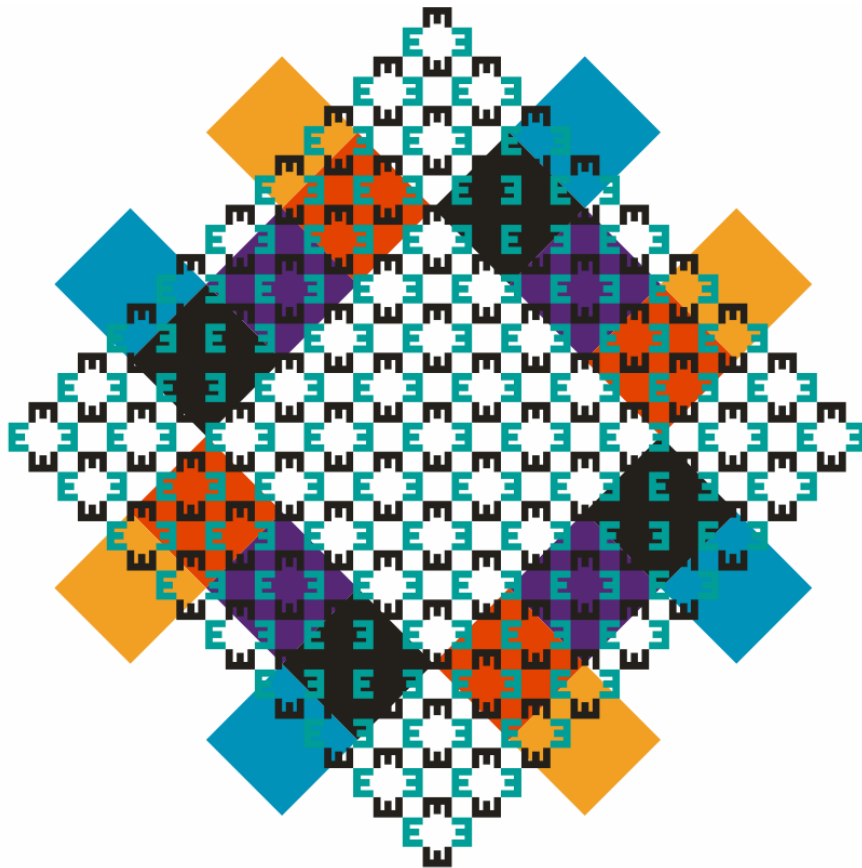




A földalatti szén-dioxid-tárolás lehetséges szerepe az éghajlatváltozás hazai mérséklésében



Készítette: Kardos Péter

Budapest, 2011. november

TARTALOMJEGYZÉK

o. Bevezetés a szén-dioxid föld alatti tárolásába.....	3
1. Vezetői összefoglaló.....	4
2. A szén-dioxid-leválasztás és -tárolás technológiája és szerepe	6
2.1. A technológia bemutatása.....	6
2.1.1. A szén-dioxid leválasztása	6
2.1.2. A szén-dioxid szállítása.....	7
2.1.3. A szén-dioxid elhelyezése tárolókban.....	8
2.1.4. A szén-dioxid tárolóban tartása, monitorozása	9
2.2. A CCS szerepe a kibocsátás-csökkentési eszköztárban	10
2.2.1. Érvek és ellenérvek a CCS-sel kapcsolatban.....	10
2.2.2. A kibocsátás-csökkentési portfólió elemeinek összehasonlítása	13
2.2.3. CCS a nemzetközi porondon.....	15
2.2.4. A CCS szerepe az EU-ban	15
3. A CCS jövője Magyarországon.....	17
3.1. A szén-dioxid-leválasztás és -tárolás lehetséges szerepe a hazai csökkentési portfólióban	17
3.2. Lehetséges forgatókönyvek	19
3.2.1. CCS-Max forgatókönyv.....	20
3.2.2. CCS-híd forgatókönyv.....	22
3.2.3. CCS nélküli forgatókönyv	24
3.3. Összefoglalás	25
4. Felhasznált irodalom.....	26
Ábrajegyzék.....	26
Táblázatjegyzék.....	27

o. BEVEZETÉS A SZÉN-DIOXID FÖLD ALATTI TÁROLÁSÁBA

Az emberi tevékenység hatására az ipari forradalom óta jelentősen megváltozott bolygónk légkörének összetétele. Ez egy sor olyan, korábban nem sejtett folyamatot indított el a Föld éghajlati rendszerében, amely sosem látott hatással van az emberi civilizációra. Az utóbbi fél évtizedben a probléma már a politikai döntéshozatal legkülönbözőbb szintjein is megjelent: manapság egy magára valamit is adó stratégia vagy hosszú távú koncepció már tartalmazza az éghajlatváltozásról rendelkezésre álló ismereteket. Különösen igaz ez azokra a területekre, amelyek kifejezetten az éghajlatváltozást kiváltó okokkal függenek össze (ilyen az energetika is). Egy-egy ilyen stratégiai dokumentum végigveszi a lehetséges eszközöket, vizsgálja azok kihasználhatóságát, alkalmazhatóságát. Jelen tanulmányunk egy ilyen lehetséges eszköz, a CCS-technológia (Carbon Capture and Storage, szén-dioxid-leválasztás és -tárolás) szerepét vizsgálja Magyarországgal kapcsolatában.

Célunk egy olyan átfogó, objektív helyzetértékelés készítése, ami felméri, hogy milyen helyzetben van a CCS jelenleg, milyen lehetőségek és esetleges potenciálok állnak rendelkezésre. Arra a kulcskérdésre keressük a választ, hogy a kibocsátás-csökkentési portfólióban milyen szerepet tölthet be ez az eszköz. Vizsgálódásunk középpontjában Magyarország áll, de természetesen – a témakör jellegéből adódóan – nem tekinthetünk el a nemzetközi helyzet és trendek bemutatásától, hiszen ezek alapvető hatással vannak a CCS hazai helyzetére.

A CCS nemzetközi és hazai szakirodalma bőven szolgáltat információkat a technológia minden eleméről. A tanulmány megírásához szükséges információk összegyűjtésének első lépését a magyarországi Brit Nagykövetségen 2010 nyarán megrendezett CCS-kerekasztal jelentette. A munkánk előkészítése során pedig több tucat tanulmányt, a témával kapcsolatos publikációt gyűjtöttünk össze. A munkához ezen felül az

Energiaklub által az elmúlt két évtized alatt összegyűjtött, a magyar energetikával kapcsolatos tudásanyag is hozzájárult.

Mindezek szintézisaként jött létre jelen tanulmány, amely hazánkban elsőként tesz kísérletet arra, hogy a CCS mint kibocsátás-csökkentési eszközt olyan megvilágításban tegye le a stratégiaalkotók asztalára, hogy a mérlegeléshez számítások és projekciók is rendelkezésre állnak.

Tanulmányunk a négy svéd civil szervezet összefogásával létrejött svéd AirClim támogatásával jött létre. Ez a szervezet a levegőtisztasági és éghajlatváltozással kapcsolatos kérdések iránti társadalmi figyelem és fogékonyság fenntartását tűzték ki célul Svédországban és EU-szerte egyaránt.

Reményeink szerint mindazok is haszonnal olvassák majd munkánkat, akik akár az energetika, akár az éghajlatváltozás által érintett más területen készítenek hosszú távú stratégiai dokumentumokat, vagy éppen az ehhez kapcsolódó hosszú távú döntéseket készülnek a közeli jövőben meghozni.



1. VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

Már hosszú évek óta parázsvita övezi azt, hogy a CCS rövidítéssel illetett technológiának milyen szerepe lehet az éghajlatváltozás mérséklésében. Számos tanulmány készült a hazai lehetőségekről, de olyan átfogó vizsgálat, amely az éghajlatváltozás mérsékléséért tett hazai erőfeszítések szemszögéből, azokhoz fűződő viszonyában elemzi a technológiacsoportot, eddig nem készült.

A CCS-ről könnyen belátható, hogy nem lehet része egy fenntartható energiarendszernek. Egyrészt azért, mert kimerülő forrásokra – szénre, lignitre, földgázra és kőolajra – épít, másrészt azért, mert a szén-dioxiddal telt tárolókkal súlyos problémát hagyunk a következő generációkra.

A CCS lehetséges szerepének megítélését nagymértékben nehezíti, hogy igen kevés a rendelkezésre álló gyakorlati és gazdasági tapasztalat. Ez a technológia a jelenlegi szintjén még nagyon kezdetleges, ráadásul teljes értékű, már működő projekt is mindössze tíz található világszerte. Az európai mintaprojektek megvalósítása jelentős mértékben késik, a becslések szerint legkorábban csak 2014-15 között indulhatnak el. Ebből az is következik, hogy csupán évtizedünk második felétől lesznek operatív körülményekből származó mérési adataink és gyakorlati ismereteink a hatásfokról, szénfelhasználásról, a környezeti hatásokról és nem utolsósorban a fajlagos költségek pontos értékéről. Csupán ezt követően végezhetjük el a technológiával kapcsolatos részletes műszaki és gazdasági számításokat.

Amíg ezek az adatok megszületnek, addig csak becslésekre hagyatkozhatunk. Ha a fajlagos költségekre vonatkozó becsléseket nézzük, akkor nagyon nagy eltéréseket láthatunk – az alkalmazott technológiától, illetve a földrajzi és geológiai adottságoktól függően. Az így kapott értékek pedig nagyon széles tartományban szóródnak: a legátfogóbb elemzések 24-90 € közötti tonnánkénti költséggel számolnak, ami az energiatermelést általában 50-100%-kal drágítja meg. Alapvetően az rontja a megtérülési

mutatókat, hogy az energiatermelés során a szén-dioxid leválasztása számottevő hatásfokromlást okoz, ami az erőműveket a szénfelhasználás növelésére kényszeríti. A technológia jelenlegi piacképtelensége miatt ezért ezek a projektek jelentős állami támogatások nélkül még egy jó ideig nem lesznek életképesek.

Az időzítés kapcsán azzal is szembesülnünk kell, hogy mire az évtized második felében a döntésekhez szükséges érdemi információ a rendelkezésünkre áll majd, akkor már túl késő lesz. Hiszen már 2015 előtt túl kellene lennünk azon a kibocsátási csúcson, amely az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) jelentése alapján az éghajlatváltozás elleni küzdelem sikerességéhez szükséges.

A magyarországi képet vizsgálva azt látjuk, hogy a feltáratlan tárolási potenciál egészen számottevő is lehet, de ennek kiaknázhatóságával kapcsolatban egyelőre nincsen megbízható információ, s így jelenleg még a pontos tárolási kapacitás nagyságrendje sem ismeretes.

Hazai szakértők a CCS fajlagos költségét tonnánként 50-100 €-ra becsülik. Tegyük fel, hogy ez a minimumértéken számolt 50 €/t további fajlagos költség beépülne a jelenlegi fosszilis erőművek önköltségébe – ekkor a földgáz esetében 50% körüli, a kőszén vagy lignit esetén pedig 100-130%-os költségnövekedéssel kellene számolni.

A CCS hazai elterjedését alapvetően két tényező befolyásolja: egyrészt a technológia piaci környezetben mért fajlagos költsége, másrészt az egyéb szén-dioxid elhárítási opciók (pl. megújuló energiaforrások) fajlagos költségének változása. Ennek feltérképezésére három lehetséges forgatókönyvet vizsgáltunk.

A CCS-Max forgatókönyv szerint 2025-től terjedhet el hazánkban a CCS. Ez a technológia hozzávetőlegesen 20-50 évig lehet majd használatban: szerepe tehát – az idealizált, 30 €/t fajlagos költség ellenére is – csak átmeneti lesz.

A CCS-híd forgatókönyvben eleve átmeneti megoldásként tekintünk erre a módszerre, amely érdemben csak 2030 után nyer teret. A gázturbinás erőművek esetében jelentős állami

dotáció nélkül az 50 €/t fajlagos költség 5-20 évnyi időtartamra valószínűsíti a piaci előnyt.

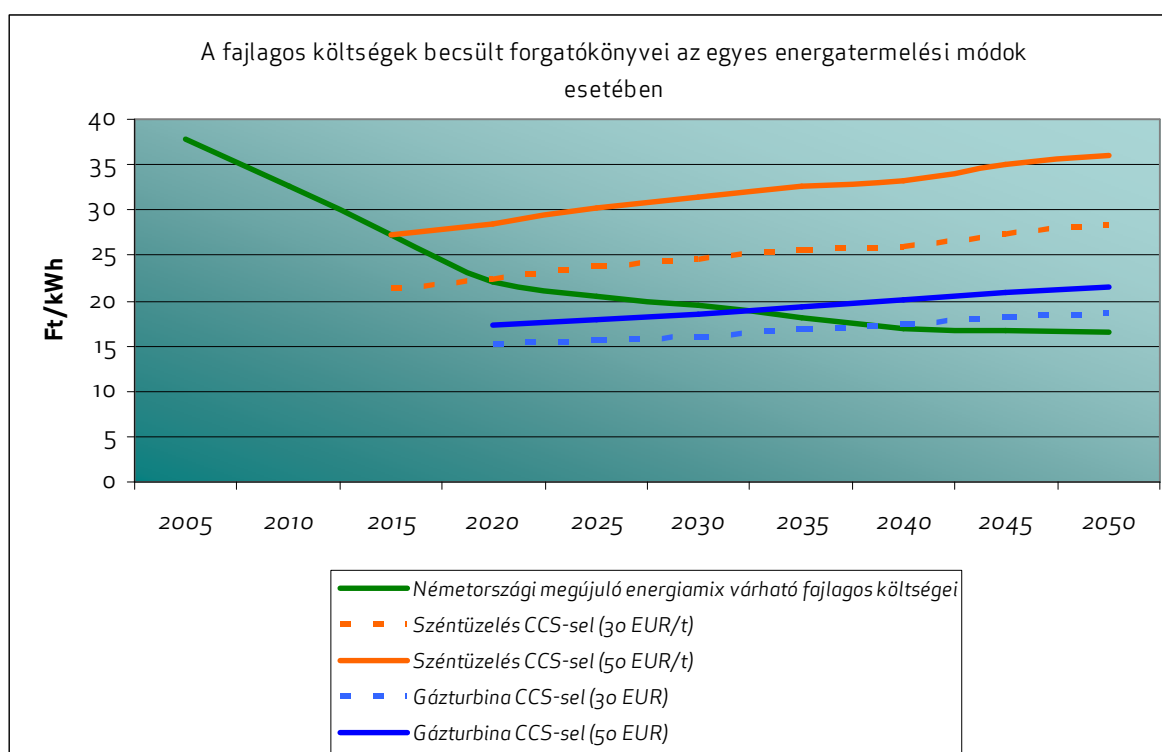
A CCS nélküli forgatókönyv bemutatja, hogy amennyiben a következő évtizedekben eltekintünk a CCS nagy volumenű használatától, akkor sem lesznek nagyobbak az össztársadalmi költségek, tekintettel arra, hogy a megújuló energiaforrásokban rejlő potenciál és az energia hatékonyabb felhasználása olcsóbb és több lábon álló lehetőségeket biztosít.

