 »9.](#)
14. [CCS-EII-Implementation-Plan-final »](#)
15. [Carbon Capture and Storage - Department of Energy and Climate ...](#)
16. [CCS technology offers opportunity for reducing CO2 emissions in the](#)
17. [MIT CCS Retrofits Paper](#)
18. [Interagency Task Force on Carbon Capture and Storage](#)
19. [The future of "clean coal"](#)
20. [Emissziómentes Fosszilis Tüzelőanyagú Erőművek Európai Techn. Platformja ETP-ZEP\)/](#)  
Projects&Communities
21. [White Rose CCS Project Holding - Drax](#)
22. [CCS Technologies to Capture 65% and 90% of CO2 Emissions at ..](#)
23. [Pioneering system could slash future cost...](#)
24. [New method of carbon capture researched at Heriot-Watt University](#)
25. [CCP 2011 Annual Report](#)