A CCS hazai elterjedését vizsgáló három forgatókönyv elemzése tehát azt mutatja, hogy 2025-30 előtt semmiképpen nem várható a jelentős állami szubvenció nélküli projektek megjelenése Magyarországon. A később megvalósuló tervek pedig rövid idő alatt elvesztik majd – az esetlegesen meglévő – versenyképességüket a megújuló energiaforrások kínálta lehetőségekkel szemben (ld. 1. ábra).

Az Energiaklub úgy látja, hogy a CCS hazai szerepe a következő évtizedekben csak marginális maradhat. A ráfordítani kívánt erőforrásokat

ezért inkább azokba a már vizsgázott és bizonyított eszközökbe – mint például az energiahatékonyság növelése és a megújuló energiaforrások elterjesztése – kell fektetni, amelyek hozzájárulnak a fenntartható energiatermelés és -felhasználás megvalósításához is.

A bizonytalan tényezők mellett is világosan látható tehát, hogy a magas fajlagos költségek miatt a CCS komolyabb szerepet is csak jelentős állami beavatkozással kaphat. Egy ilyen beavatkozás azonban stratégiai döntést igényel, amely esetében az a legfontosabb mérlegelendő kérdés, hogy a CCS-sel kapcsolatos támogató hozzáállás nem okoz-e hosszú távon ún. bezárási problémát, azaz a CCS-sel kapcsolatos – esetlegesen eltúlzott – bizakodás, vagy a megkezdődő CCS-beruházások miatt lelassuló dekarbonizáció nem eredményezi-e azt, hogy később sokkal nagyobb erőfeszítésekre lesz szükség a kibocsátások csökkentése terén, mint amilyenre a CCS nélkül lett volna.



1. ábra

A németországi megújuló mix fajlagos költségei ([7] alapján), valamint a hazai széntüzelésű és gáztüzelésű erőművek várható fajlagos termelési költségeinek becsült alakulása 30, illetve 50 €/t CCS költség esetén ([7] hazai adaptációjával, saját adatokkal kiegészítve). A hazai megújuló energiamix esetében valamelyest nagyobb értékekkel kell számolni, mert a német mixben a nyíltvízi szélturbinák is szerepelnek.

2. A SZÉN-DIOXID-LEVÁLASZTÁS ÉS -TÁROLÁS TECHNOLÓGIÁJA ÉS SZEREPE

Az angol CCS rövidítés egy olyan technológiacsoportot jelent, amely a szén-dioxid leválasztásának és tárolásának folyamatát fedi le. Ennek végső célja az, hogy a legkülönbözőbb ipari – természetesen legfőképpen energiatermeléssel összefüggő – folyamatokból származó szén-dioxidot elkülönítse a szabadba kiáramló füstgázokból, és azt a légkörtől elkülönítve tartósan eltárolja. Ezzel végső soron a légkör szén-dioxiddal való terhelését csökkenthetjük, így a CCS az éghajlatváltozás elleni küzdelem egyik lehetséges eszköze.

2.1. A technológia bemutatása

A CCS-technológia folyamatát a szakirodalom általában három részre bontja: a szén-dioxid leválasztására, szállítására és tárolókban történő elhelyezésére. Azonban ha jobban belegondolunk, logikusabb – és a célkitűzésből adódóan helyesebb –, ha az utolsó szakasz kettéosztásával három helyett négy szakaszra bontjuk a technológiát. A technológia negyedik állomásaként ebben a megközelítésben a betárolást követő és attól jól elkülöníthető tevékenységgel számolunk: a szén-dioxid tárolóban tartásának biztosításával, azaz a tároló monitorozásával.

A következőkben végigmegyünk a technológiai láncon, röviden áttekintjük a legfontosabb jellemzőiket.

2.1.1. A szén-dioxid leválasztása

A technológiai láncolat első lépésében az égéstermékéből valamilyen módon elkülönítjük a tárolásra szánt szén-dioxidot. A fő szempont az, hogy lehetőleg minél több szén-dioxidot ejtsünk csapdába, hiszen éppen az a célunk, hogy az ipari folyamat szén-dioxid terhelését minimalizáljuk.

Az elkülönítés hatásfoka nagyban függ az alkalmazott technológiától: az esetek legnagyobb részében a keletkező szén-dioxid 85-95%-át lehet elkülöníteni, azaz az eredeti kibocsátás mindössze 5-15%-a kerül ki a környezetbe. Nyilvánvaló, hogy lényegesen egyszerűbb a

felszabaduló szén-dioxid 10%-át leválasztani, mint a 90%-át, ezért minél nagyobb tisztaságot szeretnénk elérni, annál több energiára és végső soron annál drágább megoldásra lesz szükség.

A szén-dioxid elkülönítésére három különböző technológiai megközelítés létezik.

Égetés utáni leválasztás

Ebben a megközelítésben a fő kémiai folyamatot követően a távozó gázokból kémiai vagy fizikai úton különítik el a szén-dioxidot.

Jelentős előnye, hogy ez a módszer nagy kapacitású, akár még jelenleg is üzemelő erőműveknél is használható. Ezzel a megközelítéssel ugyanis az erőmű alapvető technológiai ciklusába nem kell komolyan beavatkozni.

Lényeges hátránya ugyanakkor, hogy jelentősen megnöveli az üzemanyag- (azaz az energia-) felhasználást, az így termelt villamos energia költségeit és végső soron az árát is. Emellett az is komoly fejtörést okozhat az ilyen technológiába beruházni vágyóknak, hogy egy öregebb erőmű esetében a rövidebb hátralévő élettartam miatt rentábilis lesz-e a projekt. Az erőművel együtt ugyanis a CCS-hez kapcsolódó műszaki berendezések is leállnak, ha megtérültek addigra, ha nem.

Habár az égetés utáni leválasztás már létezik demonstrációs projektek keretében, nagyerőművekben még nem vizsgázott tisztán piaci körülmények között. Ennek megfelelően a gyakorlati gazdasági tapasztalatok csak korlátozottan áll rendelkezésre.

Égetés előtti leválasztás

Az égetés előtti leválasztás alapelve, hogy az égetés előtt magát az üzemanyagot alakítják át kémiai úton. Általában elgázosítják, azaz több lépcsőben végül hidrogénné alakítják, ami a fő folyamatban átveszi a tüzelőanyag szerepét. Az elgázosítás közben viszonylag nagy tisztaságú szén-dioxid keletkezik. A hidrogén elégetése a már hagyományos gázturbina-technológiákkal is megoldható (az energiefelszabadulás nagy része ekkor történik).

A módszer előnye, hogy az energiaveszteség az eljárás során minimális, ezért sokan a legkeveset több technológiának tartják.

Hátránya azonban, hogy a hagyományos technológiájú szén- és olajtüzelésű erőműveket alaposan át kell építeni hozzá, ami jelentősen megdrágítja a beruházást. Emellett a leválasztás során visszamaradt, potenciálisan veszélyes hulladéknak minősülő erőművi salakanyag mennyisége is a többszörösére emelkedik.

Oxigénes égetés

Ebben a technológiai megközelítésben a fő energiafelszabadítást tiszta oxigénes atmoszférában végzik, így az égéstermék sokkal nagyobb arányban tartalmaz szén-dioxidot.

A technológia előnye, hogy nem igényli az erőművek jelentős átalakítását, továbbá ezzel az eljárással lehet a legnagyobb energetikai hatásokot elérni, és ezáltal a költségek tekintetében is a legkedvezőbb megoldás lehet.

Jelentős hátránya, hogy a tiszta oxigén alkalmazása igen költséges megoldás annak ellenére is, hogy ipari folyamatokban széles körben alkalmazzák. További komoly hátrányt jelent, hogy erről a technológiáról van a legkevesebb érdemi gyakorlati tapasztalat és értékelés. Ez annak tudható be, hogy az ezt a technológiát alkalmazó demonstrációs projektek éppen csak indulófélben vannak.

Mindhárom eljárás növeli a hagyományos erőművi technológia energiafelhasználását, mivel a szén-dioxid elkülönítése energiaigényes folyamat. Ezért a döntések során figyelembe kell venni a választandó technológia energiamérlegét, azaz, hogy ez az energiaszükséglet mekkora az előállított energiához viszonyítva. A fellelhető adatok szerint a szükséges energiátöbblet a termelt energia 10-40%-át teszi ki¹. Ez a többletenergia-igény értelemszerűen jelentős többletköltséget is jelent (27-57 €/t).²

¹ IPCC – Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005), Summary for Policymakers (4. oldal 4. pont)

² A CO₂-befogással és –elhelyezéssel kapcsolatos jelenlegi nemzetközi és hazai helyzet – tanulmány (ELGI, KVVM, 2007), 12. oldal adatai átszámítva

A szükséges energia és a többletköltség nagyságrendje elsősorban a tüzelőanyagtól és a technológiától függ, valamint attól, hogy a szén-dioxidot milyen arányban szeretnék leválasztani, illetve a szabadba engedni. Mindennek a CCS-sel kapcsolatos mozgástér szempontjából – amire később részletesen is kitérünk – lesz nagy jelentősége.

A CCS leválasztási technológiák	előnyök	hátrányok
Égetés utáni leválasztás	- jelenlegi erőműveknél is használható - csővégi megoldás	- jelentős energiaigény - a beruházás életciklusa eltér az erőművétől
Égetés előtti leválasztás	- az energia-veszteség minimális - viszonylag tiszta szén-dioxid nyerhető ki	- inkompatibilis a régi erőművi technológiával
Oxigénes égetés	- nagy tisztaságú szén-dioxid keletkezik, a meglévő erőművekkel is kivitelezhető	- költséges az oxigénlégkör

1. táblázat

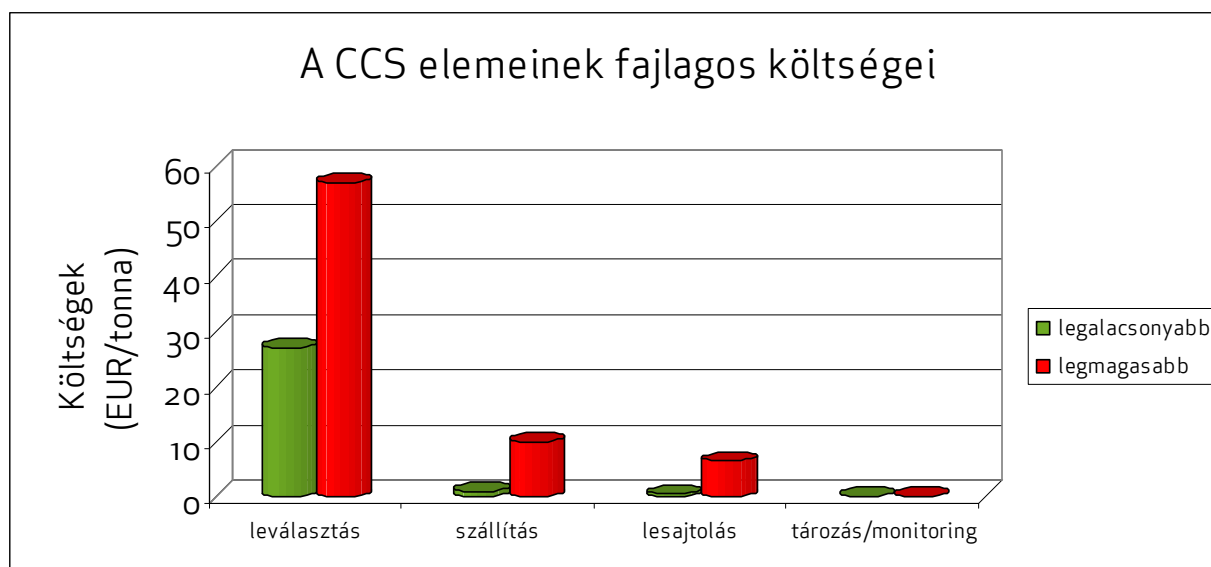
Az egyes leválasztási technológiák legfontosabb előnyei és hátrányai

A leválasztással kapcsolatos technológiákhoz kitűzött cél az, hogy a többletköltséget 20 €/t alá szorítsák. Ennek hátterében az áll, hogy miután a leválasztás adja a CCS költségének döntő hányadát (ld 1. táblázat), elsősorban annak mértéke van hatással a technológia versenyképességére és elterjedésének az ütemére.

2.1.2. A szén-dioxid szállítása

A technológia második, a szén-dioxid elkülönítését követő szakasza a szállítás. A célja, hogy a széndioxid-forrástól eljuttassuk a tárolandó gázt arra a helyre, ahol végül a tárolóhelyre lesajtolják.

A szállításhoz kapcsolódnak azok a technológiai lépések is, amelyek a szén-dioxidot a továbbításra alkalmassá teszik. Ezek lehetnek fizikai (nyomásnövelés, vízgőzmentesítés) vagy kémiai



2. ábra

A CCS egyes elemeinek fajlagos költségei, a szakirodalomban fellelhető legmagasabb és legalacsonyabb értékei. Az utolsó technológiai fázisról (tárolás/monitoring) csak elvétve található adat (forrás: saját gyűjtés)

átalakítás (vegyület formájában történő továbbításhoz). Mindezeknek természetesen energiaigényük van. Miután az ehhez szükséges energiát az erőmű biztosítja, ezért ez összességében további hatáskromlasként jelentkezik, amelynek a nagysága akár a 3,5%-ot is elérheti³.

A szállításra két megoldás kínálkozik: a csővezetékes, illetve a történő járművel (közúti, vasúti vagy vízi) szállítás.

A nagy volumenű CCS-projektek esetében elsősorban a csővezetékes szállítási megoldás merül fel, míg vannak olyan projekttervek, ahol a tankeres továbbítással kalkulálnak. A csővezetékes szállítás mellett gazdasági, energiahatékonysági és ökológiai érvek állnak. A szállítás kapcsán a szén-dioxid-forrás és -tároló létesítmény távolsága, illetve a felmerülő szén-dioxid-szállítási volumen a legfontosabb vizsgálandó elem. Tekintettel arra, hogy a csővezetékes szállítási infrastruktúra kiépítése a legköltségesebb a szállítási módok közül, ezért

már a projektek előkészítése és azok tér- és időbeli összehangolása is nagy körültekintést igényel, mert így jelentős költségmegtakarítást lehet elérni.

Az eddigi ismeretek szerint a szállítási költség a szállítási módszer és a távolság függvényében 1-10 €/t közé tehető. Ez körülbelül egytizede a teljes CCS-technológia fajlagos üzemeltetési költségének.

Egy erőmű tervezése során, ha ezt összehasonlítjuk a tüzelőanyag biztosítása vagy az elektromos hálózati összeköttetés kapcsán felmerülő infrastruktúra költségével, akkor a szén-dioxid szállítás költsége csak másodlagos szerepet játszik a projekt földrajzi elhelyezkedésével kapcsolatos mérlegeléskor.

2.1.3. A szén-dioxid elhelyezése tárolókban

A szállítást követő lépés az elhelyezés. Erre több megoldás létezik, amelyek két nagy csoportra oszthatók: óceáni vízben, illetve szárazföldi tárolókban történő elhelyezés. Az óceáni tárolással kapcsolatban rendkívül sok kétely és probléma vetődött fel, ezért manapság a figyelem inkább a szárazföldi elhelyezésre terelődött.

A szárazföldi tárolás lényege, hogy egy kellő szigeteltséggel rendelkező geológiai formációt kijelölnek tárolási feladatra, amelynek feltöltéséhez kifejezetten erre a célra létesítendő

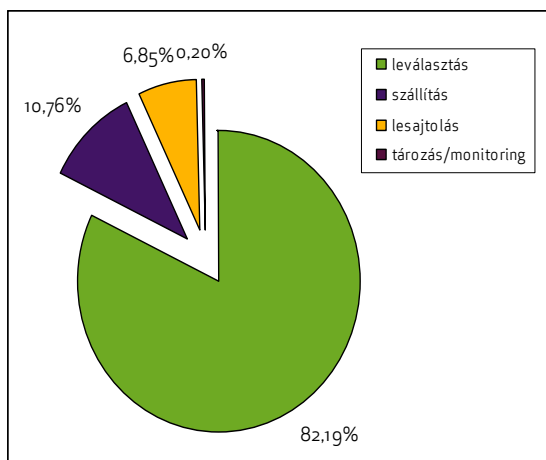
³ Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008

infrastruktúrát használnak. A tárolandó szén-dioxidot nagy nyomáson lesajtolják a tárolóba, amely ott gáz, vagy nagyobb nyomás esetében folyékony halmazállapotban felhalmozódik.

A tároló működése szempontjából a legfontosabb kritérium, hogy képes legyen a szén-dioxidot tartósan a környezettől elszigetelten tárolni. Ennek megítélése talán a legnehezebb feladat, mert egy kezdetben megfelelőnek tűnő tároló feltöltés közben, de a lezárást követően is bármikor szivárogni kezdhet. A csekély tapasztalat miatt meglehetősen keveset tudunk arról, hogy a szén-dioxid hogyan viselkedik a különböző típusú tárolókban.

A tárolással kapcsolatban felmerül továbbá a kapacitás kérdése is. Vajon milyen potenciált rejtnek a fenti kritériumnak megfelelő lehetséges tárolók szerte a világban? Ennek felmérése, hogy ez milyen nagyságrendet képvisel, nem könnyű feladat – már csak azért sem, mert az egyes tárolótípusok között alapvető minőségi különbségek is vannak, ami hatással van a kihasználhatóságukra is.

A szakirodalomban fellelhető adatok szerint annyi biztonsággal kijelenthető, hogy a világ tárolóinak potenciális kapacitása figyelemreméltó nagyságrendű, így alkalmas eszköz lehet a légköri szén-dioxid koncentrációjának számottevő visszafogására. Ugyanakkor az is nagy biztonsággal kijelenthető, hogy ez a kapacitás önmagában biztosan nem lesz elegendő arra, hogy az éghajlatváltozás problémakörét kizárólag a



3. ábra
Az egyes technológiai szakaszok fajlagos költségeinek egymáshoz viszonyított aránya (forrás: Energiaklub saját gyűjtés)

CCS-sel oldjuk meg.⁴

Az elhelyezés költségei nagyobb részben a tároló alkalmassá tételének költségeiből, valamint kisebb részben a szén-dioxid betöltésének (lesajtolás) költségéből állnak össze. A költség függ a tároló típusától, nagyságától, állapotától, a lesajtolás technológiájától. A fajlagos értékre 0,5-6,5 €/t közötti értékeket lehet a szakirodalomban fellelni.⁵

2.1.4. A szén-dioxid tárolóban tartása, monitorozása

Az éghajlatváltozás szemszögéből kulcsfontosságú a CCS technológiai láncának utolsó mozzanata, és időbeli lefutását vizsgálva egyben a leghosszabb is: a szén-dioxidot a tárolóban, a légkörtől teljes mértékben elszigetelten kell tartani. Ehhez számos tevékenységre van szükség.

Arról megoszlanak a vélemények, hogy a szén-dioxidot mennyi időre kell a tárolóban tartani, de általában 10.000-100.000 éves skálán szóródnak a szakértői vélemények. Ez természetesen függ attól, hogy milyen geológiai formációban helyezik el a szén-dioxidot. Vannak olyan geológiai adottságokkal rendelkező tárolók, amelyekben beoldódás vagy kémiai megkötés révén néhány ezer év alatt megszűnik a levegőkörnyezettel való érintkezés veszélye. Ugyanakkor vannak olyan tárolók is, amelyek az inert körülmények miatt csak százezer éves időskálán mérhető potenciális kockázati szintet képesek biztosítani.

A monitorozási tevékenységek során a kutak nyomását, a geológiai formációban uralkodó nyomást ellenőrzik, továbbá monitorozzák a szeizmológiai adatokat is. Ez utóbbi az, amely egyes elemzések szerint a legnagyobb mértékben növeli a monitorozási költségeket.⁶ Ehhez még

⁴ Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008. 4. oldal Methods and Capacity, 1. pont

⁵ [6] IPCC – Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005). 11. oldal SPM.5 táblázat

⁶ Monitoring Protocols and Life-Cycle Costs for Geologic Storage of Carbon Dioxide, 2004, Sally M. Benson Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA 94720, 3. oldal

hozzájárulhatnak a felszínen elhelyezett szén-dioxid-monitorozó hálózat költségei, valamint a monitorozást végző szakértők munkadíja is.

A becslések szerint ennek a fázisnak a költsége 5-15 eurocent között szóródik tonnánként. Ebben azonban csak a mező lezárását követő 20-50 éves monitorozási időszakot veszik figyelembe. A dolog természetéből adódóan ugyanakkor a tároló lezárását követően bármikor kiderülhet, hogy további monitorozásra is szükség van.

2.2. A CCS szerepe a kibocsátás-csökkentési eszköztárban

Egy stratégia tervezésénél általában számba vesszük azokat a lehetőségeket, eszközöket, amelyek a cél eléréséhez felhasználhatók. Ha több ilyen is van – mint például az éghajlatváltozás elleni küzdelem esetében –, akkor ezeket optimális összetételben használjuk fel, hogy a ráfordításokat minimalizálhassuk.

A CCS egy ilyen eszköz a kibocsátás-csökkentési eszköztárunkban, amelynek felhasználhatóságát nyilván az dönti el, hogy más eszközzel összehasonlítva mennyire bizonyul erőforráshatékonyak. Például, ahogy a technológiát

Érvek a CCS mellett	Érvek a CSS-sel szemben
a 2050-es kibocsátási cél (80%) nem teljesíthető a CCS nélkül	Nem fenntartható energiarendszer része
Dekarbonizációs híd - könnyebbé teszi az átmenetet	Túl költséges, túl kockázatos
A technológia elemei bevetésre készen állnak, gyorsan bevethető	Abszolút és relatív időhátrányban van

2. táblázat

A CCS technológiával kapcsolatban leggyakrabban felmerülő érvek és ellenérvek csoportjai globális, gazdasági-technológiai és stratégiai megközelítés szerint. Részletes magyarázat a szövegben.

összefoglaló előző fejezetekben már utaltunk rá, a szén-dioxid tárolására alkalmas potenciál világviszonylatban ugyan jelentős nagyságrendű, de kapacitása folytán biztosan nem képes önmagában megoldani az éghajlatváltozás elleni sikeres küzdelemhez szükséges szén-dioxid-mennyiség eltüntetését.

A következőkben az ezzel kapcsolatos szempontokat tekintjük át: a leggyakoribb érveket és ellenérveket vesszük végig, összehasonlítjuk a kibocsátás-csökkentési eszköztár többi elemével, majd nemzetközi, európai és hazai kontextusban is felállítunk egy rövid analízist.

2.2.1. Érvek és ellenérvek a CCS-sel kapcsolatban

A CCS ötlete lényegében egyidős az éghajlatváltozás elleni küzdelemmel, hiszen amióta számba vesszük a lehetséges eszközöket, azóta megtalálható a listán, a csővégi megoldások között.

A szakirodalom áttekintéséből érezhető, hogy a technológia megítélése meglehetősen széles spektrumon mozog. Vannak, akik teljes meggyőződéssel és mellszélességgel támogatják, míg vannak, akik ugyanilyen elszántan ellenzik a megjelenését. A legelfogadottabb álláspont valahol ezek geometriai középpontjában áll: a konszenzuálisnak is tekinthető megközelítés mára az lett, hogy a CCS-nek leginkább egy átmeneti időszakban lesz szerepe a kibocsátás-csökkentési eszköztárban, és egyfajta hídként, ideiglenes technológiaként járulna hozzá a szénmentes energiagazdálkodás eléréséhez.

Érvek a CCS mellett

„A CCS nélkül nem teljesíthetők a kibocsátási célok.”

Az érv azon alapul, hogy az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) 2050-re – a fejlett országok számára – javasolt legalább 80%-os csökkentési célja nem lesz teljesíthető a CCS használata nélkül. Ez a csökkentés olyan nagyságrendű, amely alapjaiban rendezi majd át mindennapi életünket, miközben minden lehetséges csökkentési eszközt meg kell ragadni, hogy teljesíthető legyen a célkitűzés.

„Dekarbonizációs híd.”

Az érvelés szerint a CCS hozzájárul ahhoz, hogy az ún. dekarbonizációs folyamat (vagyis a szénelapú gazdaság széntelenítése) során a gazdaságra és azon keresztül a társadalomra nehezedő nyomás kisebb legyen. Az átmeneti időszakban tompítja a hagyományos energiatermelés átalakításából származó kellemetlen társadalmi hatásokat, így a munkanélküliséget és az ebből eredő politikai feszültségeket is enyhíti.

Ebben a szemléletben tehát kettős szerepe van a CCS-nek: miközben egy jelentős kibocsátás-csökkentési potenciált képvisel, azaz lehetőséget kínál arra, hogy a kibocsátások számszerűen csökkenhessenek, ugyanakkor időt ad a technológiaváltásra. Nem kell azonnal erőműveket bezárni, vagy az új rendszert azonnal kiépíteni, hanem lehetőség van megtervezni az átmenetet, és egy sokszerű váltás helyett időben elnyújtott, kényelmesebb átmenetet biztosítani.

„Gyorsan bevezethető, kulcsrakész technológia.”

A technológia elemei rendelkezésre állnak, így megfelelő döntés esetén csupán finanszírozás kérdése, hogy milyen gyorsan állíthatók hadrendbe a szén-dioxid tárolásához szükséges eszközök.

A szén-dioxid jelenléte bányászati tevékenységekben gyakorlatilag évszázados múltra tekint vissza: hazánkban is bányásznak szén-dioxidot, valamint a szénhidrogénmezők kitermelésekor is előszeretettel alkalmazzák a szén-dioxidot a felszínre hozás elősegítésében, így megvan hozzá a tudás, a technológia és a szakembergárda is.

Érvek a CCS-sel szemben

„A CCS nem lehet fenntartható energiarendszer része.”

A CCS beépítése után az energiarendszer két okból sem teljesíti a fenntarthatóság kritériumát. Egyrészt azért, mert kimerülő forrásokra – szénre, lignitre, földgázra és kőolajra – épít, másrészt azért, mert szén-dioxiddal telt tárolók formájában olyan problémát hagyunk a következő generációkra, amelyekkel nekünk még nem kellett

megbirkóznunk, de rájuk kisebb-nagyobb mértékben mindenképpen terheket fog róni.

Ehhez az érvehöz kapcsolhatók mindazok a kifogások és problémák is, amely valamilyen környezeti kockázatot vagy hatást emelnek ki a CCS-sel kapcsolatban.

„A CCS késésben van.”

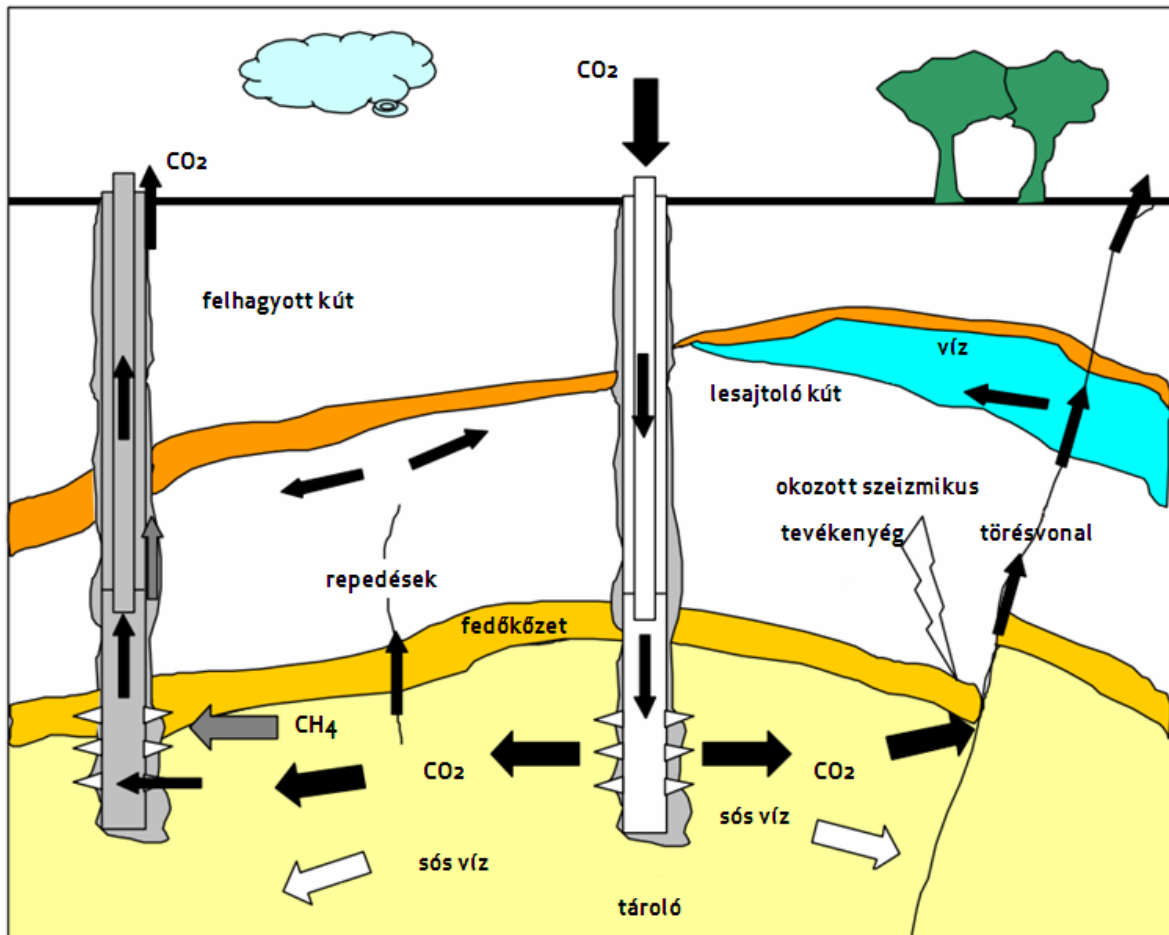
Az egyik leggyakrabban hangoztatott ellenérv, hogy a CCS abszolút és relatív értelemben is késésben van. A világ teljes kibocsátásának a 2010-es évek első felében kellene tetőznie ahhoz, hogy a katasztrofális éghajlatváltozás elkerülésére érdemi esély maradjon. A kívánatos kibocsátási csúcs tehát megelőzi a technológia érdemi elterjedését, amely így „lekési” a kibocsátáscsökkentés kezdetét. Ugyanakkor más eszközökhöz képest is késésben van, mert a világszerte működő tíz demonstrációs CCS-projekt mindössze néhány megatonnát képvisel, ez áll szemben a többi eszköz gigatonnában mérhető, már most jelentkező szén-dioxid megtakarításával (ld. 2.2.3-as fejezet: CCS a nemzetközi porondon).

„A CCS túl költséges megoldás.”

Ide minden olyan érv besorolható, amely a konkrétan a CCS fajlagos, vagy extern jellegű (térben, illetve időben távol jelentkező) költségei miatt kérdőjelezi meg a technológia elterjedését vagy létjogosultságát.

A fajlagos költségek nagyon eltérőek lehetnek technológiától, földrajzi és geológiai adottságoktól függően. A becslések nagy szórást mutatnak, a legátfogóbb elemzések 24-90 eurós tonnánkénti költséggel számolnak, ami az energia előállításában 50-100%-os költségnövekedést jelent.

Fokozza a megtérülési problémát, hogy a szénleválasztás számottevő hatásfokromlást okoz, ami a szénfelhasználásuk növelésére kényszeríti az erőműveket (tehát környezetvédelmi szempontból is ellentétes hatás jelentkezik). Így könnyen lehet, hogy pusztán a nagy költségek miatt lesznek életképtelenek ezek a projektek.



4. ábra

A földalatti széndioxid-tárolás kockázatai. A fekete és a szürke nyilak mutatják a szén-dioxid és a metán áramlását (a felhagyott kitermelőkutakon, repedésekben, törésvonalak mentén), a fehér nyilak mutatják a szén-dioxid besajtolása miatt áthelyeződő sós víz mozgását ([18] alapján)

Egy kicsit távolabbról indul, de valójában szintén a költségeknél jelenik meg a szén-dioxid-tárolókkal kapcsolatos probléma.

Olyan hosszú időtávon kell ugyanis biztosítani a tárolók környezettől való elszigeteltségét, amelynél a szén-dioxid termelésének időtartama legalább két nagyságrenddel rövidebb. Ilyen esetekben, ha a hosszú távú felelősségviseles (a tárolás) teljes idejére számított – minden gondos tervezés ellenére nagyon bizonytalan – jövőbeli költségeket vizsgáljuk, akkor a technológia gazdaságossági megítélése könnyen megkérdőjelezhetővé válik. Ilyen esetben a hosszú távú felelősség annak költségeivel együtt az államra hárul. Egy jól kialakított szabályozási környezet ugyan hatással lehet erre az időkeretre, de a gazdasági társaság felelőssége előbb-utóbb meg fog szűnni. Ez tulajdonképpen azt jelenti,

hogy a haszon a vállalkozásé, a gond pedig az államé.

A problémát igazából az okozza, és a költségekkel kapcsolatos döntést is ez nehezíti meg, hogy – tapasztalat híján – még csak becsülni sem tudjuk, hogy ha egyáltalán lesznek a jövőben váratlanul fellépő költségek, akkor azok milyen nagyságúak lesznek.

Az utolsó, de még szintén a költségekkel kapcsolatos érvcsoport közös tartalma az, hogy a CCS magas fajlagos költsége miatt a kedvezőbb értékekkel bíró eszközökhöz képest relatív előnybe kerül dotációs források terén, azaz „elszívja” a támogatási potenciált.

„A CCS túl kockázatos.”

A CCS kockázata a szén-dioxid szivárgására vezethető vissza. A szivárgás ebben az

összefüggésben azt jelenti, hogy a már elkülönített szén-dioxid a CCS-technológiasor bármelyik lépcsőjében visszajut a légkörbe. A szivárgásnak két hatása van. Egyrészt az elszivárgott szén-dioxid jelentős többletköltséget jelent (bírság, vagy EU ETS esetén kvótaelszámolás formájában), másrészt az elszivárgás során egyéb kár (anyagi kár, emberélet) is jelentkezhethet, ha a teljes mérleget megvonjuk.

A szén-dioxid szállítása során a gáz környezetbe való visszajutásának esélye végig fennáll. Hasonló a helyzet a tárolók esetében is, de ott annyival bonyolultabb a helyzet, hogy lehetnek ismeretlen, geológiai háttérű kockázati tényezők is. A szivárgás valószínűségét a tároló kialakításakor is igyekeznek minimalizálni, de ennek ellenére előfordulhat, hogy a geológiai formáció minden gondos körültekintés ellenére megnyílik, és az elkülönített szén-dioxid kijut a levegőkörnyezetbe.

A geológus szakemberek magabiztosak abban a tekintetben, hogy az általuk kijelölt geológiai formációk által biztosított szigetelés kellő erősségű és élettartamú ahhoz, hogy éghajlatvédelmi szempontból megnyugtató legyen a tárolás. Természetesen ez a biztonsági szint függ a formációtól: az inert környezetet biztosító tárolókban százezer éves nagyságrendben marad érintetlen a lesajtott gáz, amihez értelemeszerűen hasonló nagyságrendű monitoring szükséges. A hosszabb tárolási idő többletkockázatot is hordoz magában: ez az időtáv már geológiai értelemben is jelentős, amely alatt komoly változások is beállhatnak a betárolás idején stabilnak tűnő formációkban.

A felhagyott szénhidrogénmezők CCS számára történő felhasználásával kapcsolatban a leggyakrabban felmerülő probléma a korábbi kitermelőkutak lezárása. Ez a művelet nem kis szakmai kihívást és nem utolsósorban költséget is jelent: nyilván kellő anyagi ráfordítással elérhető egy általánosan elfogadható biztonsági szint, de a vállalkozás – miután profitot szeretne termelni – abban érdekelt, hogy ez a művelet a lehető legolcsóbban valósuljon meg. Emiatt a kérdésre megnyugtató választ csak az adna, ha a lezárás

megbízhatóságával kapcsolatban valamilyen szabályozás (pl. szabvány) nyújtana támaszt minden érdekelt fél megaláztatására.

Sok intézkedés hozható annak érdekében, hogy a szivárgások esélye minimális legyen, de teljesen nulla valószínűséget nem lehet elérni. Ha a CCS nagy részarányban jelenik majd meg a kibocsátás-csökkentő eszközök között, akkor emellett a kis valószínűség mellett is az összképet tekintve viszonylag gyakran bekövetkező szivárgásokra, illetve azok kezelésére kell felkészülni.

A szén-dioxid mezők monitoringjának ki kell terjednie a szeizmikus aktivitás vizsgálatára, adott esetben a felszíni deformáció mérésére, a tároló nyomásának mérésére, valamint a felszíni levegőkörnyezet szén-dioxid-koncentrációjának mérésére. Ez a tároló zárása után 40-50 évig a tárolást végző cég vagy jogutód felelőssége és költsége, ami – a világban néhány helyen már működő gyakorlat szerint – utána lényegében átszáll az államra.

Alapvetően ez olyan kérdés, amit tartós, kiszámítható módon kell rögzíteni a vonatkozó jogszabályokban. Nyilván az állam érdekei szerint alakíthatja ezt az időtávot, amely meghatározásakor figyelembe veszi a CCS-nek szánt stratégiai szerepet is.

2.2.2. A kibocsátás-csökkentési portfólió elemeinek összehasonlítása

Eddig csupán a CCS-ről esett szó, de ha tisztában szeretnénk lenni a kibocsátás-csökkentési eszköztárban betöltött szerepével, akkor elkerülhetetlen, hogy az eszköztár többi tagját is röviden megvizsgáljuk.

Ebben az eszköztárban szokás megemlíteni a CCS mellett az energiahatékonyságot és -takarékoságot, a megújuló energiaforrásokat, a technológiaváltást, a nukleáris energiát, a földhasználatot és az erdősítést, továbbá a szén-dioxidon kívüli gázok csökkentését.

A vizsgált szempontok közül a fenntarthatóság, az energia- és ellátásbiztonság kérdéseit emeltük ki. Természetesen rögtön felmerülhetnek a költségek kérdései is: mennyibe kerülnek az egyes eszközök? Erre most nem térünk ki részletesen,

de a hazai vonatkozású elemzésben ezek külön figyelmet kapnak majd.

Energiahatékonyság, takarékoság

Az energetikai szakterületen lényegében teljes a konszenzus abban, hogy az energiafelhasználás – és a kapcsolódó kibocsátások – csökkentésének legfontosabb eszköze az energia-körforgás (termelés-szállítás-felhasználás) összhatékonyságának növelése. Azaz, hogy a kívánt eredményt az eredeti állapothoz képest kevesebb energiával is el tudjuk érni. Például egy jobb hatásfokú izzóval az eredeti 60W-os teljesítményfelvételt lecsökkenthetjük 2-7W-ra, miközben a világítás fényereje változatlan marad. A takarékoság pedig a pazarlás megszüntetését és az energiafelhasználás ésszerűsítését együttesen jelenti.

Az Energiaklub Negajoule 2020 tanulmánya az épületenergetikában (tehát a felhasználási oldalon) 42%-os csökkentési potenciált tárt fel, amely egyben ugyanilyen nagyságú kibocsátás-csökkentési potenciált is jelent. Ez is azt mutatja, hogy óriási tartalékokkal rendelkezünk a kibocsátás-csökkentés terén.

Az energiahatékonyság és -takarékoság a fenntartható energiagazdálkodás felé vezet, és egy-egy ország ellátásbiztonságát is növeli, csökkentve az energiainport okozta függőséget.

Megújuló energiaforrások

Közös vonásuk a nevükből ered: olyan energiaforrások, amelyek legalább abban az ütemben termelődnek újra, mint amilyen ütemben felhasználásra kerülnek. Ezek az energiaforrások két forrásból erednek: a Napból és a Föld belsejéből. Az előbbihez tartozik a napenergia, szélenergia, vízi energia és a biomasszából nyerhető energia, míg utóbbihoz a geotermális és geotermikus energia. Definícióból eredően fenntarthatók, és diverz jellegükből adódóan az energiabiztonságot és az importfüggetlenedést is erősítik. Nem utolsósorban nagy előnyük, hogy a fosszilis és nukleáris energiaforrásoktól eltérően sokkal egyenletesebben állnak rendelkezésre világszerte.

Technológiaváltás

Ez az eszköz azokat a beruházásokat foglalja magában, amelyek révén az eredeti energiamennyiség kevesebb energiahordozó felhasználásával is előállítható. Ez részint az összhatásfok javulásából következik, másfelől pedig a tüzelőanyag-váltás révén is javulhat a mérleg. A technológiaváltás nagy előnye, hogy a hatásfok növekedésével a fajlagos költségek jelentősen csökkennek. Nagy hátránya viszont, hogy rendkívül tőkeintenzív eszközről van szó, hiszen erőművek esetében az energiatermelés legdrágább elemét, az erőművi blokkokat érinti. A fenntarthatóság kritériumát a fosszilis források miatt nem teljesítheti, azonban az ellátásbiztonságot javíthatja.

Nukleáris energia

A nukleáris energia szén-dioxid kibocsátás nélkül termel energiát, és a teljes életciklusra számolt szén-dioxid emissziója is a megújuló energiaforrásokkal egy nagyságrendbe esik. A fűtőanyag lezáratlan technológiai ciklusa miatt a fenntarthatósági követelményeknek azonban nem felel meg.

A bonyolult technológia rendkívüli helyzetekben okozhat ellátásbiztonsági problémákat a megfelelő (tudományos, gyártó- vagy szerelő-) háttérkapacitások hiányával, ugyanakkor a könnyen készletezhető fűtőanyaga normál körülmények között ellátásbiztonság szempontjából jótékony hatású. Ezzel együtt is a nukleáris ipar teljes vertikumával nem rendelkező országokban (így Magyarországon is) energiabiztonsági kockázatokat hordoz magában a külföldről származó energiahordozó.

Földhasználat és erdősítés

Ennek az eszköznek a lényege, hogy a szén-dioxid-nyelő növényzet térnyerését támogatja (erdősítés), illetve, hogy megakadályozza a növényzet elterjedésének csökkenését, pusztulását. Lényegét tekintve fenntartható eszközről van szó. Az ellátásbiztonságra közvetetten gyakorolhat hatást, mert a szén-dioxid-mérlegen keresztül (ugyanis negatív előjellel kerül figyelembevételre) ellensúlyozni képes az ellátásbiztonság érdekében megvalósult

– fosszilis energiatermelés által okozott – kibocsátás hatását. Ez azonban jól átgondolt stratégiai tervezés és még nagyobb körültekintés mellett lehet járható út, illetve egyedül az aktív (pl. erdősítés) esetben.

Szén-dioxidon kívüli gázok csökkentése

Ez az eszköz azoknak a technológiáknak az összessége, amelyek az összes többi üvegházhatású gáz (metán, dinitrogén-oxid, fluorozott szénhidrogének, perfluoro-karbonok és a kén-hexafluorid) kibocsátásának csökkentését eredményezhetik. Tekintettel arra, hogy nagyon szerteágazó technológiákról van szó, és a kibocsátási volumen jóval elmarad a szén-dioxidétól, energetikai vonzatuk is minimális. (Bár Magyarországon létezik kezdeményezés a gyógyforrások metántartalmának gázturbinás „semlegesítésére.”)

2.2.3. CCS a nemzetközi porondon

A CCS nemzetközi szerepe lényegében négy földrajzi területre – vagy ha úgy tetszik, geopolitikai központra – összpontosul: USA, EU, Kína és Ausztrália. Ez persze nem azt jelenti, hogy ezeken a területeken kívül nincs érdeklődés a technológia iránt, de a projektek többsége itt valósul meg, illetve van előkészítés alatt. A CCS nemzetközi helyzetét alapvetően e négy központ közötti kölcsönhatás, illetve verseny határozza meg.

A CCS-sel kapcsolatban az egyik kulcskérdés – ahogy azt korábban már körüljártuk – az, hogy a gyakorlatban milyen gyorsan jelenhet meg valódi csökkentési potenciálként. A futó projektek száma⁷ és időzítése egyelőre azt mutatja, hogy a következő évtizedben világszinten sem lesz számottevő hozzájárulása a szén-dioxid kibocsátások csökkentéséhez.

E tanulmány írásakor a világszerte elindított projektek száma ugyan már elérte a százat, azonban ebből mindössze tíz a már jelenleg is működő projekt, amelyek összesen megatonna nagyságrendű szén-dioxidtól mentesítik a

⁷[3] Scottish Centre for Carbon Storage, School of Geosciences, University of Edinburgh (www.geos.ed.ac.uk/ccsmap)

légkört⁸. A beruházások kormányzati támogatása 2010-ben összességében meghaladta a 26 milliárd USD-t, és kormányzati segítséggel további 43 projekt indulására van esély.⁹

A projektek egyelőre kizárólag állami támogatással indulhatnak el, fő céljuk az információ- és tapasztalatgyűjtés. Erre nemcsak a megvalósíthatósággal összefüggő műszaki és geológiai kérdések miatt van szükség. A CCS gazdasági oldalával kapcsolatos információhiány ugyanis az egyik fő oka annak, hogy a befektetők egyelőre nem kívánnak a szén-dioxid leválasztásába fektetni.

2.2.4. A CCS szerepe az EU-ban

A CCS-sel kapcsolatos határozott EU-s elkötelezettség hátterében a belső csökkentési kényszeren túl a fejlődő országok hatalmas piaci potenciáljainak kihasználási lehetősége is áll. Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény részes feleinek tárgyalásain (az ún. klímacsúcsokon) is kiemelt szerepet kap az általános értelemben vett technológiaátadás körüli kérdések tisztázása. Ez szintén arra utal, hogy sok szereplő globális technológiai piacban, vagy akár geopolitikai dimenziókban is gondolkodik: a CCS mihamarabbi bevezetése vezető szerepet és gazdasági lehetőségeket is kínál az uniónak olyan más nagy versenytársak mellett, mint az Egyesült Államok vagy Ausztrália.

Az EU-ban ennek megfelelően az a szakpolitikai irányvonal erősödött meg, hogy sem a megújulóknak részarányának növelése, sem a csökkentett energiafogyasztás nem elegendő a 2020-ra kitűzött 20%-os (és különösen az esetleges 30%-os) kibocsátás-csökkentési cél eléréséhez. Annak ellenére alakult ki ez az általános vélekedés, hogy még a legprogresszívebb CCS penetrációt vizsgáló elemzések sem várják a technológia beérését és érdemi hozzájárulását a kibocsátás-

⁸ Scottish Centre for Carbon Storage, School of Geosciences, University of Edinburgh (www.geos.ed.ac.uk/ccsmap) Folyamatosan frissülő térképes adatbázis

⁹ IEA Carbon Capture and Storage – progress and next steps (for G8 summit, 2010), 5. oldal

csökkentéshez 2020 előtt.¹⁰ A 30%-os csökkentési célból adódó csökkentési kényszer egyébként több vizsgálat szerint is érdemi lökést adhatna a technológia számára. Ennek hiányában azonban várhatóan 2020-ig nagyon csekély lesz a szerepe.

A 20%-os célból ugyanakkor már eleve következik egy 2020 utáni intenzívebb kibocsátás-csökkentési pálya – a hosszú távú, 2050-es 80%-os cél ugyanis rögzített –, így ez a csökkentési kényszer éppen abban 2030 körüli időszakban katalizálhatja a CCS-technológiát, amikor az elemzések¹¹ a technológia érettségéből eredő fellendülés potenciális időszakát teszik.

Az Európai Bizottság 2009 végén úgy döntött, hogy 8-12 próbaprojekt elindítását támogatja. E támogatás forrásául – a „szennyező fizet” elvre épülő – európai kibocsátáskereskedelmi rendszer (EU ETS) új belépők számára elkülönített kvóták egy részének értékesítéséből befolyt pénz szolgál. Az EU ezzel egyidejűleg létrehozta a CCS-technológia bevezetésének jogi keretrendszerét is (2009/31/EC).

Az EU egyik célkitűzése, hogy 2015-re a világon elsőként rendelkezessen operatív körülmények között működő, ipari léptékű CCS-tapasztalatokkal a világon. A projektek sikere nagyban elősegítené az uniós elterjedést, sőt akár kötelezővé is tehetné a technológiát az unióban. Ez természetesen a kibocsátáscsökkentés terén komoly versenyelőnyt jelenthetne a világ nagy kibocsátóival szemben. Kudarckuk ugyanakkor hosszú időre vissza is vetheti a technológia EU-s elterjedését. Talán ennek is tudható be, hogy nagy csúszásokkal haladnak a CCS-t célzó EU-s pályázati folyamatok is.

Az EU direktívában is rögzített célja 2020-ig 7 millió tonna, 2030-ig pedig 160 millió tonna széndioxid leválasztása és tárolása a 20%-os cél sikerének érdekében. Ez nem túl ambiciózus terv,

¹⁰ IEA Carbon Capture and Storage – progress and next steps (for G8 summit, 2010), 15. oldal 2. ábra

¹¹ McKinsey Climate Change Initiative, McKinsey & Company, 2008, 7-8. oldal

ha figyelembe vesszük, hogy így 2020-ig mindössze a Mátrai Erőmű egy éves kibocsátásának megfelelő mennyiség megspórolását tervezik a teljes EU-ban!

Ha ez a célkitűzés teljesül, továbbá a technológia magán-, nemzeti- és közösségi támogatásban részesül, valamint környezetvédelmi szempontból is biztonságosnak ítélik, akkor az irányelv szerint 2030-ra az előírt csökkentés mintegy 15%-át teszi majd ki a CCS.¹² Ez azonban csak akkor képzelhető el, ha az energiaszektor továbbra is az összes kibocsátás hozzávetőleg háromnegyedéért lesz felelős, úgy, hogy ezen belül a szén felhasználásának aránya mindeközben nőni fog.

Ebből az a paradox helyzet rajzolódik ki, hogy az éghajlatvédelmi célok eléréséhez tovább kellene növelnünk fosszilis függőségünket.

A CCS gazdaságos üzemeltetéséhez viszonylag magas karbonár (pl. magas EU ETS-kvótaár) szükséges. A karbonpiac jövője jelen pillanatban meglehetősen bizonytalan, lévén – a nemzetközi klímátárgyalások 2009-es koppenhágai kudarc miatt – csak az EU-nak lesz 2012 után is garantáltan működő kvótarendszere. A CCS versenyképességét addig azonban csak beavatkozással, állami dotációval lehet fenntartani.

Az infrastrukturális kérdések az Európai Unió szempontjából is átgondolt stratégiát kívánnak, hiszen nagy tőkeigényű beruházásokról van szó. A kiadások szempontjából a vezetékhálózat kiépítésével párhuzamosan figyelembe kell venni a monitorozási költségeket is.

A CCS-sel kapcsolatos EU-stratégia szempontjából tehát az az izgalmas kérdés, hogy reális-e a CCS globális elterjedésével számolni a század közepe előtt. Kétséges, hogy a nagyon magas költségeket meg tudja-e fizetni minden építető. Kétséges, hogy a fejlődő országokban elvárható-e a CCS széleskörű alkalmazása a század végéig, miközben ezek az országok felelősek a globális kibocsátások 40%-áért (amely arány melleleg rohamosan növekszik).

¹² Az Európai Parlament és Tanács 2009/31/EK irányelve, 2009. április 23., 1. oldal (5)-ös pont

Azt az – egyébként energetikai kérdésekben ezerfelé húzó – EU is érzékeli, hogy amennyiben a CCS globális elterjedése elmarad a várakozásoktól, akkor a CCS-en alapuló elképzelések komoly veszélybe kerülnek. Amennyiben pedig így alakul, akkor az könnyen az EU hosszú távú kibocsátás-csökkentési célkitűzéseinek teljes kudarcát jelenti, mert a CCS-be vetett megelőlegezett bizalom végül éppen azt a fosszilis energiahordozókra épülő technológiát élteti tovább, amit a célkitűzések alapján vissza kellene szorítani.

3. A CCS JÖVŐJE MAGYARORSZÁGON

Ebben a fejezetben Magyarországra fókuszálunk, és áttekintjük, hogy az éghajlatváltozás elleni küzdelem hazai intézkedései között milyen szerephez juthat a földalatti szén-dioxid-tárolás.

3.1. A szén-dioxid-leválasztás és tárolás lehetséges szerepe a hazai csökkentési portfólióban

Magyarországon viszonylag későn kezdődött a CCS-sel kapcsolatos diskurzus, érdemi vizsgálódás. Néhány éve jutottunk el oda, hogy az érdekelt felek között megindult a koordináció, és a CCS-sel kapcsolatban megindult a közös gondolkodás, tervezés. Ez önmagában természetesen még nem jelenti a technológia hazai megjelenését, de arra ráirányította a figyelmet, hogy eddig egyik kormányzat sem foglalt hivatalosan állást a CCS-sel kapcsolatban. A jogszabályi környezet kialakításához pedig ez valamilyen mértékben szükséges lesz, annál is inkább, mert több stratégiai dokumentumot is (energiastratégia, éghajlatváltozási stratégia, stb.) kisebb-nagyobb mértékben érint.

A kormányzat oldaláról eddig a környezetvédelmi megközelítés volt érzékelhető, amely lényegében nem támogatja a CCS-t, mint kibocsátás-csökkentési lehetőséget. A gazdasági fejlesztések terén illetékes tárca (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium) érdemben eddig nem foglalkozott a kérdéssel, de 2011 során, a CCS-direktíva jogrendbe illesztésével kapcsolatosan lesznek feladatai. Az államigazgatás részéről a

Bányászati Hivatal érintett még, amely már felkészült a CCS-sel kapcsolatos, rájuk háruló teendők intézésére.

A hazai szakértők a CCS fajlagos költségével kapcsolatos becslése, amely több tanulmányban is szerepel, 50-100 €/t közötti tartományba teszi a hazai projektek költségét¹³, azaz világviszonylatban magasnak mondható árral kell kalkulálnunk.

A CCS terén az eddigi legnagyobb hazai kezdeményezést az EU ETS NER₃₀₀ (Az EU kibocsátáskereskedelmi rendszerének az új belépők tartalékából képzett forrás) bevételeiből támogatást szerző projekt lehetősége jelentette, amelyre konzorcium is alakult (Mátrai Erőmű, ELGI, MOL, MVM). A 2010-es év végére azonban nyilvánvalóvá vált, hogy a projekt a Mátrai Erőmű bővítési beruházásának elmaradása miatt meghiúsul. Így egyelőre nem várható, hogy Magyarországon CCS-beruházás induljon el, hiszen támogatás híján a piaci körülmények ezt még messze nem teszik lehetővé.

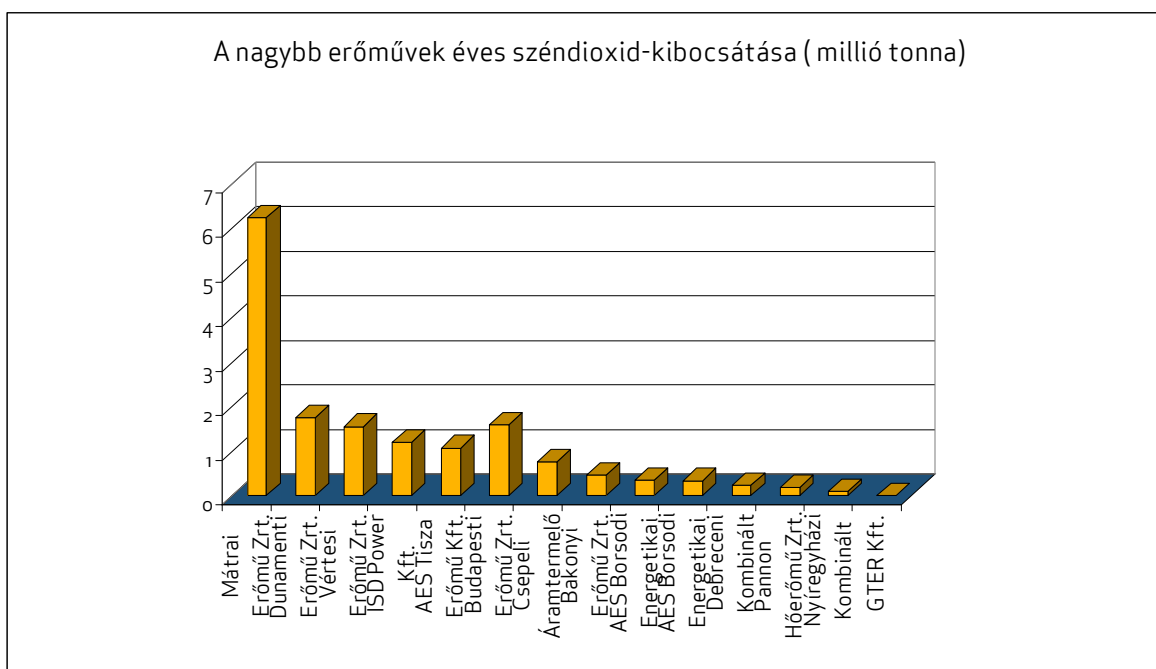
A hazai helyzetet összefoglalva tehát nincs tisztázva a környezet- és természetvédelmi feltételrendszer, és a szabályozási környezet is éppen alakulófélben van. Összességében a sok megválaszolatlan kérdés szerfelett bizonytalaná teszi a befektetői és beruházási kedvet. A legtöbb kérdés tekintetében ráadásul még azt is nehéz megjósolni, hogy mikorra születhet meg nagy biztonságú válasz.

3.1.1. Potenciális CCS-források

A technológia korlátait figyelembe véve elsősorban azok a nagy szén- és gázerőművek jönnek szóba, amelyek az EU ETS létesítményei között is szerepelnek. E létesítmények teljes éves széndioxid-kibocsátása 26,9 millió tonna, ebből 16,9 millió tonnáért felelősek a villamosenergia-ipar szereplői. Ezeket a kibocsátásokat mutatja be az 5. ábra.

Ezek az erőművek képviselik tehát azt a *potenciált*, amely a hazai CCS számára első közelítésben forrást jelenthet. Az azonban

¹³ Az Energiaklubnak az érdekelt felekkel készített 2010-es interjúi alapján



5. ábra

A legnagyobb hazai erőművek éves kibocsátási adatai (forrás: Nemzeti Kiosztási Terv 2008-2012). A CCS-technológia szempontjából az e létesítmények által reprezentált kibocsátási volumen az elsődleges forrás.

egyáltalán nem bizonyos, hogy ugyanezekben a létesítményekben is valósulnak majd meg a projektek. Azt a technológia bemutatásakor is hangsúlyoztuk, hogy a hagyományos erőművek égetés utáni leválasztásos technológiája gazdaságossági okokból várhatóan nem fog nagymértékben elterjedni, ugyanis az erőművek várható hátralévő élettartamánál jóval hosszabb időtávon térülne meg a beruházás. Így a jelenleg üzemelő erőművek esetén csak kivételes körülmények között képzelhető el a leválasztó rendszer utólagos kialakítása. Elsősorban új erőművi beruházások előkészítése során merül fel az a döntési helyzet, hogy kívánják-e CCS-kompatibilissá tenni a leendő erőművi blokkot, vagy sem. Sokkal valószínűbb, hogy amennyiben teret kap, a nagyobb hatásfokot biztosító égetés előtti vagy az oxigénes égetésű erőművek jelenthetik majd a hazai CCS fő tömegét.

3.1.2. Tárolási potenciál

Magyarországon – a világ más tájaihoz hasonlóan – három fő geológiai képződménycsoportba sorolhatók a potenciális CCS-tárolók.

Letermelt szénhidrogénmezők

Lényege, hogy a kibányászott szénhidrogén helyére sajtolják be a szén-dioxidot, tekintettel

arra, hogy korábban is stabil tárolóként működtek. Kérdés, hogy hány kút vezet az egyes tárolókhoz, mert ezek megbízható lezárása annyira megnövelheti a tárolás költségeit, hogy az gazdaságtalanná válhat. A hazai potenciál nagyságrendje 400 millió tonna (ez a jelenlegi EU ETS-sel lefedett kibocsátások esetében 15 évre lenne elegendő).

Sósvizes (ún. akvifer) tárolók

Ebben a tárolótípusban az 1500-3000 m mélységű sósvizes rétegbe sajtolják be a szén-dioxidot, ami részint oldódik a vízben, részint pedig a geológiai formáció felső részén összegyűlik, és lefelé, más formációkba préseli át a vizet. Az oldott szén-dioxid jellemzően karbonátokat képez, amelyek kalciumsói rögtön kicsapódnak. Ezek oldhatatlan réteget képezve sok esetben tovább erősítik a geológiai formáció vízzáró képességét. A hazai potenciál milliárd tonnás nagyságrendű, ami hozzávetőleg 10-100 évig lehet alkalmas a jelenlegi ütemű szén-dioxid-kibocsátás elnyelésére, de még nagyon sok a bizonytalanság, Magyarországon a sósvizes tárolókat kutatták eddig a legkevésbé.

Szenes képződmények

A széntartalmú (szenes-lignites) geológiai formációk (hazánkban a bükkaljai és a toronyi lignit) a nagy adszorpciós képességüknél fogva képesek szén-dioxidot tárolni. A nagy nyomású gáz hatására ráadásul metán is távozik, de ennek gazdaságos kitermelhetősége erősen kétséges. A tároló feltöltése közben egy bizonyos telítettség esetén a zárást biztosító kőzetben erőteljes átteresztőképesség-csökkenés léphet fel, ami erősen korlátozhatja az elnyelhető tömegáramot. A hazai potenciál hozzávetőlegesen 100-500 millió tonna, amely 4-20 évre tudná a hazai EU ETS-szektor széndioxid-kibocsátását teljesen elnyelni.

A geológus szakemberek úgy vélik, hogy bár kockázatokat természetesen rejtenek ezek a tárolók, ezek a kockázatok a tűréshatáron belül kezelhetők. A legnagyobb kockázatot a tárolással kapcsolatban a besajtolás jelenti, ennek végeztével már csak a monitorozórendszer működtetése szükséges.

Optimális feltételek között egy tároló akár 5 éven keresztül is rendelkezésre állhat szén-dioxid befogadására. A hazai szakemberek véleménye szerint 5 év alatt – természetesen a megfelelő politikai akarat esetén – a hazai CCS minden eleme beindítható volna, hiszen ehhez már megvan a kiforrott technológia és a monitoring is.

A teljes tárolási potenciál a fentiek fényében – amennyiben nem vesszük figyelembe a teljes potenciál kihasználásához szükséges egyre magasabb határköltség fékezőhatását – közelíthető a hazai tároló kapacitás nagyságával. Középtértéknek 2000 Mt érték adódik, amely figyelembe veszi a sósvizes tárolókat is. Ez hozzávetőlegesen 33 évnyi teljes szén-dioxid-kibocsátás elnyelésére volna elegendő.

3.2. Lehetséges forgatókönyvek

Az eddigiekben felállított analízist követően a továbbiakban a CCS magyarországi jövőjét vizsgáljuk. Miután az analízis során számos bizonytalansági tényezőt tártunk fel, a jövőt vizsgálva további nehézségekre számíthatunk. Ahhoz, hogy ezt kezelni tudjuk, érdemes forgatókönyvekben gondolkodni.

A forgatókönyvek ez esetben azt jelentik, hogy különböző alapfeltevésekből fogunk kiindulni: a fontos, de bizonytalan tényezőket adottnak vesszük, és megvizsgáljuk, hogy milyen folyamatok jelentkeznek mellettük.

A CCS felhasználásának következő 40 éves menetéről három forgatókönyvet vázolunk fel Magyarország számára. Természetesen tisztában vagyunk azzal, hogy ilyen időtávon rendkívül nehéz feladat gazdasági folyamatokat előre jelezni. Ezért a forgatókönyveket úgy határoztuk meg, hogy a mai információk és tendenciák alapján a CCS valóságos hazai jövője szempontjából a három forgatókönyv jelentse a szélsőséget. A CCS várható jövője valószínűleg nem vegytisztán egy-egy forgatókönyv alapján, hanem azok valamilyen keveréke formájában alakul majd.

A forgatókönyvek több alapfeltevésből indulnak ki, amelyek nyilván erősen teoretikusak, ezért ezeket így is kell kezelni az értelmezés során. A forgatókönyvek kialakításakor több szempontot felhasználtunk egy Németországra készített tanulmányból¹⁴, amely hasonló megközelítéssel dolgozott.

A forgatókönyvekben egyszerűsítésként csak az EU ETS-szektorral foglalkozunk, mert elsősorban ebből a szektorból kerülhetnek ki a CCS-technológiával lefedhető kibocsátások, tekintettel arra, hogy nagy volumenű és pontszerű emissziót produkáló létesítményekről van szó. A másik komoly érv e megközelítés mellett, hogy ebben az esetben a bizonytalan magyar gazdaságnál és energiastratégiánál nagyobb léptékű (EU-szintű) folyamatokból tudjunk kiindulni (pl. az EU ETS kibocsátási egysége, az EUA árának várható alakulása), amelyeket nem, vagy csak igen csekély mértékben befolyásolnák a magyarországi folyamatok.

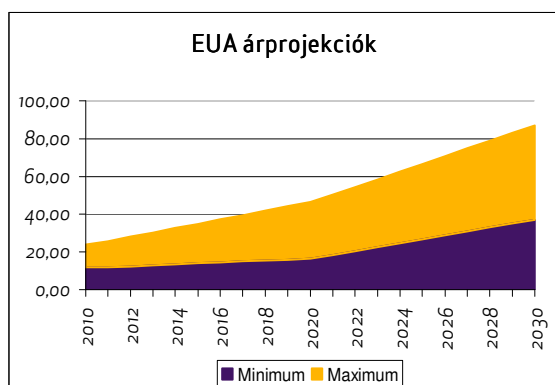
Az egyes forgatókönyveknél a feltevések során rögzítjük a CCS fajlagos költségét, az átlagos

¹⁴Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008 (6. oldal)

leválasztási határfokot, továbbá a hadra fogható tárolókapacitást. Ezekben implicit módon a külső körülmények is megjelennek attól függően, hogy a CCS elterjedése ezekre közvetett (pl. állami szubvenció-hajlam) vagy közvetlen (pl. a technológia költségének alakulása) hatást gyakorol.

A forgatókönyvekben alapfeltevés, hogy tisztán piaci környezetben játszódnak le a folyamatok. Ezeket nyilvánvalóan teljesen felforgatná az állam beavatkozása, ezért ezt a forgatókönyvektől teljesen függetlenül kezeltük.

A vizsgálati módszerünk döntően a rendelkezésre álló tanulmányok adatelemzésén alapul. Sokféle adat sokféle megközelítéssel került már publikálásra, szándékunk szerint ezeket hozzuk közös nevezőre, tesszük egymás mellé, és így következtetünk a lehetséges folyamatokra.



6. ábra

Az EU ETS kibocsátási egységeinek a következő két évtizedre várható ára a rendelkezésre álló projekciók összesítésével. Forrás: Energiaklub saját gyűjtés

Tekintettel az EU ETS-szektorra végzett vizsgálatra, kézenfekvő, hogy az EUA árának várható alakulásából kell kiindulnunk. Ez nem egy egyszerű feladat, hiszen az EUA árat számos, önmagában is bizonytalan tényező befolyásolja, de az elérhető projekciók összesítése mégis adhat valamilyen támpontot.

3.2.1. CCS-Max forgatókönyv

Feltevések

A forgatókönyv feltevése, hogy a ma birtokunkban lévő információk alapján a CCS szempontjából

minden úgy alakul, ami a CCS lehető legnagyobb térnyerését eredményezi.

Ez egyrészt azt jelenti, hogy a technológia fajlagos költsége a legoptimistább becsléseknél is kedvezőbben alakul (30 €/tonna), továbbá, hogy a hazai tárolási potenciál is a lehető legnagyobb mértékben lesz kihasználható. Ezért 2 milliárd tonna feletti kapacitással kalkuláltunk, ami az EU ETS-szektor számára 75 évnyi tárolókapacitást jelentene.

A feltevésben minden fosszilis tüzelőanyagot használó erőmű azonnal CCS beruházásokba kezd, mielőtt az elhárítási határköltségük eléri a 30 eurós tonnánkénti árat, amelyhez a jogszabályi környezet hosszú távon és stabilan adott. A felhasznált technológiákkal a távozó füstgázokból a szén-dioxid 90%-át tudják elkülöníteni.

Következtetések

Amennyiben változatlan tüzelési technológiával működnek tovább az erőművek, akkor pusztán a szén-dioxid kibocsátási költsége (EUA) indukálja majd a CCS-beruházás megindítását. A hazai szilárd tüzelésű erőművek (Mátra, Vértes) esetében számításunk szerint, amennyiben megszűnik az EU ETS kibocsátási kvóták (EUA-k) eddig ingyenes átruházása, már a 30 eurós EUA is majdnem duplájára növeli a villamosenergia-termelés önköltségi árát (20-21 Ft/kWh, azaz 7,4-7,7 ct/kWh). Ez a viszonylag rossz fajlagos kibocsátási mutatóknak (1,09-1,1 kg/kWh) köszönhető.¹⁵

Első közelítésben tehát az látszik, hogy bármilyen eszközt (CCS vagy kvótavásárlás) is alkalmaz majd a két erőmű a szén-dioxid-kibocsátásának ellensúlyozására, jelentős önköltség-emelkedésre kell számítani. A CCS értelemszerűen akkor juthat tiszta piaci környezet esetében szerephez, ha az EUA ára tartósan meghaladja a CCS-technológia fajlagos költségmutatóit, esetünkben a 30 €/t árat. A pontos számítások során azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a két hazai szilárd tüzelésű erőmű esetében az égetési utáni leválasztásos technológia mellett egységnyi

¹⁵ Energiaklub saját gyűjtés és számítás

Kibocsátó	Tüzelőanyag	Jelenlegi fajlagos önköltségek (Ft/kWh)	30 EUR-os széndioxid-elhárítási költség esetén (Ft/kWh)	Változás	50 EUR-os széndioxid-elhárítási költség esetén (Ft/kWh)	Változás
Vértesi erőmű	Barnaszén	15,2	24,08	58,4%	30,01	97,4%
Mátrai erőmű	Lignit	11,7	20,7	76,9%	26,70	128,2%
Csepeli erőmű	Földgáz	14,1	17,71	25,6%	20,11	42,6%
Debreceni erőmű	Földgáz	11,6	15,05	29,7%	17,35	49,6%

3. táblázat

Néhány tipikus fajlagos költségű hazai erőmű villamosenergia-termelési önköltségének alakulása a szén-dioxid-elhárítási költség 30, illetve 50 eurós szintje esetén (2005-ös adatokból számítva, 270 HUF/EUR árfolyamon) Forrás: saját számítás

energia előállításakor nagyobb mennyiségű eltárolandó szén-dioxid keletkezik, mint más leválasztási technológia alkalmazásával. Ez kibocsátásként még további költséget jelent a kvótaelszámolás során. Jelen esetben az eredeti kibocsátás 10%-a továbbra is a légkörbe kerül, amellyel a kibocsátónak el kell számolnia, azaz kibocsátási kvóttal le kell tudnia fedni. Ennek költségvonzata pedig kis mértékben ugyan, de rontja a megtérülési mutatókat.

A kisebb, gáztüzelésű erőművek esetében az ármódosító hatás várhatóan kisebb lesz (25-30%), bár ott eleve magasabb szintű költségekkel dolgoznak CCS nélkül is. Emellett fontos tényező, hogy a kisebb szén-dioxid-volumen és a szétszórta források miatt egészen valószínűtlen a 30 €/t CCS-költség tarthatósága.

A forgatókönyv kulcsmomentuma az, amikor a külső környezet eléri azt az állapotot, mely után a CCS piacérettsége alapján széles körben el tud terjedni. Ehhez az EUA árának projekciói jelentik a kapaszkodót. Ennek figyelembevételével azt látjuk, hogy még ebben az idealizált forgatókönyvben is viszonylag későn, 2025-2030-ban kezdődne a CCS-penetráció az erőművi szektorban. A szakirodalomban fellelhető projekciók alapján¹⁶ ugyanis erre az időszakra

¹⁶ Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable

várható, hogy a szén-dioxid-költségek elérik a 30 €/t fajlagos értéket.

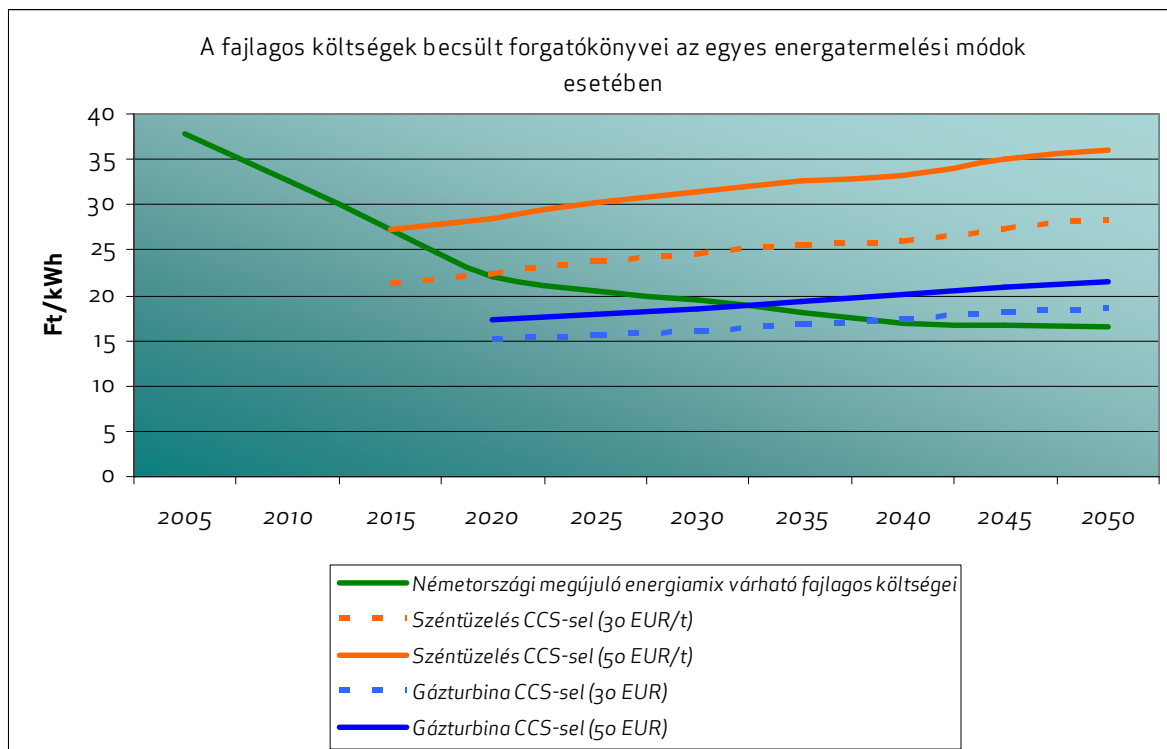
A másik figyelembeveendő szempont az, hogy milyen más elhárítási potenciál áll rendelkezésre. Miután hazánkban jelentős a 30 €/t-nál olcsóbban realizálható szén-dioxid elhárítási potenciál^{17, 18} annál, ami várhatóan csökkentési kényszerként 2025-2030-ban Magyarországra vonatkozni fog, ezért a többi potenciál kihasználása miatt ez az időpont a valóságban még későbbre várható.

Annak megállapításához, hogy a CCS mennyi ideig lesz szereplője a hazai kibocsátás-csökkentési portfóliónak, azt kell megvizsgálni, hogy hogyan alakul a CCS-sel felszerelt, fosszilis tüzelésű erőművek és a velük piaci és technológiai értelemben konkuráló megújuló energiaforrások várható önköltségei. Ilyen előrejelzések Magyarországra nem készültek, ezért a hazai viszonyokkal sok hasonlóságot mutató és rendelkezésre is álló németországi adatokat használtuk fel. Így a hazai tipikus erőművi széndioxid-elhárításból számolt fajlagos

Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008

¹⁷ Economic effects of a more ambitious EU carbon target in Hungary, Ecofys, GreenPeace, E3G, 2010

¹⁸ A szén-dioxid emisszió kereskedelem bevezetésének várható hatása a hazai villamos energia piacra, Lesi Mária, Pál Gabriella, REKK, 2005



7. ábra

A németországi megújuló mix fajlagos költségei ([7] alapján), valamint a hazai széntüzelésű és gáztüzelésű erőművek várható fajlagos termelési költségeinek becsült alakulása 30 illetve 50 €/t CCS költség esetén ([7] hazai adaptációjával, saját adatokkal kiegészítve). A hazai megújuló energiamix esetében valamelyest nagyobb értékekkel kell számolni, mert a német mixben a nyíltvízi szélturbinák is szerepelnek.

költségadatokat vetettük össze a Németországra vonatkozó megújuló energiamix fajlagos költségeinek előrejelzésével.¹⁹ Ezzel természetesen feltételezzük, hogy a megújuló energiaforrások költségei nem mutatnak nagy különbséget hazánk és Németország viszonylatában. (Különbséget elsősorban a nyíltvízi szélerőművek alacsonyabb költsége jelent, így nálunk néhány forinttal magasabb fajlagos költségekre lehetne számítani.) Az összehasonlítás során a következőket látjuk:

- A szilárd tüzelésű erőművek esetén az esetleges CCS-penetráció várható idejére a megújuló technológia fajlagos költségmutatói már jobbak lesznek, mint a CCS-sel ellátott szilárd tüzelésű erőművéké, ezért ilyen körülmények között gazdaságilag nem jelenik meg reális opcióként.
- A gázüzemű erőművek esetén a penetráció várható időpontjára felmerülhet a gazdasági

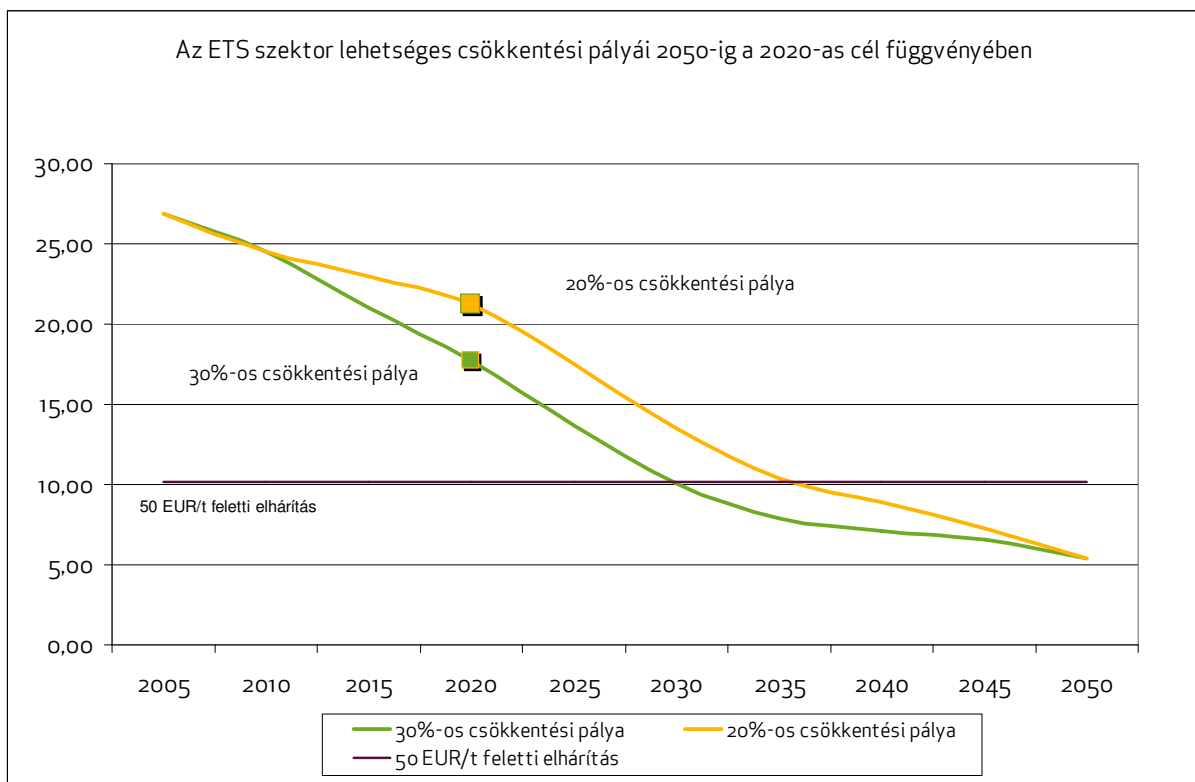
alapú megfontolások között a CCS is, de gyakorlatilag itt is leginkább a BAT (jó fajlagos mutatójú, legújabb technológiák), azaz teljesen új beruházások indulhatnak jó piaci esélyekkel, ám ezek piaci előnyei is csak átmenetinek, bizonytalan idejűnek látszanak, amely a fenti előrejelzések figyelembevételével hozzávetőlegesen 20-50 évre tehető. Ennek hossza pedig inkább a külső tényezők (konkurens szén-dioxid-csökkentési módok fejlődésének) függvénye lesz.

3.2.2. CCS-híd forgatókönyv

Feltevés

A köztes forgatókönyvben a CCS hídszerepe domborodik ki leginkább, azaz, hogy a kibocsátás-csökkentési célok elérésében átmeneti szerepet játszik. Alapfeltevés, hogy a CCS-beruházások egy viszonylag rövid időszakban (CCS-ablak kezdetén) történnek, amely egybeesik a ma üzemelő erőművek élettartamának lejártával. Ez azt jelenti, hogy az elavult erőművek helyett épülő új erőművek már eleve CCS-sel felvértezve épülnek. A fajlagos költségeket a hazai körülmények közötti viszonylag optimista 50

¹⁹ Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008 147. oldal, 12-6-os ábra



8. ábra

A magyar ETS-szektor 2050-ig szóló kibocsátás-csökkentési pályái a 2020-as EU-s cél függvényében ([10] adataiból számítva), valamint az 50 €/t feletti határköltészen elhárítható kibocsátás nagysága [9] adataiból. Amikor a jövőbeli kibocsátási pálya ez alá csökken, akkor kaphatnak szerepet azok az eszközök – így a CCS-híd forgatókönyv esetében a CCS is –, amelyek fajlagos költsége ekkora vagy nagyobb. (Az ábra a szemléletesség kedvéért jelentős egyszerűsítéseket tartalmaz. Az elhárítási potenciál például időben nem állandó, függvénye egyebek mellett a technológia fejlődésének, az inflációnak, az EUA árának, az áram és nyersanyagok árának, de még az EU-s célkitűzéseknek is.

€/tonna áron számítjuk. A tárolási potenciálban a sósvizes akviferekkel azok bizonytalan, további kutatást igénylő volta miatt nem számolunk. Így csupán a kiaknázott szénhidrogénmezők és a szenes képződmények befogadóképességének várható középértékét, azaz összesen 700 millió tonnás tárolókapacitást veszünk figyelembe.

Következtetések

A forgatókönyv feltevéseiből kiindulva látható, hogy a tárolókapacitás ebben az esetben sem korlátozza a CCS elterjedését, hiszen a teljes EU ETS-szektor kibocsátását közel 26 évig képes eltárolni. Így ebben a forgatókönyvben is alapvetően a CCS fajlagos költsége határozza meg a technológia térhódításának ütemét. A nagyobb, 50 eurós fajlagos költség az előrejelzési adatok (5. ábra) tükrében azt valószínűsíti, hogy a CCS technológiai opció a CCS-Max forgatókönyvhöz képest legalább 5-10 éves késéssel, 2030-2040 között kezd el piaci alapon terjedni. Ez azonban tovább rontja az esélyeit a

megújuló energiaforrásokkal szemben, mert ez a késlekedés azt eredményezi, hogy a megújuló energiaforrások a technológia fejlődése folytán költségelőnybe kerülnek (6. ábra). Ha a CCS-Max forgatókönyvhöz hasonlóan figyelembe vesszük a megújuló energia várható fajlagos költségeit²⁰, akkor a következőket láthatjuk:

- A szilárd tüzelésű erőművekkel összevetve piaci alapon fel sem merül a CCS, mint elhárítási opció, hiszen a megújuló energiaforrások a CCS lehetséges megjelenésének idejére már jóval versenyképesebbek lesznek. Ezért csak állami dotáció mellett merülhet fel ezen erőműtípusok CCS-sel való felszerelése, amely mögött jelenleg nem sok érv látszik felsorakoztathatóknak.

²⁰ Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008 147. oldal, 12-6-os ábra

- A gázturbinás erőművek esetében itt is csak a legújabb technológiájú, új beruházások merülhetnek fel opcióként, de a CCS-max forgatókönyvhöz képest a piaci ablak minden, továbbra is jelenlévő bizonytalanság mellett is szűkül. Az égetés utáni technológiák esetében akár meg sem jelenik, míg az újabb leválasztási technológiák esetében 5-20 év közé tehető. Ez jóval rövidebb időtartam, mint az energetikai beruházások tipikus életciklusa (30-40 év), emiatt bizonytalanná, és kérdésessé teszi az esetleges beruházás reális megvalósulását.

3.2.3. CCS nélküli forgatókönyv

Feltevések

Ebben a forgatókönyvben a CCS egyáltalán nem kap szerepet a kibocsátás-csökkentési portfólióban. A kibocsátások csökkentését a nagy potenciált jelentő energiefelhasználás csökkentéssel, és az energiefelhasználás hatékonyságának növelésével, a megmaradó energiaigények fedezetét pedig megújuló energiaforrások használatával biztosítjuk. Tulajdonképpen ebben a forgatókönyvben más szemléletet használunk: azt kell belátni az előzők fényében, hogy CCS nélkül nem lesznek nagyobbak az össztársadalmi terhek.

Következtetések

A hazai tanulmányok szerint²¹ 50 €/t fajlagos költség környékén várható, hogy hazánkban elérhetővé váljon a CCS-technológia.

Az előző forgatókönyvekből kiolvasható, hogy a CCS költségének értéke alapjaiban határozza meg a piaci környezetben betöltött szerepét. Az 50 € feletti fajlagos költség esetén aligha számíthat komoly szerepre.

Közelítsük meg másik oldalról a kérdést: nézzük meg, hogy a CCS teljes elhagyása vajon milyen társadalmi költséget jelent! Az Ecofys 2010 végén készített egy tanulmányt, amely a magyarországi csökkentési potenciálok bottom-up módszerrel

²¹ A CO₂-befogással és -elhelyezéssel kapcsolatos jelenlegi nemzetközi és hazai helyzet – tanulmány (ELGI, KVVM, 2007) 12. oldal

történő, technológia központú, szektoronkénti elemzése során vizsgálta a szén-dioxid-kibocsátás elkerülésének határkötségeit. Arra az érdekes – de ugyanakkor sokak által vitatott – eredményre jutott, hogy az ETS-szektorban óriási nagyságú negatív elhárítási költségű csökkentési potenciál van.²² Ez azt jelenti, hogy ennek a potenciálnak a kihasználása nem hogy nem kerül pénzbe, hanem nettó megtakarítást eredményez. Ha ehhez hozzávesszük azt a csökkentési potenciált, amely ugyan költségmegtakarítást nem eredményez, de a költsége kisebb, mint az 50 €/t-ás CCS-technológiájé, akkor a tanulmányban hivatkozott HUMIT modell alapján 16.75 Mt szén-dioxid-csökkentés valósulhat meg. Ezt összevetve az EU ETS-ben használt 2005-ös referenciaadattal (26,9 Mt) azt láthatjuk, hogy az EU ETS-szektor kibocsátásainak 62%-át anélkül tudjuk elkerülni, hogy a CCS technológiához kellene nyúljunk. Máshogy fogalmazva e számításra alapozva az látszik, hogy amíg az EU ETS-szektor csökkentési kényszere nem éri el a 62%-ot, addig a CCS nem kap szerepet.

Összehasonlításképpen a 2020-ra kitűzött ambiciózusabb (30%-os) EU-s csökkentési cél ugyanerre a szektorra vetítve mindössze 34%-os mérséklést jelentene. Ez az előbb említett, CCS nélkül realizálható csökkentési potenciálnak is csupán a fele.

Ebből az is következik, hogy ha 2050-ig aszimptotikus csökkentési görbével (7. ábra) közelítjük a 80%-os végső célt (felhasználva a hazai adatokat²³), amely során értelemszerűen feltételezzük, hogy a kisebb határkötségű elhárítások nagy volumenben és gyorsan történnek meg, szemben a nagy határkötségű, és egyre kisebb potenciálvolument jelentő intézkedésekkel, akkor a következő következtetésekre jutunk. A 30%-os EU-s cél esetén 2030 környékén, 20%-os cél esetén pedig

²² Economic effects of a more ambitious EU carbon target in Hungary, Ecofys, GreenPeace, E3G, 2010, SPM összefoglaló

²³ Hosszú távú (2050) kibocsátás-csökkentési célok Magyarország vonatkozásában, Feiler József, Prof. Ürge-Vorsatz Diana, 2010, 45-46. oldal táblázat

Forgatókönyvek	Fajlagos költség 2020-ban	Hazai kihasználható tároló kapacitás	CCS elterjedésének kezdete	CCS-ablak hossza	CCS + szilárd tüzelés	CCS + földgáz
CCS-Max	30 €/t	2.000 Mt	2025-2030	20-50 év	marginálisan életképes	életképes
CCS-Híd	50 €/t	700 Mt	2030-2040	5-20 év	csak állami szubvencióval életképes	marginálisan életképes
CCS Nélkül	50 €/t felett	-	-	0 év		

4. táblázat

Az egyes forgatókönyvek főbb feltevéseinek és megállapításainak áttekintése

2035 után érkezünk el ahhoz a ponthoz, amikor a CCS egyáltalán reális opcióként felmerülhet. Más oldalról megközelítve: a csökkentési kényszer ezekben az években éri el azt a szintet, amikor a drágább intézkedések (egyebek mellett a CCS) is szóba jöhetnek (7. ábra).

Az előzőekből azonban már tudjuk, hogy ebben az időszakban már egyértelmű a CCS-technológia fajlagos költségének hátránya²⁴, amely az idő előrehaladtával egyre nagyobb mértékűvé válik. A megújuló energiaforrások potenciálkorlátja – egyebek mellett diverzifikált jellegéből adódóan – jóval tágabb határok között mozoghat, mint a CCS alkalmazhatósági korlátja, amelynek magas költségeit meglehetősen merevnek tekintik a hazai szakértők, ezért a következő évtizedekben nagyságrendi áttörésre nem lehet számítani. Az elhárítási költségek nyelvére fordítva: a megújuló energiaforrások erre az időszakra már – technológiai, gazdasági és stratégiai okokból is – jóval nagyobb változáson mennek át, mint az éppen bemutatkozni készülő CCS-technológia, így az elhárítási költségek között a CCS egyre hátrább sorolódik, és a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos intézkedések veszik át az érdemi szerepet.

²⁴ Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008 147. oldal, 12-6-os ábra

3.3. Összefoglalás

A vizsgálatunk azt mutatja, hogy bárhogy is alakul a külső és belső környezet, a CCS legfeljebb csak ideiglenesen lesz része a hazai energetikának. A különböző megközelítések összegzéseként ez az átmeneti időszak 0-50 év hosszúságúra tehető, tehát ebben benne van egy CCS nélküli dekarbonizációs átmenet is.

Ez leginkább két fő tényezőnek tudható be: egyrészt világviszonylatban is magas fosszilis nyersanyagköltségre kell számítanunk, ami az idő előre haladtával további növekedést mutat majd, másrészt a megújuló energiaforrások térhódítása és az energiahatékonysági beruházások – pusztán a költségviszonyok miatt – meghatározó tényezőknek ígérkeznek a kibocsátás-csökkentési eszközök között.

Az a bizonytalan tényezők mellett is világosan látható, hogy a várhatóan viszonylag magas fajlagos költségek miatt a CCS komolyabb szerepet csak jelentős nagyságrendű állami szubvenció esetén kap. Egy ilyen stratégiai jellegű döntés esetében az a legfontosabb mérlegelendő kérdés, hogy a CCS-sel kapcsolatos támogató hozzáállás nem okoz-e hosszú távon ún. bezárási problémát: azaz a CCS-sel kapcsolatos – esetlegesen eltúlzott – bizakodás vagy a megkezdődő CCS-beruházások miatt lelassuló dekarbonizáció nem eredményezi-e azt, hogy később nagyobb erőfeszítésekre lesz szükség a

kibocsátások csökkentése terén, mint amilyenre a CCS nélkül lett volna.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Greenpeace – False Hope – Why carbon capture and storage won't save the climate?, 2008. május
- [2] IPCC WG3 – Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, IPCC 2005
- [3] Scottish Centre for Carbon Storage, School of Geosciences, (www.geos.ed.ac.uk/ccsmap)
- [4] IEA Carbon Capture and Storage progress and next step (for G8 summit, 2010)
- [5] A CO₂-befogással és -elhelyezéssel kapcsolatos jelenlegi nemzetközi és hazai helyzet – tanulmány (ELGI, KVVMM, 2007)
- [6] IPCC – Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005)
- [7] Wuppertal Institute, DLR, ZSW, PIK – Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies with Carbon Capture and Storage (RECCS), 2008
- [8] Monitoring Protocols and Life-Cycle Costs for Geologic Storage of Carbon Dioxide, 2004, Sally M. Benson Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA 94720
- [9] Economic effects of a more ambitious EU carbon target in Hungary, Ecofys, GreenPeace, E3G, 2010
- [10] Hosszú távú (2050) kibocsátás-csökkentési célok Magyarország vonatkozásában, Feiler József, Prof. Ürge-Vorsatz Diana, 2010
- [11] A szén-dioxid emisszió kereskedelem bevezetésének várható hatása a hazai villamos energia piacra, Lesi Mária, Pál Gabriella, REKK, 2005
- [12] Efficiency and capture-readiness of new fossil power plants in the EU, Ecofys, 2008
- [13] McKinsey Climate Change Initiative, McKinsey & Company, 2008
- [14] Az Európai Parlament és Tanács 2009/31/EK irányelve, 2009. április 23
- [15] HOW TO COMBAT GLOBAL WARMING: THE BELLONA SCENARIO, Bellona, 2008
- [16] Assessing Risk in CO₂ Storage projects, A.R. Bowden et al., 2004
- [17] The UKERC/UKCCSC Carbon capture and storage roadmap, Workshop report, UKERC, UKCCSC, 2007
- [18] Health, safety and environmental risks of underground CO₂ sequestration, Kay Damen, André Faaij, Wim Turkenburg, 2003
- [19] Szénbe ágyazva, avagy a szén-dioxid leválasztása és geológiai tárolása, mint klímavédelmi eszköz, Dóci Gabriella, 2010,

[20] Carbon Capture and Storage, Stefan Bakker, Heleen de Coninck and Heleen Groenenberg Energy research Centre of the Netherlands, 2008

[21] A survey on the public perception of CCS in France, MinhHa-Duong, AlainNada, AnaSof, Campos, 2007

[22] Including the International Diffosion of Carbon Capture and Storage Technologies into the Power Sector, Wuppertal Institute, 2007

[23] CO₂-Capture and geological Storage as a Climate Policy Option, Wuppertal, 2007

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra

A németországi megújuló mix fajlagos költségei ([7] alapján), valamint a hazai széntüzelésű és gáztüzelésű erőművek várható fajlagos termelési költségeinek becsült alakulása 30 illetve 50 €/t CCS költség esetén. A hazai megújuló energiamix esetében valamelyest nagyobb értékekkel kell számolni, mert a német mixben a nyíltvízi turbinák is szerepelnek:

5. oldal

2. ábra

A CCS egyes elemeinek fajlagos költségei, a szakirodalomban fellelhető legmagasabb és legalacsonyabb értékei. Az utolsó technológiai fázisról (tárolás/monitoring) csak elvétve található adat (forrás: saját gyűjtés): 8. oldal

3. ábra

Az egyes technológiai szakaszok fajlagos költségeinek egymáshoz viszonyított aránya (forrás: saját gyűjtés). 9. oldal.

4. ábra

A földalatti széndioxid-tárolás kockázatai. A fekete és a szürke nyilak mutatják a szén-dioxid és a metán áramlását (a felhagyott kitermelő kutakon, repedésekben, törésvonalak mentén), a fehér nyilak mutatják szén-dioxid beszajtolása miatt áthelyeződő a sós víz mozgását. 12. oldal.

5. ábra

A legnagyobb hazai erőművek éves kibocsátási adatai (forrás: Nemzeti Kiosztási Terv 2008-2012). A CCS technológia szempontjából az e létesítmények által reprezentált kibocsátási volumen az elsődleges forrás. 18. oldal.

6. ábra

Az EU ETS kibocsátási egységeinek a következő két évtizedre várható ára a rendelkezésre álló projekciók

összesítésével. Forrás: Energiaklub saját gyűjtés. 20. oldal.

7. ábra

A németországi megújuló mix fajlagos költségei ([7] alapján), valamint a hazai széntüzelésű és gáztüzelésű erőművek várható fajlagos termelési költségeinek becsült alakulása 30 illetve 50 €/t CCS költség esetén. A hazai megújuló energiamix esetében valamelyest nagyobb értékekkel kell számolni, mert a német mixben a nyíltvízi turbinák is szerepelnek. 22. oldal

8. ábra

A magyar ETS-szektor 2050-ig szóló kibocsátás-csökkentési pályái a 2020-as EU-s cél függvényében ([10] adataiból számítva), valamint az 50 €/t feletti határköltségen elhárítható kibocsátás nagysága [9] adataiból. Amikor a jövőbeli kibocsátási pálya ez alá csökken, akkor kaphatnak szerepet azok az eszközök – így a CCS-híd forgatókönyv esetében a CCS is –, amelyek fajlagos költsége ekkora vagy nagyobb. (Az ábra a szemléletesség kedvéért jelentős egyszerűsítéseket tartalmaz. Az elhárítási potenciál például időben nem állandó, függvénye egyebek mellett a technológia fejlődésének, az inflációnak, az EUA árának, az áram és nyersanyagok árának, de még az EU-s célkitűzéseknek is. 23. oldal.

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat

Az egyes leválasztási technológiák legfontosabb előnyei és hátrányai. 7. oldal.

2. táblázat

A CCS technológiával kapcsolatban leggyakrabban felmerülő érvek és ellenérvek csoportjai globális, gazdasági-technológiai és stratégiai megközelítés szerint. 10. oldal.

3. táblázat

Néhány tipikus fajlagos költségű hazai erőmű villamosenergia-termelési önköltségének alakulása a széndioxid-elhárítási költség 30, illetve 50 eurós szintje esetén (2005-ös adatokból számítva, 270 HUF/EUR árfolyamon). 21. oldal.

4. táblázat

Az egyes forgatókönyvek főbb feltevéseinek és megállapításainak áttekintése. 25. oldal.